

UNIVERSIDAD DE CHILE
VICERRECTORIA ACADÉMICA Y ESTUDIANTIL
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTÍTULO

EL ALTIPLANO

Ciencia y conciencia en los Andes

Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos
19 al 21 de Octubre de 1993
Arica, Chile.

Santiago de Chile
1997



**UNIVERSIDAD DE CHILE
VICERRECTORIA ACADEMICA Y ESTUDIANTIL
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTITULO**

EL ALTIPLANO

Ciencia y conciencia en los Andes

**Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos
19 al 21 de Octubre de 1993,
Arica, Chile**

Santiago de Chile

1997

El Altiplano. Ciencia y conciencia en los Andes

**II SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE ESTUDIOS ALTIPLANICOS**

**19-21 de Octubre de 1993
Arica, Chile**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
VICERRECTORIA ACADEMICA Y ESTUDIANTIL
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTITULO**

**AUTORIDADES SUPERIORES CENTRALES
DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE**

**Doctor Jaime Lavados Montes
Rector**

**Alfredo Lahsen Azar
Prorrector**

**Juan Manuel Pino Ramírez
Contralor**

**Fernando Lolas Stepke
Vicerrector Académico y Estudiantil**

**Patricio J. Basso Gallo
Vicerrector Económico y Administrativo**

El Altiplano. Ciencia y conciencia en los Andes

**II SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE ESTUDIOS ALTIPLANICOS**

**19-21 de Octubre de 1993
Arica, Chile**

TEMAS GENERALES Y ACTAS

**ORGANIZACION
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTITULO
VICERRECTORIA ACADEMICA Y ESTUDIANTIL
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**COLABORACION
UNIVERSIDAD DE TARAPACA**

**AUSPICIO
THE TINKER FOUNDATION**

Santiago de Chile, 1997

COMITE ORGANIZADOR

César González Oróstica
Presidente

Patricio Aceituno Gutiérrez
Milka Castro Lucic
Reynaldo Charrier González
Aníbal Llanos Mansilla
Luis Alberto Raggi Saini
Coordinadores por Area

M. Cristina Salas Marín
Marcia Calfucoy Norambuena
Marcela Lagos Araya
Secretarias

COMITE EDITOR

Reynaldo Charrier González
Editor General

Patricio Aceituno Gutiérrez
Milka Castro Lucic
Aníbal Llanos Mansilla
Luis Alberto Raggi Saini
Editores

Reynaldo Charrier González
Fotografía de Portada

Inscripción N° 100.491
ISBN 956 - 272 - 693 - 2
Universidad de Chile

INDICE GENERAL

PREFACIO	I
DISCURSOS	III
DISCURSO DEL DR. REYNALDO CHARRIER GONZALEZ, EN NOMBRE DEL COMITE ORGANIZADOR	V
DISCURSO DEL SR. JORGE URQUHART MATHEU, RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DETARAPACÁ	VII
DISCURSO DEL DR. JAIME LAVADOS MONTES, RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE	IX
ACUERDOS Y CONCLUSIONES	XIII
HOMENAJE AL GEOLOGO PROFESOR JUAN VARELA BARBAGELATA (1938 - 1993)	XVII
OBRA ACADEMICA DEL PROFESOR VARELA	XXI

PRESENTACIONES AL II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTUDIOS ALTIPLANICOS

AREA CIENCIAS DE LA TIERRA Y MINERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA Y RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS EN EL ALTIPLANO CHILENO. Reynaldo Charrier	5
GRADO DE COMPENSACION ISOSTATICA EN EL ALTIPLANO: ANALISIS GRAVIMETRICO DE 2 Y 3 DIMENSIONES. Gonzalo Yañez, Aldo Giavelli y Jorge Cañuta	15
GEOLOGIA Y TECTONICA DEL ALTIPLANO CHILENO. Reynaldo Charrier y Nelson Muñoz	23
ALTIPLANO NORTE DE BOLIVIA: EVOLUCION GEOLOGICA TERCIARIA. Gérard Hérail, Philippe Rochat, Patrice Baby, Oscar Aranibar, Alain Lavenue y George Mascle	33
APORTE DE LA PALEOPALINOLOGIA AL CONOCIMIENTO DE LA EVOLUCION CLIMATICA DURANTE EL ALZAMIENTO DEL ALTIPLANO. Silvia Palma-Heldt	45

HALLAZGO DE UNA GIGANTESCA AVALANCHA DE DETRITOS DEL CENOZOICO SUPERIOR EN OXAYA, REGION DE TARAPACA.	47
José Antonio Naranjo	
LOS RECURSOS NO METALICOS DEL ALTIPLANO CHILENO. UNA REVISION.	53
Guillermo Chong Díaz	
AREA CLIMA Y RECURSOS HIDRICOS	
ASPECTOS GENERALES DEL CLIMA EN EL ALTIPLANO SUDAMERICANO.	63
Patricio Aceituno	
HIDROLOGIA DEL SECTOR ALTIPLANICO CHILENO.	71
Carlos Salazar Méndez	
HISTORIA DEL LAGO TITICACA DURANTE EL HOLOCENO.	79
Philippe Mourguiart, Jaime Argollo y Denis Wirrmann	
LA INFLUENCIA DE LA ALTA DE BOLIVIA EN LAS PRECIPITACIONES EN EL PERU	80
Hermenegilda Manrique Olivares	
CLIMATOLOGIA DE LA PUNA DE ATACAMA Y SU RELACION CON LOS RECURSOS HIDRICOS	87
Hugo Romero, Andrés Rivera y Patricio Fernández	
ESCENARIOS PALEOHIDROLOGICOS Y PALEOCLIMATICOS DE LOS ULTIMOS 30.000 AÑOS EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO.	95
Jaime Argollo	
GLACIOLOGIA E HIDROLOGIA DE GLACIARES EN LA CORDILLERA REAL DE BOLIVIA.	99
P. Ribstein y B. Francou	
GEOQUIMICA DE AGUAS EN EL ALTIPLANO. UNA APROXIMACION.	105
Hugo Alonso	
EXPOSICION AL ARSENICO DE LA POBLACION ATACAMEÑA.	109
A. M. Sancha, F. Fuentes, H. Venturino, A. M. Baron	
V. Moreno y A. M. Salazar	
CARACTERIZACION DE LA CALIDAD SANITARIA DE AGUAS DE BOFEDALES Y VEGAS DEL AREA ANDINA CHILENA	117
G. Castillo, M. Castro, M. Bahamondes y V. Lorca	

AREA ECOSISTEMAS ACUATICOS

SIGNIFICADO DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE ECOSISTEMAS ACUATICOS Y ZONAS ECOTONALES ALTIPLANICOS PARA SU EVALUACION, GESTION AMBIENTAL Y CONSERVACION. 127

Hermann A. Mühlhauser

COMUNIDADES BENTONICAS DE LAGUNAS ALTIPLANICAS Y SU RELACION CON LA ACTIVIDAD TROFICA. 135

Matilde López M.

MICROORGANISMOS DE AMBIENTES EXTREMOS: SALAR DE ATACAMA, CHILE 143

Victoriano Campos Pardo

AREA RECURSOS EDAFICOS

RECURSOS EDAFICOS DEL ALTIPLANO, I REGION 151

Walter Luzio

LOS SUELOS DE ALTURA DE LA REPUBLICA ARGENTINA: LA PUNA. 153

José R. Vargas Gil y Carlos O. Scoppa

AREA FLORA ALTIPLANICA

LA VEGETACION EN EL ALTIPLANO. 161

Rosa Negrete Córdova

FLORA AND VEGETATION OF NORTHERN CHILEAN ANDES. 167

Mary T. Kalin Arrollo, Francisco A. Squeo, Heinz Veit,

Lohengrin Cavieres, Pedro León y Eliana Belmonte

QUIMICA DE PRODUCTOS NATURALES DE LA FLORA PRECORDILLERANA ANDINA DE LA II REGION DE CHILE. 179

Luis A. Loyola M. y Jorge Borquez R.

ESTUDIO DE PLANTAS MEDICINALES, DE DISTINTAS REGIONES DE BOLIVIA, CON ACTIVIDAD ANTIPARASITARIA. 185

Elfride Balanza, Victoria Muñoz, Alcira Angelo, Emma Ruiz, Eric Deharo,

Alaint Fournet, Christian Moretti y Michel Sauvain.

LA IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES BIOLÓGICOS EN LA RECONSTRUCCIÓN DEL PALEOAMBIENTE: EL CASO DE LA LLARETA Y LA QUENOA.	191
Eliana Belmonte	
AREA FAUNA ALTIPLANICA	
LA FAUNA ALTIPLANICA.	199
Luis Alberto Raggi Saini	
FAUNA DE VERTEBRADOS DEL ALTIPLANO: UN ANALISIS COMPARATIVO EN EL EXTREMO NORTE DE CHILE.	203
Pedro E. Cattán	
PRINCIPALES PROBLEMAS DE LAS AVES ACUÁTICAS EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO.	207
Eliana Flores	
EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DE LA GANADERÍA CAMELIDA EN EL ALTIPLANO EN LATINOAMÉRICA	211
Julio Sumar Kalinowski	
CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y PRODUCTIVAS Y PRODUCTIVAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS DOMÉSTICOS.	223
Luis Alberto Raggi Saini	
ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS EN EL ALTIPLANO.	227
Bessie Urquieta M.	
ESTRATEGIAS NUTRICIONALES DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS EN LAS ZONAS ALTOANDINAS DEL PERU.	233
Felipe San Martín	
AREA ANTROPOLOGIA	
EL CAMPESINADO ALTOANDINO DEL NORTE DE CHILE.	243
Milka Castro Lucic	
LOS RECURSOS AGROPECUARIOS DEL NORTE DE CHILE AL TIEMPO DE LA INVASIÓN EUROPEA.	255
Lautaro Núñez	
ARQUEOLOGIA DE LOS ANDES.	269
Calogero M. Santoro V.	

DISPONIBILIDAD, ACCESO Y SISTEMAS DE TENENCIA DE LA TIERRA ENTRE LOS AYMARAS DEL ALTIPLANO DE LA I REGION DE TARAPACA.	277
Héctor Gonzáles Cortés	
SISTEMAS ECONOMICOS DE LOS AYMARAS DEL ALTIPLANO DE LA REGION DE TARAPACA E INTERVENCION PUBLICA Y PRIVADA PARA EL DESARROLLO	283
Hans Gundermann Kröll	
EL ABUELO SACRAMENTO PANIRE: RELATO DE LA DEFENSA DE LAS AGUAS DE TURI.	287
Carlos Aldunate Del Solar	
CULTURA Y EDUCACION EN EL ALTIPLANO.	293
Bernardo Guerrero	
ARTE ANDINO, REFLEJO DE UNA CULTURA. 1	297
Juan M. Chacama R. y Luis Briones M.	
EL ALTIPLANO ECUATORIAL ANDINO, ESTUDIOS SOBRE SU ESPECIFICIDAD CULTURAL	301
Segundo E. Moreno Yañez	
AREA BIOMEDICINA Y FISILOGIA DE ALTURA	
BASES BIOLOGICAS DEL MAL DE MONTAÑA CRONICO.	311
Carlos Monge C. y María del Pilar Fortunio	
¿ ES EVITABLE LA ENFERMEDAD AGUDA DE LA MONTAÑA, "PUNA"?	315
Robert Torrance y Hugo Donoso	
PALEOEPIDEMIOLOGIA GENETICA DE POBLACIONES ANDINAS: 8.000 AÑOS DE EVOLUCION.	321
Francisco Rothhammer y Rodrigo Moreno	
CAPACIDAD DE EJERCICIO Y ACTIVIDAD LABORAL EN CONDICIONES DE HIPOXIA HIPOBARICA INTERMITENTE.	329
Pablo Casanegra, Jorge Jalil, Sandra Braun, Gastón Chamorro, Fernando Saldías, Roberto Rodríguez y Miguel Morales	
ARTERIAL CHEMORECEPTORS IN TISSUE CULTURE: MORPHOLOGIC AND PHYSIOLOGIC ASPECTS.	333
J. Alcayaga	
MODULATION OF ARTERIAL CHEMORECEPTORS ACTIVITY AND ITS CONTRIBUTION TO THE HYPOXIC RESPONSE.	341
P. Zapata R. Iturriaga	

- DYNAMICS AND ENDOCRINE COMPONENTS OF THE CARDIOVASCULAR RESPONSE TO ACUTE HYPOXAEMIA IN THE LLAMA FETUS COMPARED TO THE SHEEP FETUS.** 349
- Dino A. Gussani, Raquel A. Riquelme, Hugh H. McGarrigle, Fernando A. Moraga, Cristián R. Gaete, Emilia M. Sanhueza, Mark A. Hanson y Aníbal J. Llanos
- ONTOGENY OF CORTISOL SECRETION BY THE ADRENAL GLAND IN THE FETAL LLAMA (*Lama glama*).** 357
- Raquel Riquelme, Gertrudis Cabello, Marcela Vergara, Michelle Towstoless, Marelyn Wintour, Aníbal Llanos y Marla Serón-Ferré
- ESTUDIO CORPORATIVO DE LA FUNCION RESPIRATORIA EN NINOS BOLIVIANOS DE LA ALTURA Y DEL TROPICO. INFLUENCIA DEL ESTADO NUTRICIONAL Y ANTROPOMETRICO.** 365
- Enrique Vargas Pacheco, Mercedes Villena Cabrera, Hilde Spielvogel, Philippe Obert, Ana María de Quiroga, Guy Falgairette, Esperanza Cáceres, Han C. G. Kemper, Jean Coudert y Cristina González
- PATOLOGIA DEL SISTEMA NERVIOSO EN LAS GRANDES ALTITUDES.** 373
- Zdzislaw Jan Ryn
- NUESTRA EXPERIENCIA EN RESIDENTES PERMANENTES DE ALTURA: "Calidad de la aclimatacion".** 377
- Raimundo Santolaya B., Luis Salazar C., Mario Sandoval M., Raimundo Santolaya C. y Rubén Alfaro T.

PREFACIO

El Altiplano es, con el Tibet, una de las mayores mesetas elevadas de la Tierra con una altura promedio de casi 4.000 m sobre el nivel del mar. Se ubica en los Andes Centrales y es un territorio compartido por Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Su población principalmente aymara y quechua mantiene estrechos lazos con su cultura prehispánica y depende fundamentalmente de una actividad agrícola y ganadera, especialmente de especies indígenas, y ocasionalmente artesanal de subsistencia. Las condiciones ambientales, debidas a la gran altura y el prolongado aislamiento, han permitido el desarrollo de un delicado equilibrio ecológico, muy sensible a la contaminación y a la intervención del Hombre. Este equilibrio está actualmente amenazado por la actividad turística, las necesidades de las grandes ciudades ubicadas en las tierras bajas adyacentes y los requerimientos de la industria minera desarrollada en la región.

El Altiplano presenta, en consecuencia, características únicas para desarrollar investigaciones científicas puras y aplicadas, interdisciplinarias, interinstitucionales y internacionales, en una amplia gama de disciplinas: Ciencias de la Tierra, Ciencias Atmosféricas, Recursos Hídricos, Biomedicina y Fisiología, Recursos Geotérmicos, Vegetación, Fauna, Ecología, Ciencias Ambientales, etc. Es por estas razones que la Universidad de Chile, consciente de su papel de universidad estatal por excelencia, creó el Centro de Estudios Altiplánicos y organizó, conjuntamente con la Universidad de Tarapacá, el II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, realizado en Arica, los días 19 a 21 de Octubre de 1993.

Los objetivos de este Simposio fueron evaluar el conocimiento adquirido hasta la fecha sobre la región altiplánica, definir las áreas de investigación y desarrollo más importantes, y fomentar la realización de proyectos de investigación cooperativos, interdisciplinarios e internacionales. Las grandes áreas temáticas del conocimiento cubiertas por este Simposio son: Ciencias de la Tierra y Minería, Clima y Recursos Hídricos, Ecosistemas Acuáticos, Recursos Edáficos, Flora, Fauna, Antropología y, Biomedicina y Fisiología de Altura.

Este libro contiene los resultados y ponencias del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos. En la primera parte se presentan los aspectos generales del Simposio como los discursos de la Ceremonia Inaugural y los Acuerdos y Conclusiones y, en la segunda parte, se incluye un homenaje al Profesor Juan Varela Barbagelata, fallecido poco después de su participación en este Simposio, a quién se dedica este libro.

Por su especialización en Geología del Cuaternario, el Profesor Varela ha realizado destacadas contribuciones, muchas de ellas en grupos interdisciplinarios de investigación y en diversas regiones del país, en áreas relacionadas con ese tema, como Geomorfología, Estratigrafía y Sedimentología de depósitos cuaternarios, Arqueología, origen, evolución y caracterización de suelos y Riesgo Geológico.

La tercera parte está formada por los textos correspondientes a las conferencias generales, presentadas en sesiones plenarias del Simposio y destinadas a introducir a todos los participantes en los temas propios de cada una de las áreas temáticas, y a los textos completos de la mayoría de las presentaciones realizadas durante las sesiones de trabajo de cada área temática.

El Comité Editor de este libro desea expresar muy especialmente su agradecimiento a la Fundación Tinker de los Estados Unidos de Norte América por su valioso apoyo, sin el cual el II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos y la impresión de estas actas no se habrían podido realizar.

El Comité Editor

DISCURSOS PRESENTADOS EN LA SESION INAUGURAL

ANTE:

Autoridades centrales y regionales,

Autoridades universitarias y académicas,

Miembros de la comunidad universitaria,

Representantes de organismos no gubernamentales,

Miembros de instituciones extranjeras,

Invitados especiales, y

Participantes .

DISCURSO DEL DR. REYNALDO CHARRIER GONZALEZ EN NOMBRE DEL COMITE ORGANIZADOR

Estamos reunidos en este Salón de Honor para inaugurar el "**Segundo Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos**", que se desarrollará durante los próximos tres días en la ciudad de Arica.

Los objetivos de este Simposio, como se expresa en los trípticos y las invitaciones a participar, son:

- Evaluar el estado del conocimiento de la región altiplánica y de sus problemas, con una visión regional integrada e interdisciplinaria.
- Definir las líneas de investigación y de desarrollo regional de mayor importancia y urgencia.
- Impulsar proyectos de carácter cooperativo e interdisciplinario entre los países de la región.

Para lograr los objetivos planteados es necesario:

- a. Disponer de un conocimiento actualizado y de una comprensión profunda e integrada de los antecedentes disponibles sobre la región y de los problemas existentes en ella, y
- b. Reunir al mayor número de especialistas en temas altiplánicos y en temas de interés para la región, para realizar la mejor evaluación posible de los conocimientos disponibles y de sus problemas.

Es por ello que hemos considerado indispensable difundir la realización de este simposio a todas las instituciones chilenas y extranjeras que pueden aportar experiencia en la temática altiplánica. Como resultado de esta gestión se ha reunido estos días en la ciudad de Arica una amplia gama de especialistas nacionales y extranjeros vinculados con temas, relacionados con el Altiplano pero tan diferentes entre sí como: Geología, Geofísica, Minería, Meteorología, Climatología, Recursos Hídricos, Recursos Edáficos, Contaminación Ambiental, Vegetación, Fauna, Arqueología, Antropología, Biomedicina, Fisiología de Altura, etc. La convocatoria ha tenido éxito y es así como están participando en este Simposio miembros de diversas universidades chilenas y extranjeras, de instituciones nacionales como: Comisión Nacional de Riego, Corporación Nacional Forestal (CONAF), Dirección General de Aguas, Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), Ministerio de Agricultura, Servicio Nacional de Geología y Minería, y organismos no-gubernamentales, y de instituciones extranjeras como: Centro de Investigación de Recursos Naturales de Castelar de Argentina, Instituto Boliviano de Biología de Altura, Instituto de Investigaciones Arqueológicas del Perú, Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Así mismo están presentes destacadas autoridades nacionales y regionales.

En relación con la organización de este simposio es necesario mencionar el importante apoyo que esta iniciativa ha recibido de parte de la Tinker Foundation de los Estados Unidos.

Con el objeto de lograr la integración de conocimientos, necesaria para una profunda comprensión de los variados aspectos y problemas relacionados con la región, esta reunión se estructuró de manera que todos los participantes podamos atender a charlas generales sobre cada una de las seis áreas temáticas del simposio: Ciencias de la Tierra, Clima y Recursos Hídricos, Vegetación y Recursos Edáficos, Fauna, Antropología, y Biomedicina y Fisiología de Altura.

Posteriormente, nos separaremos por grupos, según disciplinas, para participar en mesas redondas sobre cada una de las áreas recién mencionadas.

Considerando la nómina de participantes a este simposio, pensamos que, con posterioridad a este evento, se podrá publicar un libro que reuna las exposiciones presentadas durante estos días y las conclusiones del simposio. Este libro será un valioso documento, no sólo para los participantes, sino para todos aquellos interesados en el Altiplano, sean éstos científicos, profesionales, o instituciones responsables de su conservación o de su desarrollo.

La iniciativa de la Universidad de Chile de crear un Centro de Estudios Altiplánicos tiene sentido en la medida que exista un grupo de investigadores que trabajen en la región, interesados en seguir trabajando en ella, con una idea clara de lo que se debe hacer, de por qué y cómo se puede trabajar de manera complementaria e interdisciplinaria.

Este segundo simposio no sólo nos está reuniendo por segunda vez, sino que nos está ofreciendo la posibilidad de adquirir esa necesaria visión integral de la región y sus problemas, sin la cual no hay progreso en esta época de rápido avance científico y tecnológico, de complejidad creciente y de fuerte preocupación por el deterioro del ambiente.

Estamos convencidos que no tiene sentido crear el Centro y después solicitar a los investigadores que se acerquen a trabajar. Pensamos que el camino es el contrario: Es necesario que existan los investigadores y el interés por trabajar en el tema y después reunirlos en este Centro para realizar juntos e integradamente esa difícil tarea de crear conocimientos y solucionar problemas.

Esta reunión pone en evidencia que existe un número grande de investigadores y profesionales interesados en el problema altiplánico y que hay instituciones de diversa índole enfrentadas a la difícil y aparentemente contradictoria tarea de conservar el delicado ambiente altiplánico y de encontrar y poner en marcha actividades de desarrollo en la región.

El Centro de Estudios Altiplánicos será un ente catalizador para los intereses de los investigadores y de las instituciones interesadas en el Altiplano. Además, la existencia de un Centro de Estudios Altiplánicos, formalmente constituido, favorecerá al nivel de instituciones, de grupo de instituciones, como país y como grupo de países altiplánicos, nuestra vinculación con otras instituciones y grupos de estudio de otros países no altiplánicos interesados en desarrollar estudios en la región; favorecerá, así mismo, la obtención de fondos para realizar los estudios y los trabajos que sean, de acuerdo con nuestras conclusiones, de interés prioritario. Sin este tipo de apoyo económico, esta iniciativa de formar un grupo de trabajo sobre problemas altiplánicos podría resultar estéril.

Después de esta introducción, me resta sólo desear a todos los participantes mucho éxito en sus presentaciones y a los asistentes una interesante y provechosa reunión.

¡Muchas gracias!

DISCURSO DEL SR. JORGE URQUHART MATHEU, RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE TARAPACA

Es un honor, para quién les habla, dirigirse a ustedes, en esta ocasión de especial relevancia, tanto para la Universidad de Tarapacá, como para la Universidad de Chile, a la cual acogemos en nuestras aulas con motivo del **II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos**.

En esta oportunidad, quiero resaltar dos hechos que me parecen dignos de destacar en las relaciones entre la Universidad de Tarapacá y la Universidad de Chile.

1º Cuando suscribiéramos el convenio de cooperación entre la Universidad de Chile y la Universidad de Tarapacá, pocos imaginaron las proyecciones que éste alcanzaría.

Con el transcurso del tiempo, nuestro convenio se ha ido materializando,

- Por una parte, mediante la identificación de temas específicos de interés común, a través del trabajo de investigación conjunto de los académicos de ambas instituciones y en la elaboración de proyectos y su respectivas puesta en marcha de programas tales como el magíster en biología por parte de la Facultad de Ciencias y la creación de la Carrera de Derecho de nuestra universidad para el año próximo, donde hemos recibido el apoyo necesario de la Universidad de Chile;
- Y, por otra, mediante la colaboración en la organización de eventos como el que inauguramos hoy.

Por esta razón, cuando hace algunos meses el Rector Lavados me planteara la realización de este simposio, no dudamos en prestar nuestra colaboración, la que se expresa en la designación de un contraparte local, la participación de algunos expositores y en el uso de nuestra infraestructura física.

Estas acciones han tenido como objetivo estrechar los vínculos entre la Universidad de Tarapacá y una de sus universidades matrices.

2º Sin embargo, estimamos, y lo digo sin falsa modestia, que estamos en condiciones, tanto de profundizar estas acciones como de extenderlas hacia otras áreas del conocimiento:

- a) En la Agricultura, campo en el cual nuestro instituto puede aportar 30 años de experiencia en la investigación sobre plagas, fruticultura tropical, manejo tecnificado del recurso hídrico y transferencia tecnológica;
- b) En la Arqueología, cuyo museo y trabajos de investigación se remontan a la década de los 50, los cuales, en la actualidad, ya comienzan a ser conocidos, tanto en Estados Unidos como en Europa;
- c) En los negocios internacionales, donde ponemos a disposición la experiencia ganada en nuestras incursiones en Lima, Arequipa y, próximamente, en Bolivia.

La Antropología, la Etnohistoria, la Lingüística, la Climatología, el recurso hídrico, la energía no convencional, el medio ambiente podrían ser, entre otros, campos propicios para la colaboración entre ambas instituciones.

Hoy, al inaugurar este **II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos** organizado por la Universidad de Chile, somos meros colaboradores. Sin embargo, estamos ciertos que nuestras inquietudes y nuestro desarrollo nos permitirán trabajar de manera conjunta y armónica en la organización de eventos como este y en la búsqueda del conocimiento en alguna de las áreas mencionadas.

DISCURSO DEL DR. JAIME LAVADOS MONTES, RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

Este es para nosotros, la Universidad de Chile, un evento de particular importancia, lo que se demuestra por el hecho que el Rector haya decidido venir a Arica sólo por el día a participar en esta inauguración.

Me interesa enfatizar algunos de los conceptos ya mencionados por el estimado Rector y amigo don Jorge Urquhart. Se trata de un evento simbólico. La Universidad moderna está enfrentada a una serie de nuevos desafíos, para los cuales no hemos tenido en nuestra historia las experiencias adecuadas como para fundar en ellas nuestros acomodos institucionales.

En primer lugar es necesario destacar la velocidad increíble, con que avanza el conocimiento. En algunas áreas podremos estar a la par con el desarrollo mundial, quizás mantenernos en la frontera, en otras en cambio, tenemos que estar sólo al tanto de lo que se hace en el mundo más avanzado. Por otra parte cambian las prioridades sociales y económicas del país al cual tenemos que responder las Universidades que, como las nuestras, tienen vocación de servicio público. Asimismo, cambia el ambiente en que nos desarrollamos y el modo como nos conectamos con la actividad pública o la manera cómo generamos nuestros recursos, que ahora como todos saben, son menos del 50% de origen fiscal. También cambia el contexto cultural en el que se da la actividad universitaria y con ello las condiciones y posibilidades de nuestra acción en este importante campo.

Estas sustanciales modificaciones en el conocimiento, en las necesidades sociales, en el ambiente en que nos movemos, en la cultura que nos envuelve, generan tres órdenes de respuesta:

- En primer lugar, hay necesidad de identificar áreas sustantivas del conocimiento que es necesario desarrollar, y naturalmente cuáles se hace necesario dejar de lado. Se trata de una reconversión de nuestras prioridades académicas, la que ahora debe considerar los distintos cambios a los cuales se debe responder.
- En segundo lugar, es necesario establecer formas organizacionales y administrativas distintas a las habituales, para movernos en el ámbito económico y político en que ahora nos desenvolvemos, que sin duda, es distinto al que teníamos 20 ó 30 ó 50 años atrás.
- En tercer lugar, hay que cambiar culturas organizacionales, es decir, el modo cómo nuestras instituciones perciben su trabajo y el entorno y sus conductas concretas en el hacer cotidiano. Ellas tienden a ser menos activas de lo que es indispensable para enfrentar el mundo actual, por lo que requieren evolucionar. Eramos, y a veces somos demasiado pasivos respecto a la búsqueda y encuentro, desde ideas a recursos.

Lo que ahora quisiera mostrar es por qué para nosotros este simposio y la fundación del Centro de Estudios Altiplánicos es tan importante. Porque, sin duda, responde bien a la primera de las necesidades más arriba, la propiamente académica. Así ¿nos los estudios Altiplánicos importantes? Respondemos que sí, y hay varias razones para eso.

Una primera razón es de carácter geopolítico. Allí confluyen tres países del continente, tres países limítrofes de Chile, tres países con los cuales no sólo necesitamos, sino que debemos y nos gustaría tener muy buenas relaciones. Es urgente, entonces, que el Altiplano, recupere su condición de espacio común para latinoamericanos a través de generar un centro de relaciones, ahora científicas, docentes e intelectuales.

Desde el punto de vista geopolítico entonces, este nuevo renacer de América Latina es un tema importante, pero también lo es desde el punto de vista científico. Ahí hay cuestiones trascendentales que aluden a la vida de las comunidades humanas antiguas y presentes que poblaron la región, y las posibilidades económicas y técnicas de los bofedales. Los especialistas en alguna forma de biología de plantas con interés en biodiversidad encuentran ahí un campo importante para sus quehaceres.

También hay necesidades de un conocimiento por urgencias prácticas. Los tres países y por supuesto Chile, también requieren saber más de lo que es la medicina de altura. Tenemos minas que están funcionando a 4.000 o 4.500 metros de altura, hay seres humanos que no son aymaras que trabajan en ambientes a los cuales no están acondicionados. Necesitamos conocer más su fisiología. También necesitamos conocer más el régimen hidrológico de esas regiones, para no destruirlas. ¿De qué manera el uso de las aguas por las empresas mineras efectivamente genera una pasajera riqueza minera y una definitiva pobreza ambiental? O qué pasa con los grupos de personas que ahí, siendo chilenos, peruanos o bolivianos, no se declaran ni chilenos, ni peruanos, ni bolivianos, sino que se declaran aymaras.

Por otra parte a esta búsqueda de la Universidad moderna, destinada a encontrar temas distintos y novedosos, se agrega la urgencia de desarrollar nuevos mecanismos desde un punto de vista organizacional y de gestión. Es claro que todos los problemas que ahora parecen trascendentes ya no son tan disciplinarios como eran hace algunos años. Todo aquello que más atrae nuestra atención, que más estimula nuestra indagación resulta ser multidisciplinario o multifacultad, como diríamos de la organización que nosotros tenemos actualmente. Esto aún implica un importante desafío a las formas como administramos las Universidades, como organizamos las relaciones entre las diversas unidades y como financiamos proyectos de características inhabituales, que se hacen cada vez, y valga el contrasentido, más frecuentes.

En una palabra, los estudios altiplánicos requieren nuestra atención no sólo porque son científicamente trascendentes o geopolíticamente importantes. También estimulan los necesarios cambios que las Universidades deben hacer en su interior y en sus relaciones con otros cuerpos empresariales académicos y científicos.

ACUERDOS Y CONCLUSIONES

ACUERDOS Y CONCLUSIONES

En la Reunión Plenaria de Clausura del **II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos** se alcanzaron los siguientes acuerdos y conclusiones:

La masiva participación que ha tenido este Simposio demuestra el gran interés existente en el tema del Altiplano, tanto de parte de las Universidades más representativas del país y de la región y de sus académicos, como de instituciones nacionales y regionales. Esto quedó también demostrado con la presencia de numerosos miembros de Universidades e instituciones de investigación científica provenientes de países altiplánicos y no-altiplánicos.

- Es indispensable continuar el desarrollo de cada una de las disciplinas consideradas en este Simposio, con el máximo carácter interdisciplinario a fin de obtener resultados de mayor alcance y significación.
- Del mismo modo, la repartición política del Altiplano obliga a considerar a esta región como un patrimonio compartido, cuyos problemas deben ser necesariamente abordados de manera compartida, es decir, que los estudios que se emprendan deben tener, además del carácter interdisciplinario ya mencionado, una clara integración con las demás naciones que comparten el Altiplano.
- La iniciativa de la Universidad de Chile de crear un Centro Internacional de Estudios sobre esta región y de organizar en conjunto con la Universidad de Tarapacá este Segundo Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, no sólo pone en evidencia que existen maneras de establecer eficientes vinculaciones interuniversitarias, sino que sirve de modelo para este tipo de relaciones y resfuerza el concepto arriba expresado de la integración a nivel regional e internacional.
- Se ha puesto en evidencia la ausencia de vinculación que existe ente los investigadores y los organismos relacionados con la definición y toma de decisiones de políticas nacionales o regionales de desarrollo. La escasa o nula presencia o participación de los científicos en estos niveles, debe servir de llamado de atención para que en el futuro la orientación de sus estudios o bien los resultados o conclusiones que extraigan de ellos permitan ofrecer elementos o ideas útiles para las instituciones encargadas de proponer esas políticas. Es, en cierto modo, un deber de los investigadores dar a conocer a esas instituciones los resultados de sus investigaciones que puedan ser de interés para esas instituciones.
- La calidad de este Simposio ha quedado reflejada en el alto nivel de la mayoría de las presentaciones orales y de la Sesión de Posters. Se destaca la existencia de una buena capacidad científica y tecnológica para continuar y mejorar las actividades en torno a los problemas que plantea el Altiplano, tanto en su condición de ecosistema frágil, de región en gran medida sostenedora o proveedora de recursos para las regiones bajas adyacentes, como de región que ofrece posibilidades de resolver grandes problemas científicos básicos, aunque con claras implicaciones prácticas, como la aclimatación a la altura, sus efectos sobre el clima y la comprensión de los fenómenos vinculados con su alzamiento.
- Se concluye la necesidad de continuar con este tipo de reuniones de carácter integrador y con mesas redondas sobre ciertos temas específicos en distintas localidades de la región altiplánica.
- En todas las Areas Temáticas del Simposio surgieron aspectos que requieren de especial dedicación. Entre ellos están los siguientes:
 - Necesidad de revisar los planteamientos generales de la preservación del ambiente,
 - Definir con precisión el rol de las especies en el ecosistema,
 - Conocer las características geofísicas de la corteza en la región altiplánica,
 - Precisar la cronología de la evolución geológica y del alzamiento del Altiplano,
 - Definir las propiedades de las plantas aromáticas de la región,
 - Iniciar estudios sistemáticos sobre la distribución y caracterización de los suelos en el Altiplano,
 - Definir pautas para una legislación relativa al uso del agua y del suelo,
 - Estudios de adaptación fisiológica a cambios de altitud intermitentes,
 - Necesidad de crear una base de datos con toda la información disponible sobre el Altiplano.

HOMENAJE AL GEOLOGO PROFESOR
JUAN VARELA BARBAGELATA
(1938-1993)

HOMENAJE AL GEOLOGO PROFESOR JUAN VARELA BARBAGELATA (1938- 1993)

El fallecimiento del Geólogo Profesor Juan Varela Barbagelata, quién participara en este evento con una ponencia vinculada con los recursos geológicos y edafológicos del territorio andino que nos preocupa, repercutió rápidamente en el medio geocientífico y arqueológico chileno. Es que, para los más cercanos colegas y amigos esta ausencia fue inesperada y en todo sentido absurda. Su vacío sigue recorriendo este país a su largo y ancho en donde la problemática del Cuaternario, la geología de los impactos ambientales, y los contextos sedimentológicos de los antiguos escenarios paleoindios, lo reclaman como el que más profundamente había logrado jerarquizar esa geología de los tiempos más recientes, pero no por ello menos delicada y compleja.



Nadie podrá dudar de su rigor y sobriedad, cercano al de un hombre de misión, con que el Profesor Varela marcó todos los actos de su vida. Hijo de familias italianas arribadas al puerto de Iquique, a raíz de su antigua prosperidad comercial, huérfano de padre muy tempranamente, aprendió a establecer las diferencias exactas entre la comodidad de la enseñanza particular y la popular Escuela Primaria Domingo Santa María. Desde aquí inició el clásico recorrido de la clase media chilena de ese entonces, del liceo estatal al bachillerato auspicioso y de allí a la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Chile, de donde se escapó en un día memorable abrumado por su escaso talento creativo o "artístico..." Su duda razonable entre Arquitectura y Geología, que le preocupara desde su primera juventud, vino a resolverse cuando ya cursando el primer año, con la orientación magnífica del Maestro-Fundador Don Humberto Fuenzalida, se sintió cómodo y en lo suyo como si la Geología hubiera sido siempre su contraparte natural. Esta relación tan bien dispuesta venía avanzando desde su adolescencia cuando practicaba el arte de los andarines, a través de su Club de Exploradores "Huracán", a partir del cual toda la comarca tarapaqueña la recorrió escalando y tragando desierto con una mochila hecha a mano .

Se le veía los fines de año ausentarse de los célebres prados del Pedagógico, martillo en mano, subiendo con motoneta hacia los estratos marinos del interior de Iquique... Era así, una sabia mezcla de silencio y de acción que lo llevó desde la más humilde ayudantía de su Escuela, esta vez ya en la Plaza Ercilla, hasta constituirse en uno de los profesores más queridos del Maestro Fuenzalida, en cuyo escritorio heredado Juan solía recordarlo con admiración y cariño.

El hecho de que compartiera tantos años de convivencia con el arqueólogo de esta nota, logró interesarlo por esta disciplina y por cierto a nosotros en la suya. Fue así que buscamos el cómo llevar a los escritos científicos esa singular combinación empírica que practicábamos en la vida cotidiana, en los estudios formales que cruzábamos para saber si efectivamente comprendíamos nuestras respectivas "materias".

Es fácil imaginar que recién egresados de la Universidad de Chile, el año 1962, acampamos en la cuenca del Seneral, enterrados en la arena, para amanecer en el medio de un taller lítico prehistórico junto a los cerros con esos enormes geoglifos que descubriríamos desde los sacos de dormir. Allí reconstituimos el medioambiente antiguo con la presencia de antiguos cazadores. Siguiendo el rol de las cuencas antiguas con recursos de agua y sus ocupaciones llegamos al Salar de Huasco el año 1965, con vehículos prestados, en donde todos los talleres líticos estaban aún intactos. Por otra parte, por el año 1966 recorrimos el litoral desértico, tras una hipótesis que conocíamos desde niños: los sitios arqueológicos costeros se concentran en torno a vertientes antiguas cuyos orígenes geológicos desconocíamos.

Cuando comenzó a escribir su tesis profesional, tras su interminable estudio de la cuenca de Tagua Tagua, tenía en mente toda la experiencia sustancial recogida allí durante la primera excavación multidisciplinaria (asociación finipleistocénica entre cazadores y mastodontes). Conducida por sus amigos Julio Montané (Arqueólogo), Rodolfo Casamiquela (Paleontólogo) y Rómulo Santana (Geomorfólogo). Como era de esperar, esta problemática era demasiado fascinante como para no continuarla en otras cuencas de Chile Central. Así juntos, el año 1978, terminamos el trabajo de campo en Los Vilos - Quereo (asociación finipleistocénica entre cazadores y caballos americanos), generándose aquí varios artículos multidisciplinarios coautorados con el paleontólogo Casamiquela.

De Quereo fue necesario volver al yacimiento de Tagua Tagua, dónde el año 1990, terminamos una primera etapa de campo con el registro de un nuevo sitio de caza de mastodontes, cuyos resultados editados no alcanzó a conocer, pero si logró aportar sus datos que expusimos en una conferencia dictada durante el Congreso de Arqueología de Temuco, oportunidad en que todo el equipo nos acompañaba en plenitud: R. Casamiquela, V. Schiapaccasse y H. Niemeyer F.

En el transcurso del proceso de investigación, ya con datos más concretos, expusimos nuestra última ponencia sobre Tagua

Tagua en el Simposio sobre el Cuaternario que organizó Carolina Villagrán el año 1993. Una guía impresa coautoreada fue nuestro penúltimo escrito, aunque los últimos aún están por publicarse y por cierto que tendrán que ver con Tagua Tagua y el Proyecto Puripica (FONDECYT 1930022) en el que, como coinvestigador, junto a M. Grosjean e I. Cartagena, alcanzó a muestrear y analizar en una grabación la columna estratigráfica del Holoceno Medio asociada a campamentos arcaicos aún a escasos días previos a su fallecimiento. Le correspondió a Mario Pino su discípulo y amigo, concluir su trabajo en Puripica en un gesto propio de antigua hermandad y reconocimiento al Maestro.

En verdad, Juan fue uno de los primeros académicos jóvenes, recién egresados de la Escuela de Geología reclutados por Don Humberto Fuenzalida para formar su equipo docente. Su tarea era enseñar Sedimentología y hacerse cargo del recién instalado Laboratorio de Sedimentología, actividades que mantuvo hasta su partida.

Basta una mirada a su evolución académica para reconocer en él a un investigador con una muy sólida preparación en su campo. La actividad docente que realizó a lo largo de los años en el Departamento de Geología es ilustrativa del desarrollo progresivo de sus conocimientos y habilidades. Estas incluyeron desde la Sedimentología y la Petrología Sedimentaria, su punto de partida, hacia otras áreas como la Petrografía Microscópica, la Geomorfología y la Fotogeología. Estas dos últimas completaron el espectro necesario para transformarse en el especialista más connotado en la problemática Geología del Cuaternario. Algunos años dictó, así mismo, los cursos de Geología Marina y Geología General. Esa amplia formación le permitió realizar las destacadas contribuciones que le conocemos hasta ganarse el prestigio que adquirió en los diversos ámbitos hacia donde lo llevaron su capacidad y sus inquietudes científicas.

La versatilidad de Juan no sólo le permitió combinar su talento geológico y sus grandes conocimientos en Sedimentología, Geomorfología y Geología del Cuaternario con la Arqueología, sino que le permitió hacer lo mismo con disciplinas geológicas muy diversas como la Geología Ambiental y el Riesgo Geológico. Sus conocimientos y el reconocimiento que adquirió en la comunidad científica nacional lo llevaron a ser el geólogo que probablemente ha participado en más proyectos de investigación y estudios en disciplinas no geológicas, como Hidrología, Arqueología, Edafología, Ingeniería y Sismología. Su participación, en forma simultánea, en proyectos sobre Geología del Cuaternario, Arqueología y Suelos, demuestra el gran entusiasmo que tenía por su trabajo y su notable espíritu de colaboración y participación multidisciplinaria.

En el último año con nosotros "Juanito", como todos le decían con cariño en el Departamento, se hizo cargo de la Sección de Geología Ambiental, integrada por colegas de diferentes especialidades. ¿Quién mejor que Juan podía dirigir expertos en diversas líneas de investigación para dar respuesta a los complejos y variados problemas que nos deparan la contaminación ambiental y la protección del medio ambiente? Remontándonos ahora a más de 30 años, quién podrá dudar del ojo certero del Maestro Fuenzalida que lo eligió para integrar las filas de sus colaboradores en la gran empresa de formar a los geólogos del país.

En efecto, siempre lo percibimos en un ambiente de sumo respeto por su seriedad y responsabilidad, con señales inequívocas de su rigor profesional. Se quedaba en su oficina hasta muy tarde para cumplir con sus múltiples compromisos. Hombre de pocas palabras, pero amante de la compañía de sus amigos. Consultado sobre cualquier tema, tenía casi invariablemente una opinión basada en sus profundos y precisos conocimientos. Sus observaciones o comentarios a lo que observaba y escuchaba eran escuetos, a veces tajantes, pero de una agudeza y una oportunidad impresionantes. Nunca se le escapaban las inconsistencias en la argumentación de los demás, por muy leves que fueran. A menudo las "agarraba al vuelo" con algún comentario bañado con un dejo de fina ironía, del más puro estilo de Juan Varela...

El geólogo de esta nota no puede dejar de recordar el tiempo en que realizaba sus primeros pasos en investigación en una oficina contigua a la de Juan, ubicada en el zócalo de la Escuela de Geología. Allí en largas conversaciones sobre los problemas que iban surgiendo en el desarrollo del trabajo, Juan, con algunos años más de experiencia, siempre supo orientarnos con una buena respuesta, con un buen consejo, y siempre demostró tener un juicio orientador y acertado, propio del futuro maestro que ya se percibía en él.

Pasados los años, los rumbos de cada uno se fueron distanciando hacia intereses y actividades diferentes, y el tiempo se hizo más escaso y las obligaciones mayores, pero siempre fue grato pasar a visitarlo para intercambiar algunas palabras con él. Palabras que a veces se transformaban en larguísimas conversaciones sobre los más diversos temas que se iban enlazando con increíble facilidad. En ellas, se podían reconocer esas cualidades percibidas décadas atrás. Ahora, la profundidad de sus conocimientos y su claridad de espíritu se sentían enriquecidos por la experiencia y la amplia información que tenía sobre los más diversos aspectos.

La última reunión científica en la cual Juan participó fue el Segundo Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, del cual este volumen da cuenta, en él se cubrieron varias áreas de su interés: Geología, Edafología, y Arqueología. Esta fue, sin duda, una magnífica oportunidad para reencontrarse con muchos de sus amigos, varios de los cuales habían compartido algunas de sus aventuras científicas, y conocer a otros investigadores que se sintieron profundamente honrados de poder estar con él y escuchar sus autorizados planteamientos. Es por ello que nos parece que éste es un excelente lugar para rendir un homenaje a quién tanto admiramos en vida y cuya presencia en este Simposio jerarquizó el rol de las Geociencias en la problemática de las Tierras Altas del extremo norte del país.

Sin duda que no es fácil escribir un homenaje a un gran amigo y colega tan dilecto con quienes se compartió ciencia y conciencia, creciendo siempre académicamente juntos, sin darnos cuenta siquiera que llegaría algún día indeseado en que los mismos sedimentos que Juan tanto amó, lo llevarían hacia un "reino" subterráneo. Tenemos que aceptar que hemos sido privados de su talento, de su camaradería casi misteriosa, de sus gestos de plena inteligencia que no podía ocultar en esas marcas tan de él, dejando a nuestra generación con un profundo e irremplazable vacío.....

Dr. Lautaro Núñez A., Arqueólogo, Universidad Católica del Norte.

Dr. Reynaldo Charrier G., Geólogo, Universidad de Chile.

San Pedro de Atacama, Santiago de Chile, Julio de 1995

OBRA ACADEMICA DEL PROFESOR VARELA

ARTICULOS EN LIBROS Y REVISTAS

Núñez, L., Varela, J., 1961-1964. Un Complejo preagrícola en el Salar de Soronal (Cordillera de la Costa, Norte de Chile). Revista del Instituto de Antropología, Universidad de Córdoba, Tomos I y III, Argentina.

Fuenzalida, H., Günther, J., Varela, J., y Villaseca P., 1964. Catastro de las arenas de fundición de la zona de Santiago. Informe Técnico N° 8, IDIEM, Universidad de Chile, 135 p.

Fuenzalida, H. y Varela, J., 1964. Geología del Cenozoico de la región de Cartagena y San Antonio. Resúmenes, Sociedad Geológica de Chile, N° 6, 9a. Ses. (1963), p. 1-12, Santiago.

Varela, J., y Vicencio, R., 1965. Informe sobre los efectos del sismo acaecido en la provincia de Aconcagua el 28 de Marzo de 1965. Comunicaciones N° 9, Escuela de Geología, Universidad de Chile, 24 p., Santiago.

Núñez, L., y Varela, J., 1966. Complejo preagrícola en el Salar de Huasco (Prov. de Tarapacá). Estudios Arqueológicos, N° 2, p. 1-28, Universidad de Chile, Antofagasta.

Núñez, L., y Varela, J., 1966. Sobre recursos de Agua y Poblamiento prehispánico de la Costa del Norte Grande de Chile. Estudios Arqueológicos N° 3 y 4, años 1967-1968. Universidad de Chile, Antofagasta. p. 7-42.

Varela, J., 1977. Informe geológico preliminar en relación a las investigaciones interdisciplinarias que se llevan a cabo en Quebrada de Quereo-Los Vilos, Prov. de Choapa. Rev. Comunicaciones N° 21, Depto. de Geología, Universidad de Chile.

Varela, J., 1981. Geología del Cuaternario del área de Los Vilos-Ensenada El Negro (IV Región) y su relación con la existencia del bosque relicto de Quebrada Quereo. Rev. Comunicaciones N° 33, Depto. de Geología, Universidad de Chile.

Núñez, L., Varela, J. y Casamiquela, R., 1981. Ocupación Paleoindio en Quereo (IV Región): Reconstrucción multidisciplinaria en el territorio semiárido de Chile. Boletín Museo Arqueológico de La Serena. Bol. 17, Diciembre 1981, p. 32-67.

Varela, J., 1981. Estudio Petrográfico de muestras de crisoles del valle de Copiapó. Anexo N° 1a. Dos tipos de crisoles prehispánicos del Norte Chico. Chile, por Hans Niemeyer. Bol. Museo Arqueológico La Serena, Chile. Dic. 1981, p. 92-109.

Varela, J., 1983. Estudio petrográfico de una muestra de sedimento submarino de Bahía Almirantazgo (Isla Rey Jorge, Antártica) y de una punta de flecha a la cual se le ha atribuido esa misma procedencia. Anexo 1 en Procedencia antártica inexacta de dos puntas de proyectil por Rubén Stehberg y Liliana Nilo. Instituto Antártico Chileno, Serie Científica N° 30.

Rojo, M. y Varela, J., 1983. Estudio preliminar petrológico y geoquímico por uranio y fósforo de las fosforitas de Bahía Inglesa (III Región). Comisión Chilena de Energía Nuclear, Revista Nucleotécnica, Año 3, N° 4.

Núñez, L., J., Varela, y R. Casamiquela, 1983. Ocupación Paleoindio en Quereo. Reconstrucción multidisciplinaria en el territorio semiárido de Chile. Imprenta Universitaria. Univ. del Norte, Antofagasta, Chile, 131 p.

Núñez, L., Varela, J., Casamiquela, R., y Villagrán, C., 1984. Reconstitución multidisciplinaria de la secuencia prehistórica de quebrada Quereo. Latin American Antiquity 5 (2): 99-118, USA.

Núñez, L., Varela, J. y Casamiquela, R., 1984. Los Cazadores pleistocénicos de Quereo. Revista Creces, Vol. 5, N° 3.

Stern, Ch., Amini, H., Charrier, R., Godoy, E., Hervé, F., y Varela, J., 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valley of the río Maipo and río Cachapoal (Chile) and the río Yaucha and río Papagayos (Argentina). Rev. Geol. de Chile, N° 23, p. 39-52.

Moreno, H., y Varela, J., 1985. Geología, volcanismo y sedimentos piroclásticos cuaternarios de la región central y sur de Chile!. Capítulo 6 Suelos volcánicos de Chile. Editor Juan Tosso. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), pp. 491-526.

Varela, J., y Moreno, H., 1985. Mapas geológicos y Cartas de Suelos. Mapas Anexos al libro Suelos volcánicos de Chile. Editor Juan Tosso, INIA 1985. Láminas a escala 1:250.000, 1/8 a 8/8.

Moreno, H., Thiele, R., Lahsen, A., Varela, J., López, L., y Vergara, M., 1986. Geocronología de rocas volcánicas cuaternarias en los Andes del Sur entre las latitudes 37 y 38°S, Chile!. Revista Asociación Geológica Argentina, XL (3-4), p. 297-299.

Moreno, H., Lahsen, A., Varela, J., Vergara, M., 1986. Edades K/Ar en rocas volcánicas cuaternarias del grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda, Andes del Sur, 37° 27' S. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Revista Comunicaciones, N° 36, p. 21-25.

Moreno, H., Lahsen, A., Thiele, R., Varela, J. y López, L., 1986. Edades K-Ar de rocas volcánicas cuaternarias en el área del Volcán Callaqui, Andes del Sur (38° S). Departamento de Geología, Universidad de Chile, Revista Comunicaciones, N° 36, p. 27-32.

Núñez, L., Varela, J. y Casamíquela, R., 1987. Ocupación Paleoindio en el Centro Norte de Chile: Adaptación circunlacustre en las tierras bajas. Universidad del Norte, Antofagasta, Revista Estudios Atacameños, Número Especial, Investigaciones paleoindias al Sur de la línea Ecuatorial, N° 8, p. 142-185.

Moreno, H., Lahsen, A. y Varela, J., 1988. Antecedentes cronológicos de eventos volcánicos y glaciales cuaternarios de la Cordillera Andina de la Provincia de Llanquihue, X Región. V Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones, N° 39, p. 128.

Varela, J. y Moreno, H., 1988. Cronología de eventos cuaternarios del área del Curso Medio del río Biobío situado al este de Mulchén (VIII Región). V Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones N° 39, p. 134.

Lahsen, A., Moreno, H. y Varela, J., 1988. Geocronología K-Ar de rocas volcánicas pleistocénicas de la zona cordillerana del río Biobío, Andes del Sur de Chile. V Congreso Geol. Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones N° 39, p. 146.

Chiu, D. y Varela, J., 1988. Depósitos de relleno cuaternario de la hoya del río Maipo comprendida entre las nacientes de los ríos Volcán y Yeso y San José de Maipo (Prov. Cordillera, Región Metropolitana). V Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones, N° 39, p. 121.

Copier, C. y Varela, J., 1988. Geología del relleno cuaternario de la hoya superior del río Maipo, aguas arriba de la localidad de Queltchues (Región Metropolitana). V. Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones, N° 39, p. 122.

López, A., Varela, J., Ayala, L. y Gómez, R., 1988. Geología de la hoya superior del río Maipo y su relación con el sedimento transportado en suspensión. V. Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, Rev. Comunicaciones N° 39, p. 126.

ARTICULOS EN CONGRESOS

Valenzuela, E., Varela, J., Sedimentology of submarine deposits from Bahía Chile, Greenwich Islands South Shetland Islands, SCAR/IUGS Symposium Oslo, Noruega. Antarctic Geology and Geophysics, Universitetsforlaget, Oslo 1972.

Varela, J., Quaternary Geology from Laguna de Tagua-Tagua, Chile. Preprint, First International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy, International Union of Geological Sciences, Tokyo, Japón, 1976.

Covacevich, V., Varela, J., Vergara, M., Estratigrafía y Sedimentación de la Formación Baños del Flaco al sur del Río Tinguiririca. Cordillera de los Andes. Provincia de Curicó, Chile. Actas Primer Congreso Geológico Chileno, 2-7 Agosto de 1976, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, p. A191-A211.

Varela, J., Geología del Cuaternario de Laguna de Taguatagua (Prov. de O'Higgins). Actas Primer Congreso Geológico Chileno, 2-7 Agosto de 1976, Depto. Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, p. D81 - D114.

Pino, M., Varela, J., Aplicación del Método de Datación por Hidratación de la Obsidiana al yacimiento Arqueológico de Laguna de Tagua-Tagua. Provincia de O'Higgins. Actas del VIII Congreso de Arqueología de Chile, Altos de Vilches, Talca. Octubre 1977, 25-52.

Lahsen, A., Varela, J., Campo profesional, disponibilidad, nivel y formación profesional de los Geólogos. Actas Seminario Nacional de Geología, M.A., Parada, Editor, Colegio de Geólogos de Chile, Santiago 1978, p. 159-172.

Varela, J., Investigaciones de Geología del Cuaternario relacionadas con Paleoindio en las zonas del Norte Chico y Zona Central de Chile. Trabajo presentado al Workshop Seminar on Paleoindian Technology in South America. 21-28 de Octubre de 1978. Antofagasta. Organizado por Smithsonian Institution, USA y Universidad del Norte, Chile. No publicado.

Varela, J., Geología del Cuaternario de la región de Quebrada Quereo. Los Vilos. Prov. de Choapa. IV Región. Actas II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile. Agosto 1979, p. I141-I159.

Marangunic, C., Moreno, H., Varela, J., Observaciones sobre los depósitos de relleno de la Depresión Longitudinal de Chile entre los ríos Tinguiririca y Maule. Actas II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile. Agosto 1979, p. 129-139.

Pino, M., Varela, J., Aplicación del Método de datación por hidratación de obsidiana al sitio arqueológico de Laguna de Taguatagua, Prov. de O'Higgins, VI Región. Actas II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile, Agosto 1979. p. 11-122 (Este trabajo es similar al presentado en el VIII Congreso Arqueológico Chileno de Alto de Vilches).

Varela, J., Arévalo, A., Gana, P., Análisis estadístico granulométrico aplicado a la determinación del ambiente de depositación de arenas del Cuaternario superior de Quebrada Quereo. Prov. Choapa. IV Región. Actas II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile, Agosto 1979, Tomo IV, p. J159-J176.

Varela, J., Investigaciones geológicas en relación al origen del bosque ¡relicto! de Quebrada Quereo. IV Región, Chile. Congreso Internacional de Estudio de Zonas Áridas y Semiáridas, PRIZAS, La Serena, Chile, Enero 1980.

Varela, J., Moreno, H., Los depósitos de relleno de la Depresión Central de Chile entre los ríos Lontué y Biobío. Actas III Cong. Geológico Chileno. Univ. de Concepción, Nov. 1982.

Moreno, H., Varela, J., Los depósitos de relleno de la Depresión Longitudinal de Chile entre los ríos Biobío y Toltén-Allipén. Actas III Cong. Geológico Chileno. Univ. de Concepción, Nov. 1982.

Varela, J., 1983. Evolución paleogeográfica de la zona comprendida entre Los Vilos y Quebrada El Negro (Prov. Choapa, Chile), durante el Cuaternario Superior. Congreso Internacional de Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas, PRIZAS, La Serena, Chile, Revista Terra Aridae, Vol. 2, Nº 1, p. 285-298.

Vergara, M., Lahsen, A., Moreno, H., Varela, J., Nuevos antecedentes para el estudio de la evolución petrológica del grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda. Actas IV Congr. Geológico Chileno, Antofagasta, Mayo 1985.

Varela, J., Moreno, H., Lahsen, A., Vergara, M., Los depósitos de relleno cuaternario del curso superior del río Laja (VIII Región). Actas V. Congr. Geológico Chileno, T. II, D159-D177, 1988.

Moreno, H., Varela, J., Depresión Central Santiago-Talca. Guía de Excursión IC3. V Congreso Geológico Chileno, 8 p., Agosto 1988.

Godoy, E., con la colaboración de Juan Varela, Chiu, D., y Rojas, L., Guía Excursión Intercongreso IC1, V Congreso Geológico Chileno, Cajón del Maipo, 12 p., Agosto 1988.

Astroza, M., Monge, J., Varela, J., Zonificación sísmica de la Región Metropolitana, V Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. 7-11 Agosto de 1989. Univ. Católica.

Valenzuela, L., Varela, J., Velasco, L., Corriente de Barro de Noviembre de 1987 en El Alfalfal, Chile. Primer Simposio Sudamericano de Deslizamientos. Paipa, Colombia, 7-10 Agosto de 1989 (en prensa).

OTROS TEXTOS

Juan Varela B. Capítulo Geología, en ¡Estudio Ecológico-Cuantitativo de la Fauna Hipogea en las Dunas de Concón-Quintero! por Vladimir Hermosilla y Roberto Murúa. Boletín de Producción Animal, Vol. 4, Nº 1-2, p. 69-102.

Juan Varela B. La Asociación de Geólogos de Chile. Revista Geochile, Vol. 1, Nº 1, p. 4-5, Septiembre 1968.

Juan Varela B. Capítulo Geología en "Estudios Ecológicos en el Archipiélago Juan Fernández" por Eduardo Zeiss y Vladimir Hermosilla. Boletín Museo Nacional de Historia Natural Nº 31, Abril 1971, p. 21-48, Imp. Taller Univ. Católica.

Juan Varela B. El Colegio de Geólogos de Chile. Revista Geochile, Nº 3, Agosto 1971, p. 6-7.

Juan Varela B. Estudio Estratigráfico-Sedimentológico de los depósitos de Laguna de Taguatagua. Prov. de O'Higgins. Memoria para optar al Título de Geólogo. Depto. de Geología, Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas, Univ. de Chile, Junio 1976, 200 p.

Juan Varela B., Sonia Vogel B. Estudio Sedimentológico de la Muestra Meniques Corral P-4. Apéndice I de Sitios arqueológicos de la Laguna Meniques por H. Niemeyer y V. Schiapacasse. Tomo Homenaje al Padre Gustavo Le Peige. Univ. del Norte, Chile, Diciembre 1976, p. 58-63.

Núñez, L., Varela, J., Casamiquela, R. y Villagrán, C., 1993. Sitio de matanza de Mastodontes en Chile Central. Resúmenes, Taller Internacional El Cuaternario de Chile y 53 Reunión Anual de Proyecto PICG 281: Climas Cuaternarios de América del Sur, Universidad de Chile, Santiago, p. 75.

Varela, J., Núñez, L. y Casamiquela, R., 1993. Geología del Cuaternario de la región Central de Chile entre Santiago y Laguna de Tagua-Tagua. Guía de Excursión, Taller Internacional El Cuaternario de Chile y 5a Reunión Anual del Proyecto PICG 281: Climas Cuaternarios de América del Sur, Editorial B y B, Santiago, 24 p.

Varela, J. y varios otros autores, 1993. El Cuaternario de los Lagos del Sur de Chile. Guía de Excursión, Taller Internacional El Cuaternario de Chile y 5a Reunión Anual del Proyecto PICG 281: Climas Cuaternarios de América del Sur, Editorial B y B, Santiago, 123 p.

APUNTES DOCENTES

Juan Varela B., Hernán Contreras M. y Walter Luzio. 15 guías para las prácticas de Geología General de la Esc. de Agronomía de la U. de Chile. 1966-1971.

Juan Varela B. Guías para las Ayudantías del Curso Geología General de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Chile. 1966-1971.

Juan Varela B. y Ernesto Pérez D'A. Guías para las Ayudantías del Curso Geología General GL-101 del Depto. de Geología de la Univ. de Chile. 1971-1973.

Juan Varela B. Cuadro de Clasificación textural y fichas de clasificación de sedimentos y rocas sedimentarias para el curso Petrografía Microscópica (GL-311) y Petrografía Sedimentaria (GL-413) 1974-1979-1981. Depto. de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Juan Varela B. Guías N°s 1,2,3,4, y 5 del Curso de Fotogeología (GL-520) sobre los Temas: Control de Visión Estereoscópica, uso de Fotos Aéreas, Análisis de Drenaje, Tomo Textura y Geomorfología. 1980-82-84. Depto. de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Juan Varela B. y Santiago Castro. Guías Nos 1, 2, 3, 4A, 4B 5, 6, 7, y 8 del curso Geomorfología (GL-408) sobre los Temas: Principios Fundamentales, Meteorización, Suelos, Remoción en masa. Actividad de los Ríos, Aguas Subterráneas, Hielo, Viento, Mar. 1982-84. Depto. de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Juan Varela, B. Bibliografía sobre métodos de laboratorio y análisis sedimentológico de sedimentos v/s ambientes de sedimentación. Curso Petrografía Sedimentaria GL-413. 1982-84. Depto. de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

MEMORIAS GUIADAS

- Profesor Guía de la Memoria: Estudio de los minerales pesados de los depósitos de arenas costeras entre Pichicui y Río Toltén (Paralelos 32º a 39º L.S.) por Javier Manterola C. Depto. de Geología (aprobada en Diciembre de 1979).
- Profesor Guía de la Memoria: Prospección y evaluación preliminar de minerales pesados en Depósitos Litorales del Norte de Chile (18º - 32º Lat. S.) por Pedro Ilabaca U., Depto. de Geología (aprobada en Diciembre de 1984).
- Profesor Guía de la Tesis: Estudio Sedimentológico del Estuario del río Queule, IX Región! por Carlos Rojas H., para optar al grado de Licenciado en Ciencias con mención en Geografía, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia (aprobada en Mayo de 1983).
- Profesor Guía de la Memoria: Definición de acuíferos y calidad química de las aguas subterráneas de los valles de Aconcagua, Ligua y Petorca (IV y V Región) por Carlos Parraguez. Depto. de Geología (aprobada en Junio de 1985).
- Profesor Co-guía (en conjunto con los Profesores Joaquín Monge y Maximiliano Astroza) de la Memoria: Estudio de los efectos del sismo del 31.03.85 en la zona costera de la VI Región, entre Santo Domingo y Pichilemu por Pedro González W., Depto. Ingeniería Civil, Univ. de Chile (aprobada, Diciembre de 1987).
- Profesor Co-guía (en conjunto con los Profesores Joaquín Monge y Maximiliano Astroza) de la Memoria: Estudio de los efectos del sismo del 3 de marzo de 1985 en la zona de Melipilla a Padre Hurtado y Calera de Tango por Carlos Sepúlveda S., Depto. Ingeniería Civil, Univ. de Chile (aprobada en Enero de 1989).
- Profesor Co-guía (en conjunto con los Profesores Joaquín Monge y Máximiliano Astroza) de la Memoria: Estudio de los Efectos del sismo del 3 de marzo de 1985 en la zona entre los ríos Tinguiririca, Teno y Mataquito por Hernán Silva Bórquez, Depto. Ingeniería Civil, Univ. de Chile (aprobada en Enero de 1989).

INFORMES INEDITOS

Estudios de terreno y gabinete realizados por Juan Varela han dado lugar a aproximadamente unos 85 informes inéditos. De estos se indican a continuación los más relevantes:

Varela, J., 1959. Columna litológica del pozo Sauquecito de la Dirección de Riego (Matilla). (Informe solicitado por la Empresa Nacional del Petróleo, Iquique). Enero 1959.

Varela, J., 1960. Descripción de muestras de rocas ígneas prejurásicas, precretácicas y postcretácicas (Norte Grande). (Informe solicitado por la Empresa Nacional del Petróleo, Iquique). Marzo 1960.

Varela, J., Cañas, J., Fuenzalida, R. y Davis, S. 1962. Report on the investigations of sedimentological techniques used in works with the contract with the Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). Report N° 2, Sedimentology Laboratory, Depto. Geology, Junio 1962.

Fuenzalida, H., Varela, J. 1963. Estudio de los Macrofósiles de la arenisca de Springhill en el área de Cerro Sombrero. Tierra del Fuego. Informe N°10, Lab. de Macropaleontología, Contrato con Empresa Nacional del Petróleo (ENAP).

Varela, J., Oyarzún, J. 1964. Informe Final sobre la arenisca Springhill. Informe N°5 Laboratorio de Sedimentología, Contrato con Empresa Nacional del Petróleo (ENAP).

Varela, J., 1973. Manual sedimentológico de obtención y procedimiento de muestras submarinas. Informe presentado al Comité Coordinador de Oceanología de la Universidad de Chile durante las III Jornadas oceanológicas de la Univ. de Chile, realizadas en Arica, Mayo 1973.

Hervé, F., Godoy, E., Parada, M.A., y Varela, J., 1984. Estudio Petrográfico microscópico de muestras del Seno Otway, península de Bruswich (solicitado por ENAP). Noviembre de 1984.

Valdivia, M.S., Varela, J., 1984. Estudio Petrográfico de siete muestras de agregados para hormigones provenientes de la V, VIII, X y Región Metropolitana (solicitado por IDIEM), Julio 1985.

Chiu, D., Varela, J., 1985. Informe Geotécnico de agregados para concreto en muestras de arenas y gravas de la zona de Canutillar (X Región) (solicitado por ENDESA), Noviembre de 1985.

Moreno, H., Thiele, R., Lahsen, A., Varela, J., López, L., 1984. Estudio Geológico del Grupo Volcánico Antuco-Sierra Velluda. Contrato 01CB-03, ENDESA, Depto. de Geología, Univ. de Chile.

Thiele, R., Hervé, F., Parada, M.A., Godoy, E., Varela, J., 1985. Estudio Geológico Estructural Regional Tectónico. Escala 1:100.000, Proyecto Central Canutillar. Informe Final. Contrato 01CB06C, ENDESA, Mayo 1985.

Moreno, H., Varela, J., Lahsen, A., López, L., Munizaga, F., Sepúlveda, C., 1985. Geología y riesgo volcánico del volcán Osorno y Centros Eruptivos Menores ubicados al norte del paralelo 41° 20'. Escala 1:50.000. Informe Final contrato 01CB-06C. ENDESA, Julio 1985.

Varela, J., 1985. Estudio Geológico-Geomorfológico de los depósitos de relleno cuaternario del área de El Colorado, Colbún, VII Región. Escala 1:10.000 (solicitado por ENDESA al Depto. de Geología). Enero 1986.

Varela, J., 1986. Estudio Geológico-Estratigráfico de subsuperficie, de los rellenos cuaternarios de la zona del Pretil El Colorado, Colbún, VII Región (solicitado por ENDESA al Depto. de Geología). Enero 1986.

Varela, J., 1986. Estudio Geológico-Estratigráfico de subsuperficie, Fase 2, de los rellenos cuaternarios de la zona del Pretil El Colorado, Colbún, VII Región (solicitado por ENDESA al Depto. de Geología), Julio 1986.

Thiele, R., Lahsen, A., Moreno, H., Varela, J., Vergara, M., Munizaga, F., 1987. Estudio Geológico regional a escala 1:100.000 de la Hoya Superior y Curso Medio del río Bío-Bío (Convenio OICP-8601, ENDESA), Marzo 1987.

Moreno, H., Varela, J., Thiele, R., 1987. Estudio Geológico Regional a escala 1:50.000 del curso medio del río Bío-Bío (Convenio OICP-8601 ENDESA), Abril 1987.

Varela, J., Thiele, R., Moreno, H., 1987. Estudio Geológico a escala 1:10.000 del área del Proyecto Ralco (Convenio OICP-8601, ENDESA) Abril 1987.

Varela, J., Thiele, R., Moreno, H. 1987. Estudio Geológico a escala 1:10.000 del área del Proyecto Pangué (Convenio OICP-8601, ENDESA), Abril 1987.

Varela, J., Moreno, H., Thiele, R., 1987. Estudio Geológico a escala 1:10.000 del área del Proyecto Aguas Blancas (Convenio OICP-8601 ENDESA) Abril 1987.

Varela, J., Moreno, H., Thiele, R., 1987. Estudio Geológico a escala 1:19.000 del área del Proyecto Huequecura (Convenio OICP-8601 ENDESA) Abril 1987.

Chiu, D., Varela, J., 1985. Estudio Petrográfico de una muestra de agregado para hormigón provenientes de la II Región. Antofagasta. (Solicitado por IDIEM). Noviembre 1985.

Varela, J., Chiu, D., 1986. Descripción petrográfica microscópica y consideraciones acerca del origen de 21 muestras de la zona de Magallanes (solicitado por ENAP). Enero 1986.

Varela, J., 1986. Estudio Geológico-Geomorfológico de los depósitos de relleno cuaternario del valle del río Las Leñas en el sector de Laguna del Yeso-Los Borbollones, VI Región (solicitado por CHILECTRA GENERACION). Junio 1986.

Varela, J., 1988. (Investigador Principal) y Alejandro López (Investigador Alterno), Informe Final Proyecto 0129 de FONDECYT Caracterización Geológica Sedimentológica de Cuencas Andinas y su relación con la Producción y Transporte de Sedimentos Fluviales. Mayo 1988.

**PRESENTACIONES AL
SEGUNDO SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTUDIOS ALTIPLANICOS**

AREAS:

CIENCIAS DE LA TIERRA Y MINERIA

CLIMA Y RECURSOS HIDRICOS

ECOSISTEMAS ACUATICOS

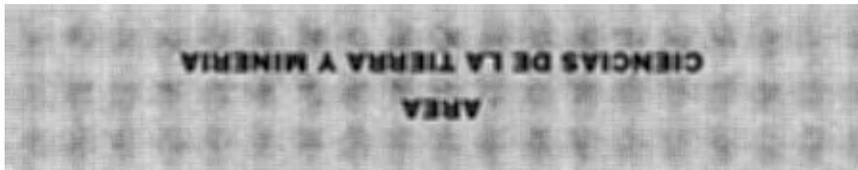
RECURSOS EDAFICOS

FLORA ALTIPLANICA

FAUNA ALTIPLANICA

ANTROPOLOGIA

BIOMEDICINA Y FISILOGIA DE ALTURA



CIENCIAS DE LA TIERRA Y RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS EN EL ALTIPLANO CHILENO

REYNALDO CHARRIER

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS,
UNIVERSIDAD DE CHILE, CASILLA 13518, CORREO 21, SANTIAGO, CHILE.

RESUMEN

El Altiplano-Puna es un elemento orográfico de la Cordillera de los Andes ubicado en el sector arqueado de esta cadena (Codo de Arica o de Santa Cruz). Es, con el Tibet, una de las mayores mesetas elevadas de la Tierra. Alcanza en promedio los 3.700 metros sobre el nivel del mar y tiene cerca de 300 km de ancho y 1.500 km de largo. Se extiende entre los 15° y 27° de latitud S, desde la región de Ayacucho, Perú, hasta Copiapó, Chile. La historia geológica de la región altiplánica chilena cubre un rango de unos 1.000 millones de años (Ma). Es una historia larga y compleja, típica de un borde continental activo. Las rocas más antiguas, entre hace 1.000 Ma (Precámbrico) y unos 230 Ma (Triásico Superior), tienen escasa representación y la historia de ese período está poco conocida. La historia posterior (Mesozoico y Cenozoico) se caracteriza por el desarrollo de sucesivos cordones volcánicos que se desplazaron sucesivamente hacia el Este y cuencas sedimentarias en su borde oriental, en algunas de las cuales se generaron hidrocarburos. La historia del Altiplano como bloque elevado se remonta a los últimos 25 millones de años de esta historia. En ese momento fuertes presiones de la placa oceánica de Nazca habrían forzado al bloque altiplánico a elevarse cabalgando hacia el Este y el Oeste las rocas adyacentes mediante dos sistemas divergentes de fallas inversas. Una actividad volcánica explosiva generó una extensa y gruesa cubierta de cenizas (Fm. Oxaya) sobre la cual se desarrollaron los numerosos volcanes que confieren al Altiplano su característico paisaje. Los recursos mineros del Altiplano chileno son de tipo metálico (yacimientos epitermales de Cu, Au, Ag, asociados a la actividad volcánica) y no-metálicos (Azufre, también asociado al volcanismo) y sales (boratos, sal gema, yeso) y elementos químicos Litio, Boro, Tierras Raras), concentrados en los salares. Los recursos energéticos son: Energía geotérmica, en las surgencias de aguas termales, y petróleo, localizado bajo el Altiplano. La existencia de yacimientos de Cobre Porfírico como Chuquicamata no se excluye; sin embargo, estos se encontrarían debajo de la gruesa cubierta de cenizas de Fm. Oxaya, lo cual hace casi imposible su reconocimiento. El cabal conocimiento de la historia geológica del Altiplano, de las implicaciones que tiene para el clima y la vida, el desarrollo y la presencia de un bloque montañoso de la magnitud del Altiplano, y los diferentes tipos de recursos explotables que contiene y los efectos ecológicos que su explotación puede acarrear, requieren de una intensa investigación interdisciplinaria. Esta, por la repartición política del territorio altiplánico, tendrá sentido solamente si logra adquirir un carácter internacional.

ABSTRACT

The Altiplano-Puna is an orographic unit located in the arcuated central part of the Andean range. It is with the Tibet one of the highest plateaus on Earth. Its average altitude is near 3,700 m and is approximately 300 km wide and 1,500 km long. It extends between 15° and 27° South latitude, that is, between Ayacucho, in Perú, and Copiapó, in Chile. The geological evolution of this region covers a time span of more than 1,000 million years (Ma). It is a long and complex history characteristic for an active continental margin. The oldest rocks, with ages between 1,000 (pre-Cambrian) and 230 Ma (Late Triassic), are scarcely exposed and the evolution of this time span is difficult to reconstruct. The younger Mesozoic and Cenozoic history is characterized by the development of successive volcanic arcs that gradually shifted eastward and of backarc basins located to the East of the arcs. The Altiplano began to develop during the last 25 Ma of this evolution. At this moment strong stresses associated to the subduction of the Nazca Plate below the continental margin caused the gradual uplift of the Altiplano block. This process was facilitated by the upthrusting of the Altiplano over the adjacent rocks along systems of faults located at its sides. An explosive acidic volcanic activity formed a thick and extended ash cover (Oxaya Fm.), that built the flat Altiplano surface. On this surface developed the characteristic volcanoes of the Altiplano landscape. The mining resources of the Altiplano are metallic ores (Cu, Au, Ag epithermal ore deposits associated to the volcanic activity) and non-metallic resources like Sulphur (also associated to the volcanic activity) and different kinds of salts (borates, gypsum, common salt) and chemical elements (Borium, Lithium, and Rare Earth Elements) concentrated in the salars. The known energetic resources are Geothermal Energy, associated to hot spring activity, and Petroleum, deep below the Altiplano surface. The existence of big porphyry copper deposits like Chuquicamata are not excluded in this area. However, if present, they should be found at rather deep levels below the thick ash cover of the Oxaya Fm. The accurate knowledge of the geological evolution of the Altiplano, of the implications of the existence of the Altiplano on the climate and on the development of life, of the different exploitable resources, and of the environmental effects that this exploitation might cause, is only possible if an intensive interdisciplinary and international research activity is developed.

INTRODUCCION

El Altiplano, motivo central de este simposio, es un elemento orográfico, cuyo origen debe buscarse en complejos fenómenos geológicos ocurridos en esta región durante los últimos 25 millones de años. Todos los temas que se analizan en este volumen, se trate de los aspectos físicos del Altiplano o de los aspectos antropológicos, pasando por el clima, la fauna, la flora y los recursos naturales, deberán tomar en cuenta el hecho esencial que nos encontramos en una planicie que se elevó gradualmente hasta cerca de los 4.000 m sobre el nivel del mar.

El objetivo de este artículo es, por lo tanto, no sólo presentar los aspectos relacionados con el área de las Ciencias de la Tierra, sino también servir de introducción general a las demás áreas temáticas de este volumen, o sea, definir el entorno geográfico y geológico de la región altiplánica. Deseo, además, exponer los aspectos esenciales de la geología del Altiplano y su formación, así como referirme a los posibles recursos mineros y energéticos de la región y destacar los posibles nexos que existen entre las Ciencias de la Tierra y las demás disciplinas que participarán en este simposio.

MARCO GEOGRAFICO Y GEOLOGICO

En la superficie terrestre existen regiones donde se produce una ruptura y separación de bloques de corteza o placas y regiones donde los bloques de corteza se acercan o convergen y chocan o colisionan (Fig. 1). Las primeras corresponden a las dorsales oceánicas, mientras que las cadenas de montañas se forman en las regiones de convergencia. En estas regiones de

convergencia pueden chocar dos bloques o placas de corteza continental, como en el caso de los Himalayas, o bien chocar una placa de corteza oceánica con una de corteza continental. Esto último es lo que ocurre en el borde occidental de América del Sur y que da origen a la Cordillera de los Andes. Esta región, además de los fuertes relieves, se caracteriza por intensas actividades sísmica y volcánica.

En el borde occidental de América del Sur convergen la Placa Sudamericana, más gruesa y más liviana, y la Placa Oceánica de Nazca, más delgada, pero más densa o pesada, que se hunde bajo la otra. Esta situación determina, por una parte, la existencia de profundas depresiones como la fosa oceánica, de Atacama o de Perú-Chile, de casi 7.000 m de profundidad, y, a pocos kilómetros, el desarrollo de notables relieves, que alcanzan frecuentemente a más de 6.000 m sobre el nivel del mar, y, por otra parte, genera una intensa actividad sísmica y volcánica (magmática), asociada a la cual se originaron importantes cuerpos mineralizados.

El Altiplano se ubica en el borde occidental del continente Sudamericano y forma parte de la Cordillera de los Andes. Se encuentra en el sector de la cadena denominado Andes Centrales y precisamente en el sector arqueado de esta cadena, que se denomina Codo de Arica o de Santa Cruz (Fig. 2).

El Altiplano es uno de los rasgos orográficos más destacados del cordón andino. Este elemento de la cadena, que compartimos Argentina, Bolivia, Chile y Perú, al igual que la Cordillera de la Costa, en las zonas norte y central de Chile, o las Cordilleras Occidental, Central u Oriental, en Colombia, es desde el punto de vista geológico una Unidad Morfoestructural. Esto significa que se trata de una unidad de morfología o relieve u orográfica, diferenciable de otras unidades contiguas, separadas entre sí por estructuras geológicas mayores, generalmente grandes fracturas o fallas, y que es de origen estructural o deformacional.

Existen en los Andes Centrales, como en el resto de la cadena andina, numerosas unidades morfoestructurales (Fig. 2). Una sección a través de los Andes Centrales permitiría reconocer de Oeste a Este: La Cordillera de la Costa, la Depresión Central, el Altiplano con el cordón volcánico en su borde occidental o Cordillera Occidental, la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas.

El origen del Altiplano por su ubicación en la cadena andina está estrechamente relacionado con el origen de esta cordillera. Aquí ocurrieron una serie de complejos fenómenos, muchos de ellos aun poco comprendidos, que dieron origen a los Andes. La existencia, en esta región de los Andes Centrales, de este imponente elemento geográfico pone en evidencia que estos fenómenos han tenido aquí mayor intensidad que en otros sectores, o bien, que aquí han tenido lugar fenómenos que no han ocurrido en el resto de la cadena andina.

El Altiplano, incluyendo la Puna, es con el Himalaya una de las mayores mesetas o plateaus de la Tierra. Es una inmensa altiplanicie o llanura elevada, que se encuentra a un promedio de 3.700 metros sobre el nivel del mar. Tiene cerca de 300 km de ancho y unos 1.500 km de largo. Se extiende desde los 15° hasta los 27° de latitud sur, o sea, desde la región de Ayacucho, en Perú, hasta cerca de Copiapó, en Chile (Fig. 2).

En la superficie del Altiplano se encuentran extensas depresiones: Salares o cuencas endorreicas hacia el Sur, formados bajo condiciones climáticas áridas con gruesas acumulaciones evaporíticas, salinas, como los salares de Arizaro, Uyuni, Coipasa y Surire, y enormes lagos hacia el Norte, como el Poopo y el Titicaca.

La Cordillera Occidental corresponde al cordón volcánico andino. Tiene unos 100 km de ancho y está formada por volcanes activos y volcanes extinguidos subcrecientes, algunos de los cuales alcanzan alturas de más de 6.500 m, edificados sobre la superficie plana de la parte oeste del Altiplano. Los volcanes más jóvenes y activos se ubican principalmente a lo largo del límite internacional (Fig. 2).

Para comprender las magnitudes de esta masa cordillerana señalaremos que una sección o perfil de la Cordillera de los Andes en la región central de Chile, entre Valparaíso y Mendoza, tiene un área de 500 km cuadrados, en cambio una sección de la cordillera entre Arica y Santa Cruz tiene 1.800 km cuadrados.

ORIGEN DEL ALTIPLANO

La formación de una cadena de montañas como los Andes es un proceso muy complejo y su comprensión cabal es prácticamente imposible. Explicar, además, en algún sector de ella la existencia de una masa elevada de la magnitud del Altiplano es aún más difícil. Significa comprender una serie de situaciones presentes y pasadas. Por un lado, es necesario conocer una serie de acontecimientos ocurridos en el transcurso de las últimas decenas de millones de años y, por otra parte, conocer la masa del Altiplano, o sea, las variaciones de densidad en la horizontal y en la vertical, el espesor de la corteza en la región, las variaciones de gravedad, temperaturas, el régimen de fuerzas que está actuando, velocidad del acercamiento entre la placa de Nazca y América del Sur, ángulo con que se hunde la Placa de Nazca bajo el continente (ángulo de subducción).

HISTORIA GEOLOGICA DE LA REGION ALTIPLANICA CHILENA

A continuación se presenta una resumida y simplificada relación de la evolución geológica de la región en que hoy en día se

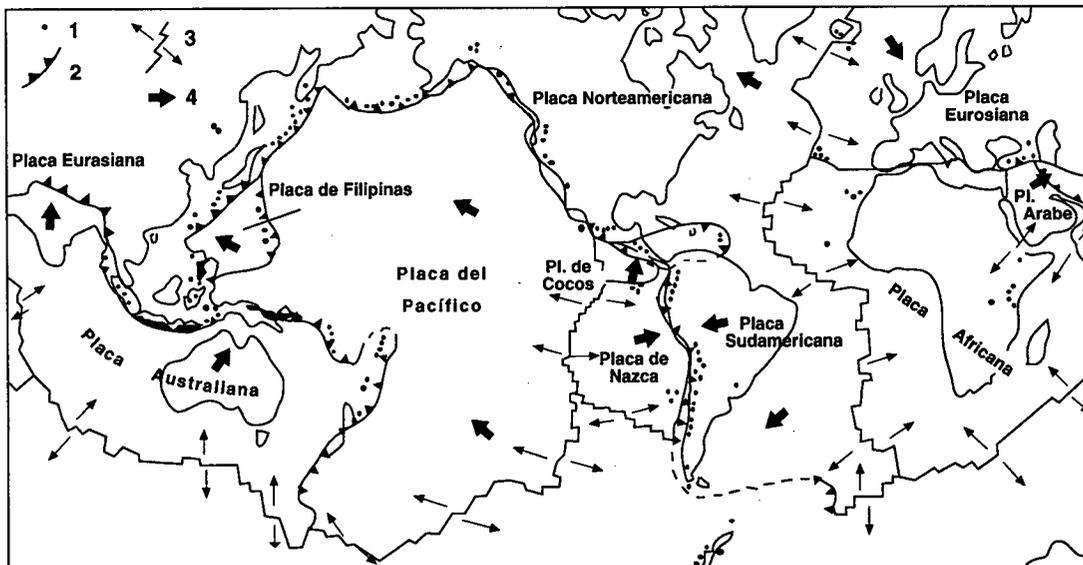


Fig. 1. Distribución de las principales placas de la corteza terrestre, de las dorsales oceánicas y de las regiones de convergencia o colisión de placas. En las zonas de convergencia entre placas oceánicas y placas continentales se indica la actividad volcánica asociada. 1. Volcanes activos, 2. Zona de convergencia de placas, 3. Dorsales oceánicas con indicación del sentido de la expansión, 4. Movimiento relativo de las placas.

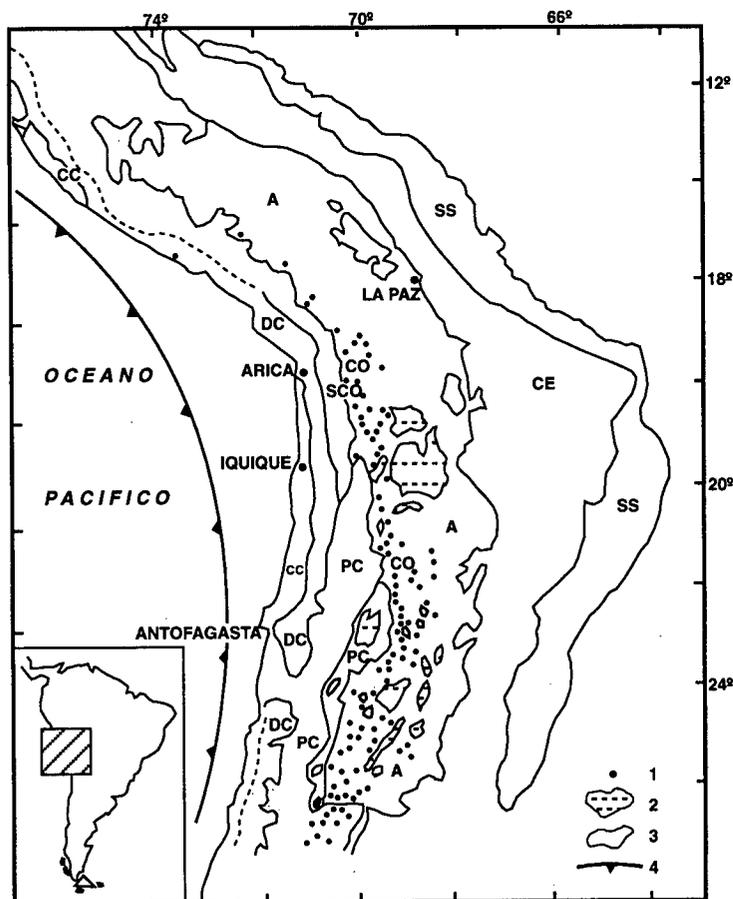


Fig. 2. Mapa de ubicación del Altiplano en América del Sur y distribución de las unidades orográficas o morfoestructurales del sector arqueado de los Andes. CC. Cordillera de la Costa, DC. Depresión Central, PC. Precordillera, PD. Depresión Preandina, A. Altiplano, CO. Cordillera Occidental volcánica, CE. Cordillera Oriental, SS. Sierras Subandinas. 1. Volcanes, 2. Salares, 3. Lagos, 4. Zona de subducción. En el recuadro se indica el área de América del Sur representada en detalle.

encuentra el Altiplano chileno, basada principalmente en los estudios regionales de MONTECINOS (1963), SALAS *et al.* (1966) y MUÑOZ (en prep.), haciendo énfasis en los acontecimientos más recientes que, desde nuestro punto de vista, pueden ser relevantes para explicar su origen.

Las rocas que constituyen la corteza terrestre son para los geólogos los testigos de lo que aconteció en el pasado en nuestro planeta. Las rocas conforman, por lo tanto, una suerte de registro de los acontecimientos pretéritos, de tal modo que mientras más amplio y completo sea el registro geológico de una región, mejor podremos interpretar los acontecimientos sucedidos y conocer las vicisitudes de la evolución geológica.

En la región altiplánica se conocen rocas que cubren un rango de edad de 1.000 millones de años (PACCI *et al.*, 1980), lo cual casi triplica el rango cubierto por las rocas presentes en otros sectores de los Andes Centrales. Lamentablemente el registro geológico en este caso, si bien es amplio, no es muy completo para los periodos más antiguos de la historia.

Las rocas más antiguas de esta región corresponden a esquistos y gneisses, o sea, a rocas metamórficas. Son éstas, rocas que originalmente fueron sedimentos o rocas volcánicas y que posteriormente han sufrido intensos procesos de deformación asociados a fuertes calentamientos, que las transformaron completamente. La edad obtenida en Chile para estas rocas, agrupadas bajo el nombre de Esquistos o Complejo Metamórfico de Belén, es de 1.000 millones de años (MONTECINOS, 1963; PACCI *et al.*, 1980).

La presencia de estas rocas en la región presenta un gran problema. No se ha podido precisar aún si pertenecen al borde del núcleo antiguo del continente Sudamericano o si forman parte de un bloque alóctono de corteza, ajeno al continente, que colisionó en un pasado muy lejano con América del Sur.

No existen en esta región rocas de edades intermedias entre 1.000 millones de años, o lo que los geólogos denominamos el Precámbrico, y rocas paleozoicas, o sea, de menos de 600 millones de años.

Las rocas paleozoicas conocidas en la región permiten deducir la existencia de una amplia cuenca sedimentaria marina, pero no es posible aún afirmar cuáles fueron sus relaciones con el continente americano y con las rocas precámbricas. Esto es precisamente lo que impide determinar si las rocas precámbricas forman un bloque alóctono o son una parte del borde del núcleo continental.

Las rocas mesozoicas, correspondientes a la Era inmediatamente posterior al Paleozoico, se desarrollaron en un típico ambiente de margen continental convergente, o sea, como explicaba anteriormente, en una región donde se encuentran y chocan una placa de corteza oceánica con una de corteza continental.

Durante todo el Jurásico, e incluso desde fines del Triásico, hasta la mitad del Cretácico, es decir, durante un periodo de tiempo de unos 140 millones de años, se desarrolló paralelamente al borde de América del Sur en la región aquí considerada un extenso cordón magmático, con una importante actividad volcánica superficial, y una amplia cuenca de sedimentación hacia el Este del cordón (HARAMBOUR, 1990; MUÑOZ *et al.*, 1988).

La actividad magmática mencionada produjo fuertes alteraciones en las rocas preexistentes causando la formación de una serie de yacimientos minerales, conocidos a lo largo de la actual región costera.

En la cuenca de sedimentación se acumularon varios miles de metros de sedimentos (HARAMBOUR, 1990; MUÑOZ *et al.*, 1988), los que registraron las variaciones del nivel relativo del mar y el continente. Se conocen en ella depósitos que en un comienzo fueron sedimentados en un ambiente continental y posteriormente en un ambiente marino, para terminar nuevamente en un ambiente continental. Estas fluctuaciones reflejan, en un comienzo, tendencias de descenso o hundimiento del continente acompañado con un ingreso del mar hacia esta cuenca y posteriormente tendencias de ascenso o alzamiento del continente con retiro gradual del mar. El grano de los sedimentos allí acumulados presenta diferente grosor, desde materiales finísimos hasta materiales muy gruesos. Esto nos permite deducir la energía de los agentes que los transportaron y concluir como evolucionó la topografía o relieve de esa época. Las estructuras conservadas en esos sedimentos permiten conocer si el ambiente era frío o cálido, continental o marino, y en este último caso si era profundo o somero, de aguas cálidas o frías e incluso limpias o turbias, es decir, las características paleogeográficas de la cuenca.

Las condiciones ambientales de esta cuenca permitieron un desarrollo importante de actividad orgánica, la cual, bajo condiciones apropiadas de presión y temperatura durante el enterramiento o recubrimiento de los sedimentos de la cuenca a medida que proseguía la sedimentación, permitió la generación de hidrocarburos. Estos, al ir desarrollándose o madurando, migraron hasta los reservorios definitivos a través de las rocas más permeables.

El término de esta cuenca y de la actividad del cordón volcánico se debió a un fuerte aumento en la velocidad de separación en las dorsales oceánicas que produjo un aumento en la velocidad de convergencia entre la placa oceánica y el continente. Esta mayor velocidad de convergencia habría generado una enorme compresión del borde continental causando la deformación de las rocas del cordón volcánico y de los depósitos acumulados en la cuenca adyacente. Estos últimos se doblaron o plegaron y

se fracturaron o fallaron, permitiendo un fuerte acortamiento de todo el dominio afectado. Las rocas permeables plegadas y falladas pasaron a constituir cuerpos susceptibles de almacenar los hidrocarburos generados en la cuenca, o sea, trampas de petróleo.

Después de este evento compresivo no volverá a ingresar el mar en la región donde se desarrolló la cuenca del Jurásico-Cretácico Inferior.

En el Cretácico Medio a Superior se desarrolló un nuevo cordón volcánico en una ubicación más al este que el anterior sobre las rocas sedimentarias deformadas de la cuenca del Jurásico y del Cretácico Inferior. Esta actividad volcánica pudo provocar una sobremaduración de los hidrocarburos contenidos en las rocas cercanas al cordón volcánico.

En el sector altiplánico mismo las rocas de este nuevo cordón magmático (volcánico) no están expuestas. Se las conoce en los contrafuertes cordilleranos al pie occidental del Altiplano en la quebrada Tarapacá, al interior de Iquique (HARAMBOUR, 1990) y más al Sur en el sector entre Antofagasta y Calama (MUÑOZ *et al.*, 1989).

En el Terciario, posiblemente Inferior, se desarrolló aparentemente un nuevo sistema de arco volcánico con una cuenca de sedimentación a su lado oriental. Este par paleogeográfico de arco y cuenca de trasarco se desarrolló en una posición aún más al Este que los anteriores, mostrando una migración de los cordones volcánicos y de las cuencas asociadas, similar a la que se conoce para otros sectores andinos.

Los depósitos de este periodo, descritos por (SALAS *et al.*, 1966; MUÑOZ, 1991), alcanzan espesores de más de 1.000 m y corresponden a cuencas subsidentes de carácter esencialmente fluvio-lacustre (Formación Chucal) en las que hubo un fuerte desarrollo de actividad orgánica. En ellos se han encontrado restos fósiles de vertebrados (CHARRIER *et al.*, 1994). Contemporáneamente con estos depósitos se inició una actividad volcánica ácida y explosiva en la región altiplánica. Estos depósitos fueron probablemente deformados por un nuevo episodio compresivo hace aproximadamente 24 millones de años y que parece corresponder al inicio del alzamiento del Altiplano.

En efecto, con aproximadamente la misma edad, se conoce para el borde oriental del Altiplano en Bolivia el inicio de un largo y casi continuo proceso de deformación que hace cabalgar la masa altiplánica sobre rocas sedimentarias ubicadas a su lado oriental (HERAIL *et al.*, 1990; SEMPERE *et al.*, 1990).

Gigantescas explosiones volcánicas dieron origen a un grueso y extenso manto de cenizas volcánicas que recubrieron a todos los depósitos anteriores (Formación Oxaya, MONTECINOS, 1963; SALAS *et al.*, 1966; Formación Altos de Pica, GALLI, 1957, 1968; GALLI y DINGMAN, 1962), cuyas edades están comprendidas entre 23 y 15 millones de años (GALLI, 1957, 1968; GALLI y DINGMAN, 1962; LAHSEN, 1982; MUÑOZ, en preparación). Depósitos similares y de la misma edad se conocen en el Sur del Perú.

Sobre estos depósitos volcánicos se desarrollaron, ahora en el Terciario Superior (Mioceno), nuevos depósitos sedimentarios continentales de carácter esencialmente fluvial (Formación Lupica).

En el sector chileno se continuó el proceso de deformación con el desarrollo de fallas inversas que afectaron a los depósitos volcánicos y fluviales suprayacentes y que permitieron el montamiento del bloque altiplánico hacia el Oeste sobre las rocas adyacentes (MUÑOZ y SEPULVEDA, 1992; MUÑOZ y CHARRIER, 1996; CHARRIER y MUÑOZ, este volumen). La existencia de dos sistemas de fallas inversas con inclinaciones que convergen bajo el Altiplano ubicados en ambos bordes del bloque altiplánico, pone en evidencia que este elemento orográfico es una estructura compresiva, es decir, un bloque de corteza elevado por fuerzas compresivas a lo largo de fracturas de cizalle o fallas (Fig. 3).

Los volcanes antiguos, erosionados e inactivos, y los volcanes recientes, con escasa o sin erosión y activos, algunos con abundantes manifestaciones fumarólicas como el volcán Guallatire, que forman la denominada Cordillera Occidental, se desarrollaron en la superficie del Altiplano por encima de la cubierta de cenizas mencionada.

Sobre esa cubierta se desarrolló también la cuenca que alojó a los 300 m de sedimentos de la Formación Layca y las cuencas endorreicas denominadas salares, donde se acumularon gruesos espesores de depósitos evaporíticos.

RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS EN EL ALTIPLANO CHILENO

Uno de los objetivos esenciales de este simposio es conocer y analizar, por una parte, los diferentes tipos de recursos con que se cuenta en la región altiplánica, que puedan favorecer su desarrollo, y, por otra parte, los aspectos asociados a ese desarrollo que puedan comportar efectos negativos a la conservación de su ambiente.

A continuación se presenta un breve recuento de los aspectos mineros y energéticos de la región y se exponen algunas consideraciones pertinentes a estos recursos en el Altiplano, dejando el análisis detallado a los expositores especializados en el tema.

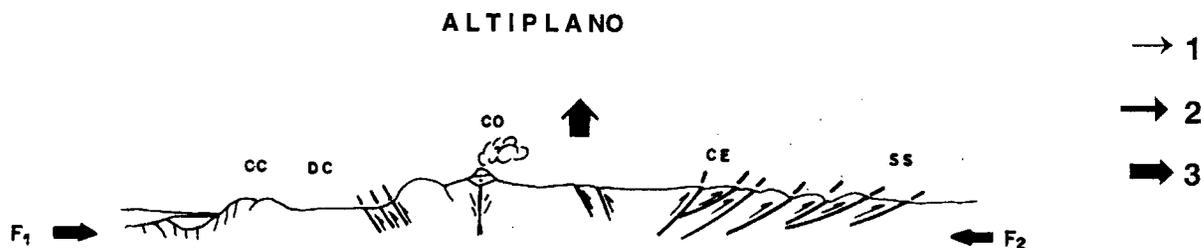


Fig. 3. Esquema ilustrando el mecanismo propuesto para el alzamiento del Altiplano con sistemas de fracturas de cizalle a ambos lados. Abreviaturas como en Fig. 3. F1. Fuerza compresiva debido al empuje de la Placa de Nazca, F2. Fuerza de reacción ejercida por el continente en sentido contrario a F1. 1. Desplazamiento a lo largo de los sistemas de fallas que limitan el Altiplano por ambos lados, 2. Sentido de aplicación de F1 y F2, 3. Movimiento de alzamiento del Altiplano como respuesta a F1 y F2.

La explotación de estos recursos en esta región no tiene el mismo desarrollo que en otras regiones del país, pero pueden alcanzar con una adecuada investigación dimensiones interesantes.

Los recursos mineros se pueden subdividir en Metálicos y No-Metálicos, y los recursos energéticos, en Geotermia y Petróleo.

1. Recursos mineros metálicos

Los yacimientos conocidos en la región corresponden a depósitos epitermales asociados al volcanismo más reciente, que se desarrolló sobre la cubierta de cenizas volcánicas de la Formación Oxaya (Fig. 4). En ellos la actividad volcánica, o sea, los líquidos y gases sobrecalentados que se desprenden del magma, han producido intensas alteraciones en las rocas preexistentes extrayendo de ellas ciertos minerales y concentrando otros, que pueden ser de valor comercial. Estos yacimientos tienen generalmente altos contenidos de cobre, oro y plata, en distintas proporciones. Sus edades están comprendidas entre 17 y 1,2 Ma (ERICKSEN y CUNNINGHAM, 1993).

El ejemplo más destacado en esta región de Chile es el yacimiento de Choquelimpie, cuya explotación se interrumpió recientemente, que se ubica en el interior del antiguo volcán homónimo profundamente erosionado en el que están expuestas las zonas de alteración mineralizadas (AGUIRRE, 1990). Otro yacimiento en el sector chileno es el de Quebrada Blanca-Collahuasi, al interior de Iquique. Ejemplos de yacimientos en los países limítrofes son: Orcocampa, Caylloma, Sucuitambo y Santa Bárbara, en Perú, La Española, Berengueta, Carangas y Salinas de García Mendoza, en Bolivia, y, Pirquitas y Salle, en Argentina (ERICKSEN y CUNNINGHAM, 1993) (ver Fig. 4).

Estos yacimientos son, generalmente, de tamaño pequeño. No alcanzan las dimensiones gigantescas de los yacimientos denominados de Cobre Porfírico, como Chuquicamata, La Escondida o El Salvador. Estos últimos, si bien tienen también un origen magmático, están asociados a un arco volcánico más antiguo y, por lo tanto, tienen una ubicación al Oeste del cordón volcánico actualmente activo.

Yacimientos de Cobre Porfírico no se han encontrado en el Altiplano. Este hecho no significa que ellos y las grandes fallas a las que se encuentran asociados no existan en esta región. De haberse desarrollado, se los debería encontrar bajo la gruesa y extensa cubierta de la Formación Oxaya: Una tarea obviamente muy difícil.

2. Recursos mineros no-metálicos

Estos recursos se denominan también de rocas y minerales industriales (ver CHONG, este volumen), aun cuando también pueden incluirse elementos en estado nativo como el Azufre. Los recursos de agua, si bien son uno de los aspectos de la Geología Aplicada, son tratados en otra sección de este volumen y por ello no se los considera aquí.

También asociados a la actividad volcánica más reciente, se conocen en esta región importantes depósitos de Azufre, generalmente ubicados en las cumbres de los volcanes y, por lo tanto, de difícil acceso. Estos depósitos se formaron por la actividad solfatárica, o sea, producto de emanaciones de gases que se desprenden desde las cámaras magmáticas.

Una fuente importante de recursos mineros no-metálicos en la región son los salares, que concentran distintos tipos de sales, como boratos en el Salar de Surire, sal gema, etc y elementos químicos disueltos en las salmueras, como el Boro, el Litio, Tierras Raras, de gran interés en procesos de tecnología de punta.

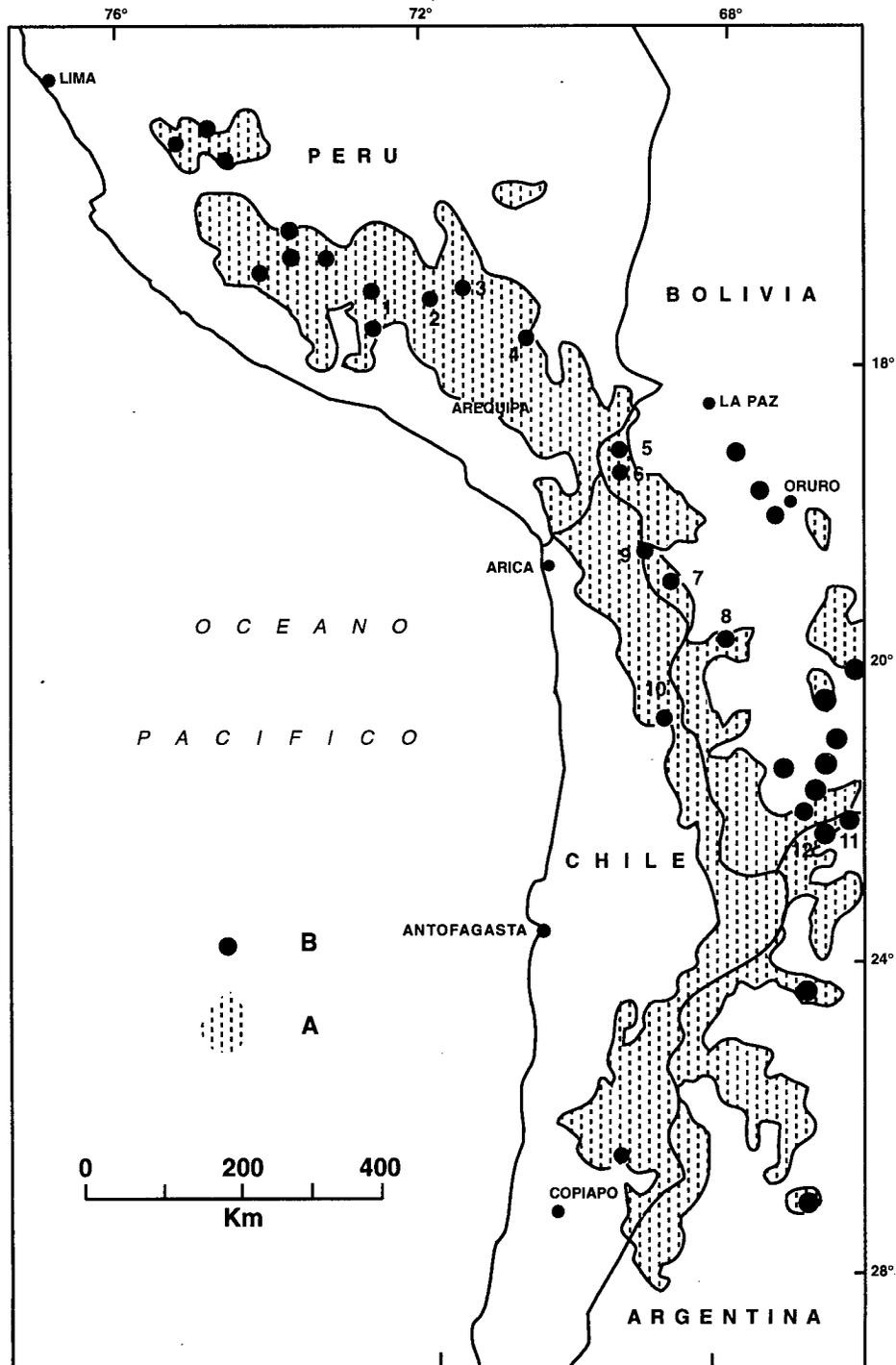


Fig. 4. Distribución de yacimientos epitermales en el sector altiplánico, mostrando su relación con el volcanismo; basado en ERICKSEN y CUNNINGHAM (1993). A. Distribución del volcanismo reciente, B. Yacimientos (se señala la ubicación de algunos yacimientos importantes): 1. Orcocampa, 2. Caylloma, 3. Sucuitambo, 4. Santa Bárbara, 5. La Española, 6. Berenguela, 7. Carangas, 8. Salinas de García Mendoza, 9. Choquelimpie, 10. Ouebrada Blanca-Collahuasi, 11. Pirquitas, 12. Salle.

RECURSOS ENERGÉTICOS

Los recursos energéticos a los cuales se hará referencia son: La energía geotérmica y el petróleo.

1. Energía geotérmica

La energía geotérmica es también el resultado de la actividad volcánica. Es su manifestación hidrotermal externa, o sea,

que corresponde al escape del vapor de agua. Vapores de este tipo, junto con otras sustancias desprendidas de las cámaras magmáticas de los volcanes, producen las alteraciones ya mencionadas en las cuales se pueden encontrar yacimientos minerales de tipo hidrotermal y epitermal. Esto permite deducir que bajo un campo geotermal o de geysers se puede estar formando un yacimiento mineral.

La energía calórica que se desprende de estos campos como agua caliente y vapor, frecuentemente sobre calentado, ofrece la posibilidad de transformarla en energía eléctrica.

En la región altiplánica chilena se conocen numerosos campos geotérmicos: Jurase, Surire, Puchuldiza, El Tatio, etc. De éstos los más importantes (Surire, Puchuldiza y El Tatio) han sido estudiados detalladamente con el objeto de evaluar su potencial energético (LAHSEN, 1976). De acuerdo con el autor mencionado el potencial energético de los tres campos geotérmicos alcanza a, por lo menos, 50 Megawatts, de los cuales 17 Mw han sido comprobados por perforaciones efectuadas en El Tatio.

Las aguas termales que emanan de estos campos ofrecen, además del natural interés turístico, la posibilidad de extrear minerales y elementos de valor económico y de ser desalinizada para uso agropecuario, recurso de gran valor en una región esencialmente árida.

2. Petróleo

Los análisis paleogeográficos realizados hasta la fecha en los depósitos de la cuenca Jurásico-Cretácica de trasarco sugieren que las zonas más apropiadas para la formación y acumulación de petróleo se encuentren en el sector altiplánico, aproximadamente en la región limítrofe con Bolivia (MUÑOZ y CHARRIER, 1993). Esta es una conclusión que parece estar respaldada por la existencia de surgencias de petróleo en el sector de Charaña, en Bolivia, lo cual indujo a la perforación de un pozo de exploración, por parte de la empresa boliviana de petróleo (YPFB).

ASPECTOS INTERDISCIPLINARIOS DE LA INVESTIGACION EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Con una historia geológica tan larga y compleja como la esbozada, con las implicaciones de diversa índole que tiene el desarrollo y la presencia de un bloque montañoso de la dimensión del Altiplano y los diferentes tipos de recursos explotables que contiene, son muchos los aspectos que requieren ser analizados y estudiados, y muy diferentes los métodos que se requiere aplicar para su mejor conocimiento y comprensión.

Sólo en el ámbito de la Geología, la Geofísica, y los Recursos Mineros y Energéticos, son numerosos los puntos que requieren de mayor investigación integrada: la estratigrafía, la tectónica, el volcanismo, la paleogeografía, el riesgo sísmico y volcánico, la evaluación de los recursos mineros y energéticos, y las propiedades geofísicas de la corteza, por nombrar a algunos solamente (para mayores precisiones respecto de estos temas ver los otros artículos del área Ciencias de la Tierra).

Investigaciones de carácter esencialmente interdisciplinario son los estudios sobre el impacto ambiental que pueden tener las actividades productivas mineras y de recursos energéticos, y el desarrollo de tecnologías metalúrgicas no contaminantes (LIENQUEO *et al.*, 1992). Especialmente delicada es la toma de decisiones respecto a la conveniencia de explotar o no un recurso en desmedro o en beneficio, respectivamente, de ciertas condiciones ambientales, en una región donde, además, es urgente definir planes de desarrollo.

El Altiplano tuvo un lento proceso de alzamiento, que se inició hace cerca de 25 millones de años. Este proceso produjo necesariamente un aislamiento de la fauna y flora que allí existía. Estos organismos tuvieron que adaptarse gradualmente a las nuevas condiciones climáticas y de altura o bien tuvieron que desaparecer. Este punto me parece interesante por cuanto entre los grupos que actualmente pueblan el Altiplano podrían existir representantes de algunas líneas filogenéticas, que se iniciaron antes del alzamiento, y otras inmigrantes. El registro paleontológico, tanto de la flora como de la fauna, es aun relativamente escaso como para poder diferenciar estos grupos y para conocer el momento de su aparición en la región altiplánica. Los primeros hallazgos de vertebrados fósiles en el Altiplano chileno se realizaron recién en los últimos años. Tampoco existen estudios de palinología, disciplina que estudia los remanentes fósiles de polen y esporas en los depósitos geológicos. Estos estudios, además de proporcionar información sobre la evolución y cronología del poblamiento florístico de la región, podría ser de gran utilidad para conocer la evolución de su clima y a partir de ello conocer el momento en que la región alcanzó alturas que modificaron las condiciones climáticas (ver PALMA-HELDT, este volumen).

Es importante señalar que, entre todas las especies que pueblan el Altiplano, el Hombre es una de las especies que hizo su aparición después que el Altiplano alcanzó alturas similares a las que ostenta actualmente y que, por lo tanto, es un organismo colonizador de la región.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es el producto de actividades desarrolladas en el marco del Proyecto de Investigación FONDECYT 1224-91

"Tectónica compresiva versus acreción magmática en la génesis del Altiplano chileno", financiado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT).

REFERENCIAS

Aguirre, E., 1990. Geología del Complejo Volcánico Choquelimpie-Ajoya, Altiplano de Arica, 1ª Región. Memoria, Departamento de Geología Universidad de Chile. Santiago, 136 p.

Charrier y Muñoz, N., Geología y Tectónica del Altiplano Chileno. Este volumen.

Charrier, R., Muñoz, N., Wyss, A.R., Flynn, J.J. y Hérail, G., 1994. Hallazgo de un húmero de Toxodonte (Mammalia) en la Formación Chucal en el Altiplano Chileno. Actas 7º Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile, Vol. 1, p. 434-437.

Ericksen, G. y Cunningham, C.G., 1993. Precious-metal deposits in the Neogene-Quaternary volcanic complex of the Central Andes, in: Investigación de metales preciosos en los Andes Centrales, Proyecto BID/TC-88-02-32-5, p. 3-16.

Galli, C., 1957. Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá. Revista Minerale, Año 12, Nº 56, p. 14-26, Santiago.

Galli, C., 1968. Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Carta Geológica Nº 18, 53 p.

Galli, C. y Dingman, R., 1962. Cuadrángulos Pica, Alca Matilla y Chacarilla. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Carta Geológica, Vol. 3, Nº 2-5, 125 p.

Harambour, S., 1990. Geología pre-cenozoica de la Cordillera de los Andes entre las quebradas Aroma y Juan de Morales, I Región, Chile. Memoria Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 228 p.

Hérail, G., Baby, P., López, M., Oller, J., López, O., Salinas, R., Sempere, T., Beccar, G. y Toledo, H., 1990. Structure and kinematic evolution of subandean thrust system of Bolivia. Premier Symposium International de Géodynamique Andine (ISAG 90), Grenoble, May 1990, Editions ORSTOM, Paris, p. 172-182.

Lahsen, A., 1976. Geothermal exploration in Northern Chile: A summary. Circum-Pacific energy and Mineral Resources, Memoir Nº 25, p. 169-175.

Lahsen, A., 1982. Upper Cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Northern Chile. Earth-science Reviews, Vol. 18, p. 285-302.

Lienqueo, M.E., Casas, J., Escobar, B., Hernández, J. y Herrera, L., 1992. Generación y remoción de sulfato en la minería del cobre. Anales Primer Taller de Biotecnología Ambiental, Concepción, Octubre 1992, Universidad de Concepción, p. 191-199.

Montecinos, F., 1963. Observaciones de geología en el Cuadrángulo de Campanani, Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Memoria Departamento de Geología Universidad de Chile, Santiago, 109 p.

Muñoz, N., 1991. Marco Geológico y estratigrafía de un sistema fluvio-lacustre Paleogeno, Altiplano de Arica, Norte de Chile. Actas 6º Congreso Geológico Chileno, Viña del Mar, p. 201-204.

Muñoz, N., en prep. Estratigrafía, estructura y evolución del Altiplano chileno entre 18° 30' y 20° de latitud Sur. Tesis, Departamento de Geología Universidad de Chile, Santiago.

Muñoz, N. y Sepúlveda, P., 1992. Estructuras compresivas con vergencia al Oeste en el borde oriental de la Depresión Central (19° 15' lat. Sur). Revista Geológica de Chile, vol. 19, Nº 2, p. 241-247, Santiago.

Muñoz, N. y Charrier, R., 1993. Jurassic-early Cretaceous facies distribution in the Western Altiplano (18°-21° 30' S.L.). Implications for hydrocarbon exploration. Second Symposium International de Geodynamique Andine (ISAG 93), Oxford, Septiembre 1993, Editions ORSTOM, Paris, p. 307-310.

Muñoz, N. y Charrier, R., 1996. A west vergent fault system at the western border of the Altiplano in Northern Chile: implications for the uplift of the Altiplano-Puna plateau. Jour. of South American Earth Sciences, Vol. 9, p. 171-181.

Muñoz, N., Elgueta, S. y Harambour, S., 1988. El Sistema Jurásico en el curso superior de la quebrada Azapa, I Región: Implicancias paleogeográficas. Actas 5º Congreso Geológico Chileno, V. 1, p. A 403- A 405.

Muñoz, N., Charrier, R. y Pichowiak, S., 1989. Cretácico Superior volcánico-sedimentario (Formación Quebrada Mala) en la Región de Antofagasta, Chile, y su significado geotectónico; in: Contribución a los Simposios sobre el Cretácico de América Latina, Parte A: Eventos y Registro Sedimentario, Spalletti, L., Editor, Buenos Aires, p. 133-148.

Pacci, D., Herve, F., Munizaga, F., Kawashita, K. y Cordani, U., 1980. Acerca de la edad Rb/Sr precámbrica de rocas de la Formación Esquistos de Belén, Departamento de Parinacota, Chile. Revista Geológica de Chile, 11, p. 43-50.

Salas, R., Kast, R., Montecinos, F. y Salas, R., 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 21, 114 p., Santiago.

Sempere, T., Heral, G., Oller, J. y Bonhomme. M.G., 1990. Late Oligocene-early Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia. Geology, Vol. 18, p 946-949.

GRADO DE COMPENSACION ISOSTATICA EN EL ALTIPLANO: ANALISIS GRAVIMETRICO DE 2 Y 3 DIMENSIONES

GONZALO YAÑEZ (+), ALDO GIAVELLI (++) y JORGE CAÑUTA(#)

(+): SERNAGEOMIN, SANTA MARIA 0104 SANTIAGO
(++) SIPETROL S.A., TAJAMAR 183, 4° PISO, SANTIAGO
(#): ENAP, AHUMADA 341, SANTIAGO

RESUMEN

En el marco de un proyecto de investigación destinado a establecer el estado de compensación isostática en los distintos segmentos de la convergencia Andina, se ha completado una primera fase correspondiente al sector altiplánico. Análisis de dos y tres dimensiones en el dominio espectral, han permitido establecer que casi la totalidad del Altiplano se encuentra compensado en forma local (tipo Airy). Esta compensación local es independiente de la longitud de onda del rasgo topográfico involucrado, lo cual es evidencia de una ausencia de rigidez litosférica en la región. Flujos calóricos anómalamente altos permiten explicar esta falta de rigidez.

Una modelación directa de la anomalía de Bouguer en un perfil representativo, entrega una estructura cortical con un espesor medio superior a 50 km, y alcanzando valores cercanos a 70 km en la línea divisoria de aguas. Esta estructura cortical confirma la existencia de una compensación de tipo local en la región altiplánica.

El máximo espesor cortical observado en el segmento sur del Altiplano, se interpreta como el producto del escape tectónico en dirección sur ante una compresión de dirección E-W. La acumulación cortical en este segmento se habría visto favorecida por la presencia de un núcleo litosférico competente inmediatamente al sur.

INTRODUCCION

La génesis y evolución de grandes cadenas montañosas como los Andes, ha sido motivo de permanente atención en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. Este interés, que puede remontarse a los tiempos de Darwin en el siglo pasado, se basa en el hecho que un rasgo fisiográfico de estas características, representa una de las evidencias más concretas de la existencia de actividad tectónica en un margen de convergencia entre placas litosféricas de dimensión continental. Si bien esta relación de causa-efecto entre la convergencia de las placas de Nazca y Sud-América y la existencia del macizo Andino no admite mayores dudas, aún no es posible resolver algunos procesos de segundo orden asociados al fenómeno orogénico fundamental. El caso específico del Altiplano es aún más particular, ya que junto al cordón de los Himalayas en la frontera Indo-Asiática, constituye el relieve montañoso de mayores dimensiones en la superficie terrestre. La ubicación geográfica del Altiplano, en el sector de máxima concavidad o flexura del margen de Sudamérica (Figura 1), ha dado origen a dos interpretaciones cuya relación causa-efecto, en relación a la génesis del Altiplano, es antagónica. Una hipótesis, sustentada por Beck (1987) y Beck *et al.* (1993), propone la existencia de una flexura continental previa al alzamiento del Altiplano. Al interactuar esta morfología continental con la placa de Nazca, habría generado movimientos relativos convergentes en dirección de la ubicación del Altiplano, induciendo así el engrosamiento cortical. En contraposición, Isacks (1988) propone el curvamiento del orógeno (oroclino), y en consecuencia del margen continental, como producto de las condiciones mecánicas y termales de la litósfera continental y cuña astenosférica. Dado el estado actual del conocimiento, no es posible discernir entre ambas hipótesis o alguna otra que intente recoger elementos de estas posturas extremas. Una forma de ir avanzando en la solución de este problema central, lo constituyen estudios tendientes al entendimiento de fenómenos asociados al proceso orogénico. Entre estos cabe mencionar, tasas de alzamiento-denudación y la influencia de un factor climático altamente variable, comportamiento reológico de la litósfera continental, naturaleza y propiedades de la corteza inferior, proporción de aporte magmático y tectónico en el orógeno. Muchas de estas preguntas son interdependientes y exigen de una visión interdisciplinaria para aproximarse a una respuesta correcta. Uno de los factores que debe ser considerado constituye el elemento central de esta comunicación, las características y propiedades de la corteza y manto continental desde el punto de vista de su respuesta gravimétrica.

Como parte del proyecto Fondecyt '93 #1930164, se ha completado una primera etapa de compilación y adquisición de información gravimétrica y topográfica digital del segmento norte de Sudamérica, entre la 1a y 3a región. La cobertura actual en la zona correspondiente al Altiplano permite efectuar un análisis parcial de esta información, con énfasis en la definición de espesores corticales y estados de equilibrio del plateau Altiplánico. Este marco geofísico del área, permite a su vez hacer algunas inferencias sobre los procesos geológicos y tectónicos que probablemente están relacionados a las particulares condiciones que dan origen a un relieve de las características del Altiplano.

A continuación presentamos una breve descripción de la metodología utilizada para el análisis de la información gravimétrica. En la siguiente sección analizamos los datos correspondientes a la región del Altiplano, con un procesamiento espectral de 3-D que permite establecer el grado de compensación isostática del macizo en su conjunto. Con este antecedente, efectuamos una modelación directa en un perfil perpendicular a la dirección estructural, a fin de establecer una estructura cortical preliminar. Finalmente analizamos estos resultados geofísicos en el contexto de la evolución geológica del Altiplano.

Método Gravimétrico: Aplicación a la determinación de comportamientos isostáticos y flexurales de cargas estáticas

Para estimar el espesor cortical y el tipo de compensación que opera en el segmento altiplánico de Los Andes, se analiza la

relación entre topografía y anomalía de Bouguer en el dominio de las frecuencias (para un desarrollo completo de la teoría consultar, Turcotte & Shubert, 1982; Parker, 1972).

La anomalía de Bouguer para el caso de una respuesta isostática local (tipo Airy) ante la carga de una cadena montañosa (Figura 2a) está dada por:

$$(1) \quad G(k) = 2 \rho g r \text{Exp}(-kd) H(k) \Delta r / r_c$$

donde:

g = Constante de Gravitación Universal

d = Cota Promedio de la Superficie Topográfica

r_c = Densidad cortical

$\Delta r = r_m - r_c$ = Contraste en densidad entre el manto y la corteza

k = número de onda

$H(k)$ = Transformada de Fourier de la topografía

$G(k)$ = Transformada de Fourier de la anomalía de Bouguer

Por el contrario, si la litósfera tiene cierta rigidez, la compensación isostática del orógeno tiene un carácter regional, provocando una flexura de la litósfera de mayor longitud de onda que el relieve topográfico (Fig. 2b). La Anomalía de Bouguer en este caso se deriva de la solución de la ecuación de una barra elástica delgada sometida a cargas distribuidas (Turcotte & Shubert, 1982).

$$(2) \quad G(k) = 2 \rho g r \text{Exp}(-kd) \frac{H(k)}{1 + \frac{(k^4 D)}{\Delta r g}} \Delta r / r_c$$

donde:

g = aceleración de gravedad

D = rigidez (parámetro flexural)

$D = ET^3/12(1-s^2)$; E = Módulo de Young; T = Espesor de la Placa; s = Razón de Poisson

Esta segunda ecuación que describe el comportamiento flexural de la litósfera depende de 2 parámetros fundamentales, el número de onda $k = 2\pi/\lambda$ (λ : longitud de onda) y la rigidez D . Cuando la rigidez tiende a cero, la ecuación (2) se reduce a la anomalía de Bouguer para el caso de un medio compensado localmente (ecuación 1). Del mismo modo para relieves topográficos de gran longitud de onda (k pequeño) la compensación también tenderá ser compensada localmente al tender a 1 el denominador de ecuación(2). En términos concretos, para relieves topográficos con longitud de onda superior a algunas centenas de kilómetros, la compensación debería ser local para espesores elásticos inferiores a 50 km. Para relieves de menor longitud de onda, el grado de compensación isostática dependerá de la rigidez del medio. Esta rigidez es probablemente función de una serie de parámetros entre las que destaca la litología, el gradiente geotérmico y los tiempos de sobrecarga (a mayor tiempo de sobrecarga, comienzan a operar los efectos de relajación viscosa).

ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO DEL NORTE DE CHILE

a. Gravimetría

La información analizada en este trabajo comprende aproximadamente 4500 estaciones gravimétricas, adquiridas por ENAP en la Primera y Segunda Región dentro de sus programas de exploración, con niveles de precisión variables. Un número importante de estas estaciones fueron posicionadas con GPS, con un error esférico de diámetro aproximado 30 m, lo que permite estimar en +/- 6 mGal el error asociado a la Anomalía de Bouguer, el cual se considera aceptable para una escala de trabajo de 1:500.000. Información gravimétrica adicional utilizada para esta compilación incluye estaciones de la base de datos de la Universidad de Cornell (cedidos por profesor B. Isacks), Universidad Libre de Berlín, y digitalización del mapa de Anomalía de Bouguer de Bolivia (compilado por Profesor J. Tellería). Los niveles de error y los parámetros usados en la reducción de estos datos, son equivalentes a los descritos para el proceso y compilación de los datos nacionales, con una envolvente de error inferior a 10 mGal. Este nivel de error es apropiado para estudios de carácter regional en donde interesa analizar señales con longitudes de onda de varias decenas de kilómetros y amplitudes superiores a 100 mGal.

Para la obtención de la Anomalía de Bouguer, mostrada en Figura 3a, se usó una densidad media de 2.67 gr/cm³. Las medidas fueron referidas al elipsoide de referencia WGS-84 y la corrección topográfica fue calculada en forma digital (Zhou *et al.*, 1990), considerando la base topográfica descrita en la siguiente sección.

En Figura 3a la Anomalía de Bouguer es representada en contornos a un intervalo de muestreo de 50 Mgal. Se incluye además en esta figura la ubicación de las estaciones utilizadas para la generación del mapa de Anomalía de Bouguer (puntos grises), y en forma superpuesta la topografía (fondo en tonalidades de grises).

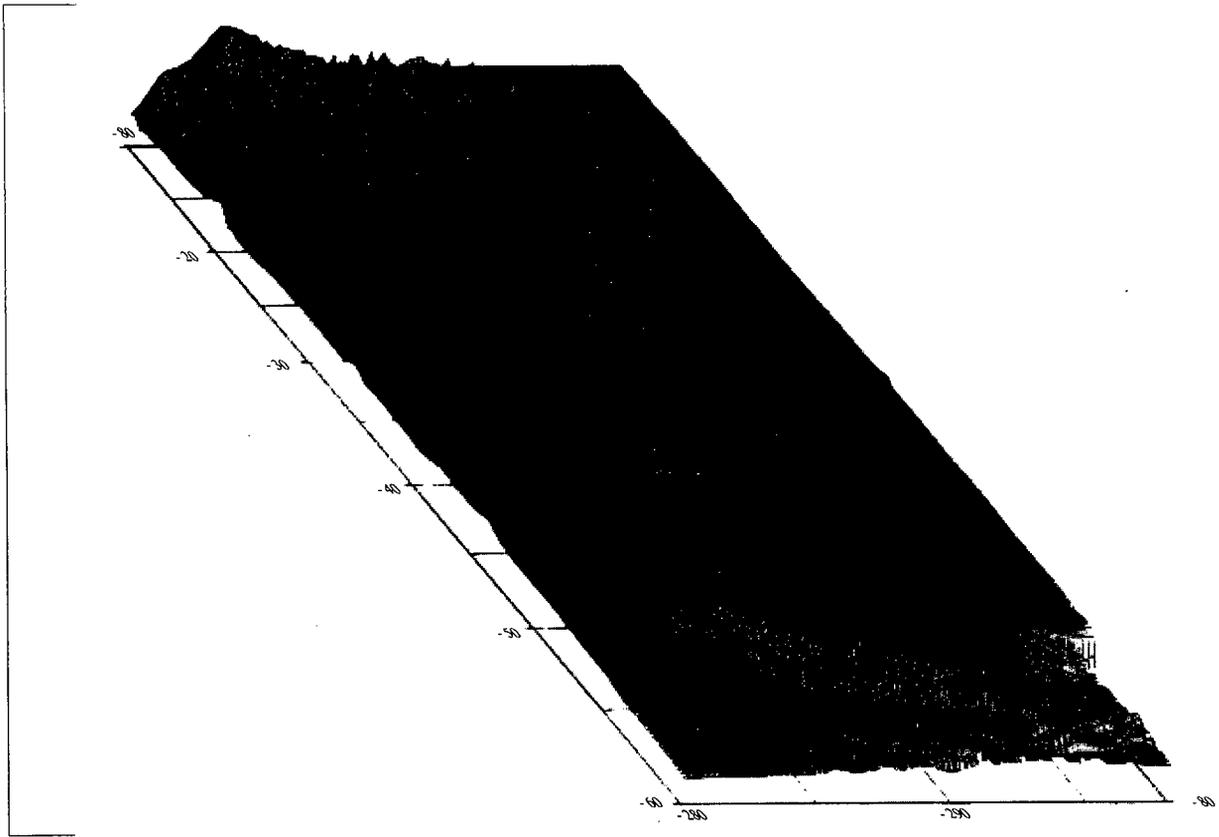


Fig. 1. Relieve del segmento sur-oeste de Sudamérica, imagen tridimensional.

b. Topografía

Se dispone de la topografía digital del margen occidental de Sudamérica correspondiente a la base de datos de la Universidad de Cornell (cedida por el profesor B. Isacks). Este set de datos ha sido recopilado mediante la digitalización de cartas topográficas y batimétricas a escalas en el rango de 1 :50.000 a 1 :500.000. Nosotros hemos reprocesado esta información a un intervalo de muestreo de 0.02 grados en direcciones ortogonales (Norte y Este), lo que constituye un muestreo aproximado de 2 km. Esta información topográfica digital ha sido utilizada en la generación de la Figura 1.

c. Análisis Isostático Espectral en 3-D

Mediante el uso del modelo digital de terreno es posible estimar la respuesta isostática de la carga representada por el relieve cordillerano, de acuerdo a una compensación local tipo Airy en la cual a cada punto con relieve positivo se le asocia una raíz con contraste de densidad negativo con respecto al manto litosférico.

Una extensión de la teoría presentada previamente para el análisis de un modelo isostático de 2-D, en el dominio espectral, es utilizada para ver la respuesta isostática desde una perspectiva areal o de 3-D. Este proceso es efectuado mediante una rutina del paquete GMT (Wessel & Smith, 1991), que utiliza como parámetros de entrada el modelo digital de terreno, la rigidez cortical (en este caso igual a cero), y las densidades medias del océano, corteza y manto (1.0, 2.7, 3.3 [gr/cm³], respectivamente).

La Anomalía de Bouguer teórica que resulta de esta modelación isostática, es presentada en conjunto con la topografía en Figura 3b. Esta figura puede ser comparada directamente con la Figura 3a que corresponde a la Anomalía de Bouguer observada. En términos semicuantitativos se puede concluir que un modelo isostático permite reproducir en buena forma la Anomalía de Bouguer observada. Lo anterior confirma la predicción relativa a que cargas con longitudes de onda superiores a 100 km tenderán a estar compensadas en forma isostática. Sin embargo, es interesante resaltar que sobre el Altiplano, relieves positivos de longitud de onda inferior a 50 km, también se encuentran compensados isostáticamente. Esto es coherente con una litósfera de muy poca rigidez, probablemente como producto del alto flujo calórico (- 80-90 mW/m²) que caracteriza a la región altiplánica (Henry & Pollack, 1988). En los flancos del plateau, en dirección de la costa y el cratón Brasileño, se aprecian discrepancias entre el valor teórico y el observado. Estas diferencias están relacionadas a un cierto grado de rigidez de la litósfera en estas regiones. En el caso de la región de ante-arco, esta mayor rigidez está probablemente asociada a la cercanía de las placas continental y oceánica, lo cual incide en un menor gradiente geotérmico y un soporte dinámico de la corteza continental por la placa subductada. En la zona de precordillera, al oriente del Altiplano, la mayor rigidez está asociada a la cercanía del Cratón

Brasileño. De hecho, algunos autores (p. ej., Mpodozis & Ramos, 1989; Lyon-Caen *et al.*, 1985) consideran que el Cratón Brasileño estaría siendo subductado bajo el Altiplano ("a subduction").

Otros rasgos menores que se aprecian en la Anomalía de Bouguer teórica que no son reconocidos en la Anomalía de Bouguer observada, por lo general corresponden a localidades con falta de muestreo. Un caso particular constituye el salar de Atacama y el sector adyacente en dirección de la Sierra del Limón Verde en donde sí se cuenta con un set de datos relevante. En este caso, la Anomalía de Bouguer observada es inferior a la predicha para un medio sin rigidez, lo cual podría interpretarse como el producto de una corteza más delgada y una litósfera continental más competente. Cabe hacer notar que la depresión del salar de Atacama constituye un rasgo singular que puede extrapolarse probablemente hasta el Paleozoico con evidencias concretas de un ambiente lagunar de intraarco (Breitkreutz *et al.*, 1992). En consecuencia, la hipótesis de una corteza más delgada que el promedio de la región puede constituir un rasgo que ha sido preservado en el tiempo, condicionando la evolución geológica del área. Evolución en la cual destacan el desplazamiento al Este del frente volcánico (p. ej., Mpodozis & Ramos, 1989) y el desarrollo del mayor espesor cortical de los Andes (y Anomalía de Bouguer) inmediatamente al Noreste del salar. Nosotros proponemos como hipótesis de trabajo que la mayor competencia litosférica de la región sería responsable de ambos fenómenos: inhibiendo el desarrollo del frente volcánico, e impidiendo la extensión al sur del Altiplano. La acumulación cortical en el extremo sur del Altiplano sería entonces el efecto combinado de una especie de muro de contención o "backstop" y el escape tectónico (Molnar & Tapponier, 1975) asociado a un acortamiento de dirección E-W, que relaja la energía potencial acumulada en dirección N-S. De hecho Assumpção (1992) encuentra evidencias de una extensión de dirección N-S en la región altiplánica, basado en la distribución de mecanismos focales y mediciones de stress *in-situ*.

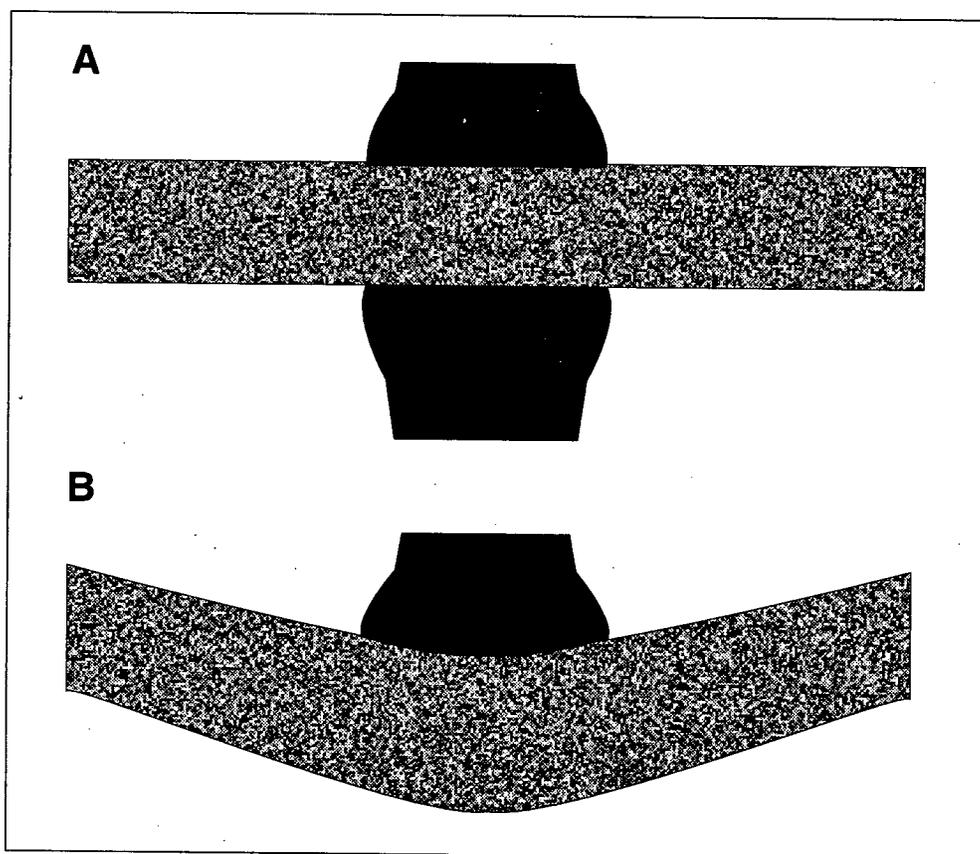


Fig. 2. A) *Compensación Local (rigidez=0)*. La masa de superficie en tonalidad negra es compensada localmente por una masa de mayor dimensión en la vertical como producto de la diferencia en densidad; B) *Compensación regional (rigidez > 0)*. La masa de superficie en tonalidad negra es compensada re-gionalmente en profundidad.

d. Modelación gravimétrica de 2-D

A fin de contar con una primera estimación del espesor cortical en la región altiplánica efectuamos una modelación directa de la Anomalía de Bouguer. En Figura 3a se aprecia que la Anomalía de Bouguer asociada al Altiplano tiene una forma elongada de dirección N-S que permite efectuar un análisis en secciones de dirección E-W que sea representativo del problema tridimensional. Se efectuó una serie de modelaciones en secciones a diferentes latitudes encontrándose en general que estas no diferían fundamentalmente. En Figura 4 se presenta el modelo correspondiente al perfil A-A' (mostrado en la Fig. 3a), el cual se considera representativo de la estructura cortical del Altiplano.

El modelo considerado utiliza un contraste de densidad corteza-manto de 0.4 gr/cm³. Para la placa oceánica consideramos una geometría coherente con la actitud del plano de Benioff en la región (Cahill, 1990), y un contraste de densidad de 0.08 gr/cm³. Este último valor es marginalmente superior al utilizado para el manto continental en consideración a los efectos de contracción térmica (Turcotte & Shubert, 1982) asociados a un medio sujeto a temperaturas un 30% inferiores.

En Figura 4 se aprecia un espesor cortical que en gran parte del Altiplano supera los 50 km, alcanzando valores cercanos a 70 km en las inmediaciones de la divisoria de las aguas. Este espesor cortical podría ser levemente inferior, al imponer un menor contraste de densidad como producto de una cuña astenosférica menos densa que el manto litosférico.

Anomalía de Bouguer

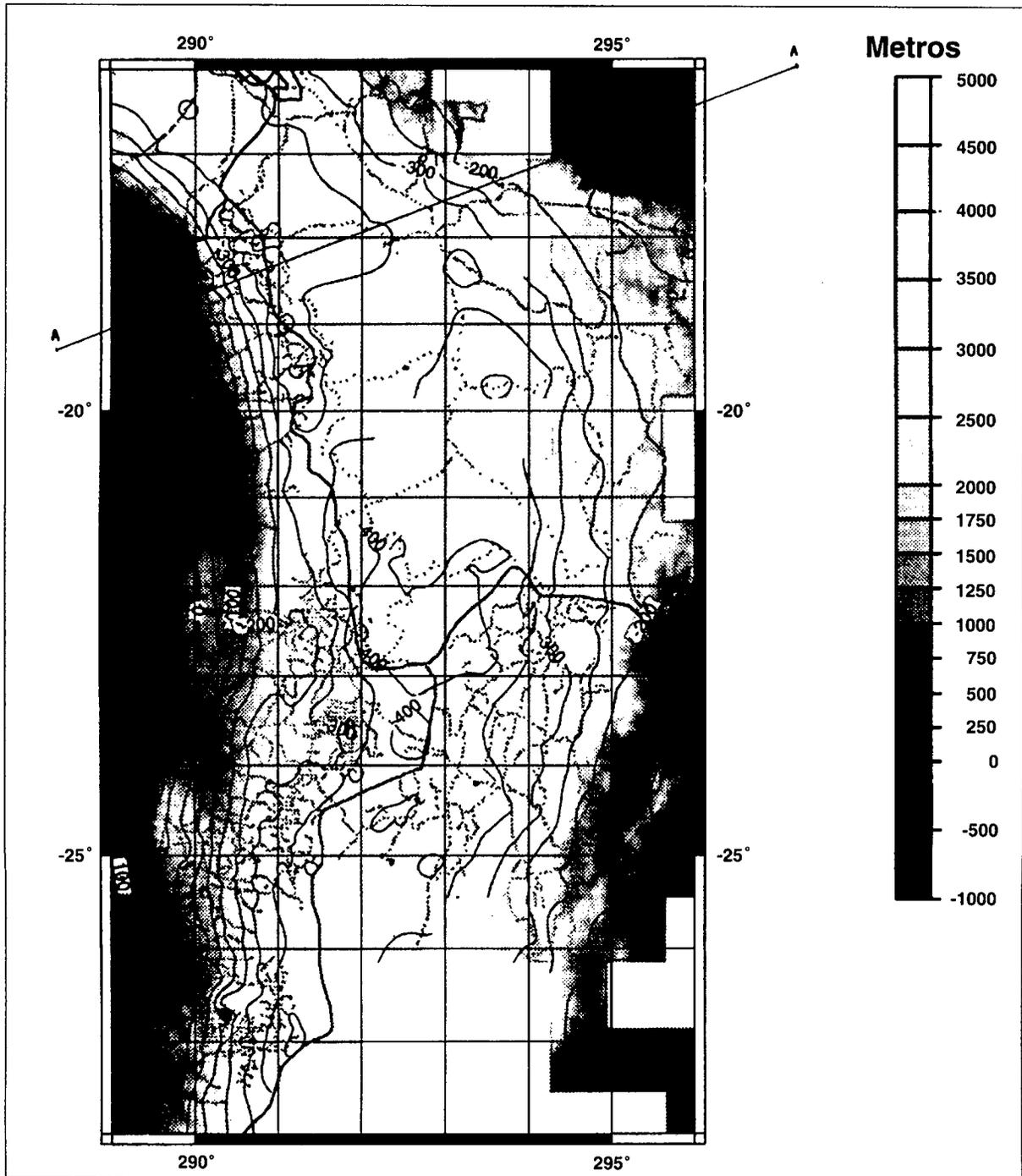


Fig. 3a. Anomalía de Bouguer. En contornos Anomalía de Bouguer observada a un intervalo de 50 Mgal. Estaciones gravimétricas en puntos grises. Topografía como fondo en tonalidades de grises.

Anomalía Isostática

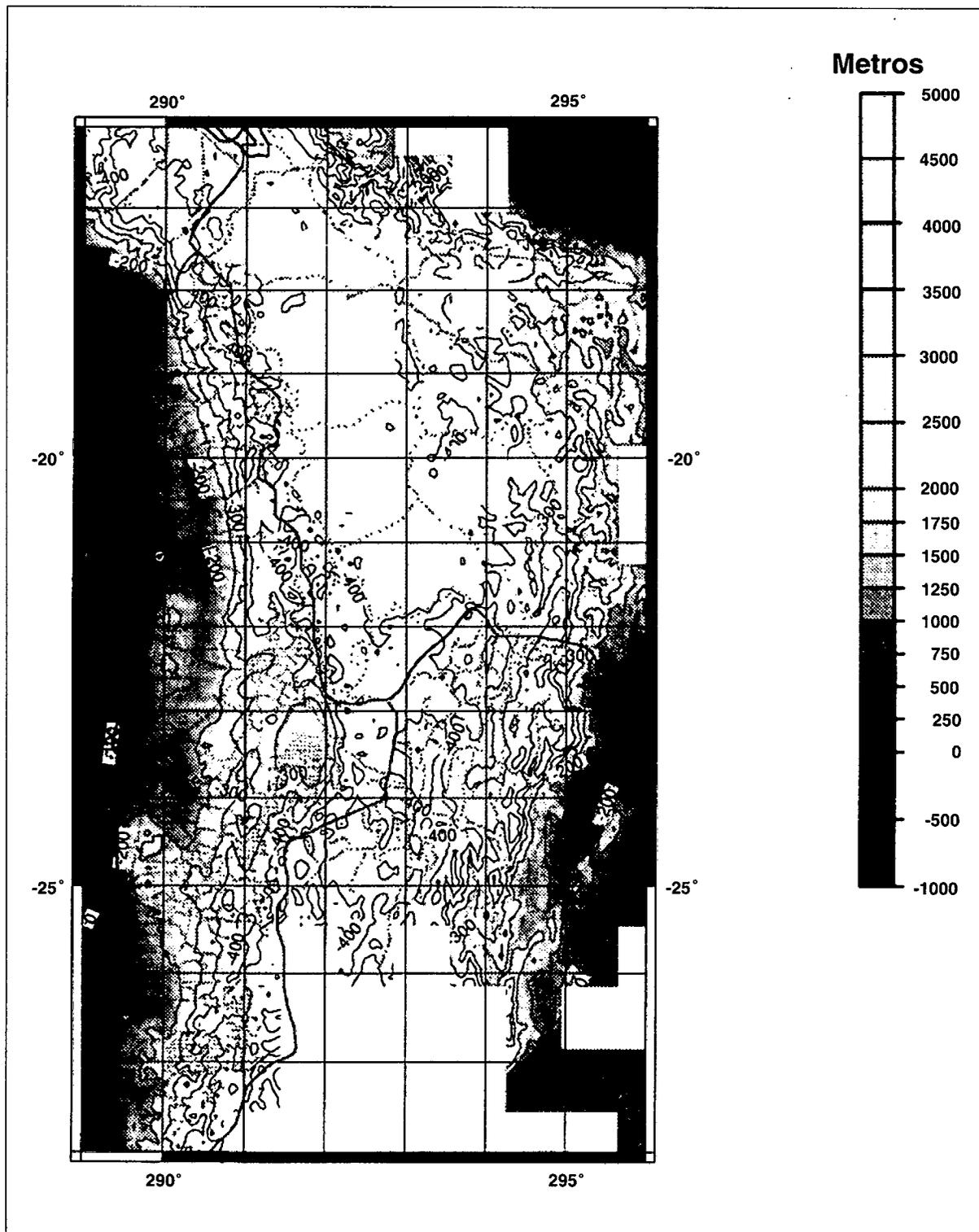


Fig. 3b. Anomalía Isostática tipo Airy derivada de la compensación isostática local de la topografía. En contornos anomalía de Bouguer calculada a un intervalo de 50 Mgal. Estaciones gravimétricas en puntos grises. Topografía como fondo en tonalidades de grises to utilizado es de -0.4 Gr/cm^3 , mientras que para la placa oceánica se considera una densidad ligeramente superior a la del manto ($+0.08 \text{ Gr/cm}^3$).

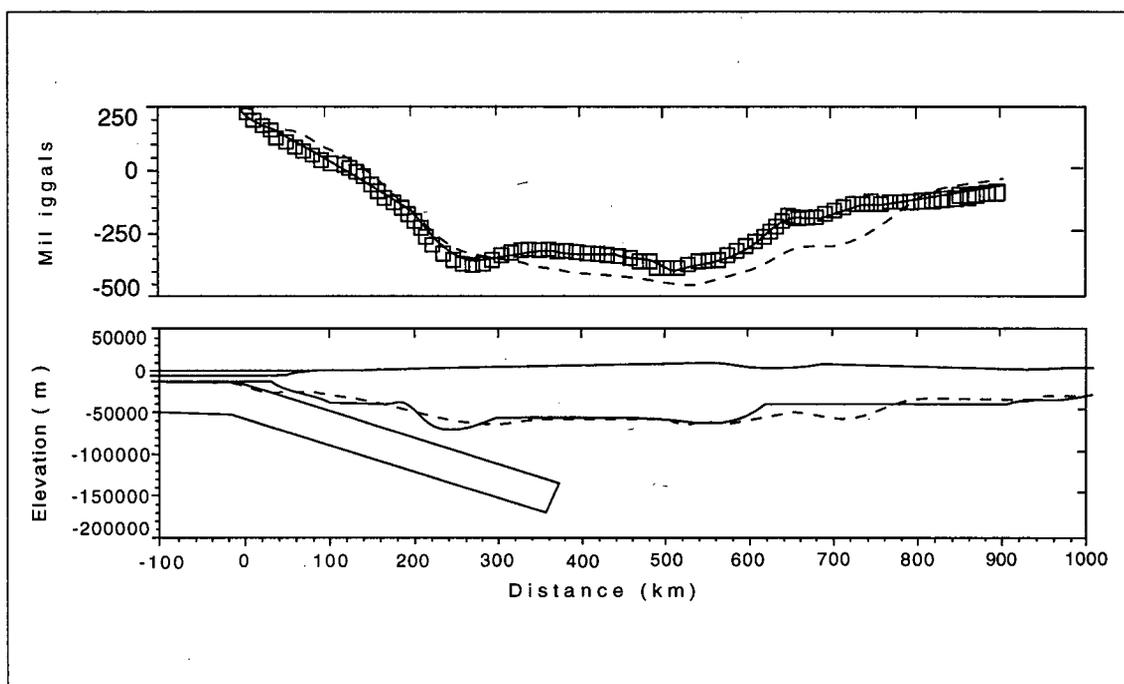


Fig. 4. Modelación Gravimétrica de 2-D en perfil A-A'. Los cuadrados representan las observaciones, en línea llena respuesta del modelo, y en línea segmentada respuesta isostática. El contraste de densidad corteza-manto utilizado es de -0.4 Gr/cm^3 , mientras que para la placa oceánica se considera una densidad ligeramente superior a la del manto ($+0.08 \text{ Gr/cm}^3$).

La estructura cortical es en primera aproximación análoga a la obtenida asumiendo una compensación local del tipo Airy y calculada considerando un espesor de equilibrio de 33 Km (cuya Anomalía de Bouguer asociada está representada por línea segmentada en Figura 4), salvo en el borde oriental, donde el espesor cortical resulta menor que el isostático, lo que podría indicar la existencia de una componente elástica en este sector. Este resultado es coherente con el análisis previo de 3-D, en el cual los relieves topográficos de longitud de onda de varias centenas de kilómetros están compensados en forma local, y donde también se aprecia una mayor rigidez en el borde oriental del Altiplano, asociada al Cratón.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado un análisis cuantitativo de la estructura cortical del Altiplano y las características de la compensación isostática del edificio Andino. Gran parte del Altiplano se encuentra compensado en forma local, incluso en aquellos rasgos topográficos de pequeña dimensión. Esta particular situación es el producto de una rigidez prácticamente nula en la región altiplánica, probablemente como producto de un flujo calórico anómalamente alto. Discrepancias de una compensación isostática del tipo local en los flancos del Altiplano se asocian a la presencia de la placa subductada en la región de ante-arco y el cratón Brasileño al interior del continente.

El mayor espesor cortical y Anomalía de Bouguer del extremo sur del Altiplano se interpreta en términos de un escape tectónico en dirección perpendicular a la dirección de mayor compresión (E-W). La "acumulación" cortical inmediatamente al norte de un segmento de marcado carácter anómalo en la geología andina, en donde destacan la Península de Mejillones, el Salar de Atacama, y el corrimiento al Este del frente volcánico actual, sugieren mecanismos comunes para estos fenómenos. Se postula que la franja al sur de los 23° constituye un núcleo litosférico competente que se ha preservado en el tiempo y que actúa como un frente de contención ("backstop") para el colapso en dirección sur del Altiplano.

AGRADECIMIENTOS

La presente publicación es una contribución que forma parte del proyecto Fondecyt 93-94 #1930164 (Espesor cortical y compensación de la Cordillera de los Andes y su relación con la segmentación del margen convergente de Sudamérica: Transectas Gravimétricas).

REFERENCIAS

- Assumpção, M. The regional intraplate stress in South America. *J. Geophys. Res.* 97, 11889-11903, 1992.
- Beck, M.E. Jr. Tectonic rotations on the leading edge of South America: The Bolivian orocline revisited. *Geology*, 15, 806-808, 1987.
- Beck, M.E. Jr., C. Rojas, J. Cembrano. On the nature of the buttressing in margin-parallel strike-slip fault systems. *Geology*, 21, 755-758, 1993.
- Breitkreutz, C., F.F. Helmdach, R. Kohring y V. Mosbrugger. Late Carboniferous Intra-arc sediments in the North Chilean Andes: Stratigraphy, Paleogeography and Paleoclimate. *Facies*, 26, 67-80, 1992.
- Cahill T., Earthquake and tectonics of the central Andean subduction zone. Unpub. PhD. Thesis, Cornell Univeristy, USA, 1990.
- Henry, S.G. y H.N. Pollack. Terrestrial heat flow above the Andean subduction zone in Bolivia and Peru. *J. Geophys. Res.*, 93, 15153-15162, 1988.
- Isacks, B.L. Uplift of the Centra Andean Plateau and Bending of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research*, 93, 3211-3231, 1988.
- Lyon-Caen H., P. Molnar y G. Suárez. Gravity anomalies and the flexure of the Brazilian shield beneath the Bolivian Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 75, 81-92, 1985.
- Molnar P. y P. Tapponier. Cenozoic tectonics of Asia: effects of continental collision. *Science*, 189, 419, 1975.
- Parker, R.L., The rapid calculation of potential anomalies. *Geophys. Jour. of the Royal As. Soc.*, 31, 447-455, 1972.
- Turcotte D.L. y G. Shubert. *Geodynamics, aplications of continuum physics to geological problems.* John Wiley & Sons, 1982.
- Mpodozis C. y V. Ramos. The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Sciences Series*, Ericksen, G.E., M.T. Cañas, A. Reinemund, eds., Chapter 5, 59-90, 1989.
- Wessel P. y H.F. Smith. Free Software Helps Maps and Display Data. *EOS Trans AGU*, 1991, 72, 441.
- Zhou X., B. Zhong y X. Li. Gravimetric Terrain Correction by Triangular Element Method. *Geophysics*, 232-238, 1990.

GEOLOGIA Y TECTONICA DEL ALTIPLANO CHILENO

REYNALDO CHARRIER* y NELSON MUÑOZ*

- DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE, CASILLA 13518, CORREO 21, SANTIAGO, CHILE.
- SOCIEDAD INTERNACIONAL PETROLERA S.A. (SIPETROL), CASILLA 123, CORREO 35, LAS CONDES, SANTIAGO, CHILE.

RESUMEN

El origen del Altiplano, en los Andes Centrales, es uno de los problemas más interesantes de la formación de los Andes. Se presenta una descripción de la evolución geológica y tectónica del Altiplano chileno y se discute el significado, para comprender su alzamiento, de un sistema de fallas inversas con vergencia al Oeste, detectado en el borde occidental del Altiplano chileno. Las rocas más antiguas de la región corresponden al Complejo Metamórfico de Belén, datado en 1.000 Ma. El Triásico Superior - Neocomiano se caracteriza por el desarrollo del arco magmático de La Negra y la cuenca de trasarco de Perú-Chile, cuyo depocentro se encontraría bajo el Altiplano occidental. La inversión de la cuenca en el Neocomiano superior produjo la emersión definitiva de la región y desarrolló una faja plegada y corrida con vergencia oriental. Esta faja fue cubierta en el Cretácico Superior por depósitos de otro arco volcánico (Fm. Panjuacha), al Este del anterior, que se correlaciona con el arco de Quebrada Mala, en Antofagasta. En el Paleogeno superior se habría desarrollado una extensa cuenca sedimentaria que dió origen a las Fms. Putani y Chucal, de carácter fluvio-lacustre. Sobre estas unidades se depositaron, en el Mioceno Inferior, las potentes y extensas ignimbritas de la Fm. Oxaya y la Fm. Lupica. Un evento compresivo del Mioceno Medio a Superior en el borde Oeste del Altiplano, al norte de 19° 30' lat. S. provocó el corrimiento con vergencia al Oeste de las rocas precámbricas y jurásicas sobre las Fms. Oxaya y Lupica. Sobre estas unidades se desarrolló el arco volcánico actual y la cuenca en extensión de la pliocénica Fm. Lauca. La existencia de una faja plegada y corrida con vergencia al Este en el borde oriental del Altiplano, conocida previamente, y de un sistema de fallas inversas con vergencia opuesta en el borde occidental, recientemente detectado, pone en evidencia que este bloque es una estructura compresiva y permite proponer que el alzamiento del Altiplano tuvo un control fundamentalmente estructural. La superficie altiplánica se habría nivelado por procesos de erosión y relleno, tanto sedimentario como volcánico, de una región deprimida formada entre la Cordillera Oriental, por un lado, y la Cordillera Occidental volcánica y el alzamiento provocado por el sistema de fallas inversas con vergencia al Oeste del borde occidental del Altiplano, por el otro.

ABSTRACT

The origin of the near 4,000 m high Altiplano plateau, located in the Central Andes, represents one of the most interesting mountain building problems of the Andean range. This article presents a description of the geology and tectonic evolution of the Chilean Altiplano and discusses the significance for the uplift of the plateau of a westvergent thrust system located along its west margin. The oldest rocks in this region form the 1,000 Ma old Belén Metamorphic Complex. The late Triassic to Neocomian evolution is characterized by the development of the La Negra volcanic arc and the Perú-Chile backarc basin, with a depocenter located below the western Altiplano. The inversion of the basin in the late Neocomian produced a definite emersion of the region and developed an eastvergent thrust and fold belt. In the late Cretaceous this belt was unconformably covered by the deposits of a new volcanic arc (Panjuacha Fm.), shifted to the east of the former La Negra arc, and correlated to the Quebrada Mala arc in the Antofagasta region. During the Paleogene a new volcanic activity and associated basins were developed. Here the fluvio-lacustrine Putani and Chucal Fms. were deposited. These units were covered by the extensive flat-lying, ignimbric early Miocene Oxaya and the Lupica Fms. A Middle to late Miocene compressive event caused along the west margin of the Altiplano, north of 19° 30' South latitude, the westvergent thrusting of the Oxaya and Lupica, Fms. by pre-Cambrian and Jurassic rocks. On top of this units developed the Present volcanic arc (Western Cordillera) and the Pliocene Lauca Fm. extensional basin. The existence of the previously known eastvergent thrust and fold belt on the east side of the Altiplano, in Bolivia, and of the recently detected westvergent thrust system on its west side evidences that the Altiplano block is a compressive feature and suggests that its uplift was mainly structurally controlled. The flat Altiplano surface was levelled by both the erosion of an old topography and filling by sedimentary and volcanic deposits of a depressed area located between the Eastern Cordillera, to the east, and the Western Cordillera and the thrust and uplifted west margin of the Altiplano to the West.

INTRODUCCION

El alzamiento de las cadenas de montañas se asocia generalmente con procesos de acortamiento cortical. Para explicar la presencia en algunas cadenas de montañas la existencia de grandes plateaus como el Tibet y el Altiplano, es necesario, sin embargo, recurrir a una combinación de procesos que consideren diferentes tasas de transporte de masa y energía, tanto en la horizontal como en la vertical. Tales procesos se pueden clasificar en tres categorías: acortamiento estructural, adición magmática y adelgazamiento litosférico (ALLMENDINGER, 1986).

Se han realizado varios intentos para explicar el alzamiento del Altiplano. SUAREZ *et al.* (1983) sugieren que el engrosamiento cortical se debe a repetidos cabalgamientos en la corteza continental. Opiniones similares fueron expresadas por ROEDER (1988) y REUTTER *et al.* (1988). ISACKS (1988) abogó por la idea de que el Altiplano es el resultado de engrosamiento cortical producido por acortamiento tectónico y adelgazamiento termal de la litosfera. KONO *et al.* (1989) propusieron, en cambio, que la adición de magma y el acortamiento cortical son los mecanismos que simultáneamente operaron durante el alzamiento de este plateau. Estos autores sugieren que la adición de magma tuvo lugar principalmente en la mitad occidental del Altiplano, mientras que el acortamiento cortical ocurrió en su parte oriental, es decir, en la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas.

El origen de los Andes está claramente relacionado con la subducción de la placa de Nazca bajo el borde occidental de América del Sur. El Altiplano es parte de la cadena andina y, por lo tanto, su origen es el resultado de procesos asociados con la subducción similares a los que se conocen en otras regiones de los Andes. La explicación del origen del Altiplano depende del conocimiento de cómo tales procesos combinaron su intensidad y del orden cronológico con que cada uno actuó. Otro aspecto importante de este problema es conocer el por qué aquí tuvo lugar una cierta combinación de procesos con una intensidad

diferente que en otras regiones de la cadena. FROIDEVAUX y ISACKS (1984), FROIDEVAUX y RICARD (1987) y ISACKS (1988) presentaron detallados análisis de los aspectos relacionados con la subducción presente y pasada, las características de la litósfera y astenósfera, y los balances de masa de las unidades comprometidas en la formación de un alto plateau elevado, en general, y de la región altiplánica, en particular. La información geofísica sobre esta región es aún demasiado escasa para permitir la proposición de modelos satisfactorios.

Con posterioridad a los trabajos mencionados han surgido importantes antecedentes sobre la estructura y evolución tectónica de la región boliviana (HERAIL *et al.*, 1990; SEMPERE *et al.*, 1990) y chilena (MUÑOZ y CHARRIER, 1996), que ponen en evidencia la existencia de dos sistemas de fallas inversas con vergencias divergentes en ambos bordes del Altiplano.

En este artículo se presenta un bosquejo de la geología de la región altiplánica chilena y de su evolución tectónica y paleogeográfica y se analiza el significado y las implicaciones para el alzamiento del Altiplano de un sistema de fallas inversas de alto ángulo con vergencia al Oeste recientemente reconocido en el borde occidental del Altiplano chileno. Si bien la estratigrafía y la cronología de los eventos tectónicos de la región chilena es aún imprecisa, el conocimiento de la existencia de este sistema de fallas inversas permite proponer un modelo estructural más realista para el alzamiento del Altiplano.

La existencia de fallas importantes en esta región fue previamente señalada por PACCI *et al.* (1980), quienes mapearon algunas de ellas en la región de Belén - Ticnamar sin indicar el tipo de desplazamiento. PASKOFF y NARANJO (1983), NARANJO y PASKOFF (1985) y DAMM *et al.* (1986) mencionaron, además, la existencia de fallas inversas con desplazamientos importantes a lo largo del margen del Altiplano chileno al Este de Arica.

MARCO GEOGRAFICO Y GEOLOGICO

El Altiplano, incluyendo la Puna, es con el Himalaya uno de los mayores plateaus de la Tierra y el único ubicado en un borde activo de subducción. Se ubica en el sector arqueado de la cadena denominado Codo de Arica o de Santa Cruz. Esta región corresponde a la parte central de los Andes Centrales (GANSSE, 1973). Forma parte del segmento andino localizado entre 15° y 27° de latitud Sur, subductado con una inclinación de unos 30° y limitado hacia el Norte y el Sur por segmentos de subducción plana, menor que 15° de inclinación (BARAZANGI y ISACKS, 1976).

En esta región se han definido las siguientes unidades morfoestructurales, de Oeste a Este: La Cordillera de la Costa, la Depresión Central, el Altiplano con el cordón volcánico en su borde occidental o Cordillera Occidental, la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas (Fig.1).

El Altiplano, junto con la Puna, es por sus dimensiones el rasgo orográfico más destacado de los Andes Centrales y posiblemente de todo el cordón andino. Corresponde a una inmensa altiplanicie que se encuentra a un promedio de 3.700 metros sobre el nivel del mar. Tiene cerca de 300 km de ancho y unos 1.500 km de largo. Se extiende desde los 15° hasta los 27° de latitud sur, o sea, desde la región de Ayacucho, en Perú, hasta cerca de Copiapó, en Chile (Fig.1).

Para comprender la magnitud de esta masa montañosa señalaremos que un segmento de 1 km de largo en la Cordillera de los Andes en la región central de Chile, entre Valparaíso y Mendoza, tiene un volumen de aproximadamente 500 km³, mientras que un segmento de 1 km de largo en los Andes Centrales, entre Arica y Santa Cruz, tiene alrededor de 1.800 km³.

En la superficie del Altiplano existen extensas depresiones. Estas corresponden, en la parte Sur, a cuencas endorreicas evaporíticas formadas bajo condiciones climáticas áridas, como los salares de Arizaro, Uyuni, Coipasa y Surire, y a enormes lagos hacia el Norte, como el Poopo y el Titicaca (Fig. 1).

La Cordillera Occidental corresponde al cordón volcánico andino Neógeno superior - Reciente. Tiene unos 100 km de ancho y está formada por volcanes activos y extinguidos, edificados sobre la superficie plana de la parte occidental del Altiplano, algunos de los cuales alcanzan alturas de más de 6.500 m. Los volcanes más jóvenes y activos se ubican principalmente a lo largo del límite internacional.

Las Sierras Subandinas, la unidad morfoestructural más oriental de esta región, corresponden a una faja plegada y corrida con vergencia oriental en la cual el acortamiento total es de por lo menos 210 Km (SHEFFELS, 1990).

GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DEL ALTIPLANO CHILENO

En el Altiplano chileno se conocen rocas de edades pre-cámbrica, mesozoica y cenozoica. A continuación se describen las unidades conocidas en la región y se bosqueja su evolución paleogeográfica tomando en cuenta los antecedentes disponibles para la región Norte de Chile.

Las rocas más antiguas de esta región corresponden a esquistos y gneisses de bajo grado con edades de 1.000 Ma (PACCI *et al.*, 1980), que se agrupan bajo el nombre de Esquistos o Complejo Metamórfico de Belén (MONTECINOS, 1969). Estas rocas

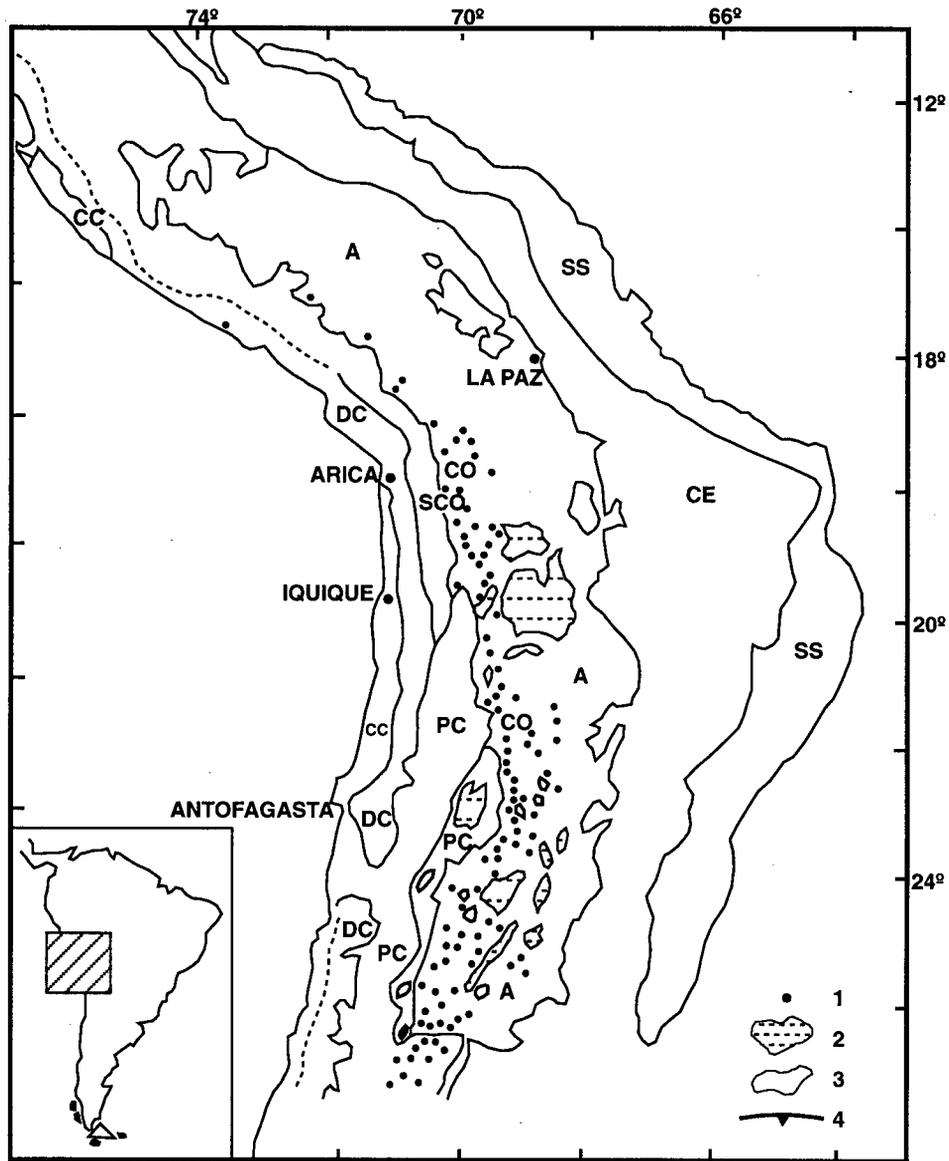


Fig. 1. Mapa de ubicación del Altiplano en América del Sur y distribución de las unidades morfoestructurales de los Andes Centrales. CC: Cordillera de la Costa, DC: Depresión Central, SCO: Franja con Sistema de Fallas Inversas con vergencia al Oeste, PC: Precordillera, PD: Depresión Preandina, A: Altiplano, CO: Cordillera Occidental volcánica, CE: Cordillera Oriental, SS: Sierras Subandinas. 1. Volcanes, 2. Salares, 3. Lagos. En el recuadro se indica el área de América del Sur representada con mayor detalle.

afloran a lo largo de una angosta franja ubicada a lo largo del borde occidental del Altiplano entre Socoroma y Ticnamar (Fig. 2) y se encuentran cabalgando a rocas más jóvenes a lo largo de un sistema de fallas inversas de alto ángulo y vergencia occidental (MUÑOZ y CHARRIER, 1996). Esta unidad se puede interpretar como un fragmento del borde occidental del cratón Sudamericano o como una parte joven del Macizo de Arequipa (MPODOZIS y RAMOS, 1989), el cual podría ser un fragmento de Laurentia, el núcleo precámbrico de Norte América, separado de la inflexión de Arica en el Precámbrico más alto (570 Ma) (DALZIEL, 1993).

Durante el Triásico más alto y el Jurásico Inferior se desarrolló, a lo largo de la actual Cordillera de la Costa, el arco volcánico de La Negra. Los productos del volcanismo engranaron hacia el Este con los depósitos de la cuenca marina de trasarco de Perú-Chile (MUÑOZ *et al.*, 1988, 1989; HARAMBOUR, 1990). El análisis de facies y de la capacidad oleogénica de los depósitos jurásicos permite deducir un amplio desarrollo de la cuenca hacia el Este y que eventuales concentraciones de hidrocarburos se podrían encontrar en subsuperficie bajo el Altiplano occidental (MUÑOZ y CHARRIER, 1993). El inicio de la regresión marina se produjo en el Jurásico Superior (Kimmeridgiense). En algunos sectores de la cuenca, la sedimentación se prosiguió durante el Neocomiano Inferior con la acumulación de gruesos espesores de sedimentos clásticos arenosos con niveles que contienen especies de Trigonias del Cretácico Inferior (Fm. Livillar; MUÑOZ *et al.*, 1988, 1989) y conglomerádicos (Fm. Chusmiza;

HARAMBOUR, 1990). La regresión definitiva del mar en esta región coincidió con el comienzo de la deriva hacia el Este de América del Sur al separarse de Gondwana. La inversión de la cuenca ocurrió en el Neocomiano superior. Esta deformación desarrolló una extensa faja plegada y corrida con vergencia oriental en todo el ámbito de la cuenca de trasarco (MUÑOZ y CHARRIER, 1996).

En la quebrada de Tarapacá, en el sector de Pachica, se conocen rocas volcánicas de edad cretácica superior, de composición principalmente ácida, agrupadas en la Fm. Panjuacha. Estas recubren discordantemente a los depósitos del Jurásico Superior de la cuenca de trasarco (Fm. Quebrada Honda) y están intruidas por cuerpos datados en 80 Ma (HARAMBOUR, 1990). Estas rocas pueden asignarse a una nueva distribución de los centros volcánicos, desplazados hacia el Este con respecto del arco volcánico de La Negra. Este nuevo cordón volcánico corresponde a la prolongación hacia el norte del arco de Quebrada Mala conocido entre Antofagasta y Calama (MUÑOZ *et al.*, 1989).

A fines del Terciario Inferior se desarrolló una extensa cuenca sedimentaria fluvio-lacustre con abundante desarrollo de actividad orgánica (MUÑOZ, 1991) y con restos fósiles de mamíferos (CHARRIER *et al.*, 1994). En ella se depositó, en el sector de Surire, la Formación Chucal, cuyo espesor alcanza a más de 1.000 m, y posiblemente también la Formación Putani, en el sector de General Lagos (SALAS *et al.*, 1996; MUÑOZ, 1991) (Fig. 2). La tendencia subsidente que dio origen a esta cuenca estuvo asociada a una intensa actividad volcánica explosiva de carácter ácido.

En el Mioceno (19 Ma) esta actividad volcánica explosiva dió origen a gruesos y extensos (más de 20.000 km cuadrados) mantos ignimbríticos que recubrieron a los depósitos anteriores (Fm. Oxaya, en el Altiplano de Arica, SALAS *et al.*, 1966; Fm. Altos de Pica, en el Altiplano de Iquique, GALLI, 1957, 1968; GALLI y DINGMAN, 1962), cuyas edades están comprendidas entre 23 y 15 Ma (GALLI, 1957, 1968; GALLI y DINGMAN, 1962; LAHSEN, 1982; MUÑOZ, en prep.). Depósitos similares y de la misma edad se conocen en el Sur del Perú.

Sobre la Formación Oxaya se depositó la Formación Lupica (MUÑOZ, 1991), también de carácter fluvio-lacustre, expuesta como imbricaciones tectónicas a lo largo de la franja Socoroma, Zapahuira, Chapiquiña, Belén, Lupica, Ticnamar (Fig. 2).

Un episodio compresivo (Mioceno Medio - Superior) desarrolló un sistema de fallas inversas de alto ángulo que afectaron a las Fms. Oxaya y Lupica que permitieron el cabalgamiento del bloque altiplánico hacia el Oeste (MUÑOZ y SEPULVEDA, 1992; MUÑOZ y CHARRIER, 1996), de una manera divergente con lo que estaba ocurriendo en las Sierras Subandinas en el borde oriental del Altiplano en Bolivia.

Los volcanes, que forman la Cordillera Occidental, se desarrollaron en la superficie del Altiplano por encima de la cubierta de Fm. Oxaya. Esta actividad volcánica es la que da origen a los campos geotérmicos de Jurase, Surire, Puchuldiza y El Tatio, entre otros (LAHSEN, 1976), a importantes depósitos de Azufre y a los yacimientos de Cobre y metales preciosos, como el de Choquelimpie (AGUIRRE, 1990).

Sobre esa cubierta se desarrolló también la cuenca que alojó a los sedimentos plio-pleistocénicos de la Fm. Lauca y los depósitos evaporíticos acumulados en los salares, fuentes de boratos, metales escasos como el Litio, Tierras Raras, etc (ver CHONG, este simposio).

CONSIDERACIONES SOBRE EL ALZAMIENTO Y EVOLUCION DEL ALTIPLANO

Los grandes plateaus como el Tibet y el Altiplano se caracterizan por dos rasgos morfológicos esenciales: 1. El enorme volumen de corteza elevado, y 2. la existencia de una superficie plana. A continuación se discuten algunos aspectos que parecen relevantes para explicar estos rasgos en el sector boliviano-chileno del Altiplano.

1. El alzamiento del Altiplano

El sistema de fallas inversas de alto ángulo con vergencia al Oeste, que compromete al basamento ("thick-skinned tectonics") recientemente descubierto en el borde occidental del Altiplano chileno, al Norte de 20° Sur (MUÑOZ y CHARRIER, 1996), es un antecedente fundamental para comprender el alzamiento del Altiplano.

Las estructuras más occidentales del sistema se ubican en el borde oriental de la Depresión Central (Fig. 2). Estas pasan gradualmente hacia el Norte desde una flexura con manteo hacia el Oeste, conocida a 19° 30' de latitud Sur y descrita por MORTIMER *et al.* (1974), a un pliegue asimétrico con vergencia occidental que presenta en su flanco frontal dos fallas inversas que mantean al Este. Estas fallas afectan a la Fm. Oxaya y a las gravas sintectónicas asociadas (MUÑOZ y SEPULVEDA, 1992). Determinaciones K-Ar en ignimbritas falladas que sobreyacen a la Fm. Oxaya dieron edades de 16,3 y 16,2 Ma. Niveles de tobas que recubren a las unidades flexuradas y falladas fueron datadas por el mismo método en 8,2 Ma (MUÑOZ y SEPULVEDA, 1992). La edad del episodio de fallamiento inverso se puede ubicar, por lo tanto, en el Mioceno medio a superior.

Las fallas más occidentales de este sistema se encuentran bien expuestas a lo largo de la franja prealtiplánica de Socoroma, Zapahuira, Chapiquiña, Belén, Lupica, Ticnamar (Fig. 2). Estas forman un sistema de fallas inversas de alto ángulo que permitió

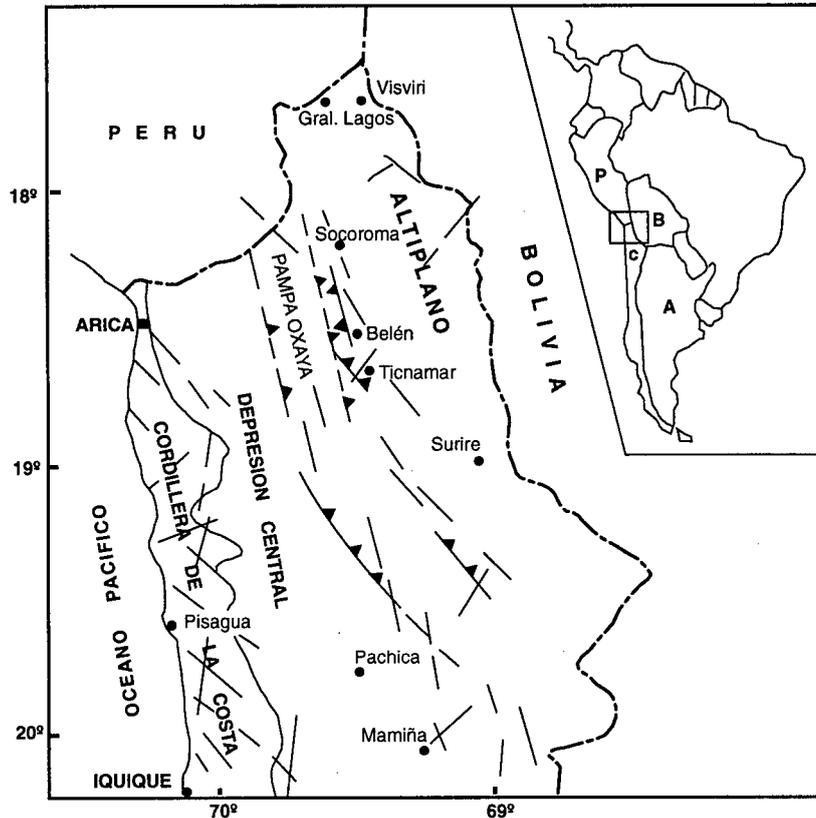


Fig. 2. Mapa de ubicación del Sistema de Fallas Inversas con vergencia al Oeste ubicada en el borde occidental del Altiplano con indicación de las principales localidades mencionadas en el texto. En el recuadro se indica el área de América del Sur representada en detalle. A: Argentina, B: Bolivia, C: Chile, P: Perú.

la superposición de rocas precámbricas y mesozoicas sobre depósitos terciarios (MUÑOZ y CHARRIER, 1996). Asociados a estas fallas se generaron también depósitos de gravas sintectónicas bien expuestas a lo largo del sector pre-altiplánico ubicado entre Socoroma y Tijnamar (borde occidental de Pampa Oxaya; Fig. 2), como la Fm. Huaylas y los Estratos de Caragua. Estos últimos con restos de vertebrados del Mioceno Superior (SALINAS *et al.*, 1991). Este sistema de fallas determinó la morfología escalonada de la vertiente occidental del Altiplano.

En el borde oriental del Altiplano, en Bolivia, se ha determinado para el Oligoceno Superior - Mioceno Inferior (24 Ma) el inicio de un largo y prácticamente continuo proceso de deformación que permitió el cabalgamiento de la masa altiplánica sobre rocas sedimentarias ubicadas a su lado oriental (HERAIL *et al.*, 1990; SEMPERE *et al.*, 1990). El resultado de este proceso es la faja plegada y corrida con fallas de bajo ángulo y vergencia oriental de las Sierras Subandinas. Esta faja se habría iniciado con el Corrimiento o Cabalgamiento Principal Andino (MAT) y el fallamiento habría progresado secuencialmente hacia el Este (SEMPERE *et al.*, 1990). Esta faja plegada y corrida sigue activa hoy en día (HERAIL, 1990) y se manifiesta, por una actividad sísmica cortical superficial con mecanismos de foco correspondientes a fallas inversas de bajo ángulo (DORBATH *et al.*, 1991). SEMPERE *et al.* (1990) distinguieron, además, en el Altiplano boliviano una "faja" occidental separada de una "faja" oriental por una Falla Limítrofe Intra Andina de vergencia occidental, ubicada al Oeste del MAT, a lo largo de la cual parte de la "faja" occidental fue cabalgada por la "faja" oriental.

El desarrollo de la faja plegada y corrida de las Sierras Subandinas produjo un considerable aumento del espesor cortical de esa región y un consiguiente alzamiento del relieve. El sistema de fallas inversas con vergencia al Oeste, que alcanzó a exponer el basamento, recientemente reconocido en el borde occidental del Altiplano chileno, debió generar un alzamiento equivalente.

La situación generada por la existencia de sistemas de vergencias opuestas, posiblemente relacionados genéticamente, a ambos lados del Altiplano, pone en evidencia que los límites oriental y occidental de este elemento orográfico están determinados por fallas inversas (Fig. 3).

En estas condiciones las fuerzas compresivas que actúan en este borde continental orogénico forzarían la corteza ya elevada y posiblemente más liviana a seguir cabalgando la corteza adyacente más delgada que bordea por ambos lados el bloque altiplánico.

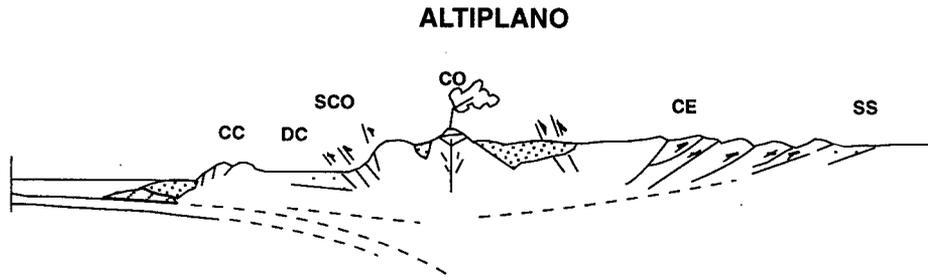


Fig. 3. Perfil Este-Oeste del Altiplano boliviano-chileno mostrando las diferentes unidades morfoestructurales y la relación divergente de los sistemas de fallas inversas con vergencia al Oeste (SCO) en el borde chileno del Altiplano con respecto de la faja plegada y corrida de las Sierras Subandinas (SS). Abreviaciones como en Fig. 1.

Una vez establecidas estas condiciones el proceso de alzamiento debería continuarse hasta que se verifique un cambio mayor en el régimen de fuerzas (subducción), o bien hasta que la masa elevada no pueda sustentarse más y se produzca el colapso del orógeno.

2. Desarrollo de la superficie altiplánica

La superficie plana del Altiplano, sobre la cual descansan los volcanes de la Cordillera Occidental es el resultado de un emparejamiento de la topografía que existía antes de los 23 Ma (Oligoceno superior - Mioceno inferior), por erosión y relleno sedimentario y volcánico.

En este periodo, los depósitos del Terciario Inferior habían sido parcialmente erodados y los productos resultantes se habrían acumulado en una cuenca de antepaís. Los dominios donde se localizó el volcanismo, la región adyacente oriental y el antepaís fueron cubiertos a partir de 23 Ma por extensas y potentes cubiertas ignimbríticas (Fms. Oxaya y Altos de Pica), que completaron el proceso de nivelación iniciado por la erosión y la sedimentación.

SEMPERE *et al.* (1990) concluyeron que la actual región altiplánica fue, hasta el Eoceno - Oligoceno medio, parte de una cuenca de antearco, pero que, con el súbito desplazamiento hacia el Este del frente de deformación tectónica hasta la posición del Corrimiento Principal Andino, la región altiplánica quedó encerrada entre la Cordillera Oriental, en proceso de alzamiento, y los remanentes del dominio volcánico del Terciario Inferior.

Esta situación se mantuvo a causa del ininterrumpido desarrollo de la faja plegada y corrida de las Sierras Subandinas, en la parte oriental del Altiplano, y por el desarrollo de la Cordillera Occidental, volcánica, y el sistema de fallas inversas con vergencia occidental, al Oeste del Altiplano.

A pesar de que la actual superficie del Altiplano es casi plana es necesario señalar que durante el Neogeno Superior se formaron amplias cuencas subsidentes como las de la Fm. Lauca, de 300 m de espesor y de edad pliocénica, y de los grandes salares. Así mismo, es necesario mencionar que la Fm. Lauca presenta evidencias de una deformación compresiva que no se manifiesta en los depósitos cuaternarios.

Los depósitos acumulados en estas cuencas pone en evidencia una importante actividad de erosión y sedimentación. Estos procesos tuvieron lugar, sin embargo, casi en el mismo lugar. Esto representa una diferencia esencial respecto del transporte de sedimentos que se produce cuando la región erodada es un arco volcánico y el dominio de sedimentación es el dominio de trasarco o de antepaís. En estos casos los sedimentos acumulados en el trasarco sufren de repetidos transportes en la misma dirección con las sucesivas inversiones y progresivos alzamientos de las cuencas. Esto último es lo que se podría denominar: Migración de los sedimentos en el sentido de la polaridad tectónica y magmática.

CONCLUSIONES

Los antecedentes expuestos permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. El Altiplano boliviano-chileno está limitado por ambos lados por sistemas de fallas inversas con vergencias divergentes: Al Este, por la faja plegada y corrida con fallas de bajo ángulo y vergencia oriental de las Sierras Subandinas, y, al Oeste, por un sistema de fallas inversas de alto ángulo, con vergencia al Oeste.
2. La existencia de ambos sistemas de fallas con las características descritas, permite concluir que el Altiplano es una estructura compresiva asimétrica generada por un aumento gradual del espesor de la corteza a causa de su fallamiento repetido.
3. El alzamiento del Altiplano tuvo un control fundamentalmente estructural y, por lo tanto, la existencia de este plateau elevado es esencialmente el resultado de procesos mecánicos.

4. La superficie altiplánica se habría formado, primero, por erosión de un relieve preexistente y, segundo por el relleno, por depósitos sedimentarios y volcánicos, de una región deprimida y elongada, probablemente endorreica, desarrollada a partir del Mioceno más inferior (24 Ma para la faja plegada y corrida del las Sierras Subandinas) y localizada entre la Cordillera Oriental, por un lado, y la Cordillera Occidental volcánica y el alzamiento provocado por el sistema de fallas inversas con vergencia al Oeste del borde occidental del Altiplano (entre 16 y 4 Ma), por el otro.

AGRADECIMIENTOS

Los antecedentes aquí presentados se obtuvieron durante el desarrollo del proyecto FONDECYT N° 1224-91: "Tectónica compresiva versus acreción magmática en la génesis del Altiplano chileno", financiado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT). Se agradece a la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) por el apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto mencionado.

REFERENCIAS

- Aguirre, E., 1990. Geología del Complejo Volcánico Choquelimpie-Ajoya, Altiplano de Arica, I^a Región. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 136 p.
- Allmendinger, R.W., 1986. Tectonic development, southeaster border of the Puna plateau, north western Argentine Andes. Geological Society of America Bulletin, Vol. 97, p. 1070-1082.
- Barazangi, M. y Isacks, B.L., 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. Geology, 4, 686-692.
- Charrier, R., Muñoz, N., Wyss, A.R., Flynn, J.J. y Hérail, G., 1994. Hallazgo de un húmero de Toxodonte (Mammalia) en la Formación Chucal en el Altiplano chileno. Actas 7^o Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile, Vol. 1, p. 434-437.
- Dalziel, I.A.W., 1993. The origin and early history of the Pacific margin of South America: Their influence on the development of the Andean Cordillera. Second Symposium International de Géodynamique Andine (ISAG 93), Oxford, Septiembre 1993, Editions ORSTOM, Paris, p. 505-508.
- Damm, K.-W., Pichowiak, S. y Todt, W., 1986. Geochemie, Petrologie und Geochronologie der Plutonite und des metamorphen Grundgebirges in Nordchile. Berliner Geowiss. Abh. (A), 66, p. 73-146, Berlin.
- Dorbath, L., Dorbath, G., Jimenez, E. y Rivera, L., 1991. Seismicity and tectonic deformation in the Eastern Cordillera and the sub-Andean zone of central Peru. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 4, N° 1/2, p. 13-24.
- Froidevaux, C. y Isacks, B.L., 1984. The mechanical state of the lithosphere in the Altiplano-Puna segment of the Andes. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 71, p. 305-314.
- Froidevaux, C. y Ricard, Y., 1987. Tectonic evolution of high plateaus. Tectonophysics, Vol. 134, p. 227-238.
- Galli, C., 1957. Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá. Revista Minerale, Año 12, N° 56, p. 14-26, Santiago.
- Galli, C., 1968. Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile N° 18, 53 p., Santiago.
- Galli, C., y Dingman, R., 1962. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Vol. 3, N° 2-5, 125 p., Santiago.
- Gransser, A., 1973. Facts and theories on the Andes. Journal of the Geological Society of London, v. 129, p. 93-131.
- Harambour, S., 1990. Geología pre-cenozoica de la Cordillera de los andes entre las quebradas Aroma y Juan de Morales, I^a Región, Chile. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 228 p.
- Hérail, G., Baby, P., López, M., Oller, J., López, O., Salinas, R., Sempere, T., Beccar, G. y Toledo, H., 1990. Structure and kinematic evolution of subandean thrust system of Bolivia. Premier Symposium International de Géodynamique Andine (ISAG 90), Grenoble, Mayo 1990, Editions ORSTOM, Paris, p. 172-182.
- Isacks, B.L., 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. Journal of Geophysical Research, Vol. 94, N° B4, p. 3211-3231.
- Kono, M., Fukao, y Yamamoto, A., 1989. Mountain building in the central Andes. Journal of Geophysical Research, v. 94, N° B4, p. 3891-3905.

- Lahsen, A., 1976. Geothermal exploration in Northern Chile: A summary. *Circum-Pacific Energy and Mineral Resources*, Memoir N° 25, p. 169-175.
- Lahsen, A., 1982. Upper Cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Northern Chile. *Earth-science Reviews*, Vol. 18, p. 285-302.
- Montecinos, F., 1963. Observaciones de geología en el Cuadrángulo de Campanini, Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 109 p.
- Mortimer, C., Farrar, E. y Saric, N., 1974. K-Ar ages from Tertiary lavas of the northernmost Chilean Andes. *Geologische Rundschau*, Band 63, p. 484-490.
- Mpodozis, C. y Ramos, V., 1989. The Andes of Chile and Argentina, in: *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*; Ericksen, G.E., Cañas M.T. and Reinemund, J.A. (Editores), Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Easth Science Series, v. 11, p. 59-90.
- Muñoz, N., 1991. Marco Geológico y Estratigrafía de un sistema fluvio-lacustre, Paleogeno, Altiplano de Arica, Norte de Chile. *Actas 6º Congreso Geológico Chileno*, Viña del Mar, p. 201-204
- Muñoz, N., en prep. Estratigrafía, estructura y evolución del Altiplano chileno entre 18° 30' y 20° de latitud Sur. Tesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.
- Muñoz, N. y Sepúlveda, P., 1992. Estructuras compresivas con vergencia al Oeste en el borde oriental de la Depresión Central (19° 15' lat. Sur). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 19, N° 2, p. 241-247.
- Muñoz, N. y Charrier, R., 1993. Jurassic-early Cretaceous facies distribution in the Western Altiplano (18°-21°30' S.L.). Implications for hydrocarbon exploration. *Second Symposium International de Géodynamique Andine (ISAG 93)*, Oxford, Septiembre 1993, Editions ORSTOM, Paris, p. 307-310.
- Muñoz, N. y Charrier, R., 1996. A west vergent fault system at the western border of the Altiplano in Northern Chile: implications for the uplift of the Altiplano-Puna plateau. *Jour. of South American Earth Sciences*. Vol. 9, p. 171-181
- Muñoz, N., Elgueta, S. y Harambour, S., 1988. El Sistema Jurásico en el curso superior de la quebrada Azapa, I Región: Implicancias paleogeográficas. *Actas 5º Congreso Geológico Chileno*, Tomo 1, p. A403-A415.
- Muñoz, N., Charrier, R. y Pichowiak, S., 1989. Cretácico Superior volcánico-sedimentario (Formación Quebrada Mala) en la Región de Antofagasta, Chile, y su significado geotectónico; *in*: Contribución a los Simposios sobre el Cretácico de América Latina, Parte A: Eventos y Registro Sedimentario, Spalletti, L., Editor, Buenos Aires, p. 133-148.
- Naranjo, J. A. y Paskoff, R., 1985. Evolución cenozoica del piedemonte andino en la Pampa del Tamarugal, Norte de Chile (18°-21° S.). *Actas 4º Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, p. 5/149-165.
- Oldow, J.S., Bally, A.W. y Ave-Lallemant, H.G., 1990. Transpression, orogenic float and lithospheric balance. *Geology*, Vol. 18, p. 991-994.
- Pacci, D., Hervé, F., Munizaga, F., Kawashita, K. y Cordani, U., 1980. Acerca de la edad Rb/Sr precámbrica de rocas de la Formación Esquistos de Belén, Departamento de Parinacota Chile. *Revista Geológica de Chile*, 11, p. 43-50.
- Paskoff, R. y Naranjo, J.A., 1983. Formation et évolution du piémont andin dans le désert du Nord du Chili (18°-21° latitude Sud) pendant le Cénozoïque supérieur. *C. R. Acad. Sc. Paris*, Tomo 297 (14 Novembre 1983), Série II, p. 743-748.
- Reutter, K.-J., Giese, P., Götze, H.-J., Scheuber, E., Schwab, K., Schwarz, G. y Wigger, P., 1988. Structure and crustal development of the central Andes between 21° and 25° S.; *in*: *The Southern Andes*, H. Bahlburg, Ch. Breitkreuz & P. Giese (Editores), Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, p. 231-261.
- Roeder, D., 1988. Andean-age structure of Eastern Cordillera (Province of La Paz, Bolivia). *Tectonics*, Vol. 7, N° 1, p. 23-39.
- Salas, R., Kast, R., Montecinos, F. y Salas, R., 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 21, 114 p., Santiago.
- Salinas, P., Villarroel, C., Marshall, L., Sepúlveda, P. y Muñoz, N., 1991. *Tyotheriopsis* sp (Nothoungulata, Mesotheriidae), mamífero del Mioceno Superior en las cercanías de Belén, Arica, Norte de Chile. *Actas 6º Congreso Geológico Chileno*, Viña del Mar, p. 314-317.
- Sempere, T., Hérail, G., Oller, J. y Bonhomme, M.G., 1990. Late Oligocene-early Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia. *Geology*, Vol. 18, p 946-949.

Sheffels, B., 1990. Lower bound on the amount of crustal shortening in the central Bolivian Andes. *Geology*, Vol. 18, p. 812-815.

Suárez G., Molnar, P. y Burchfield, B.C., 1983. Seismicity, fault plane solutions, depth of faulting, and active tectonics of the Andes of Peru, Ecuador and southern Colombia. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, p. 10.403-10.429.

EL ALTIPLANO NORTE DE BOLIVIA: EVOLUCION GEOLOGICA TERCIARIA

GÉRARD HÉRAIL¹, PHILIPPE ROCHAT², PATRICE BABY³, OSCAR ARANIBAR⁴,
ALAIN LAVENU¹, GEORGES MASCLE²

1. ORSTOM, CONVENIO ORSTOM-DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, UNIV. DE CHILE.
CASILLA 53390, CORREO CENTRAL, SANTIAGO, CHILE.
2. INSTITUT DOLOMIEU, UNIV. JOSEPH-FOURIER, 14 RUE MAURICE GIGNOUX, 31038 GRENOBLE, FRANCIA.
3. ORSTOM, APARTADO POSTAL 1711, 6596 QUITO, ECUADOR.
4. YPFB, CASILLA 1659, SANTA CRUZ DE LA SIERRA, BOLIVIA.

RESUMEN:

El Altiplano es una de las estructuras características de los Andes centrales (Fig.1). Asociado al codo del Oroclino Boliviano se extiende desde el sur del Perú hasta el norte de Argentina (Puna) entre 14° hasta 27° de latitud sur abarcando, en su parte central, Bolivia y las regiones septentrionales de Chile. De unos 200 km de ancho, su altitud media es de 4.000 m aproximadamente. Se caracteriza por un engrosamiento cortical de unos 70 km (Wigger *et al.*, 1994).

Durante mucho tiempo se propuso, para explicar la geometría, estructura y formación de los Andes bolivianos, un modelo tectónico basado en la sucesión de fases de extensión separadas por cortas fases de compresión. Con este concepto el Altiplano fue asimilado a una cuenca intramontana abierta en extensión durante el Terciario (Martínez, 1980; Lavenu, 1986; Sebrier *et al.*, 1988, por ejemplo). Pero muchos trabajos recientes han mostrado el papel predominante de los acortamientos horizontales asociados a largas fases de compresión en la estructuración de la Cordillera (Roeder, 1988; Baby *et al.*, 1989; Sempere *et al.*, 1990, 1991; Sheffels, 1990; Hérail *et al.*, 1990; Baby *et al.*, 1992, por ejemplo) pero también del Altiplano (Sempere *et al.*, 1990; Baby *et al.*, 1990). Sin embargo, en lo que se refiere al Altiplano, estos modelos no explican de manera completamente satisfactoria ni los grandes espesores de las series terciarias que localmente alcanzan 10.000 m en el sinclinal de Corque, ni la geometría de la cuenca que las contienen. Esto llevó a reconsiderar el conjunto de los datos de superficie y de subsuelo para proponer un nuevo modelo tectónico y sedimentario que explique la geometría y naturaleza del relleno sedimentario (Rochat *et al.*, 1995).

Para explicar la geología del Altiplano hay que contestar a dos preguntas:

- cuál es la explicación y cronología de la elevación en esta planicie, y
- cuál es la evolución geológica de este segmento de los Andes que provocó el aislamiento de una porción de la cadena creando relieves que la separaron, tanto del Pacífico como de la llanura amazónica, y quedó endorreica. En este trabajo se dará, mayor énfasis a la proposición de una respuesta a esta pregunta.

LOS DOMINIOS ESTRUCTURALES DEL ALTIPLANO-NORTE DE BOLIVIA

En el norte de Bolivia (fig.1), el Altiplano se desarrolla al oeste de la Zona Plegada y Corrida de Huarina -ZPCH - (Sempere *et al.*, 1990) en el sentido estructural aunque, del punto de vista topográfico, la llanura altiplánica se prolongue más al este, en las estribaciones de la Cordillera Oriental. La ZPCH, que constituye las estructuras más occidentales de la Cordillera Oriental corresponde a una serie de pliegues y escamas con vergencia hacia el SW que afectan terrenos del Paleozoico y del Mesozoico así como formaciones continentales sintectónicas del Cenozoico (Formación Salla-Luribay, Formación Aranjuez,...) asociadas al funcionamiento de cabalgamientos con vergencia hacia el oeste. En la zona estudiada, la ZPCH está limitada al suroeste por la falla Coniri.

En la región del Altiplano presentada en este trabajo (Fig. 2 y 3) se pueden distinguir, desde el este hacia el oeste, tres dominios estructurales separados por fallas mayores (Rochat *et al.*, 1995).

- a. El piedemonte de la Cordillera Oriental.** Está limitado al oeste por el sistema de falla de Chuquichambi, que lleva al afloramiento toda la serie terciaria altiplánica (Fig. 2 y 3), y al este por los relieves de la Cordillera Oriental. La falla de Coniri orientada N 150 con vergencia oeste lleva los terrenos del Paleozoico de la Cordillera Oriental sobre los depósitos terciarios del Altiplano. Esta falla separa dos conjuntos diferentes (Fig. 2): uno al oeste, que corresponde a la llanura de la Joya-Toledo y cuenca del Poopo, donde las series terciarias no están deformadas y sobreyacen terrenos del Cretácico y del Paleozoico, y otro al este donde las series terciarias están fuertemente plegadas y donde emergen fallas inversas con vergencia al oeste. Este último dominio, del punto de vista estructural, pertenece a la ZPCH.

Sin embargo, los relieves asociados a la activación de la falla de Coniri han sido erosionados y la falla está sellada por depósitos cuaternarios, fluviales y lacustres bien desarrollados en la llanura de la Joya-Toledo, pero que se extienden hacia el este, al pie de la Cordillera Oriental (Fig. 2 y 3). El dominio situado al este de la Falla de Coniri está caracterizado por la preservación de remanentes de superficies de erosión que se prolongan sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental (Bowman, 1909; Walker, 1949; Servant *et al.*, 1989; Sempere *et al.*, 1990a; Hérail *et al.*, 1993).

Las formas topográficas asociadas a estas superficies han sido reagrupadas en dos conjuntos: la Superficie Chayanta (Servant *et al.*, 1989) cuyos remanentes están conservados entre 4.300 y 4.700 m de altura y la Superficie San Juan de Oro (Servant *et al.*, 1989) ubicada entre 3.500 y 3.800 m recortando el Paleozoico de la Cordillera Oriental y, a veces, extendiéndose sobre los

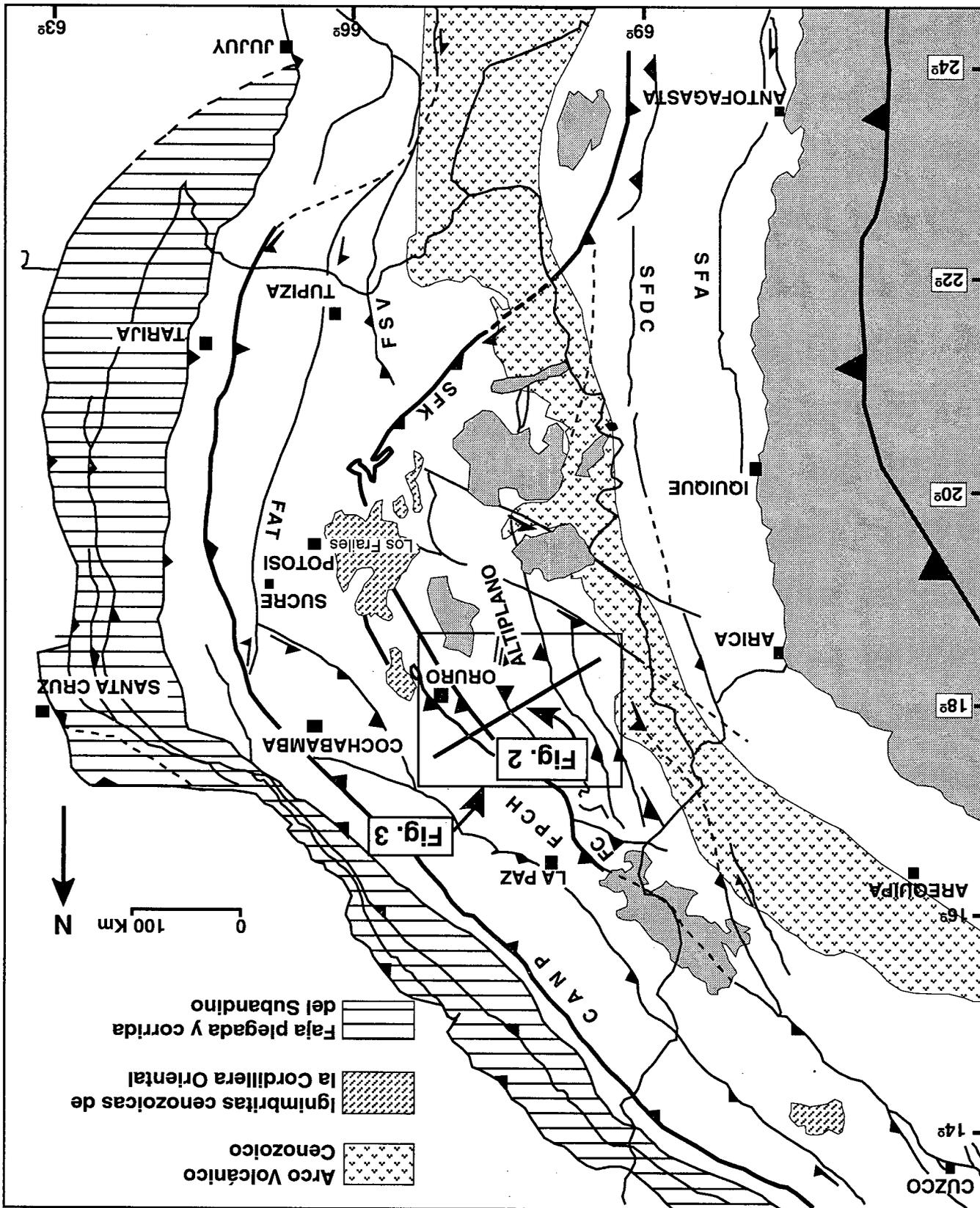


Fig. 1. Localización de la región estudiada. CANP: Cabaigamiento Andino Principal. CALP: Cabaigamiento Altiplánico Principal. FAT: Faja Plegada y Corrida de Huarna. FC: Falla de Corni. SKF: Sistema de la Falla de Khenayani. FSV: Falla de San Vicente. SFDC: Sistema de la Falla de la Cordillera de Domeyko. SFA: Sistema de la Falla de Aiquile-Tupiza. FPC: Faja Plegada y Corrida de Huarna. FSV: Falla de San Vicente. SFA: Sistema de la Falla de Khenayani. FSV: Falla de Khenayani. FSV: Falla de Khenayani.

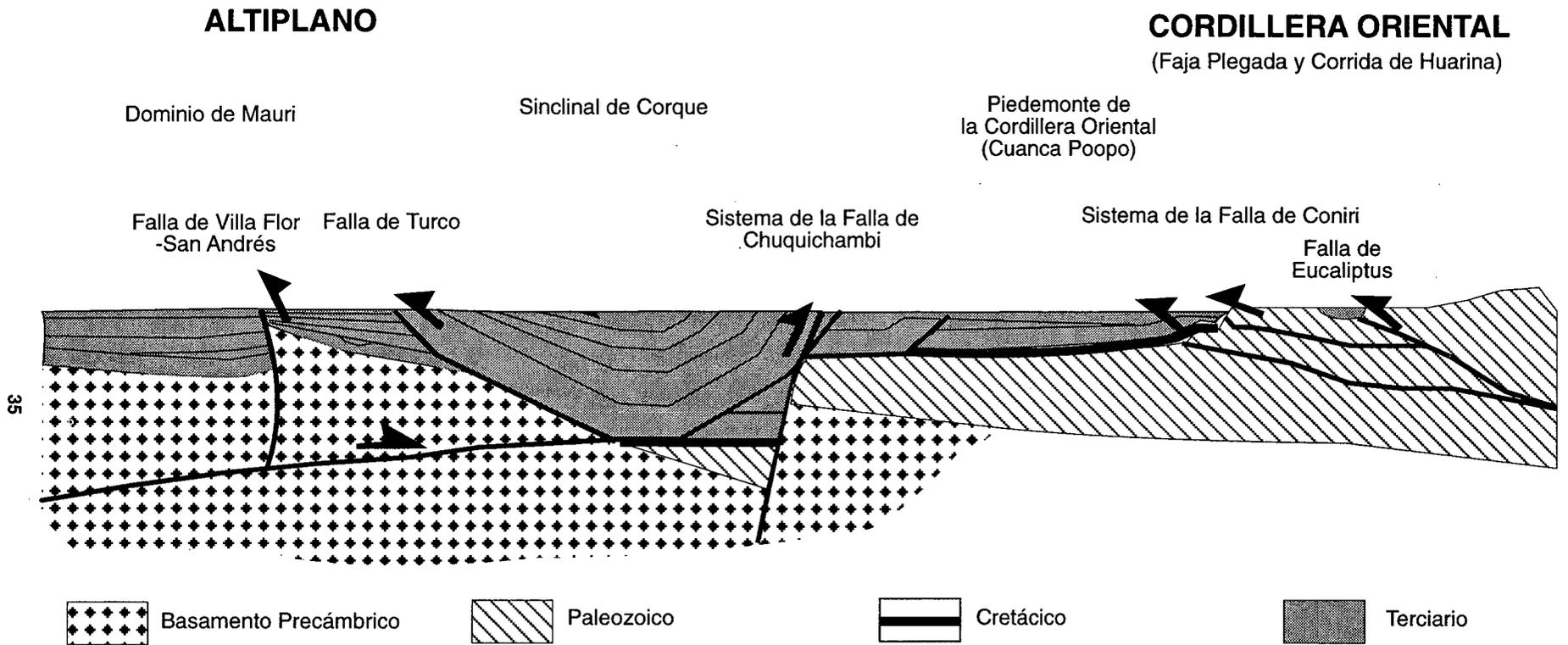


Fig. 2. Corte geológico esquemático del Altiplano Boliviano. Ver localización en la Figura 1.

terrenos Cenozoicos de las cuencas sedimentarias. A diferencia de la Superficie Chayanta, la Superficie San Juan de Oro porta localmente una cubierta sedimentaria fluvial o lacustre datada, más al sur, en los alrededores de 9-10 Millones de años (Gubbels *et al.*, 1993). En la región de Sica Sica (Fig. 3) los remanentes de la superficie de erosión que cortan la falla de Eucaliptus están sellados por coladas no deformadas de shoshonitas cuyas edades se distribuyen entre 13 y 10 millones de años aproximadamente (Hérail *et al.*, 1993) lo que indica que las fallas asociadas en esta zona al sistema de la falla Coniri no fueron activadas posteriormente a esta fecha; también nos indican que las superficies de erosión sobre las cuales descansan las coladas fueron elaboradas antes de estas fechas.

- b. El sinclinal de Corque.** Ubicada en el centro de la zona estudiada, esta estructura (Fig. 2), definida por Mayer y Murillo (1961), es, por su tamaño y por el espesor de la serie que contiene, la más importante de esta parte del Altiplano. Ancha de 80 km, muestra al afloramiento toda la serie terciaria espesa de 10.000 m. Este sinclinal es disimétrico, su flanco este forma un monoclinial buzando de 40° al oeste, que fué alzado por la falla de Chuquichambi, mientras que el flanco oeste está deformado por una serie de pliegues hectométricos y transportado por la falla de Turco (Fig. 2). En la región de Villa Nekketa el acortamiento, en su mayor parte, es absorbido por el juego del sistema de cabalgamientos de Chuquichambi, mientras que sobre el flanco oeste, sólo se han formado estructuras compresivas menores. Más al sur, en la región de Andamarca, la sísmica muestra que es al contrario, la expulsión del flanco oeste absorbe lo esencial del acortamiento (cabalgamiento de Turco), mientras que el borde oriental, que toma una dirección NS, ha sido solamente reactivado en transcurrencia dextral, ya que su oblicuidad es más grande con respecto a la dirección principal del desplazamiento orientado N 040° (Fig. 3).
- c. Dominio del Mauri.** El dominio del Mauri (Fig. 3) está caracterizado por la extensión de los terrenos pliocenos y pleistocenos poco deformados que sellan la falla de Turco. Sin embargo, la sísmica permite poner en evidencia, sobre estos terrenos poco deformados, la existencia de dos cuencas separadas por un alto-relieve, el alto-relieve de Villa Flor, reactivado por la falla de Villa Flor (Fig. 4). La cuenca oriental corresponde a la parte preservada de la cuenca Corque. La cuenca occidental o cuenca Mauri, es un hemi-graben limitado al este por la falla de Villa Flor y llenado por sedimentos volcanodetríticos que afloran, al norte, en la región de Berenguela. Esta cuenca ha sido ligeramente plegada, probablemente por una reactivación en transpresión de la Falla de Villa Flor-San Andrés más occidental que la Falla de Turco (Fig. 2 y 3).

LAS SECUENCIAS SEDIMENTARIAS (FIG. 4).

Un gran número de formaciones sedimentarias han sido definidas en el Altiplano norte en función de sus facies y de sus relaciones estratigráficas (especialmente Meyer y Murillo, 1961; Ascarrunz, 1973; Cherroni, 1974; Rodrigo y Castaño, 1975), sin embargo estas relaciones son discontinuas y en este tipo de ambiente sedimentario las facies cambian lateralmente de manera rápida de tal manera que la cronología no es muy precisa. Se han aportado precisiones cronológicas (Hoffstetter *et al.*, 1972; Evernden *et al.*, 1977; McBride *et al.*, 1977; Grant *et al.*, 1979; Lavenu, 1986; Swanson *et al.*, 1987; Lavenu *et al.*, 1989; Marshall *et al.*, 1992; Saint André, 1994; principalmente) pero aún son incompletas. La compilación del conjunto de estos datos permite agrupar las formaciones definidas en el Altiplano en tres megasecuencias sedimentarias cuya continuidad espacial puede ser establecida localmente gracias a la sísmica.

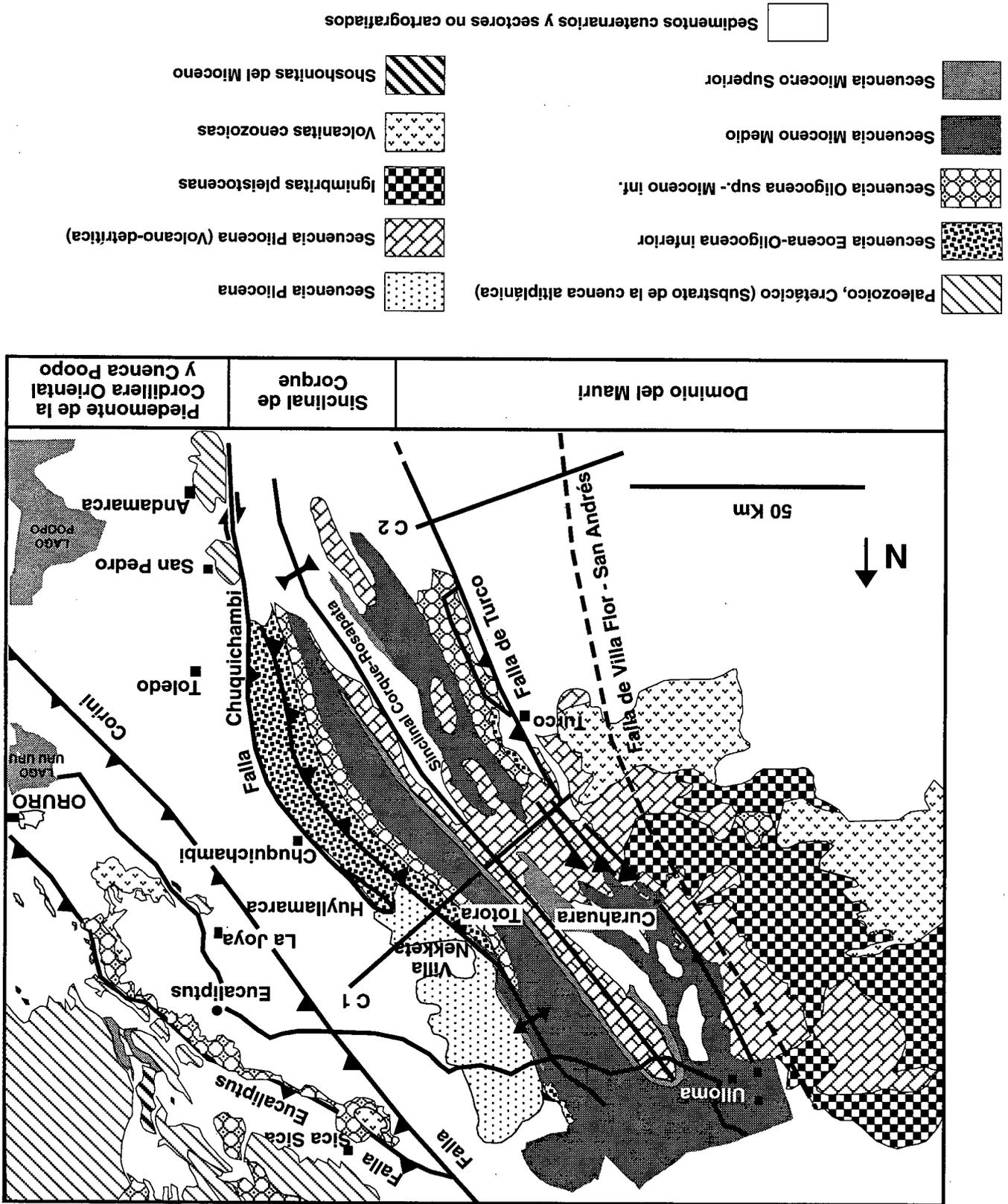
- a. Una secuencia Eocena-Oligocena inferior (S1 en Fig. 4)** representada por las Formaciones Tiahuanacu y Turco, al este y al centro, y la Formación Berenguela, al oeste. En Chuquichambi (Fig. 4-Col. 2), único lugar en que afloran los niveles más profundos, la secuencia empieza por argilitas rosadas evaporíticas que constituyen un nivel de despegue de cabalgamientos. La Formación Tiahuanacu está formada por argilitas y areniscas rojas que evolucionan, en la parte superior de la serie, hacia facies más gruesas provenientes del oeste (Semperé *et al.*, 1990). La Formación Berenguela (Sirvas, 1964; Sirvas *et al.*, 1966; Jiménez *et al.*, 1993; Geobol, 1994, 1995) está formada por areniscas rojas ricas en feldespatos que contienen, a veces, gravas procedentes de la erosión de granitos rojos del zócalo precámbrico que, por lo tanto, ya estaban al afloramiento (Martínez, 1980; Troeng *et al.*, 1994; Tosdal *et al.*, 1994).

Los espesores calculados en sísmica son de 3.000 m al centro de la cuenca de Corque (Fig. 4-Col. 2) y de 2.800 m en la cuenca Poopo (Fig. 4-Col.1) (Rochat *et al.*, 1995). En la Cordillera Oriental esta secuencia no está presente; sólo algunos restos de series de edad cretácica y eocénicas (?) se han conservado en discordancia sobre el Paleozoico.

Las facies superiores de la Formación Tiahuanacu han sido datadas en $29,2 \pm 0,8$ Ma (Swanson *et al.*, 1987), pero la edad de la base no es conocida.

- b. Una secuencia Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (S2 en Fig. 4)** que reúne las Formaciones Coniri y Kollu Kollu, al este y al centro (Fig. 4-Col. 1 y 2), las Formaciones Mauri 1 a 5, al oeste (Fig. 4-Col. 4), y las Formaciones Azurita y Huyllapucara (Fig. 4-Col. 3) en la parte meridional y occidental de la región estudiada. La base de esta secuencia está marcada por la llegada de conglomerados. Sin embargo, la observación de cortes continuos al paso de la Formación Tiahuanacu a la Formación Coniri (como el de Villa Nekketa sobre el flanco este del sinclinal de Corque-Rosapata; Fig. 5) y la interpretación de la sísmica reflexión, muestran que aún en las zonas proximales, este paso es progresivo. Los conglomerados que componen las facies proximales de la Formación Coniri proceden del este y son contemporáneos de la

Fig. 3. Mapa geológico de la parte meridional del Altiplano norte de Bolivia



activación de la Falla Coniri y de una reorganización del relieve (Sempere *et al.*, 1990), como lo muestran las discordancias progresivas observadas en esta formación y debidas a la actividad de esta falla. Tales superficies de discordancia se han reconocido en la base de la Formación Coniri pero su extensión es limitada (Ascarrunz, 1973) y parece razonable considerar que la existencia de una superficie de discordancia de extensión regional que separaría las Formaciones Tiahuanacu y Coniri no es fundada. En las zonas más distales la Formación Coniri se vuelve más arenosa (Formación Kollo Kollu) o areno-arcillosa (Formación Ballivian). Sobre el flanco oeste del sinclinal, en la región de Turco (Fig. 2 y Fig. 4-Col. 3) la Formación Azurita constituye el equivalente estratigráfico de la Formación Coniri. También está representada por conglomerados, pero estos provienen del oeste (y, por lo tanto, no hay cambio de polaridad de la alimentación en el paso de una formación a otra) y derivan de la erosión del zócalo Precámbrico porque los clastos corresponden a cantos rodados de granitos rojos y de gneis con granates, característicos del Precámbrico que aflora en la región (Troeng *et al.*, 1994; Tosdal *et al.*, 1994).

Las mediciones hechas en la base de la Formación Coniri han dado edades de $25,5 \pm 1,7$ Ma (Semperé *et al.*, 1991), $25,2$ Ma en la base de la Formación Mauri (Lavenu *et al.*, 1989), $18,4 \pm 0,5$ Ma y $16 \pm 0,4$ Ma en la Formación Kollo Kollu (Swanson *et al.*, 1987).

c. Una secuencia del Mioceno Medio (S3 de la Fig. 4). En el piedemonte de la Cordillera Oriental y en el dominio del Mauri, la secuencia del Mioceno Medio descansa sobre una superficie de erosión cuya edad es posterior a $16,6 \pm 0,4$ Ma, pero todavía es difícil precisar la duración de su elaboración. En cambio, en el sinclinal de Corque, esta secuencia sobreyace en continuidad sobre las formaciones oligo-miocenas.

El espesor máximo de esta secuencia alcanza 6.000 m en el centro del sinclinal de Corque (Fig. 2 y 5) y disminuye hacia el oeste. La multiplicidad de nombres de formaciones utilizadas hasta ahora ilustra la complejidad del relleno sedimentario y los numerosos cambios de facies que lo caracterizan. La secuencia empieza con arenas y arcillas beigeas con intercalaciones conglomerádicas (Formación Caquiaviri) y se termina por limos y arcillas, localmente evaporíticas (Formación Rosapata). La organización sedimentaria muestra que estos materiales se depositaron en ambiente distensivo.

En la cuenca Mauri, la secuencia sedimentaria se bisela adelgazándose hacia el oeste (Fig. 4-Col. y Fig. 5). Está constituida de arenas grawackosas y tobáceas. Sobre el alto-relieve de Villa Flor, solamente los miembros superiores de la secuencia parecen estar presentes. Al este, al pié de la Cordillera Oriental, el espesor de esta secuencia es muy inferior a la que tiene en otros dominios (Fig. 4) y se presenta bajo forma de biseles sedimentarios que se adelgazan hacia la Cordillera (Fig. 5).

d. Una secuencia Mioceno Superior (S4 de la Fig. 4) cuya base, ligeramente diacrónica, se sitúa justo por debajo de la Toba Callapa datada en $9,03 \pm 0,07$ Ma (Marshall *et al.*, 1992). Esta secuencia está marcada, en la cuenca de Corque, por la llegada de gravas (Formación Pomata al oeste del sinclinal de Corque, Formación Crucero al este) procedentes de la erosión del Paleozoico y por la presencia de discordancias progresivas que indican un régimen tectónico compresivo. En la parte occidental la influencia de los aportes volcanodetríticos es clara. En el Piedemonte de la Cordillera Oriental, los conglomerados asociados a discordancias progresivas, en las zonas deformadas, constituyen la base de la Formación Umala.

e. Una secuencia pliocena (S5 de la Fig. 4) definida en su base por la "Toba 76" datada en $5,34 \pm 0,003$ Ma (Marshall *et al.*, 1992). En el centro del sinclinal de Corque (Fig. 4-Col. 2) así como en el centro de la cuenca Mauri y en la parte occidental de la Cuenca de Corque (Fig. 4-Col. 4 y Col. 3) esta secuencia está en continuidad con la megasecuencia del Mioceno superior subyacente que, en estos sectores, no aparece deformado, mientras que en las zonas afectadas por las principales fallas (Falla de San Andrés, Falla de Turco, Falla de Huayllamarca) es discordante (Martinez, 1980; Lavenu, 1991) y además presenta claros abanicos de sedimentación sintectónica (Rochat *et al.*, 1995). En el Piedemonte de la Cordillera Oriental (Fig. 4-Col.1) la secuencia pliocena (Formación Umala), progradante hacia el este está compuesta de limos lacustres con intercalaciones de rodados procedentes de la erosión del Paleozoico. Hacia el tope predominan las facies finas lacustres. En el dominio del Mauri, esta secuencia se compone enteramente de sedimentos volcánico-detríticos (Formación Mauri 6) que provienen del Oeste.

EL MAGMATISMO CENOZOICO.

Desde el Oligoceno hasta hoy, durante la orogénesis andina, el magmatismo se señala por el emplazamiento en el Altiplano boliviano de tres tipos de rocas (Soler *et al.*, 1992, 1993): rocas intrusivas o efusivas ácidas, rocas alcalinas y rocas shoshoníticas a ultrapotásicas volcánicas o subvolcánicas. El primer grupo corresponde a intrusivos granodioríticos o graníticos que se emplazaron en la Cordillera Oriental entre 28 y $23,5$ Ma, a rocas subvolcánicas, a dacitas que se emplazaron en la Cordillera y el Altiplano entre 17 y 13 Ma y, por fin, en enormes volúmenes de ignimbritas emplazadas entre $10,5$ y 2 Ma. El segundo grupo corresponde a rocas alcalinas volcánicas emplazadas entre 28 y 21 Ma en la parte norte y central del Altiplano boliviano (Formación Abaroa, lavas de Tambo Tambillo, Formación Rondal...). El tercer grupo corresponde a rocas volcánicas shoshoníticas y ultrapotásicas; el episodio más antiguo ($28-24$ Ma) es conocido solamente en la franja occidental de la Cordillera Oriental, en la región de La Paz, mientras que los otros episodios ($13-11$ Ma, Plioceno y Cuaternario más joven que 1 Ma) están representados por emisiones de coladas volcánicas de extensión reducida.

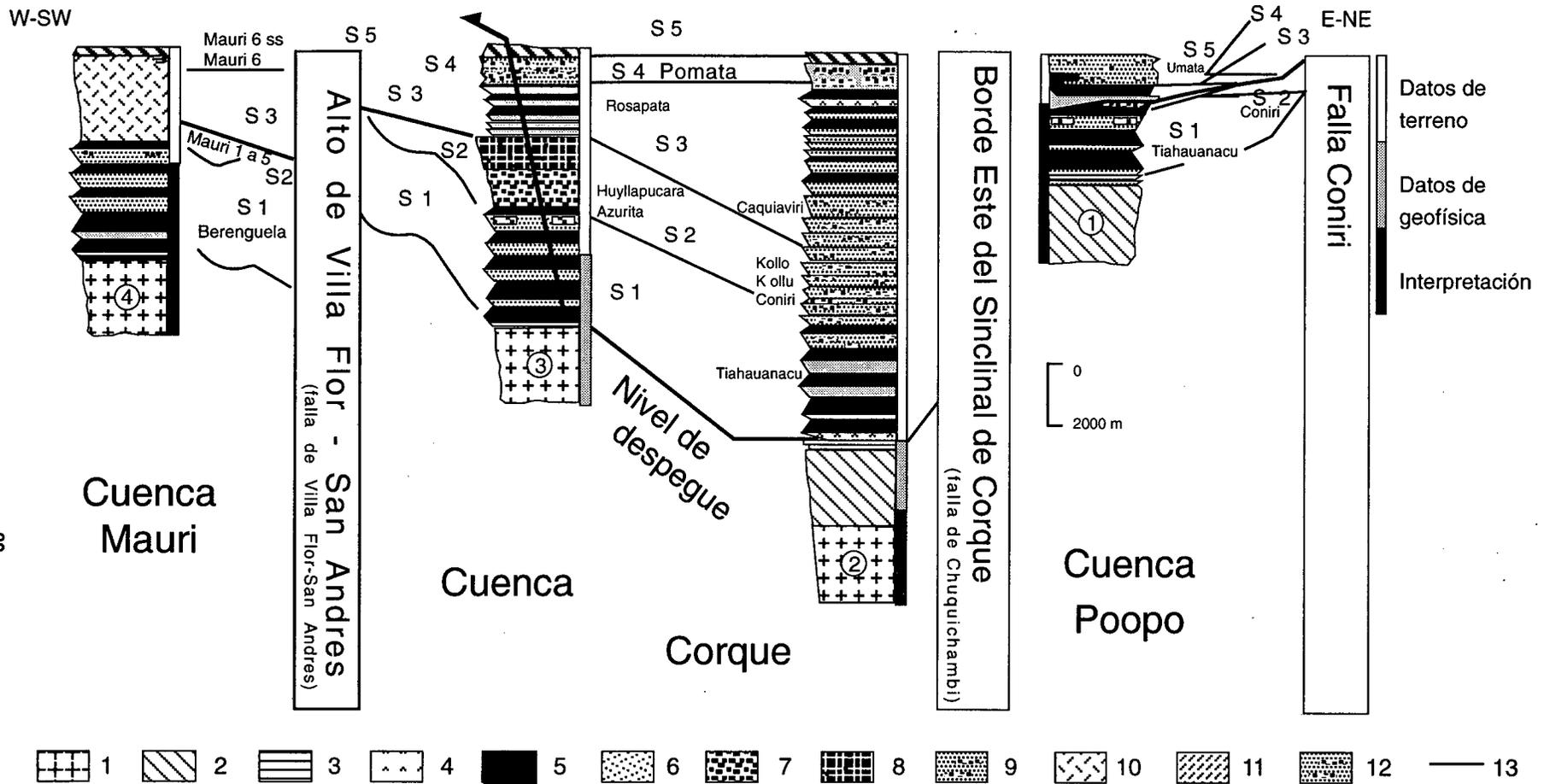


Fig. 4. Columna litoestratigráficas correlacionadas de los diferentes dominios estructurales del Altiplano norte de Bolivia (tomado de Rochat et al., 1995). 1: gneiss y granitos rojos del Precámbrico; 2: series del Paleozoico; 3: pelitas del Cretácico; 4: evaporitas; 5: argilitas; 6: areniscas; 7: conglomerados; 8: areniscas con lentes de conglomerados; 9: pelitas con conglomerados; 10: arenas grawacosas y tobáceas; 11: conglomerados y grawakas; 12: limos y lentes de conglomerados; 13: superficie de erosión. S 1: Eoceno-Oligoceno inferior, S 2: Oligoceno superior-Mioceno inferior, S 3: Mioceno medio, S 4: Mioceno superior, S 5: Plioceno.

EVOLUCION TECTO-SEDIMENTARIA.

Durante el Eoceno-Oligoceno inferior el Altiplano corresponde - en la zona estudiada- a una cuenca alimentada por aportes provenientes generalmente del oeste (Semperé *et al.*, 1990), como lo muestran, tanto las direcciones de aporte como la composición de los sedimentos. La presencia de clastos provenientes de la erosión del zócalo precámbrico en la Formación Berenguela, muestran, que el Precámbrico afloraba ya en la parte occidental del Altiplano. A esta época, el territorio donde se depositaba la Formación Tiahuanacu evolucionada en un ambiente de cuenca de antepaís asociada a relieves ubicados más al oeste.

Entre 29 y 25 Ma, la cuenca altiplánica se estructura en régimen compresivo (Semperé *et al.*, 1990). Al este los cabalgamiento con vergencia oeste del sistema de fallas Coniri (Fig. 2 y 4) llevaban los terrenos paleozoicos de la Cordillera Oriental sobre el Terciario de la cuenca altiplánica y la alimentaban en sedimentos. Al oeste, los conglomerados de la Formación Azurita provienen de la erosión del zócalo precámbrico. Las numerosas discordancias progresivas conservadas en la Formación Coniri y sus equivalentes, muestran que en esta época los bordes oriental y occidental de la cuenca se deformaban en compresión y eran fuertemente erosionados. Al mismo tiempo una cuenca detrítica, con aportes provenientes del este y del oeste a la vez, perduraba en el emplazamiento del actual sinclinal de Corque. Durante este período el Altiplano correspondía a una cuenca deformada en compresión alimentada al este por la erosión de la Cordillera Oriental actual que se estaba elevando, y al oeste, por la erosión de relieves que se levantaban más progresivamente y en los cuales el zócalo precambriano afloraba ampliamente. Este régimen perdura hasta los alrededores de 16 Ma. Durante este período el Altiplano adquiere su morfología de cuenca cerrada y, ya, seguramente endorreica.

Después de 16 Ma y antes de 14 Ma (según las dataciones actualmente disponibles) la geometría del dispositivo estructural y sedimentario y las facies de los sedimentos muestran que existen en la parte central y occidental del Altiplano dos cuencas fuertemente subsidentes, abiertas en transtensión y separadas una de otra como lo indica la composición de los sedimentos que contienen:

- la cuenca Mauri controlada por la Falla de Villa Flor que contiene sedimentos volcano-detríticos que vienen del Oeste y de la erosión del arco magmático;
- la cuenca de Corque controlada por la Falla de Chuquichambi, en la que se acumulan sedimentos proporcionados por el borde occidental de la Cordillera Oriental.

El funcionamiento de estos hemigrabens es contemporáneo con un episodio de emisión de lavas básicas particularmente activo entre 14-13 y 11 -10 Ma y que es interpretado como desarrollado a la par con un régimen local transtensivo (Soler *et al.*, 1992).

Al mismo tiempo, la vertiente occidental de la Cordillera Oriental es sometida a una fuerte erosión que se traduce por la elaboración de una superficie de erosión que recorta los principales frentes de cabalgamiento (Falla Coniri y Falla Eucaliptus) que ya no son activos (Hérail *et al.*, 1993). Los productos de esta denudación se depositan en la cuenca de Corque.

Entre 9 y 5,4 Ma las facies de relleno y los aportes volcanodetríticos procedentes del oeste cubren el alto-relieve de Villa Flor. Este cambio en la sedimentación parece marcar el fin de la apertura de los hemigrabens. Las discordancias progresivas que aparecen en los alrededores de 9 Ma (Fig. 4 y 5) son indicadoras de una deformación en compresión y muestran la iniciación de la inversión del borde este de la cuenca de Corque.

Al este del cabalgamiento de Chuquichambi el débil espesor de los sedimentos del Mioceno Superior (Fig. 5) atestiguan una actividad tectónica reducida. La cuenca Poopo corresponde también a una cuenca en compresión que recoge los productos de erosión resultantes de la estructuración del borde este del sinclinal de Corque (Lavenue, 1986) y del fuerte levantamiento y erosión de la Cordillera Oriental (Hérail *et al.*, 1993).

La toba que define la base de la secuencia Pliocena es discordante sobre los relieves peneplanados (Fig. 4-Col.1). Al oeste y al centro (Dominio 3 y 2), sólo queda una cuenca volcanodetrítica (Fig. 4-Col. 3 y Fig. 3-Col. 1), mientras que al este, en el piedemonte de la Cordillera Oriental, la sedimentación es terrígena (Fig. 4-Col.1). Ninguna zona de mezcla entre estas dos cuencas ha sido puesta en evidencia, lo que muestra que estaban separadas por los relieves generados por la inversión del sinclinal de Corque. Además, en el piedemonte de la Cordillera Oriental, los sedimentos pliocenos progradan hacia el Este. El borde Este del sinclinal de Corque, por tanto, no fué peniplanizado durante el Plioceno y parece que continúa estructurándose.

CONCLUSION .

A partir de 29-25 Ma en el segmento de los Andes actualmente ocupado por el Altiplano, empieza a organizarse una cuenca alimentada, tanto por aportes del oeste como del este, a partir de los relieves que conforman la Cordillera Oriental. Los relieves ubicados al oeste son heredados de la evolución anterior aunque estén reactivados mientras que los que se levantan al este resultan de la activación de cabalgamientos con vergencia al oeste como el sistema de la Falla Coniri y cabalgamientos de la

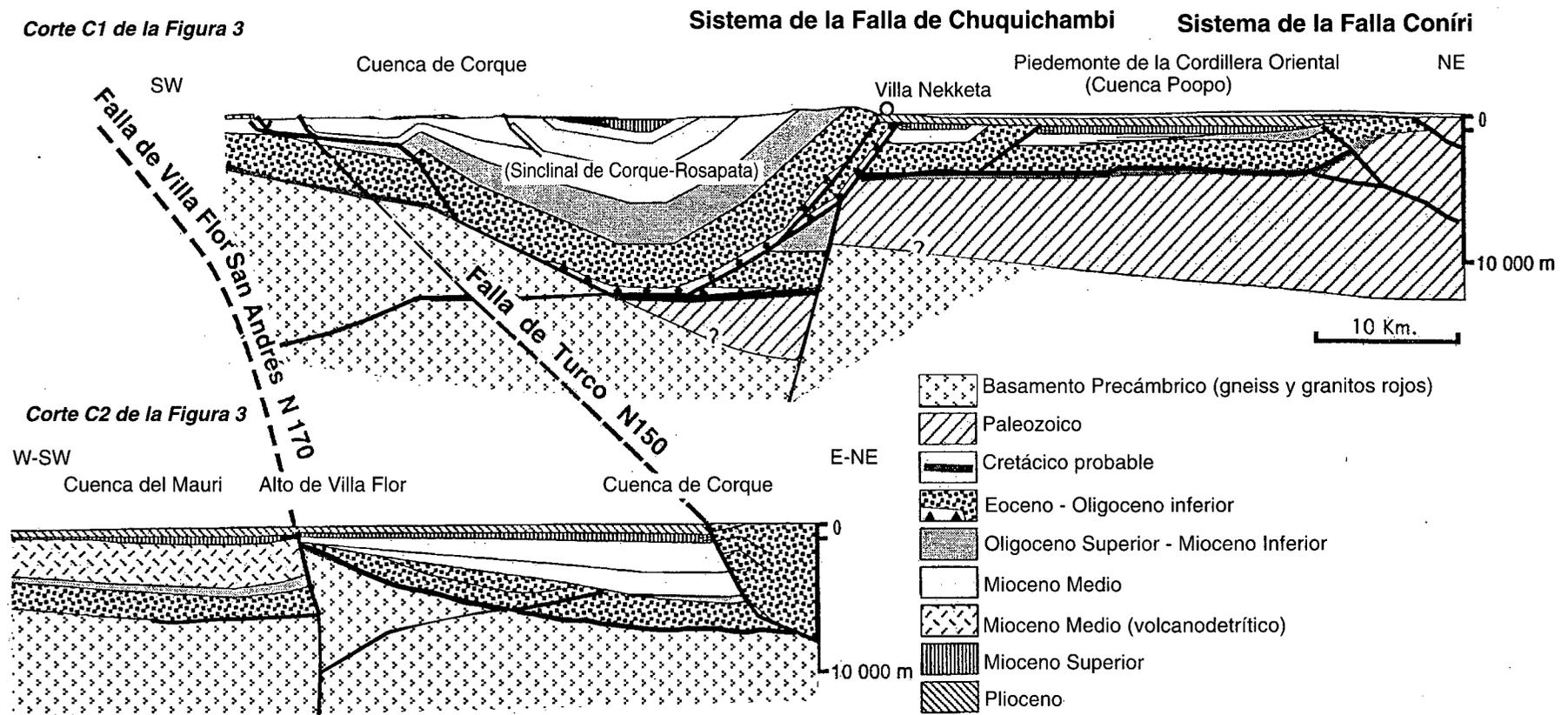


Fig. 5. Cortes geológicos esquemáticos (Rochat et al., 1995). Ver localización en la Figura 3.

Cordillera Oriental. Esta evolución conduce a un endorreísmo que es difícil datar con precisión, pero atestiguado por facies evaporíticas desarrolladas en ambientes distales de formaciones sincronas de la Formación Coniri, como la Formación Balvian o de ciertos miembros de la Formación San Andrés. Todas las formaciones depositadas durante este evento, que dura hasta alrededor de 16 Ma, son generadas por la erosión de relieves formados por la actividad de fallas inversas. A partir de 16-14 Ma en la parte centro-occidental del Altiplano, se abren, probablemente en transtensión, cuencas fuertemente subsidentes, particularmente la de Corque, donde se acumulan series sedimentarias potentes de hasta 6.000 m. Las cuencas del Dominio del Mauri son alimentadas por la erosión de los relieves del arco, en cambio, la cuenca de Corque recibe los productos de erosión de la ladera occidental de la Cordillera Oriental donde se elaboran importantes superficies de erosión que eliminan los relieves creados por las fallas del sistema Coniri.

A partir de 9-10 Ma el solevantamiento de la Cordillera Oriental se acelera (Benjamin *et al.*, 1987; Marshall *et al.*, 1993), lo que provoca una fuerte disección de su ladera occidental y del borde del Altiplano (Hérail *et al.*, 1993). Al mismo tiempo las fallas de la parte central y occidental de la cuenca son reactivadas en compresión lo que se traduce por un acortamiento y una reducción de la superficie ocupada por el Altiplano.

El predominio del acortamiento tectónico provoca un engrosamiento cortical que explica la elevación del Altiplano y es muy probable que sea durante el periodo posterior a 10 Ma que se efectue la mayor parte del alzamiento. Datos paleobotánicos indican que los restos de paleofloras encontrados en los sedimentos del Mioceno medio y superior del Altiplano son indicadores de floras que sólo habrían podido desarrollarse en ambientes cálidos y húmedos de baja altitud (Berry, 1918, 1922). Los datos procedentes del estudio de las paleofaunas del Mioceno así como los primeros estudios de los isótopos estables del carbono del esmalte de los dientes de macromamíferos herbívoros del Cenozoico del Altiplano de Bolivia hacen suponer también que estas faunas vivían a baja altitud y que la mayor parte del solevantamiento es posterior al Mioceno medio (MacFadden *et al.*, 1995). Sin embargo, la existencia de sedimentos de origen glacial de edad Plioceno superior en la cuenca de La Paz (Lavenu *et al.*, 1989) indica que en esta época la altitud del Altiplano estaba, ya, muy cerca de la actual.

REFERENCIAS

- Aitcheson, S.J., Harmon, R.S., Moorbath, S., Schneider, A., Soler, P., Soria Escalante, E., Steele, G., Swainbank, y Wörner, G. 1995. Pb isotopes define basement domains of the Altiplano, central Andes. *Geology*, 23, n° 6, p 555-558.
- Aranibar, O. y Martínez, E., 1990. Structural interpretation of the Altiplano, Bolivia. Final Workshop: Structure and evolution of the Central Andes in northern Chile, Southern Bolivia and Northwestern Argentina, p. 47.
- Ascarrunz, R., 1973. Estudio estructural de la Región Norte de la falla Coniri. *Bol., Soc. Geol. Bol.*, 19, p. 75-81.
- Baby, P., Hérail, G., López, M., López, O., Oller, J., Pareja, J., Sempere, T. y Tufiño, D., 1989. Structure de la zone subandine de Bolivie: influence de la géométrie des séries sédimentaires antéorogéniques sur la propagation des chevauchements, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, Série II, p. 1717-1722.
- Baby, P., Sempere, T., Oller, J., Blanco, J., Zubieta, D. y Hérail, G., 1992. Evidence for major shortening on the eastern edge of the Bolivian Altiplano: the Calazaya nappe, *Tectonophysics*, 205, 1-3, p. 155-169.
- Benjamin, M.T., Johnson, N.M. y Naeser, C.W., 1987. Recent rapid uplift in the Bolivian Andes: evidence from fission-track dating. *Geology*, 15, p. 680-683.
- Berry, E.W., 1918. Fossil plants from Bolivia and their bearing upon the age of the uplift of eastern Andes. *Proc. U.S. Nat. Mus.*, 54, p. 103-165.
- Berry, E.W., 1922. Late Tertiary plants from Jancocata, Bolivia. *The John Hopkins Univ. Studies in Geology*, V. 4. p. 205-220.
- Bowman, I., 1909. Physiography of the Central Andes, *Am. J. Sci.*, 28, p. 197-217 y 373-402.
- Cherroni, C., 1974. Geología de la región de Corocoro. *Rev. Tecn. YPFB*, Vol. 3, N° 2, p. 125-154.
- Evernden, J.F., Kris, S. y Cherroni, C., 1977. Potassium-Argon ages of some Bolivian rocks. *Econ. Geology*, 72, p. 1042-1061.
- Geobol, 1994. Mapa geológico del área Berenguela. Hojas Santiago de Machaca-Charaña-Thola Kkollu. esc. 1/100000, Memoria, 37 p.
- Geobol, 1995. Evolución petrológica y geoquímica del volcanismo neogeno Berenguela-Charaña. *Boletín Geol.*, N° 6, 93 p.
- Grant, J.N., Halls, Ch., Avila, W., y Snelling, N.J., 1979. K/Ar ages of igneous rocks and mineralizations in part of the bolivian tin belt. *Econ. Geology*, V. 74, p. 838-851.

- Gubbels, T., Isacks, B. y Farrar, E., 1993. High-level surfaces, plateau uplift and foreland development, Bolivian Central Andes. *Geology*, 21, p. 695-698.
- Hérail, G., Baby, P., López, M., Oller, J., López, O., Salinas, R., Sempere, T., Beccar, G. y Toledo, H., 1990. Structure and kinematic evolution of the Subandean Thrust system of Bolivia. ISAG 1990, ORSTOM ed., p. 179-182.
- Hérail, G., Soler, P., Bonhomme, M., y Lizeca, J. L., 1993. Evolution géodynamique du contact Altiplano - Cordillère Orientale au Nord d'Oruro (Bolivie) - Implications sur le déroulement de l'orogénèse andine, C.R. Acad. Sci., 317, série 11, p. 512-522.
- Hoffstetter, R., Martínez, C., y Tomasi, P., 1972. Nouveaux gisements de mammifères néogènes dans les couches rouges de l'Altiplano bolivien. C.R. Acad. Sci., 275, série II, p. 738-742.
- Isacks, B.L., 1988, Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline. *J. Geophys. Res.* 93, p. 3211-3231.
- Jiménez, N., Barrera, L., Flores, O., Lizeca, J.L., Murillo, F., Hardyman, R., Tosdal, R., y Wallace, A., 1993. Marco geológico de la región de Berenguela, in *Investigaciones de metales preciosos en el complejo volcánico neogeno-cuaternario de los Andes centrales*. Geobol-Sernageomin-Ingemmet-USGS ed., p. 63-74.
- Lavenu, A., 1986, Etude néotectonique de l'Altiplano et de la Cordillère Orientale de Bolivie, Thèse de Doctorat d'Etat-ès-Sciences, Univ. Paris Sud, Orsay, 434 p.
- Lavenu, A., Bonhomme, M., Vatin-Perignon, N, y de Pachtere, P., 1989. Neogene magmatism in the Bolivian Andes between 16° and 18° S. *Stratigraphy and K-Ar geochronology*, *J. South Amer. Earth Sci.*, 2, 1, p. 35-47.
- Mac Fadden, B., Anaya, F., Pérez, H., Neaser, C.W., Zeitler, P.K., y Campbell Jr., K.E., 1990. Late Cenozoic paleomagnetism and chronology of Andean basins of Bolivia: Evidence for possible oroclinal bending. *J. Geol.*, 98, p. 541-555.
- Mac Fadden, B., Wang, Y., Cerling, T.E., y Naya, F., 1995. South America fossil mammals and carbon isotopes: a 25 millions-years sequence from the Bolivian Andes. *Paleog., Paleocl., Paleoec.*, 107, p. 257-268.
- Martínez, C., 1980. Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne Andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 119, 352 p.
- McBride, S., Robertson, R., Clark A., y Farrar, E., 1983. Magmatic and metallogenic episodes in the northern tin belt, Cordillera Real, Bolivia, *Geol. Rundsch.*, 72, 2, p. 685-714.
- Marshall, L. G., Swisher, C., Lavenu, A., Hoffstetter, R. y Curtis, G., 1992. Geochronology of the mammal-bearing late Cenozoic on the northern Altiplano, Bolivia, *J. South Amer. Earth Sci.*, 5,1, p. 1-19.
- Marshall, L.G., Sempere, T. y Gayet, M., 1993. The Petaca (Late Oligocene-Middle Miocene) and Yecua (Late Miocene) formations of the Subandean-Chaco basin, Bolivia, and their tectonic significance. *Doc. Geol. Lyon*, 125:291-301.
- Meyer, H. C. y Murillo, J., 1961. Sobre la geología de las Provincias Aroma, Pacajes y Carangas, Bol. Depto. Nat. Geol. La Paz-Bolivia, 1, 47 p.
- Redwood, S., y McIntyre, R., 1989. K-Ar dating of Miocene magmatism and related epithermal mineralization of the northeastern Altiplano of Bolivia, *Economic Geology*, 84, p. 618-630.
- Rochat, Ph., Hérail, G., Baby, P., Aranibar, O., y Mascle, G., 1995. Analyse géométrique et modèle tectonosédimentaire de l'Altiplano nord bolivien. C.R. Acad. Sci., ,série II, en prensa.
- Rodrigo, L. A., y Castaño, A., 1975. Estudio sedimentológico de las formaciones "Tiwanaaku, Coniri y Kollu Kollu" del Altiplano septentrional boliviano. *Soc Geol. Bol.* n° 22, p. 85-126.
- Roeder, D., 1988. Andean age structure of eastern Cordillera, *Tectonics*, 7, 1, p. 23-39.
- Saint André, P-A., 1994. Contribution a l'étude des grands mammifères du néogène de l'Altiplano bolivien. Thèse de Doctorat du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, 664 p., 34 láminas.
- Sempere, T., Hérail, G., Oller, J., y Bonhomme, M., 1990. Late Oligocene-early Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia, *Geology*, 18, p. 946-949.
- Sempere, T., Hérail, G., Oller, J., Baby, P., Barrios, L., y Marocco, R. 1990. The Altiplano: a province of intermontane foreland

basins related to crustal shortening in the Bolivian Orocline area, Symp. Intern. "Géodynamique Andine", ed. ORSTOM, Paris, p.167-170.

Sempere, T., Baby, P., Oller, J. y Hérail, G., 1991. La nappe de Calazaya: une preuve de raccourcissements majeurs gouvernés par des éléments paléostucturaux dans les Andes boliviennes. C.R. Acad. Sci., 312, série II, p. 77-83.

Sheffels, B., 1990. Lower bound on the amount of crustal shortening in the central Bolivian Andes, *Geology*, 18, p. 812-815.

Sirvas, J.F., 1964. Estudio geológico de la región Tambo Mauri-Berenguela. Provincia Pacajes, Departamento de La Paz, República de Bolivia. Tesis UMSA, Ined. 84 p.

Sirvas, J.F., y Torres, E. 1966. Consideraciones geológicas de la zona noroeste de la Provincia Pacajes, Depto. La Paz. Bol. IBP. Vol. 6, p. 54-64.

Soler, P., Carlier, G., Fornari, M., y Hérail, G. 1992. An alternative model for the origin and the tectonic significance of the Neogene and Quaternary shoshonitic volcanism of the Andes, *EOS Trans. AGU*, 73 (14) Spring Meeting Suppl., 341-342.

Soler, P., y Jimenez, N., 1993. Magmatic constraints upon the evolution of the evolution of the bolivian Andes since Late Oligocene time. ISAG, ORSTOM ed., p. 447-451.

Swanson, K. E., Noble, D. C., McKee, E. H., Sempere, T., Martínez, C. Cirbian, M., 1987. Major revisions in the age of rock units and tectonic events the northern Altiplano basin of Bolivia. *GSA Meeting, Abstracts with Programs*, 19, p. 456.

Tosdal, R.M., Munizaga, F., Williams, W.C. y Bettencourt, J.S. 1994. Middle Proterozoic crystalline basement in the Central Andes, Western Bolivia and Northern Chile: a U-Pb and Pb isotopic perspective. 7° Cong. Geol. Chileno, p.1464-1467.

Troeng, B., Soria, E., Claire, H., Mobarec, R., y Murillo, F., 1994. Descubrimiento de basamento precámbrico en la Cordillera Occidental Altiplano de los Andes Bolivianos. Mem. del XI Cong. Geol. de Bol., p. 231-238.

Wigger, P., Schmitz, M., Araneda, M., Asch, G., Baldzuhn, S., Giese, P., Heinsohn, W., Martínez, E., Ricaldi, E., Rower, P., y Viramonte, G., 1994 Variation in the crustal structure of the Southern Central Andes deduced from seismic refraction investigation, in: Reutter, K.J., Scheuber, E. y Wigger, P.J, ed., *Tectonic of the Southern Central Andes*, p. 23-48.

Walker, E., 1949. Andean uplift and erosion surfaces near Uncia, Bolivia. *Am. J. Sci.*, 241, p. 646-663.

APORTE DE LA PALEOPALINOLOGIA AL CONOCIMIENTO DE LA EVOLUCION CLIMATICA DURANTE EL ALZAMIENTO DEL ALTIPLANO

SILVIA PALMA-HELDT.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UNIVERSIDAD DE CONCEPCION,
CASILLA 3-C, CONCEPCION, CHILE

RESUMEN

La Paleopalínología, o sea, el estudio de los restos fósiles de granos de polen y esporas, conservados en las rocas sedimentarias y sedimentos, es una herramienta estratigráfica. Permite por un lado, la interpretación del paleoambiente, la paleoecología y el paleoclima de las regiones donde se acumularon los depósitos que contienen polenesporas y, por otro, permite la datación de las secuencias sedimentarias continentales, frecuentemente desprovistas de otros elementos de valor cronoestratigráfico. Si bien es cierto que no existen trabajos paleobotánicos en la zona norte de Chile, se propone como modelo de aplicación de la Paleopalínología en la evolución climática, los criterios y métodos ya comprobados en las cuencas terciarias de Chile centro-sur. Se estima que mediante esta línea de investigación, se podría hacer un interesante aporte al conocimiento de las secuencias continentales del Altiplano y a su evolución climática, al integrarla en proyectos multidisciplinarios en el Área de las Ciencias de la Tierra.

INTRODUCCION

La Paleopalínología es la rama de la Botánica que estudia el registro fósil de esporas de vegetales inferiores (algas, hongos, briófitas y pteridófitas) y de granos de polen de vegetales superiores (Gymnospermas y Angiospermas). Es una ciencia interpretativa y deductiva, que ha demostrado ser una excelente herramienta estratigráfica de especial utilidad en las secuencias sedimentarias continentales. La Palinología y el registro de improntas y troncos, constituyen "verdaderos termómetros del pasado" y ofrecen una base segura para interpretaciones paleoambientales, paleoecológicas y paleoclimatológicas.

De modo indirecto, ya que los vegetales no son fósiles guías por tener rangos estratigráficos poco restringidos, se puede llegar a edades relativas por correlación con otras asociaciones vegetacionales.

METODOLOGIA

Las interpretaciones correctas de un estudio palinológico se basan principalmente en un buen muestreo, un adecuado tratamiento de laboratorio y un correcto análisis estadístico de los resultados. Es indispensable contar con la bibliografía especializada y la experiencia del investigador.

Al conocerse la taoflora (flora fósil característica de una zona) se puede deducir, sobre la base de las afinidades botánicas actuales, el ambiente en el cual se desarrollaron los diferentes tipos de asociaciones vegetacionales, la paleoecología y las condiciones climáticas existentes.

Desde un punto de vista biológico entrega, además, valiosos antecedentes para el mejor conocimiento de la evolución de la flora chilena.

La gran diversidad de los palinomorfos, granos de polen y esporas, permitió la creación y el desarrollo de la Palinología como Ciencia. Estos presentan una morfología muy variada y característica para cada especie, una cubierta muy resistente que facilita su preservación y fosilización, tamaño pequeño, en el orden de los 20 a 200 micrones, y son muy abundantes, especialmente los de plantas anemófilas. Los granos de polen y esporas son muy frecuentes en secuencias sedimentarias de grano fino como lutitas y areniscas finas y principalmente en carbones. En rocas muy oxidadas y meteorizadas los palinomorfos se destruyen. Se ha comprobado que existe una relación entre el contenido polínico y la presencia de azufre y boro, en secuencias que tendrían una marcada influencia marina.

ANTECEDENTES PREVIOS

El grupo de Paleopalínología del Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Concepción, cuenta con el interés y entusiasmo de experimentados investigadores, la infraestructura y el personal de apoyo necesario. Es así como esta línea de investigación ha mantenido continuidad en el tiempo desde 1976 a la fecha, a través de 3 convenios entre la Universidad de Concepción y ENACAR (1976-1978; 1984-1986; 1987-1989); y de los proyectos FONDECYT 89/698, 89/00692 y 91/0309.

Sobre la base de numerosos registros palinológicos de la secuencia carbonífera de la cuenca de Arauco, muestreada desde Cobquecura a Lebu (entre las latitudes 36° 10'S y 37° 37'S) se han podido interpretar las condiciones paleoecológicas para el Paleógeno de Chile Central, que permitieron el desarrollo de una vegetación climax de pantano-costero, de clima subtropical húmedo.

Durante el Neógeno cambió paulatinamente el clima a templado y templado-frío, persistiendo grados de humedad alta, y se perfilan asociaciones vegetacionales cercanas a las recientes. Estas floras, de Oligo-Mioceno, se consideran contemporáneas

aunque con algunas variaciones locales, debido probablemente a la influencia marina, de las secuencias sedimentarias de Lonquimay (Formación Cura-Mallín, Miembro Río Pedregoso), los Estratos de Huequén-Angol, las cuencas de Lumaco, de Labranza, de Pupunahue, de Catamutún de Osorno (Río Blanco y Cheuquemó), de Llanquihue y la cuenca carbonífera de Magallanes.

Finalmente, se han hecho estudios palinológicos en el Pleistoceno del Alto Biobio, y existen investigaciones preliminares en el Triásico del Valle Inferior del Bio-Bio.

Como epílogo, no cabe duda de que la Paleopalinología ha adquirido paulatinamente en Chile el reconocimiento y el apoyo que se merece, y que los resultados obtenidos auguran importantes conclusiones en la investigación de la Estratigrafía, de la Paleoclimatología y de la Paleoecología del Altiplano.

HALLAZGO DE UNA GIGANTESCA AVALANCHA DE DETRITOS DEL CENOZOICO SUPERIOR EN OXAYA, REGION DE TARAPACA

JOSÉ ANTONIO NARANJO

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
CASILLA 10465, SANTIAGO, CHILE

RESUMEN

Durante el Mioceno superior se produjo un colapso gigantesco en la flexura de Oxaya, a los 18° 25'S, el cual generó una avalancha de detritos de características excepcionales. A pesar de que la erosión, su morfología y estructuras superficiales aún se conservan, no obstante, debido a sus dimensiones, sólo fue posible reconocerla a través de una imagen satelital de buena resolución. La avalancha multicompuesta en 2 etapas, se transportó de Este a Oeste, cubriendo un área de más de 800 km², con un volumen total removido del orden de los 100 km³. El fenómeno se desarrolló con un alto grado de movilidad y fluidización, considerando los coeficientes de fricción aparente (H/L) en el intervalo 0,064 - 0,056 y un índice de distancia excesiva de transporte (Le) de hasta 48,2 km. Las condiciones topográficas y de inestabilidad tectónica, sumadas a la presencia de materiales ignimbríticos son causas favorables únicas para generar una de las avalanchas de detritos más grandes del planeta.

ABSTRACT

During the Late Miocene, a giant debris avalanche was produced through the collapse of ignimbrite piedmont deposits at Oxaya in the western margin of the Altiplano (18° 25'S). The deposit and scar features are partially modified by erosion. The avalanche travelled to the West, covering an area of the order of 800 km², with a total volume estimated in 100 km³. The apparent coefficient of friction (H/L) range between 0.064 - 0.056 and the excessive travel distance index (Le) reaches 48.2 km, indicating high mobility and fluidization for the avalanche. The orographic and tectonic instability conditions at the western Altiplano margin, in addition to the presence of a thick ignimbrite plateau are unique to favour one of the largest debris avalanche of the world.

INTRODUCCION

El piedemonte andino a lo largo del desierto de Atacama, se caracteriza por la presencia de extensas y potentes acumulaciones de sedimentos producidos por la erosión de la cordillera a medida que se fue alzando. Los flujos ignimbríticos intercalados, han permitido datar a estos depósitos generados a partir del Oligoceno, sobre los cuales se desarrolló un proceso de pedimentación durante el Mioceno superior (Naranjo y Paskoff, 1985).

Aunque las características morfológicas del piedemonte andino son homogéneas a lo largo del desierto de Atacama, al norte del paralelo 20° 30'S (Pica), exhibe rasgos de deformación y modificación que no se reconocen más al sur. Uno de estos rasgos corresponde a una avalancha de dimensiones gigantescas localizada al norte de la pampa de Oxaya, a los 18°20'-18°30'S y 69°45'-70°15'W, entre las quebradas de Lluta y Azapa (Fig. 1). El objetivo principal de este trabajo es la descripción e interpretación geológica de esta avalancha, que afecta, fundamentalmente, a depósitos ignimbríticos de la parte alta del piedemonte. Dada la preservación y dimensión de la avalancha, su identificación se hizo mediante el uso de una imagen satelital de buena resolución (Fig. 2).

MARCO GEOLOGICO

Los depósitos del piedemonte están acumulados sobre un sustrato rocoso, localmente definido como Formación Lupica (sedimentitas y volcanitas del Cretácico Superior-Terciario inferior), que se expone en la parte oriental del área de estudio (Fig. 3).

Las unidades del piedemonte quedan representadas por niveles que pueden alcanzar espesores de varios centenares de metros, correspondientes a conglomerados brechosos en los niveles inferiores (Formación Azapa). Los niveles sedimentarios superiores son de exposición más prominente y muestran importantes intercalaciones de depósitos ignimbríticos (Fig. 3) que han sido denominados Formación Oxaya en la región de Arica (Salas *et al.*, 1966; Vogel y Vila, 1980) y Formación Altos de Pica en la región de Iquique (Galli y Dingman, 1962, Galli, 1968). Estas formaciones constituyen una gran unidad principalmente sedimentaria, de edad óligo-miocena y representan los productos de denudación del orógeno andino (Mortimer y Saric, 1972, 1975; Naranjo y Paskoff, 1985).

En el área estudiada, los depósitos correlativos del pediplano de Atacama, el cual sella la morfología del piedemonte, están constituidos por conglomerados de rodados lávicos andesíticos y arenas de la Formación El Diablo (Tobar *et al.*, 1968).

Estos depósitos se relacionan con la aparición y erosión de un volcanismo andesítico que, en la parte oriental del área, está representado por la caldera Quevilque (denominada caldera "Sapahuira" por Katsui y González, 1968), al sur de Socoroma (Fig. 3).

En la cuenca del río Tignámar, al sur de la caldera Quevilque, se distingue un relleno de gravas de más de 200 m de espesor, correspondientes a la Formación Huaylas (Salas *et al.*, 1966). Sobre ella se emplazó la ignimbrita Huaylas del Plioceno inferior (Naranjo y Paskoff, 1984; 1985) según estos autores, con posterioridad a los 9 Ma y antes de la depositación de la Formación

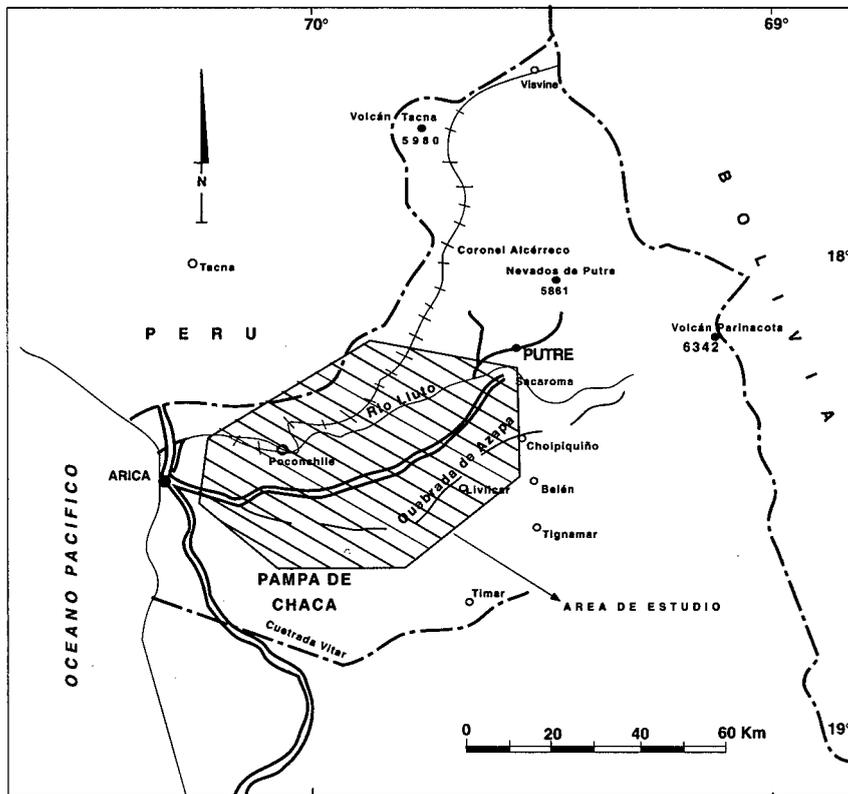


Fig. 1. Localización del área que incluye las gigantescas avalanchas de Oxaya.

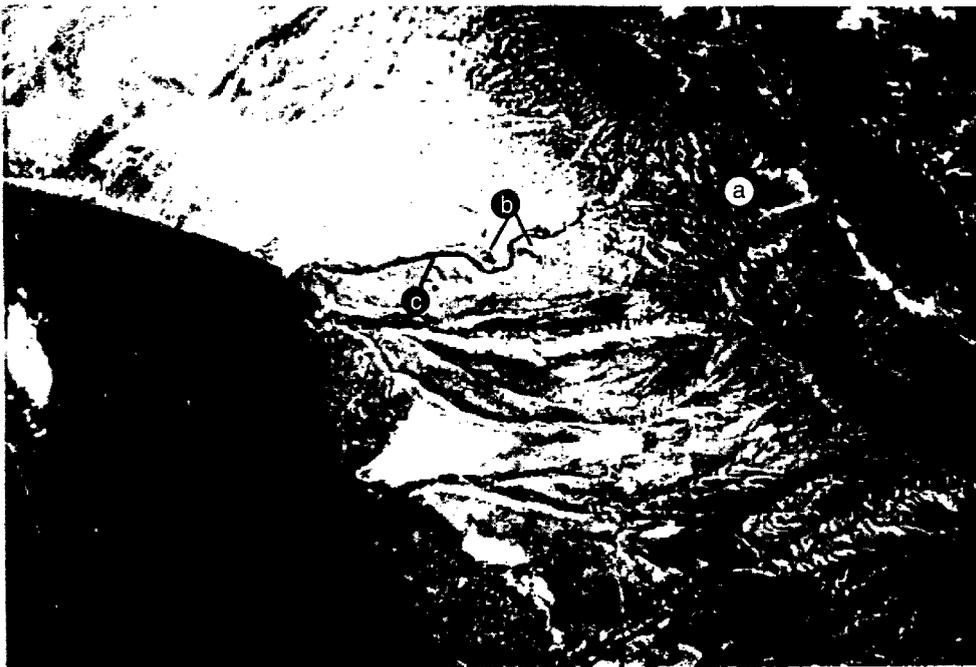
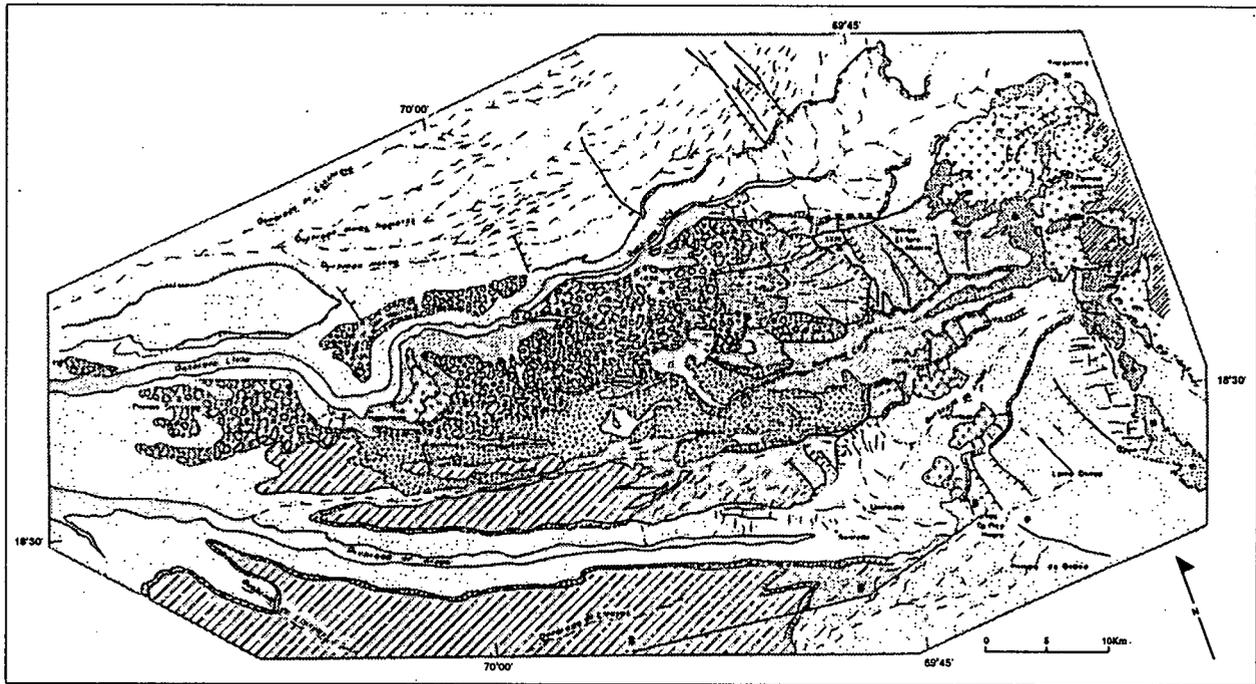


Fig. 2 Imagen satelital compuesta de bandas 4, 5 y 7, donde se aprecia la cicatriz de poco más de 10 km de diámetro (a) abierta hacia el oeste. El depósito de avalancha (b) está obliterado por el sinuoso curso de la quebrada Luta (c).



LEYENDA

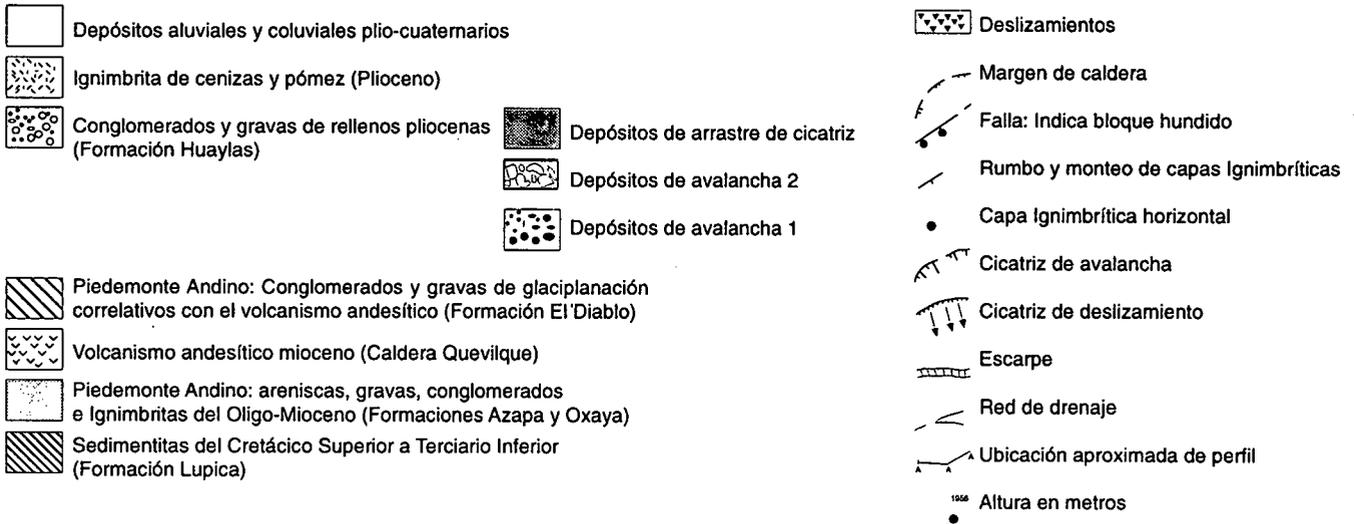


Fig. 3. Geología simplificada del piedemonte andino en el extremo norte de Chile. Las avalanchas se originaron, principalmente, en los niveles ignimbríticos superiores de la Formación Oxaya.

Huaylas, en el extremo norte de Chile se produjo una etapa de disecación intensa, responsable de la generación de quebradas profundas de hasta 2.000 m. A causa de las altas pendientes de los flancos de estas quebradas y de la inestabilidad de los materiales que conforman los depósitos de relleno del piedemonte, durante el Cuaternario se han producido numerosos deslizamientos, que no sólo caracterizan los flancos de las quebradas de Lluta y Azapa (Fig. 3), sino que también son comunes al este del área (Hauser, 1993).

En el sector Pampa de Oxaya, las unidades del piedemonte muestran una intumescencia o antiforma de orientación axial N30°W, llamada flexura de Oxaya, en cuya zona de charnela, se presentan varias fallas normales de rumbo paralelo al eje de la antiforma. Los planos de falla se orientan al este y oeste, constituyendo algunas estructuras de graben. Sin embargo, hacia el sur, a la latitud 19°15'S, se ha reconocido que algunas estructuras pertenecientes a este sistema de fallas, exhiben una clara vergencia al oeste, habiéndose generado como consecuencia de un sistema de empuje en esa dirección (Muñoz y Sepúlveda, 1992).

CARACTERISTICAS DE LA CICATRIZ Y AVALANCHA DE DETRITOS

La fuente de origen de la avalancha corresponde a una cicatriz multicompuesta formada en dos etapas: el colapso de la primera desencadenó la segunda avalancha. La cicatriz 1 se distingue, principalmente al sur de la quebrada Cardones (Fig. 3). La cicatriz 2 está mejor conservada con forma de herradura abierta al oeste y de poco más de 10 km de diámetro, está bordeada por un escarpe de 1.000 m de altura. Las dimensiones y rasgos característicos diversos de las cicatrices y depósitos de avalanchas se exhiben en la tabla 1. El escarpe de la cicatriz 2 se excavó en la cicatriz 1, removiendo el sector norte de ésta.

Ambas avalanchas se transportaron en descenso directo hacia el Oeste. Del mismo modo que las cicatrices, la avalancha 2 arrasó el depósito de la avalancha 1. Los depósitos tienen un ancho máximo conjunto de 20 km y fueron emplazados sobre la superficie del piedemonte, constituido por la Formación El Diablo (Fig. 3).

La mayoría de los rasgos morfológicos de los depósitos están obliterados por efecto de la erosión. Sólo se ha podido determinar espesores máximos para la avalancha 2 del orden de 150 m al SW de Poconchile, a 37 km del escarpe de su cicatriz. Con relativa claridad, se distinguen parcialmente los escarpes de borde del encajonamiento del depósito 2 labrado en el depósito 1. Por otra parte, los rasgos superficiales de ambos depósitos han sido modificados, a causa de la superposición de una densa red de drenaje.

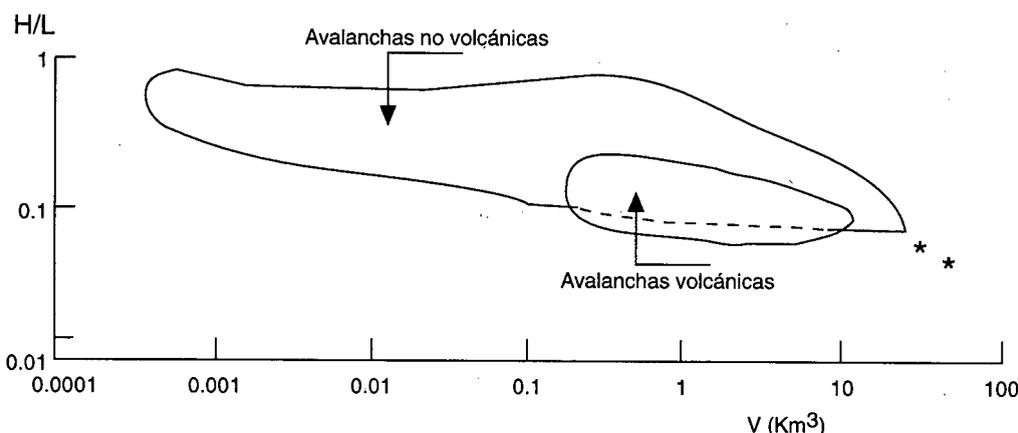


Fig. 4. Relación entre el coeficiente de fricción aparente (H/L) respecto del volumen (V) de las avalanchas de Oxaya (*) y comparación con los campos de avalanchas volcánicas y no volcánicas conocidas (de Ui, 1983).

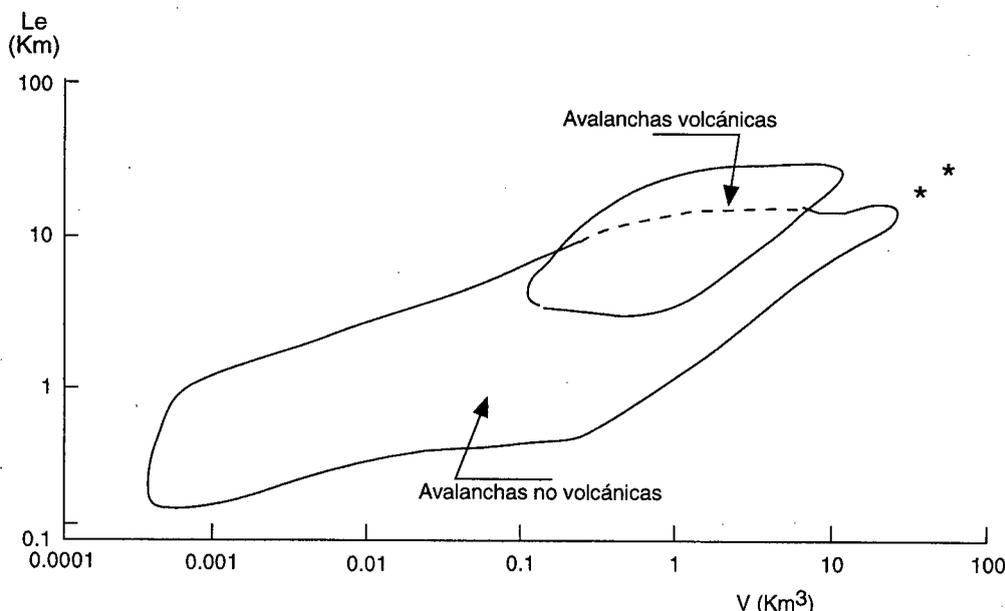


Fig. 5. Diagrama de relación entre la distancia de transporte excesiva (Le) y el volumen (V), según Ui (1983), avalanchas volcánicas y no volcánicas. Se destaca que las magnitudes de Le para las avalanchas de Oxaya serían las mayores conocidas, indicando su alta movilidad.

TABLA 1.
RESUMEN DE DATOS DE LAS AVALANCHAS DE DETRITOS DE OXAYA

	Avalancha 1	Avalancha 2
Area de la cicatriz (km ²)	97	133
Profundidad máx. de la cicatriz al quiebre (km)	0,8	1,0
Volumen (V) removido (km ³)	36	65
Elevación del punto más alto de la cicatriz (m s.n.m.)	3.250	3.300
Área de acumulación de detritos (km ²)	2.300	530
Elevación al pie del depósito de avalancha (m s.n.m.)	1.000	350
Máxima altura (H) descendida (m)	2.250	2.950
Largo de la cicatriz (km)	13	13
Ancho del la cicatriz (km)	7,5	12
Largo del depósito de avalancha (km)	43	60
Pendiente original del terreno	0,15 (8,5°)	0,15 (8,5°)
Distancia máxima de transporte (L; km)	35	53
Coefficiente de fricción aparente (H/L)	0,064	0,056
Distancia excesiva de transporte (Le= L-H/tan 32°) (km)	31,4	48,2

Internamente, los depósitos son similares entre sí, pues las fuentes de origen para ambos son los mismos niveles ignimbríticos superiores de la Formación Oxaya. Los sectores de cerrillos están contiguos por megabloques intensamente fragmentados y triturados, típico de depósitos de grandes avalanchas de detritos (cf. Siebert, 1984). El depósito de la avalancha 1 es ligeramente matriz-soportado; el de la avalancha 2, en cambio, se aprecia levemente más enriquecido en bloques.

MOVILIDAD DE LA AVALANCHA

Los indicadores de movilidad como la máxima diferencia de altura (H) y la distancia máxima de transporte (L), también señalados en la tabla 1 y definidos por Ui (1983), así como la razón H/L, denominada "coeficiente de fricción aparente" (Siebert *et al.*, 1987), son funciones del volumen de la respectiva avalancha. Este último varía entre 0,20 - 0,05 para avalanchas volcánicas (Siebert, 1984). En consecuencia, los coeficientes de fricción H/L de 0,064 y 0,056 para las avalanchas 1 y 2, respectivamente (Tabla 1), sobrepasan los campos de las avalanchas de detritos, volcánicas y no volcánicas, conocidas, cuando se relacionan con sus respectivos volúmenes (Fig. 4). Esto permite comprobar la alta movilidad para las enormes masas colapsadas.

Esta característica de las avalanchas de Oxaya se ve enfatizada en la Figura 5, donde se muestra que las distancias excesivas de transporte ($Le = L - H/\tan 32^\circ$; Hsu, 1975), son de 31,4 y de 48,2 km para las avalanchas 1 y 2, respectivamente (Tabla 1). Estos valores son claramente mayores en relación con la mayoría de las avalanchas de detritos conocidas y de volúmenes comparables.

EDAD DE LAS AVALANCHAS

Las avalanchas de Oxaya se emplazaron sobre el pedimento de edad miocena superior. Esto implica que su edad máxima queda limitada aproximadamente a los 9 Ma (Naranjo y Paskoff, 1985).

Por otra parte, el encajonamiento profundo de los cursos de agua como las quebradas de Lluta y Azapa, se produjo sobre el pediplano y claramente afectó a las avalanchas, como se observa en los alrededores de la sinuosidad de Poconchile. La quebrada Cardones, de la misma edad que las anteriores, fue parcialmente cubierta por la ignimbrita Huaylas, datada en 4, 4 y 4, 8 Ma (Naranjo y Paskoff, 1985).

En consecuencia, la etapa de incisión profunda que afectó al pedimento y a las avalanchas, se originó antes del Plioceno. Por lo tanto, se puede concluir que las avalanchas de Oxaya se desarrollaron en el Mioceno superior, aproximadamente entre los 9 y 4,8 Ma.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las etapas de la evolución del orógeno y piedemonte andino son relativamente constantes a lo largo del desierto de Atacama (Naranjo y Paskoff, 1985). Sin embargo, el segmento altiplánico septentrional de Chile, muestra rasgos morfológicos como la flexura de Oxaya, que indican una evolución más compleja. En este sentido, el segmento aludido constituye una unidad

orogénica diferente al resto de los Andes centrales.

El oroclinal altiplánico u "oroclinal Boliviano" (Carey, 1958) constituye uno de los mayores orógenos de la Tierra, sólo comparable a los Himalayas (Isacks, 1988). No obstante, por su condición de margen de subducción y a diferencia del orógeno asiático, en el Altiplano andino se han generado calderas de colapso, generadoras de ignimbritas. Estas han conformado grandes plateau cuyas propiedades estructurales permitieron la formación de la flexura de Oxaya y posteriormente, la generación de un colapso de las dimensiones aquí descritas.

De lo anterior se deduce que las condiciones del Altiplano andino son únicas para haber formado tan enormes avalanchas y, por lo tanto, podrían corresponder a las más grandes conocidas en el planeta.

Finalmente, se concluye que las condiciones de inestabilidad a escala orogénica son el efecto de pulsos de alzamiento que han ocurrido en forma discontinua y en lapsos relativamente breves en términos geológicos. Uno de los últimos grandes pulsos de alzamiento, en el segmento altiplánico, habría ocurrido durante el Mioceno superior, entre los 9 y 4,8 Ma.

REFERENCIAS

- Carey, S.W., 1958. The tectonic approach to continental drift. In Carey S.W., ed., *Continental drift - A symposium*: Hobart, Tasmania, University of Tasmania Press, p. 178-355.
- Galli, C., 1968. Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia de Tarapacá. *Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile*, escala 1:50.000, 53 p.
- Galli, C. y Dingman, R., 1962. Cuadrángulos Alca, Pica, Matilla y Chacarilla. *Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile*, Vol.3, N° 2, 3, 4 y 5, 125 p.
- Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. *Boletín N°45, Servicio Nacional de Geología y Minería*, 75 p. 86, p. 129-140.
- Isacks, B.L., 1988. Uplift of the Central Andean Plateau and Bending of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93, N° B4, p. 3211-3231.
- Katsui, Y. y González, O., 1968. Geología del área neovolcánica de los Nevados de Payachata. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Publicación N° 29, 61 p.
- Mortimer, C. y Saric, N., 1972. Landform evolution in the coastal region of Tarapacá Province, Chile. *Rev. Géom. Dyn.* 21, p. 162-170.
- Mortimer, C. y Saric, N., 1975. Cenozoic studies in northernmost Chile. *Geol. Rundsch.* Vol. 64, N° 2, p. 395-420.
- Muñoz, N. & Sepúlveda, P., 1992. Estructuras compresivas con vergencia al oeste en el borde oriental de la Depresión Central Norte de Chile (19° 15'S). *Revista Geológica de Chile*, Vol.19, N° 2, p. 241-247.
- Naranjo, J.A. & Paskoff, R., 1984. Volcanisme, tectonique et réseau hydrographique sur le piémont Andin du désert du nord du Chili. *Géographie Physique et Quaternaire*, Vol. 2, p. 201-204.
- Naranjo, J. A. & Paskoff, R., 1985. Evolución cenozoica del piedemonte andino en la Pampa del Tamarugal, norte de Chile (18°-21°S). In 4º Congreso Geológico Chileno, Actas, Vol. 4, p. 5/149-5/165.
- Salas, R., Kast, R., Montecinos, F. & Salas, I., 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica. Provincia de Tarapacá. *Inst. Invest. Geol., Bol.* 21, 114 p.
- Siebert, L., 1984. Large volcanic debris avalanches: characteristic of source areas, deposits, and associated eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 22, p. 163-197.
- Siebert, L., Glicken, H., Ui, T., 1987. Volcanic hazards from Bezymianny - and Bandai-type eruptions. *Bulletin of Volcanology*, N° 49, p. 435-459.
- Tobar, A., Salas, I. & Kast, R., 1968. Cuadrángulos Camaraca y Azapa, Provincia de Tarapacá. *Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile*, escala 1:50.000, N° 19 y 20, 20 p.
- Ui, T., 1983. Volcanic dry avalanche deposits-identification and comparison with non volcanic debris stream deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.18, p. 135-150.
- Vogel, S. & Vila, T., 1980. Cuadrángulos Arica y Poconchile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, escala 1:100.000, N° 35, 24 p.

LOS RECURSOS NO METALICOS DEL ALTIPLANO CHILENO. UNA REVISION

GUILLERMO CHONG DIAZ

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLOGICAS, UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE
CASILLA 1280, ANTOFAGASTA, CHILE

RESUMEN

Se presenta una revisión, desde el punto de vista geológico, de los recursos No Metálicos en el Altiplano de Chile, incluyendo una revisión somera de los distintos tipos de depósitos y presentación de algunos antecedentes de tipo minero - comercial. Son establecidas precisiones respecto a los conceptos de No Metálicos y Altiplano. Algunos de estos recursos son conocidos y explotados desde hace más de un siglo, sin embargo, se está en un proceso de conocimiento de nuevos depósitos. El avance industrial, el descubrimiento de menas hasta ahora desconocidas en la región, el éxito de algunas empresas, el potencial de los depósitos y un interesante mercado doméstico, regional e internacional, conforman un atractivo panorama minero-comercial.

ABSTRACT

A geological revision of the Non-Metallic deposits in the Chilean Altiplano is presented. It is also included a slight revision of the different type deposits and a few commercial aspects are discussed as well as precisions about the Non-Metallic and the Altiplano concepts. Some of the described resources are known for more than a century, but new discoveries and industrial concepts are in progress. The industrial projection, the discovery of minerals unknown up to now in the region, the successful development of mining enterprises, the reserves, potencial and an interesting domestic, regional and international marketing define an attractive mining comercial future for the Non-Metallic ores.

INTRODUCCION

Una revisión de los recursos mineros No Metálicos en el Altiplano Chileno es un aspecto novedoso en el contexto geológico del país. Esto no implica un desconocimiento del tema, toda vez que varias menas de esta naturaleza son explotadas desde el siglo pasado. Sin embargo, la realidad, potencial, beneficio y mercado de algunos de estos minerales es un campo apenas explorado.

El presente trabajo está, necesariamente limitado en su enfoque ya que el tema es de amplio espectro. Descripción de yacimientos, exploración, prospección, beneficio y estudios de mercado representan un campo de investigación e industrial que recién está cobrando actualidad como un conjunto. Consecuentemente, se presenta aquí un resumen amplio sobre las características geológicas de estos recursos en el Altiplano Chileno, complementándolo con antecedentes y comentarios acerca de su potencialidad económica actual y futura.

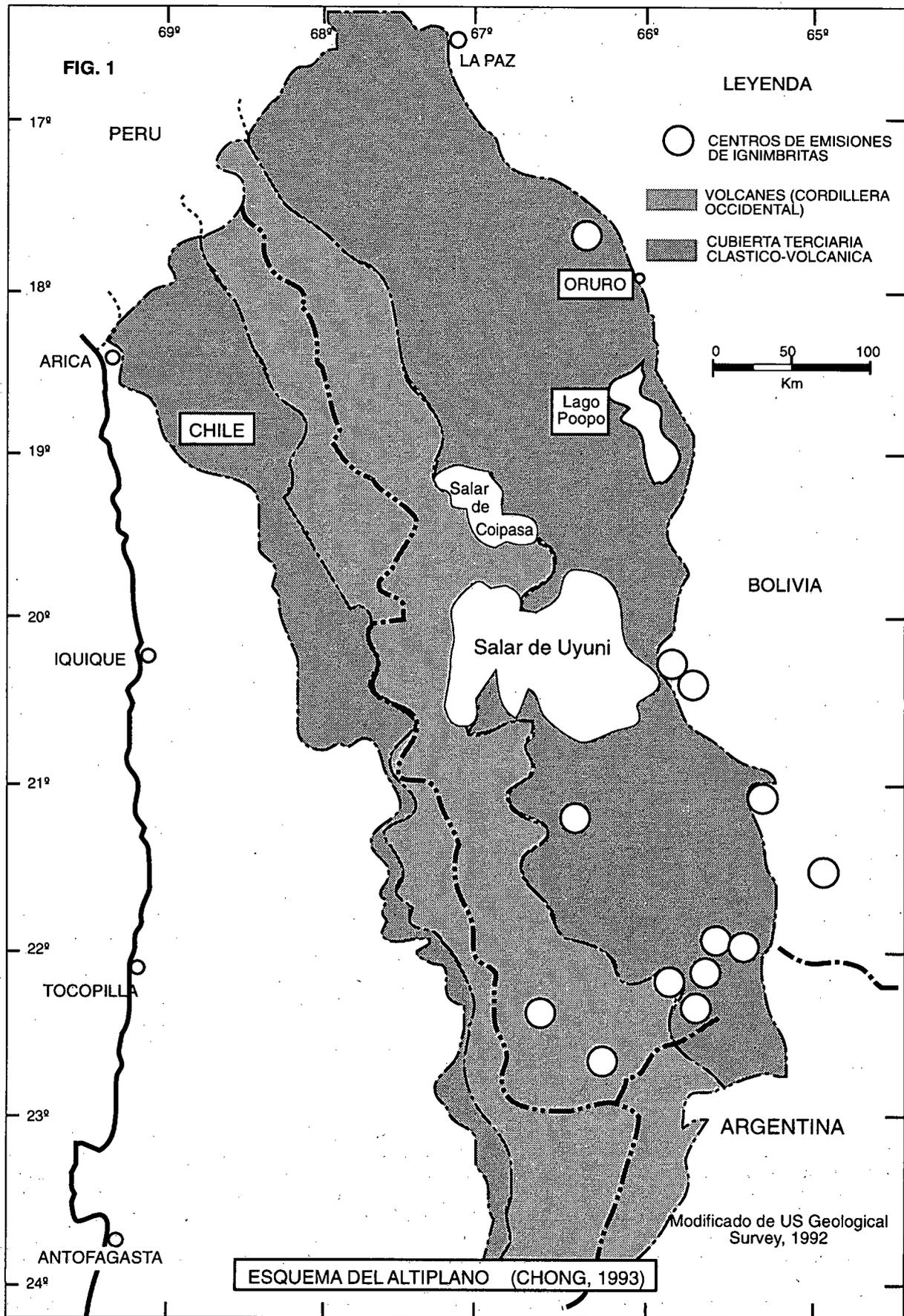
DEFINICION DE CONCEPTOS

Para enfrentar el tema con propiedad, estimamos necesario hacer algunas precisiones de los dos conceptos que son muy explícitos en el título de este trabajo: Altiplano y No Metálicos. Si bien se trata de términos que aparecen profusamente en la literatura especializada, ambos poseen amplia flexibilidad en su tratamiento e interpretación. Por esta razón se ha preferido describirlos de la manera como son empleados aquí.

No Metálicos: Actualmente, este término está siendo reemplazado, sistemáticamente, por el de Rocas y Minerales Industriales o, simplemente, por el de Minerales Industriales. Un mineral industrial es descrito como cualquier roca, mineral u otra sustancia de ocurrencia natural de valor económico, excluyendo las menas metálicas, combustibles minerales y piedras preciosas (Bates & Jackson, 1987). Sin embargo, la rigidez de esta definición ha ido perdiendo actualidad debido al acelerado avance de la industria, que cada vez tiene requerimientos más específicos y sofisticados. De acuerdo a esto, menas que califican perfectamente como "metálicas"; materiales que aceptan la definición de piedras preciosas, productos manufacturados y asociaciones de productos manufacturados y naturales, son descritos como Minerales y Rocas Industriales, en abierto desacuerdo con la definición planteada. Así, Bates in Lefond (1983), considera que el concepto de mineral industrial está bien definido, pero no así sus límites. En el presente trabajo adoptamos este criterio amplio de clasificación.

Altiplano: Este término es de uso amplio en aspectos geológicos, geográficos, sociales e incluso, en el lenguaje cotidiano. Como resulta lógico, ha sido principalmente descrito en Bolivia, mientras que en Argentina se emplea preferentemente el término Puna, y en Chile se habla, indistintamente, de Altiplano, Puna, Alta Cordillera e incluso Andes. Este importante rasgo continental, identificable por sus especiales características geológicas, geomorfológicas y climáticas, ha sido descrito (U.S. Geological Survey, 1992) como serie de cuencas altas y continuas ubicadas entre la Cordillera Oriental y Occidental, e incluyendo parte de éstas en su ensamble geológico. La característica principal es una serie de cuencas intramontañas de antearco que reciben sedimentos de cordones plegados y sobreescurridos, producto de acortamientos y engrosamientos de la corteza.

Esta unidad se extiende, aunque con algunas diferencias significativas, en territorio de Argentina, Chile y Perú (Figs.1 y 2). En este trabajo se entiende como Altiplano a una unidad geológico - morfológica, caracterizada por un basamento paleozoico -



mésozoico - cenozoico, sobre el cual se dispone una cubierta volcánica sedimentaria del Terciario Superior con pendiente regional hacia el Oeste. En esta cubierta se emplazan sistemas volcánicos del Terciario Superior al Holoceno. Estos volcanes constituyen parte de la Cordillera Occidental y sus cumbres más altas sirven de límite político con los países vecinos. El conjunto está severamente tectonizado, especialmente por fallas NS y EW, siendo las primeras las que interrumpen su continuidad hacia el Oeste. Esta unidad, distribuida en las Regiones de Tarapacá y Antofagasta, tiene una vergencia hacia el Oeste que, a la latitud de Arica, hacen que prácticamente alcance hasta la costa. La altitud del "plateau" volcánico sedimentario es del orden de 4.000 - 4.500 m, mientras que las cumbres volcánicas superan, en su mayoría, los 5.000 m. Sus características son bastante diferentes a lo largo de su extensión Norte-Sur y donde se puede observar, en forma más completa y con todos sus elementos, es en la Segunda Región de Antofagasta (Fig. 2). De acuerdo a esta descripción es como en el presente trabajo se emplea el término Altiplano.

RECURSOS NO - METALICOS EN EL ALTIPLANO CHILENO

Estos recursos, en el Altiplano Chileno, son de amplia distribución y variedad y, con seguridad, su estudio geológico y exploración aumentarán significativamente su actual proyección económica. Algunas menas son conocidas desde larga data, como en los casos de Boro y Azufre.

La variedad y potencial de reservas están asociadas a diferentes procesos geológicos y sus materiales y rocas derivadas. Los procesos, ordenados por su importancia relativa, son el volcanismo, tanto el actual como el del Terciario Superior; formación de Salares y Lagos Andinos (en el sentido de Chong, 1988); los procesos de diagénesis en sedimentos lacustres y la alteración, meteorización u otros procesos geológicos de rocas del basamento.

Volcanismo: Los procesos volcánicos aportan, en forma directa, productos que constituyen rocas o minerales industriales, como es el caso de vidrios (perlita y obsidiana) y cenizas, o rocas (pómez, tobas, lavas). Las aguas termales generan depósitos de boratos, carbonatos, sulfatos, cloruros y otros elementos de importancia económica subordinada. Las fumarolas producen Azufre. A su vez, en forma indirecta, la alta gradiente geotérmica permite que las aguas meteóricas produzcan una lixiviación cuantitativa y cualitativamente mayor de las rocas del marco geológico. En este caso, las salmueras transportan y depositan diversos elementos en las cuencas lacustres y evaporíticas.

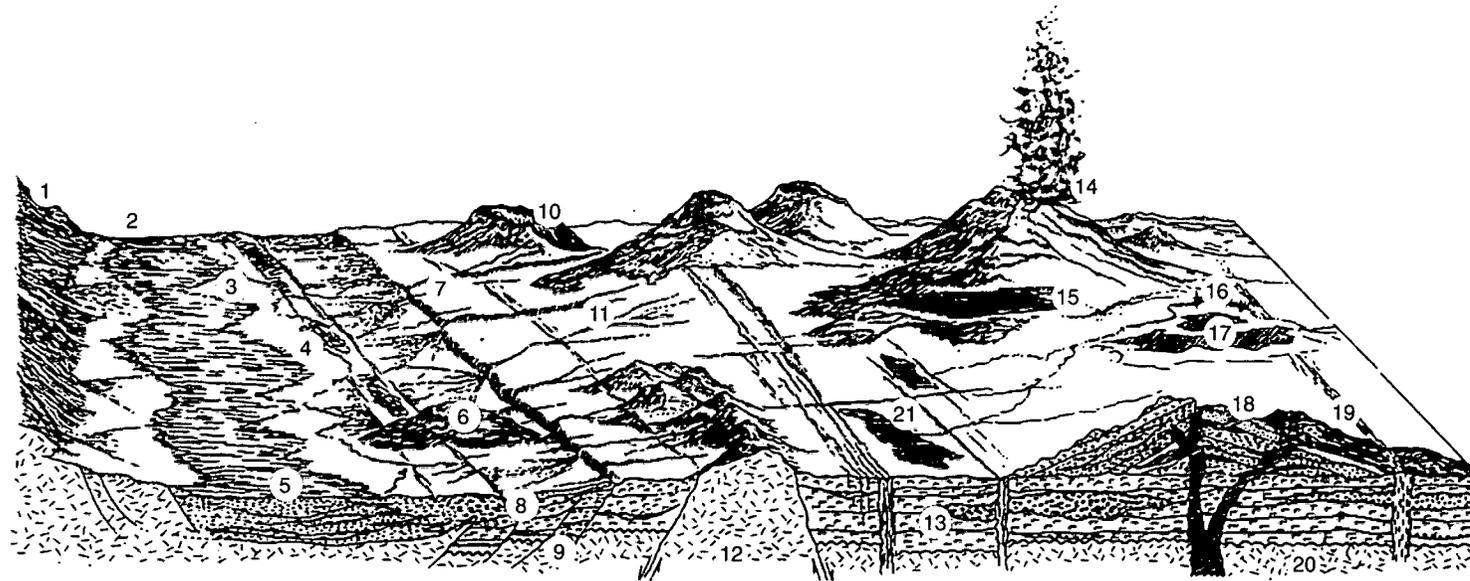
Salares y Lagos Andinos: En el Altiplano existen numerosas cuencas que tienen orígenes tanto tectónicos como debido a procesos volcánicos, como entrampamiento por coladas de lavas o formación de calderas. Estas cuencas, como niveles de base locales, y debido a condiciones geológicas y climáticas específicas, se han convertido, desde el Terciario hasta hoy, en lagos que, en muchos casos, han evolucionado, y evolucionan, a cuencas evaporíticas. Los aportes son tanto superficiales como subterráneos. Chong (1984,1988) los define como Lagos y Salares Andinos basando la diferenciación en la razón de superficie inundada permanentemente y aquella que permanece con costras salinas. Esta diferencia es sólo de corte académico, puesto que durante el Invierno Altiplánico, conocido también como "Invierno Boliviano" o "Invierno Chileno" en los meses de Diciembre a Febrero, estas cuencas son inundadas por precipitaciones torrenciales.

La naturaleza del subsuelo, geotermalismo y volcanismo hacen que las aguas que llegan a estas cuencas sean esencialmente salobres y su evolución en las cuencas las convierte en salmueras. En ellas se enriquecen en diferentes iones, algunos de los cuales tienen un significado económico como es el caso de cloruros, carbonatos y sulfatos de Potasio, Litio, Sodio, Calcio y Magnesio.

Procesos diagenéticos en sedimentitas lacustres: Durante el Terciario Superior - Cuaternario, una característica constante de los procesos geológicos fue la formación de cuencas lacustres en ambientes volcánicos. Esta situación se tradujo en aportes combinados a las cuencas, de elementos terrígenos y volcánicos y la formación de diferentes tipos de sedimentitas biogénicas, químicas o clásticas. La posterior diagénesis incluye procesos que conducen a la formación de diversos elementos de valor económico como las dolomitas. Asimismo, se pueden producir efectos combinados en que interaccionan determinados sedimentos, la descomposición de algunos de ellos (vidrio volcánico, por ejemplo) y salmueras enriquecidas en elementos específicos. En este esquema, por ejemplo, Asher - Bolinder *in* US Geological Survey (1992) describe la posible formación de hectorita y/o smectita a partir de la intervención combinada de vidrio volcánico, salmueras enriquecidas en Litio, sedimentos lacustres enriquecidos en Calcio y Magnesio. A través de procesos como los descritos se han formado, en el Altiplano Chileno, depósitos de arcillas y diatomitas.

Alteración, meteorización u otros procesos geológicos de rocas del basamento: En rocas del basamento que infrayace a la cubierta volcánica-sedimentaria altiplánica, se pueden observar numerosas zonas de alteración hidrotermal. Procesos posteriores de meteorización, en climas áridos a semi-áridos, determinan que algunos de los minerales de alteración sean transformados en otros derivados y de importancia económica. Este es el caso, por ejemplo, de la transformación de alunite en "alunógenos" como los sulfatos de Aluminio y Magnesio. También puede presentarse el caso de rocas densamente silicificadas que son potenciales menas de sílice. Se ha mencionado, en rocas antiguas del basamento, como los Esquistos de Belén, la formación de variedades de asbestos (crisotilo) como producto de metamorfismo (Ruiz y otros, 1965).

FIG. 2



ESQUEMA DEL ALTIPLANO CHILENO ENTRE LOS 22° - 24° SUR

1) BORDE ORIENTAL PRECORDILLERANO. 2) CUENCAS PREANDINAS (SALARES). 3) ZONACION DE SALARES, SECTORES CON PLAYA-LAKER. 4) VERTIENTES CON DEPOSITACIONES DE TRAVERTINO. 5) SALARES INCLUYENDO INTERCALACIONES DE ROCAS VOLCANICAS (ALTAS CONCENTRACIONES SALINAS: L1, K, MG. 6) DOMOS VOLCANICOS. 7) VALLES PROFUNDOS. 9) ALGUNOS VOLCANES CONTROLADOS POR FALLAS. 10) VOLCANES ANTIGUOS ERODADOS (MIOCENO). ZONAS DE ALTERACION. 11) DRENAGES CON PENDIENTES REGIONAL AL OESTE, PERO CON VARIACIONES EN EL "PLATEAU". 12) BLOQUES DEL BASAMENTO SOLEVANTADOS TECTONICAMENTE. 13) "PLATAFORMA" O "PLATEAU DEL Terciario inferior (ROCAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS CONTINENTALES). 14) FUMAROLAS Y ACTIVIDAD VOLCANICA (AZUFRE). 15) SALARES O LAGOS SALINOS EN CUENCAS VOLCANICAS (CALDERAS O ENTRAMPAMIENTOS POR LAVAS). YACIMIENTOS DE BORATOS Y SULFATOS. (16) AGUAS TERMALES EN SALARES. 17) CUENCAS INCLUYENDO LAGOS Y SALARES. 18) ESTRATO-VOLCANES PLIOCENO-Holoceno. 19) SISTEMAS REGIONALES DE FALLAS N S, ALGUNAS CONTROLANDO EMPLAZAMIENTOS DE VOLCANES CORTADOS POR FALLA. ALGUNAS FALLAS INVERSAS SUBORDINADAS. 20) BASAMENTO P2 - M2 - CZ.

GUILLERMO CHONG DIAZ / 1993.

ANTECEDENTES DE RECURSOS NO METALICOS EN EL ALTIPLANO CHILENO

Las alternativas para referirse a los recursos No Metálicos en esta región, son variadas. Se puede, por ejemplo, optar por una simple enumeración o listado, ordenarlos de acuerdo a sus proyecciones económicas, o clasificarlos por su origen geológico o sus usos. En este caso se presenta un cuadro con el listado de los No Metálicos que se transan en el mercado internacional, destacando aquellos conocidos en el Altiplano Chileno. Posteriormente, se hace una descripción muy general de los distintos depósitos. Finalmente, se discuten, brevemente, algunas alternativas económicas.

Rocas y Minerales Industriales (= No Metálicos)*	
<u>Alunita</u>	<u>Manganeso</u>
<u>Arcillas</u>	Meerschaum,
<u>Arenas y Gravas</u>	Micas
Asbestos	Nefelina (Sienita de)
<u>Azufre</u>	Nitrógeno (Compuestos de)
Bario (Minerales de)	Olivino
Bauxita (Materiales de)	<u>Perlitas</u>
Bituminosos (Materiales)	Pirofilita
<u>Boro y Boratos</u>	<u>Pómez y Cenizas</u>
Bromo	Potasa (<u>Potasio</u>)
Cal	Rocas dimensionadas
<u>Calizas y dolomitas</u>	Rocas fosfáticas
Carbonato de sodio	<u>Sal</u>
Cromita	<u>Sílice</u>
Diamantes	<u>Sulfato de sodio</u>
<u>Diatomitas</u>	Talco
Estaurolita	Tierras Raras y Torio
Estroncio	Titanio
Feldespatos	Trípoli
Fluorespato y Criolita	Vermiculita
Glauconita	Wollastonita
Grafito	<u>Yeso y Anhidrita</u>
Kainita y Minerales Asociados	Yodo
<u>Litio (Materiales de)</u>	Zeolitas
Magnesita y Materiales Asociados	Zirconio y Hafmio

*Las menas destacadas con negrita y subrayadas corresponden a aquellas que se conocen o se estiman están presentes en el Altiplano Chileno, incluso aunque no tengan una calidad reconocida de yacimiento.

Alunita: En la zona altiplánica existen numerosas zonas de alteración hidrotermal emplazadas en rocas del basamento. En algunos casos la alunita, un sulfato doble de Potasio y Aluminio $[K_2 Al_6(OH)_{12} \cdot (SO_4)_4]$, asociada a natro-alunita (cuando el Potasio es parcialmente reemplazado por Sodio), es un mineral común en el ensamble de alteración. Debido a efectos de meteorización, en ambientes áridos a semi-áridos, en los cuales hay una intervención parcial de ácido sulfúrico, la alunita se transforma en "alunógeno" que es un sulfato hidratado simple de Aluminio.

Depósitos de este tipo se conocen principalmente en la parte alta del Valle de Lluta en los sectores conocidos como Sausine y Millune. Aquí el "alunógeno" aparece asociado con sulfatos de Magnesio y de Hierro y las reservas son significativas.

Arcillas: Estudios geológicos de orientación económica de las secuencias lacustres de la zona altiplánica, han demostrado una potencial importancia. Así, algunas variedades de arcillas corresponden a bentonita cálcica, constituida por minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita. Estas han sido definidas por Difracción y Fluorescencia de Rayos X y análisis térmico diferencial. Se ha concluido que se trata de bentonitas cálcicas provenientes de la desvitrificación de cenizas y vidrio volcánico.

En el caso del Altiplano las arcillas se encuentran asociadas a sedimentitas lacustres y, especialmente a diatomitas. Su modo de yacimiento es el de horizontes desde decimétricos a métricos, horizontales, de colores verdes y amarillos en tonos claros, intercalados con limolitas, diatomitas, calizas, arenas, conglomerados y rocas volcánicas. Los depósitos se encuentran especialmente incluidos en el Miembro Chapuma de la Formación Huaylas (Salas y otros, 1966). Yacimientos importantes se conocen en la Quebrada de Huaylas y asociados a las diatomitas del yacimiento de Bocanegra. En el Valle de Lluta las características geológicas de la región son favorables para la exploración en búsqueda de nuevos yacimientos.

Arenas y Gravas: Sólo por incluirlo como un recurso presente, se menciona que en las numerosas y profundas quebradas que drenan el Altiplano, existen arenas y gravas que pueden ser empleadas como materiales de construcción.

Azufre: Con dos excepciones que sólo pueden nombrarse como inventario, el Azufre en Chile está relacionado con el volcanismo del Pleistoceno-Holoceno y la totalidad de los yacimientos se ubican en la zona altiplánica. De acuerdo a Corfo - Intec (1989) la naturaleza explosiva del volcanismo tardío es importante porque define una buena preparación de la roca para la circulación de los fluidos que formarán los yacimientos. Asimismo, estiman que la concentración de los depósitos en determinados sectores, está asociada a la naturaleza del basamento que, específicamente, incluiría rocas sedimentarias evaporíticas ricas en sulfatos. Finalmente, en el mismo trabajo, se considera que depósitos más antiguos, pero siempre en los mismos ciclos volcánicos, pueden ser removilizados para formar cuerpos de alta ley.

Los distritos azufreros suman más de treinta con distintas categorías de reservas, y se ubican entre las latitudes de Arica a Copiapó. Distritos importantes en la Primera Región son Tacora, Putre y Sillajuaya; en la Segunda Región, Acahuachi, Purico, Carcote, Plato de Sopa y, en la Tercera Región, Gorbea y Maricunga.

Boro y boratos: El Boro y los boratos como recurso económico se ubican exclusivamente en el norte de Chile agrupados en tres tipos de depósitos y dos alternativas de subproductos. La posibilidad de mayor importancia económica, comprobada y potencial se encuentra en los Salares Andinos. En estas cuencas evaporíticas existen reservas de gran volumen representadas por concentraciones de boratos de Calcio y Sodio (ulexita), que se presentan en horizontes desde decimétricos a métricos, en núcleos y diseminados en sedimentos. Su origen es volcánico en una estrecha asociación con actividad de fuentes termales.

Estos depósitos han sido explotados durante más de un siglo, pero en forma esporádica y, los de mayor importancia, nombrados de sur a norte, son los Salares de Surire, Ascotán, Quisquiro y Aguas Calientes.

Calizas y Dolomitas: Las calizas tienen una amplia distribución significativa en las sedimentitas lacustres de los lagos cuaternarios y terciarios del Altiplano, aunque no constituyen por sí un recurso económico. Como sucede en la mayoría de estos casos, el carbonato de Magnesio está presente en cantidades variables junto al carbonato de Calcio. Durante los procesos de diagénesis, la calcita y la aragonita suelen disolverse y migrar, mientras que se produce la precipitación del carbonato de Magnesio dando origen a las dolomitas. Otra posibilidad, poco común, es que la dolomita sea un precipitado original. Esto sucede exclusivamente durante la desecación de lagos someros.

En la zona del Valle de Azapa, a unos 20 km de Arica, emplazada en una secuencia rióftica terciaria, se presenta un importante lente de sedimentitas lacustres que incluye horizontes de dolomitas, junto a arcillas, diatomitas (?) y margas.

Diatomitas: Las diatomitas tienen un origen orgánico y se incluyen entre los sedimentos silíceos biogénicos. Corresponden a algas, unicelulares (Clase Bacillariophyceae), que tienen como característica específica que las paredes de sus células están constituidas por sílice del tipo ópalo. Esta sílice es una variedad hidratada cuyos contenidos de agua pueden variar en rangos de 4 a 8%. La concentración de masas formadas por las "frústulas" o caparazones de estos diminutos organismos forman grandes depósitos descritos a veces como Tierra de Diatomeas, Trípoli o Kieselguhr.

En el Altiplano existen diatomitas lacustres, asociadas a las secuencias volcánicas. Su formación está relacionada con la abundante sílice provista por los procesos volcánicos tan predominantes de esa región. Se las encuentra con diferentes grados de pureza y tamaño en yacimientos, desde altitudes de más de 4.000 m, hasta prácticamente en la costa, en salares y lagos actuales también se encuentran presentes. Las secuencias lacustres en que están insertas incluyen variedades de arcillas, margas, carbonatos y otros elementos sedimentarios poco conocidos, naturalmente asociados a la sedimentación lacustre y sus fuentes de aporte. Algunos yacimientos del Altiplano son de edad cuaternaria y a ellos deben agregarse los de formación actual. Otros depósitos corresponden al Terciario Superior.

Yacimientos de importancia se encuentran principalmente en la zona altiplánica de la Primera Región y algunos son actualmente explotados constituyendo la base de una sólida industria minera en Arica. Es el caso, por ejemplo, de los yacimientos Nevermann, inmediatamente fuera del radio urbano de Arica y Bocanegra, en el Valle de Lluta, a unos 50 km de la misma ciudad. En ambos casos se trata de depósitos de gran pureza (del orden de 85% de sílice en Bocanegra) y reservas importantes. Depósitos inexplorados de importancia se encuentran en las profundas quebradas que cortan el Altiplano, como Lluta, Azapa, Allane, Huaylas y otras. Comparados con estos depósitos, los ubicados y conocidos en la zona altiplánica de la Segunda Región, tienen un valor subordinado.

Las diatomitas constituyen uno de los recursos No Metálicos de mayor importancia económica de la zona altiplánica por su calidad, por su abundancia, y la proyección de su actual industrialización.

Litio, Potasio, Sal, Sulfato de Sodio, Yeso y Anhidrita: Estos elementos se describen en conjunto porque están asociados en las salmueras y costras salinas de los Salares Andinos.

El Litio y el Potasio están presentes en forma de trazas como cloruros, en las salmueras de los Salares Andinos y se estima que provienen de la lixiviación de rocas volcánicas ácidas. Su alta concentración en el Salar de Atacama, convierte a éste en el mayor depósito de estos elementos en salmueras, el mundo. Sin embargo, su presencia en el resto de los depósitos del Altiplano Chileno, no tiene un significado económico.

Elementos como sal, sulfato de Sodio, yeso y anhidrita aparecen en las costras de los salares, normalmente en los bordes y depositados en una zonación en función de su producto de solubilidad. A su vez, la sal está presente en las costras, pero mayoritariamente en las salmueras. Yeso y anhidrita también están presentes en secuencias lacustres. Estas sales no tienen significado económico actual con la probable excepción del sulfato de Sodio que puede beneficiarse como sub-producto o como mena, pero en este último caso, en salares muy específicos.

Ha sido mencionada la presencia de carbonato de Sodio (Salares de Huasco, Tara, Quisquiro, Pujsa y otros), sin embargo, no existe una información técnica confiable que avale esta posibilidad.

Manganeso: En diversos lugares del Altiplano de Arica como, por ejemplo, en la zona de Quebrada Huaylillas, existen cuerpos irregulares y vetiformes de Manganeso, principalmente pirolusita. También hay mineralización de Manganeso asociada a depositación volcánica en cuencas evaporíticas y lacustres. Estos recursos son muy poco conocidos en calidad y cantidad de reservas.

Perlita: La perlita es una variedad de vidrio volcánico ácido a intermedio que se caracteriza por su estructura ("de cebolla") y por incluir un contenido de agua variable entre 2 - 6%. Al ser calentada se expande hasta veinte veces su volumen.

Siendo la perlita de origen exclusivamente volcánico, su presencia en el Altiplano debería darse por descontada, sin embargo, no ha sido nunca descrita avalada por datos confiables. Recientemente se ha descubierto un depósito de especiales características en el sector de Pampa Colorada, unos 40 km al NNE de Arica, área del Paradero San Martín del F.C. Arica - La Paz. Consiste en un material homogéneo de granulometría de arena y con estructuras de depositación eólica (una paleoduna?). Este material ha sido sometido a test químicos y físicos de perlitas y los resultados estarían confirmando que se trata de este tipo de vidrio.

Pómez y Cenizas: Estos dos materiales, de origen exclusivamente volcánico, se encuentran ampliamente repartidos a lo largo y ancho del Altiplano Chileno, asociados al volcanismo actual y al del Terciario Superior. Sin embargo, esta distribución es errática y no existen antecedentes confiables o sistemáticos de exploración y/o prospección, que permitan establecer la calidad y cantidad de estos depósitos.

Piedras ornamentales y dimensionadas: La acción combinada de actividad volcánica y sedimentación lacustre determina la formación de diversas rocas que pueden usarse o ya han sido empleadas como dimensionadas y/u ornamentales. Las más conocidas son las tobas riolíticas usadas como material de construcción y recubrimientos, especialmente en la Segunda Región de Antofagasta (Toconao). Estas rocas se obtienen de las secuencias volcánicas del Terciario Superior. En este mismo esquema deben mencionarse las variedades de rocas carbonatadas bandeadas generadas en vertientes termales y conocidas como "travertinos". Un caso muy especial son las rocas sedimentarias químicas de origen lacustre constituidas por grandes cristales de aragonita y con muy vistosos colores anaranjados y amarillos en distintos tonos.

Las tobas riolíticas, usadas como piedras de construcción, se encuentran prácticamente en todo el Altiplano aunque con distintas calidades. Los travertinos son de distribución dispersa y esporádica y algunos depósitos interesantes se encuentran al este del Salar de Punta Negra, en la Segunda Región. Los depósitos de aragonita han sido descritos exclusivamente en la zona de Pinchal, en la Segunda Región de Antofagasta.

Sílice: En diversas zonas de alteración hidrotermal y yacimientos metálicos del Altiplano, la silicificación puede ser un proceso principal afectando, en muchos casos en forma perversiva, a las distintas rocas. Algunas de éstas pueden ser consideradas como fuentes de sílice, la que también se encuentra en variedades opalinas y calcedónicas asociada a sedimentitas lacustres. El potencial minero de este recurso es muy poco atractivo en el estado actual de su conocimiento.

PROYECCION MINERO - ECONOMICA DE LOS RECURSOS NO METALICOS DEL ALTIPLANO CHILENO

En los últimos veinte años en que se viene hablando en Chile del "despegue" de los No Metálicos, se han obtenido logros importantes. Muchos de ellos obedecen a circunstancias o a iniciativas aisladas más bien que a resultados de una política sistemática, aunque se hacen significativos esfuerzos para definirla y establecerla. En este aspecto, la zona altiplánica chilena juega un rol de fundamental importancia por la variedad, cantidad y calidad de sus reservas.

Como antecedentes para elaborar una política de esta naturaleza, se deben tener en cuenta debilidades y fortalezas de una minería de este tipo y en una región de tan especiales características.

Como debilidades se debe considerar el desconocimiento que se tiene de los distintos tipos de yacimientos y depósitos; la naturaleza propia de los No Metálicos cuyas especificaciones son muy exigentes y variadas, sumando la dificultad de su escaso valor agregado en la mayoría de los casos; la desventajosa ubicación unida a las dificultades operativas en altura y de accesos; falta de estudios sistemáticos de mercado tanto doméstico como regional e internacional y, en casos, el impacto ambiental.

En el caso de las fortalezas se deben tomar en cuenta la calidad, variedad y volumen de las reservas; la gran cantidad de usos y consecuente demanda, la posibilidad de poder establecer industrias mineras sobre la base de generar productos combinados usando otros No Metálicos de amplia distribución en el norte de Chile, e incluso en países limítrofes; la ubicación de los potenciales centros de producción que se ubican en un interesante radio de mercado regional sudamericano y las demandas que tendrán los grandes centros mineros que se están poniendo en marcha actualmente.

REFERENCIAS

Bates, R.L. y Jackson, J.A. (Editors) 1987. Glossary of Geology. Tercera Edición. Impreso por Thompson - Shore Inc., 778 p.

Chong Díaz, G., 1984. Die Salare in Nordchile - Geologie, Struktur und Geochemie. Geotektonische Forschungen 67,I-II: 1 - 146.

Chong Díaz, G., 1988. The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18° 00' and 27° 00' South Latitude. Springer Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences 17: 87 - 102.

INTEC-CORFO, 1989. Diagnóstico de la Minería No Metálica de Chile. Santiago, 1191 p.

Lefond, S. (Editor), 1983. Industrial Minerals and Rocks. Baltimore: Port City Press: 1446 p.

Ruíz, C., Aguirre, L., Corvalán, J., Klohn, C., Klohn, E. y Levi, B., 1965. Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile. Santiago, Instituto de Investigaciones Geológicas, 305 p.

Salas, R., Kast, R., Montecinos, F. y Salas, R., 1966. Geología y Recursos Minerales del Departamento de Arica. Chile. Inst. Invest. Geológicas, Bol. 21: 1 - 114.

U.S. Geological Survey y Servicio Geológico de Bolivia, 1992. Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental. Bolivia. U.S. Geological Survey Bulletin 1975: 1 - 362.



ASPECTOS GENERALES DEL CLIMA EN EL ALTIPLANO SUDAMERICANO

PATRICIO ACEITUNO

DEPARTAMENTO DE GEOFISICA, FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS,
UNIVERSIDAD DE CHILE
CASILLA 2777 - SANTIAGO - CHILE

RESUMEN

Se describen las principales características del clima en el Altiplano sudamericano. Los efectos de la altura determinan fuertemente las condiciones climáticas de esta región. En la superficie, éstas se caracterizan por niveles bajos de presión atmosférica (aproximadamente 620 hPa a 4.000 m s.n.m.), una densidad del aire considerablemente inferior al valor correspondiente a nivel del mar y niveles reducidos de humedad atmosférica. Además, la temperatura del aire es relativamente baja y su ciclo diario muestra una considerable amplitud como resultado del fuerte calentamiento diurno asociado a la alta radiación solar y de la considerable pérdida radiativa nocturna desde la superficie. La precipitación, que muestra un marcado carácter episódico, se concentra durante el verano austral (Diciembre-Marzo), cuando la circulación atmosférica regional favorece la advección de vapor de agua desde la cuenca amazónica. Los eventos de precipitación se asocian en su mayoría a tormentas locales de origen convectivo que se desarrollan durante la tarde, como resultado del fuerte calentamiento radiativo de la superficie.

ABSTRACT

The most relevant characteristics of climate in the South American Altiplano are described. Topographic effects associated with the high elevation of this region explain most of its climatic conditions. At the surface, these conditions are characterized by low levels of atmospheric pressure (around 620 hPa at 4.000 m a.s.l), air density considerably lower than the corresponding value at sea level, and reduced atmospheric humidity. Moreover, air temperature is relatively low and its daily cycle has a large amplitude, resulting from the surface heating associated with strong solar radiation and the intense radiative cooling during the night. Rainfall concentrates during the austral summer (December-March), when the regional atmospheric circulation favors advection of water vapor from the Amazon basin. Rainfall episodes occur mostly in association with local convective thunderstorms which develop in the afternoon as a result of the intense surface heating by solar radiation.

INTRODUCCION

El sector de tierras altas de América del Sur, denominado Altiplano, se localiza en los Andes centrales, entre 15° y 21°S, aproximadamente. Su elevación sobre el nivel del mar, cercana a 4.000 m, condiciona la existencia de características climáticas únicas en el continente, las cuales sólo tienen un equivalente en las tierras altas del Tibet.

Se presenta aquí una revisión de los aspectos más relevantes del clima en esta región del continente. Teniendo en cuenta la importancia de la precipitación en el Altiplano como fuente del recurso hídrico para la región árida del sur de Perú y norte de Chile, se analiza con particular énfasis las características del régimen pluviométrico y los mecanismos que explican su variabilidad.

La discusión que sigue se refiere a condiciones climáticas en lugares bien expuestos del Altiplano con altitudes cercanas a 4.000 m sobre el nivel del mar. Efectos locales asociados al relieve o a la presencia de lagos o salares determinan la existencia de condiciones locales significativamente diferentes de las que más adelante se describen.

PRESION ATMOSFERICA Y DENSIDAD DEL AIRE

La presión atmosférica en el Altiplano, a 4.000 m s.n.m., es aproximadamente un 40% inferior al valor observado a nivel del mar. La densidad del aire también disminuye por efecto de la altura. Así, considerando pares de valores presión-temperatura de (1.010 hPa, 20°C) y (630 hPa, 10° C) como representativos de las condiciones medias a nivel del mar y sobre el Altiplano, se determina que la densidad del aire en esta última región es un 35% inferior al valor a nivel del mar, el cual es cercano a 1.2 kg/m³. En particular, la menor concentración de oxígeno atmosférico en el Altiplano es causa de diversos efectos fisiológicos en personas y animales no adaptados a este ambiente.

PROCESOS RADIATIVOS

El régimen anual de la radiación solar disponible a nivel de superficie en el Altiplano está condicionado por factores geográficos y meteorológicos, entre los cuales destacan su localización en el trópico, su elevación y el régimen de nubosidad.

La cercanía del Altiplano al Ecuador implica que la amplitud del ciclo anual de la radiación solar es relativamente moderada. Así, en toda la región altiplánica, la radiación diaria por unidad de área horizontal en el tope de la atmósfera en diciembre es sólo 1.7 veces mayor que el valor homólogo en junio. Como referencia se indica que en latitudes de 30°, 40° y 50°S este mismo cociente es aproximadamente 2.3, 3.5, y 7.0, respectivamente.

La nubosidad relativamente más abundante durante el verano austral (diciembre-marzo) determina que en la mayor parte del Altiplano la radiación global mensual a nivel de superficie alcance el máximo anual hacia fines de la primavera austral (noviembre).

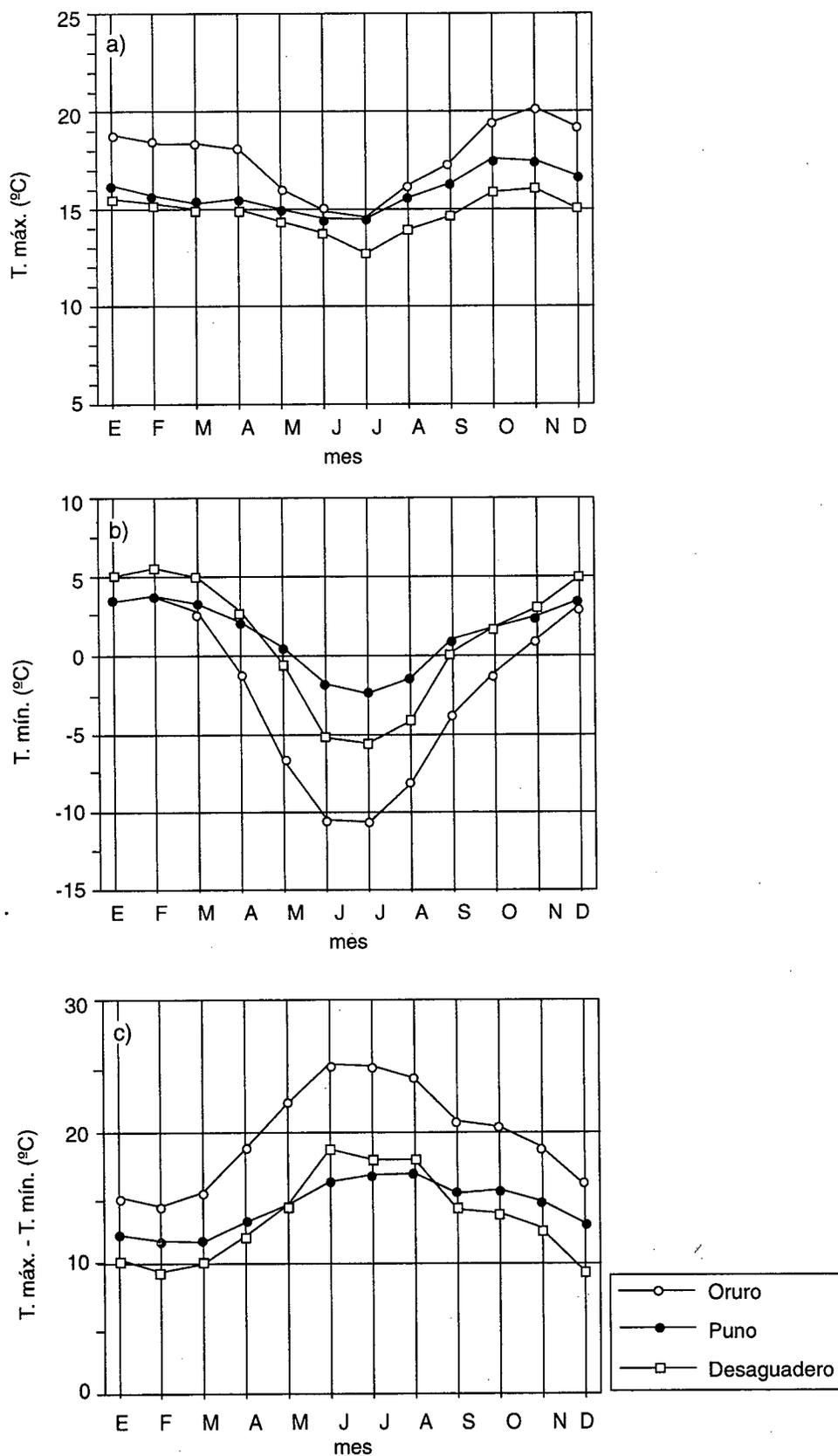


Fig. 1. Ciclos anuales de temperatura máxima diaria (a), temperatura mínima diaria (b) y amplitud térmica diaria (c) en tres estaciones del Altiplano sudamericano: Puno (15° 50' S, 70° 01' W, 3.852 m), Desaguadero (16° 39' S, 69° 00' W, 3.850 m) y Oruro (17° 58' S, 67° W, 3.708 m).

Debido a la considerable elevación del territorio altiplánico, la atmósfera local tiene un menor espesor óptico total de elementos absorbentes y dispersantes de la radiación solar, lo que contribuye a un aumento relativo de la radiación solar global (directa+difusa). En particular, la menor capacidad de absorción de la radiación solar en la atmósfera sobre el Altiplano se traduce en un aumento relativo de la componente ultravioleta del espectro solar, a nivel de superficie. Mediciones realizadas entre Putre y Arica, indican que la radiación ultravioleta UV-B (305 nm) disminuye desde el Altiplano hacia la costa con una tasa cercana a 4.5% por kilómetro de desnivel tanto en verano como en invierno (Cabrera *et al.*, 1994). Esta estimación, de carácter preliminar, indica que durante días despejados la radiación ultravioleta en la región altiplánica supera en aproximadamente 20% el valor registrado a nivel del mar.

Mediciones del índice de reflexión de la radiación solar global en la superficie (albedo) realizadas en Visviri sobre suelo seco cubierto de tola y en un bofedal indicaron valores cercanos a 18% y 23%, respectivamente (H. Fuenzalida, comunicación personal).

La menor densidad de los gases de efecto invernadero en la atmósfera altiplánica hace que ésta sea más transparente a los flujos radiativos en el rango infrarrojo del espectro. Esto determina una menor contra-radiación atmosférica y un acelerado enfriamiento nocturno de la superficie.

TEMPERATURA

En el Altiplano la temperatura media junto a la superficie es relativamente baja, lo que constituye un importante factor limitante en el desarrollo de la vegetación. En la atmósfera libre la temperatura disminuye con la altura a una tasa cercana a 6.5 °C/km. En la pendiente andina el gradiente es menor, como resultado de la transferencia de energía desde la superficie. Así, por ejemplo, en el sector andino meridional de Perú por encima de 1000 m sobre el nivel del mar, la temperatura media disminuye aproximadamente 5.5°C por kilómetro (Fräre *et al.*, 1975).

Los ciclos anuales de las temperaturas extremas diarias y de la diferencia entre ambas (Fig. 1) reflejan la importancia del forzamiento radiativo del clima altiplánico. Así, la condición tropical de la región y el aumento de la nubosidad durante el verano austral justifican la pequeña amplitud del ciclo anual de temperatura máxima (Fig. 1a) cuyo valor más alto se presenta a fines de la primavera (noviembre) en asociación con el máximo anual de radiación solar global.

La temperatura mínima diaria presenta un ciclo anual de mayor amplitud (Fig. 1b) el cual está condicionado en parte por la fluctuación a lo largo del año de la pérdida radiativa nocturna desde la superficie. Esta se atenúa durante el verano debido a la intensificación del efecto invernadero en la atmósfera provocado por el aumento de la nubosidad y de la concentración de vapor de agua.

El régimen descrito para las temperaturas extremas diarias condiciona la existencia de una variación anual bien definida en la amplitud térmica diaria (Fig. 1c), la cual es máxima durante el invierno y mínima a fines del verano austral (febrero).

VIENTO

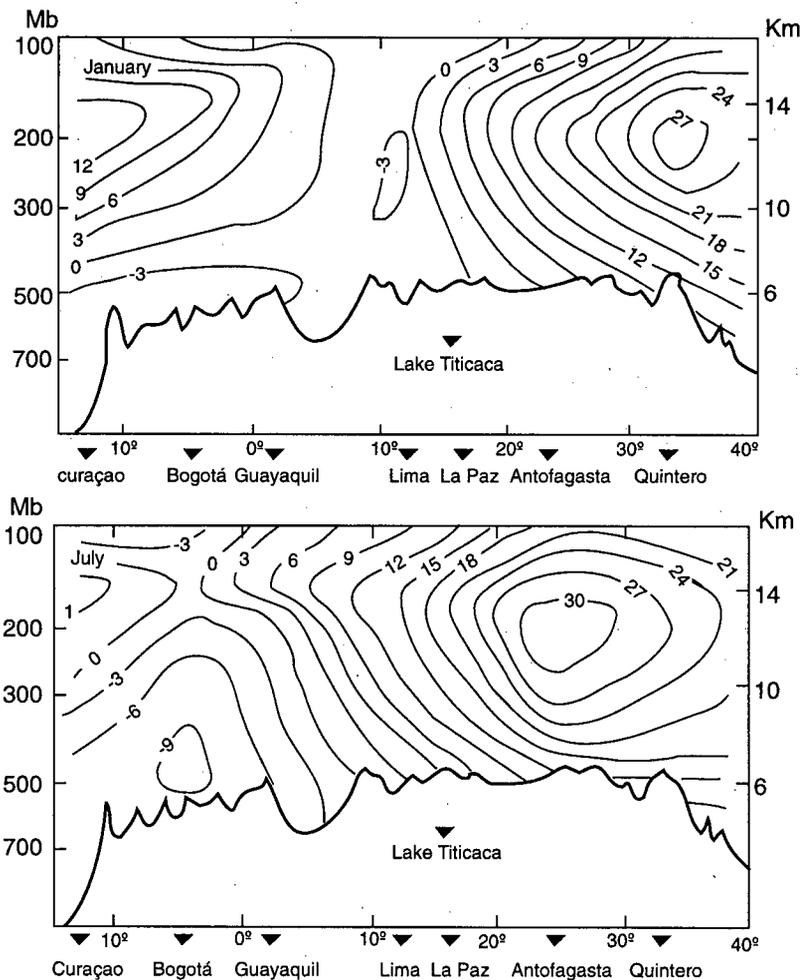
La Fig. 2 muestra un perfil de la componente zonal (este-oeste) del viento a lo largo de la costa del Pacífico durante enero y julio. Durante el invierno austral (julio), cuando la corriente en chorro subtropical se encuentra en su posición más septentrional, la región altiplánica queda bajo la influencia de los vientos relativamente secos del oeste. Durante el verano, la corriente en chorro es relativamente más débil y se desplaza hacia el sur, de modo que el límite entre el sector con predominio de un flujo con componente del este y la zona de los oeste en latitudes más altas se localiza sobre la región altiplánica.

El activo desarrollo de nubosidad convectiva en la parte sur de la cuenca amazónica y sobre el Altiplano, durante el verano (Fig. 4a), condiciona el establecimiento de una circulación anticiclónica en la tropósfera superior, alrededor de un centro de alta presión denominado alta de Bolivia (Gutman y Schwerdtfeger, 1965; Virji, 1981) cuyo centro se localiza sobre el territorio altiplánico.

El régimen de viento cerca de la superficie está fuertemente condicionado por la topografía local. El desarrollo de brisas de valle-montaña y aquellas asociadas a la presencia de lagos y salares generan circulaciones locales que pueden apartarse considerablemente del flujo atmosférico de gran escala en la región.

HUMEDAD ATMOSFERICA Y PRECIPITACION

Las masas de aire que llegan a la región altiplánica tienen en general un contenido relativamente bajo de humedad, debido a su origen en niveles elevados. Por otra parte, el ambiente frío predominante, por efecto de la altura, implica una menor capacidad de retención de vapor de agua. La humedad absoluta es considerablemente menor durante el invierno austral cuando predomina sobre el Altiplano un flujo del oeste desde el dominio del anticiclón del Pacífico suroriental. Durante la temporada de lluvias, en el verano austral, los niveles de humedad absoluta y relativa aumentan como resultado de la advección de masas de aire desde la cuenca amazónica. Esta condición del ciclo anual de la humedad del aire en el Altiplano se advierte parcialmente en



(Ref. Kessler, 1974)

Fig. 2. Componente zonal del viento (E-W) a lo largo de la costa oeste de América del Sur, en m/s, durante enero y julio (adaptado de Kessler, 1974). Valores positivos indican viento del oeste, y negativos, viento del este.

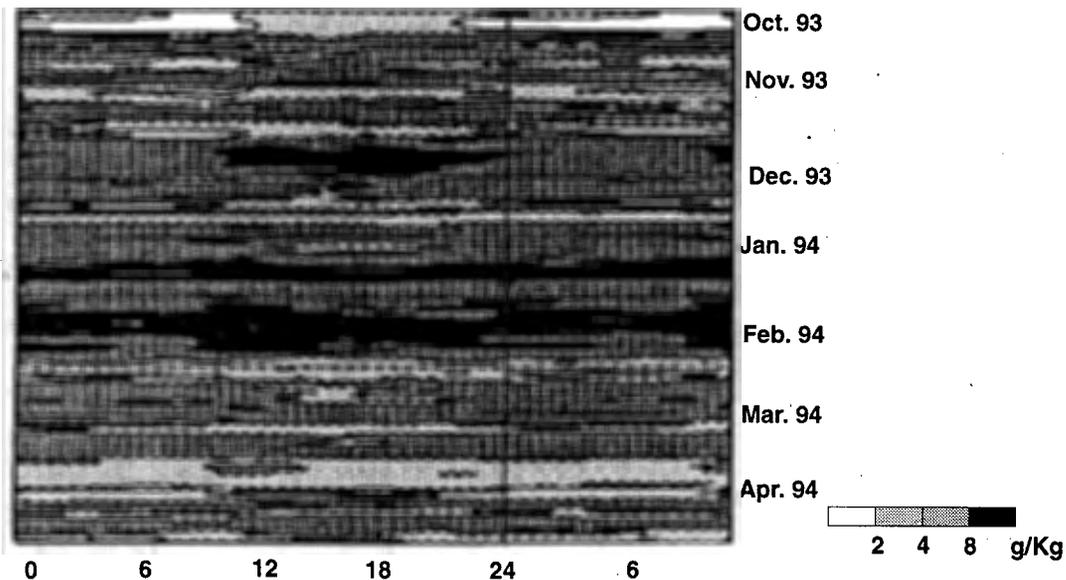


Fig. 3. Valores medios horarios de razón de mezcla en Visviri (17.5° S, 69.5° W, 4.070 m s.n.m.) entre octubre de 1993 y abril de 1994.

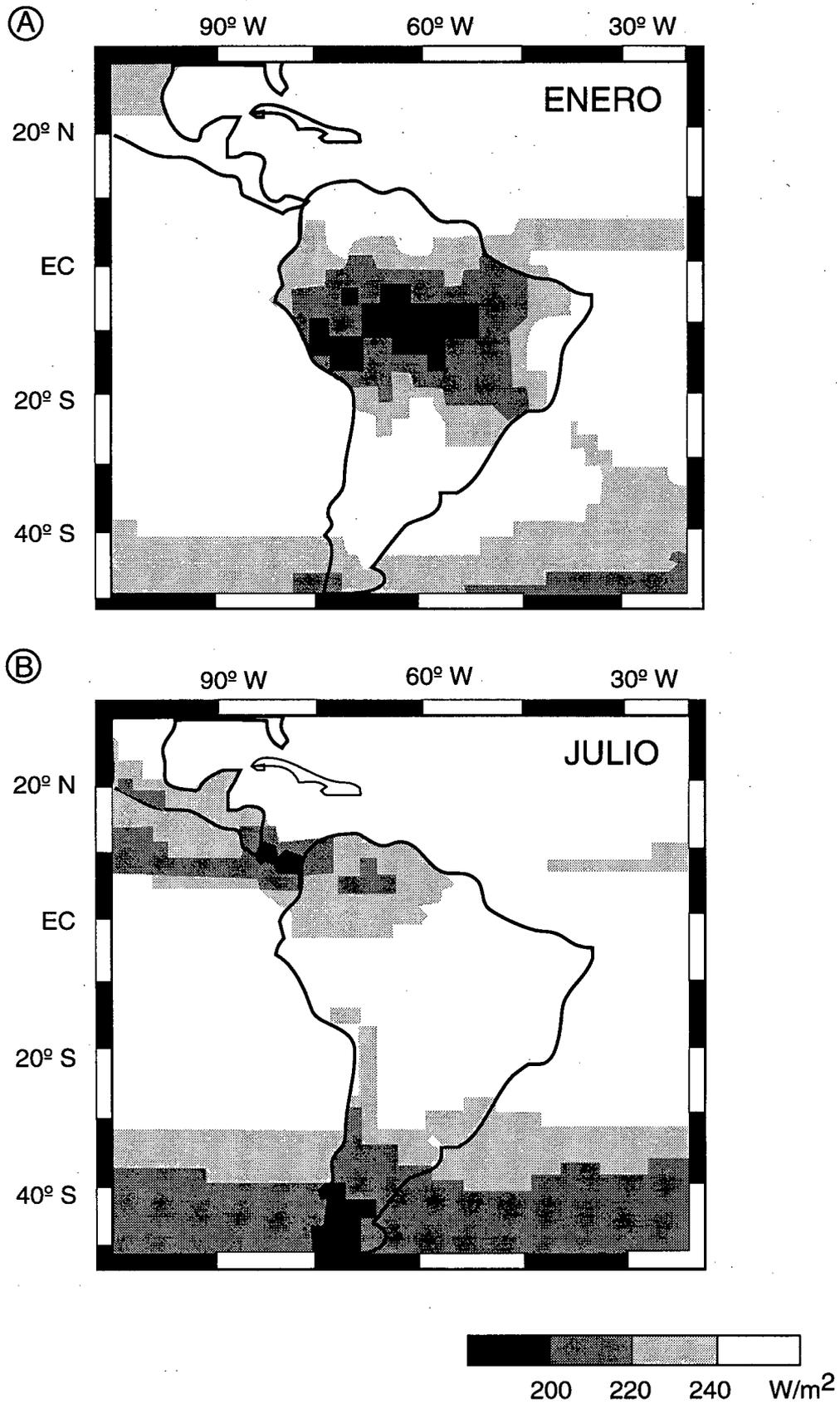


Fig. 4. Radiación infrarroja emergente durante enero y julio (fuente de datos NMC - CAC). Los valores mínimos de radiación en el trópico se asocian a las bajas temperatura en la parte superior de las nubes cumuliiformes.

la Fig. 3, que muestra la evolución de la razón de mezcla (razón entre densidad del vapor de agua y densidad del aire seco) en Visviri entre octubre de 1993 y abril de 1994. La razón de mezcla aumentó desde valores inferiores a 2 gr/Kg en octubre hasta máximos del orden de 9 gr/kg en los periodos más húmedos. Se advierte, además, una significativa variabilidad intra-estacional del contenido de vapor de agua en la atmósfera.

El régimen pluviométrico en el Altiplano se relaciona con el ciclo anual de la nubosidad convectiva en la región tropical del continente. Así, las lluvias se concentran en el verano austral (diciembre-marzo) cuando el núcleo de nubosidad convectiva alcanza su máxima intensidad y extensión hacia el sur (Fig. 4a). Durante el resto del año, cuando la actividad convectiva se desplaza hacia la región noroccidental del continente (Fig. 4b), la lluvia es escasa y los raros eventos de precipitación se asocian a perturbaciones atmosféricas provenientes de latitudes medias.

La distribución espacial de la precipitación en el Altiplano no es homogénea. El marcado gradiente pluviométrico en la dirección N-S, con montos progresivamente decrecientes hacia el sur, se relaciona con el esquema de circulación zonal promedio durante el verano (Fig. 1a), donde se aprecia que la parte norte del Altiplano queda en promedio bajo la influencia del flujo de aire húmedo desde el este. En el sector sur, en cambio los procesos de advección de masas de aire desde la cuenca amazónica son menos frecuentes, y por lo tanto la precipitación es menor.

La ocurrencia de precipitación en el Altiplano tiene un marcado ciclo diario (Fuenzalida y Rutllant, 1987; Aceituno y Montecinos, 1993), lo cual pone en evidencia la importancia del forzamiento radiativo de la misma. La lluvia se presenta generalmente durante horas de la tarde en la forma de intensos chubascos asociados a un rápido desarrollo de nubosidad convectiva. El análisis de la variabilidad interdiaria de la precipitación durante la temporada de lluvias muestra su naturaleza episódica (Aceituno y Montecinos, 1993), con alternancia de periodos húmedos y secos. Esta estructura temporal, que también se advierte en la Fig. 3, se asocia con fluctuaciones en la posición e intensidad de la alta de Bolivia. En particular, se ha determinado que durante los periodos húmedos en el sector norte del Altiplano chileno, la alta de Bolivia se presenta anormalmente intensa y desplazada hacia el sur (Fig. 5), en relación a su posición durante los periodos secos (Aceituno y Montecinos, 1993).

En cuanto a la variabilidad de la precipitación en escalas de tiempo mayor, los registros hidrometeorológicos más extensos (precipitación en La Paz y nivel del Lago Titicaca en Puno) no presentan evidencias de una tendencia secular bien definida,

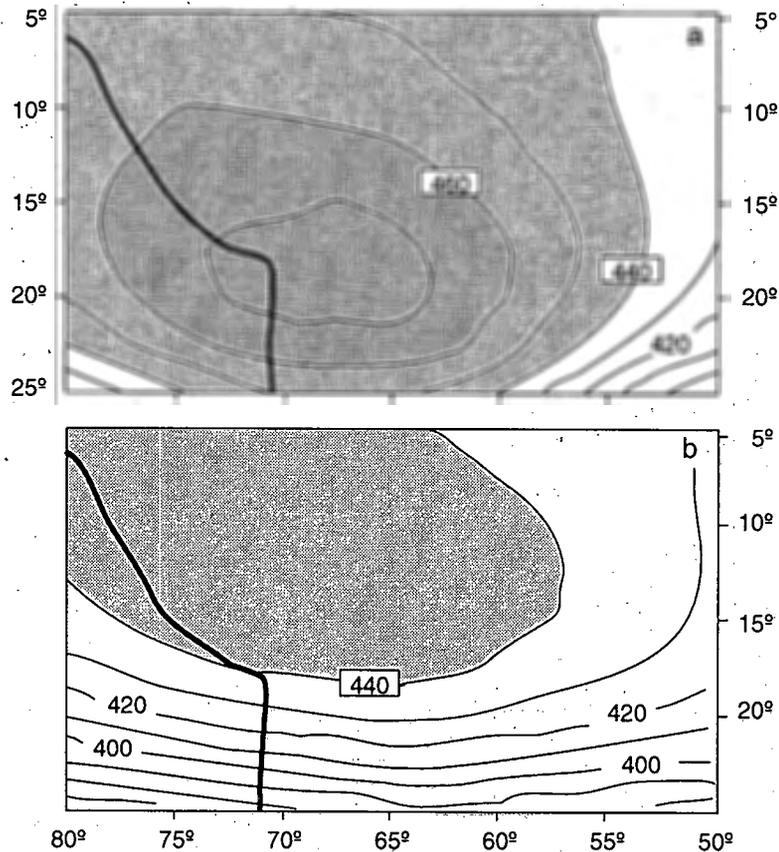


Fig. 5. Altura geopotencial de 200 hPa durante eventos de precipitación (a) y durante periodos secos (b) en la parte norte del Altiplano chileno. Las alturas geopotenciales están en expresadas como la diferencia, en metros, sobre 12.000 m (adaptado de Aceituno y Montecinos, 1993).

aunque sí muestran una fuerte variabilidad inter-anual e inter-decadal. Por otra parte, diversos estudios han establecido que durante los eventos El Niño o durante la fase negativa de la Oscilación del Sur la precipitación en el Altiplano suele ser deficitaria (Thompson *et al.*, 1984; Francou y Pizarro, 1985), aunque esta asociación parece ser menos significativa que en otros sectores del continente (Aceituno, 1988).

COMENTARIOS FINALES

Debido a la gran elevación y extensión del Altiplano sudamericano sus condiciones climáticas son únicas en el continente y se caracterizan por bajas temperaturas, valores reducidos de presión, contenido de vapor de agua y oxígeno atmosférico, una mayor radiación solar global a nivel de superficie, incluyendo la componente ultravioleta, y una menor concentración de gases de efecto invernadero. Esta condición climática particular hace del Altiplano un valioso laboratorio natural para estudiar formas de adaptación de la vegetación y de la vida animal a los ambientes de altura.

El vapor de agua que genera la precipitación en el Altiplano proviene principalmente desde la cuenca amazónica. La lluvia, de tipo episódico y con un marcado ciclo diario en su ocurrencia, se presenta preferentemente en horas de la tarde durante el verano austral, en asociación con un flujo del este en niveles troposféricos cercanos a la superficie.

El sostenido crecimiento de las ciudades en la franja árida costera adyacente al Altiplano, así como el aumento de la actividad minera en esta región, imponen una fuerte presión sobre el escaso recurso hídrico disponible, el cual proviene en forma casi exclusiva de la precipitación en el Altiplano y del almacenamiento subterráneo (recursos de agua fósil). Teniendo en cuenta el factor limitante que esta situación representa para el desarrollo de esta región, es importante avanzar en el conocimiento de los mecanismos que determinan la variabilidad del régimen pluviométrico en el Altiplano. Esta tarea es particularmente necesaria como un antecedente en el análisis del impacto local de un eventual cambio climático global, así como de los posibles efectos sobre el régimen pluviométrico altiplánico, del proceso de deforestación en la cuenca amazónica.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Humberto Fuenzalida y Aldo Montecinos por sus valiosos comentarios y sugerencias al manuscrito original. Algunos de los resultados analizados en este trabajo provienen de investigaciones financiadas por los proyectos IPGH-93.26, Fondecyt 90-1245 y Fondecyt 1930789.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector: Part 1: surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.

Aceituno, P. y A. Montecinos, 1993. Circulation anomalies associated with wet and dry periods in the South American Altiplano. pp. 330331 en *Preprints: Fourth Int. Conf. on S. Hemisphere Meteor. and Oceanography*. Hobart - Australia, 22 march - 2 abril, 1993.

Cabrera, S., S. Bozzo y H. Fuenzalida, 1994. Primeras mediciones de radiación UV en Chile con resolución espectral media. Presentado al *Journal of Photochemistry and Photobiology*.

Francou, B. y L. Pizarro, 1985. El Niño y la Sequía en los altos Andes centrales (Perú y Bolivia). *Bull. Inst. Fr. Et. And.*, Vol. XIV, Nº1 1-18.

Frère, M., J.Q. Rijks y J. Rea, 1975. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Informe Técnico. Proyecto interinstitucional FAO/UNESCO/OMM en Agroclimatología. 375 p.

Fuenzalida, H. y J. Rutllant, 1987. Origen del vapor de agua que precipita en el Altiplano de Chile. pp. 6.3.1 a 6.3.4 en *Anales de II Congreso Interamericano de Meteorología*. Buenos Aires - Argentina. 30 Noviembre - 4 Diciembre 1987.

Gutman, G. y W.S. Schwerdtfeger, 1965. The role of latent and sensible heat for the development of a high pressure system over the subtropical Andes, in summer. *Meteor. Rundsch.*, 17, 1-7.

Kessler, A., 1974. Atmospheric circulation anomalies and level fluctuations of lake Titicaca. *Bonner Met. Abh.* 17., 361-372.

Thompson, L.G., E. Mosley-Thompson y B. Morales, 1984. El Niño - Southern Oscillation events recorded in stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Perú. *Science*, 226, 50-53.

Virji, H., 1981. A preliminary study on summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 599 - 612.

HIDROLOGIA DEL SECTOR ALTIPLANICO CHILENO

CARLOS SALAZAR MENDEZ

DEPARTAMENTO DE CONSERVACION Y PROTECCION DE RECURSOS HIDRICOS,
DIRECCION GENERAL DE AGUAS, MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS,
SANTIAGO, CHILE

RESUMEN

Se presenta una visión general de los aspectos más relevantes vinculados a la hidrología de las cuencas altiplánicas, ubicados entre los 17° 30' y 22° 00' de latitud Sur. Se efectúa un análisis general del comportamiento de la precipitación y caudales, entregándose, a través de un balance hídrico, la oferta del recurso. Un análisis general de la calidad del agua señala la potencial aptitud para el aprovechamiento de estos recursos hídricos.

ABSTRACT

This paper presents the hydrological characteristics of the Chilean Altiplano, between 17° 30' S and 22° 00' S. Seasonal and spatial variations show hydrological patterns, mass balance point out water availability and water quality determine water consumption aptitude.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Hidrografía.

La zona que abarca el presente reporte contempla las cuencas altiplánicas, que se ubican entre los 17° 30' y 22° 00' de latitud Sur, abarcando las Regiones I y II del país.

Las cuencas que se ubican en la meseta altiplánica sobre una angosta faja, cuya cota media fluctúa entre los 4.000 y 4.300 m s.n.m., son de dos tipos: cuencas arreicas y endorreicas. Dentro del primer grupo se encuentran las cuencas de los ríos Caquena, Lauca, Cancosa e Isluga-Cariquima, y del segundo se tienen las cuencas de los salares de Huasco, Coposa, Michincha, Ollagüe, Carcote y Ascotán (Fig. 1).

El clima predominante es el de estepa de altura, que abarca prácticamente toda el área, lo que, unido a la calidad de los suelos, ha condicionado la vegetación a especies capaces de resistir bajas temperaturas.

En el Cuadro N° 1 se presentan las características hidrográficas más importantes para las cuencas señaladas.

Precipitaciones.

La precipitación dentro de las cuencas altiplánicas presenta una variación espacial asociada a efectos de carácter orográfico; distinguiéndose una variación, no muy marcada, entre la meseta y aquellos puntos más elevados. También, es posible detectar un efecto latitudinal, apreciándose una disminución de la precipitación de Norte a Sur.

La precipitación media anual varía desde 400 mm en el extremo Norte hasta unos 150 - 200 mm en el sector Sur de la zona descrita (Cuadro N° 1).

Respecto a la variación estacional se observa que el comportamiento de la precipitación es, en términos generales, similar a lo largo de la meseta altiplánica, con una importante concentración de la precipitación anual en los meses estivales (Noviembre - Marzo), que fluctúa entre 90% y 95% (Fig. 2). En relación a la variación interanual la precipitación fluctúa entre alrededor de 0,1 y 2 veces el promedio anual.

Caudales.

El régimen hidrológico está fuertemente influenciado por las precipitaciones estivales las cuales, dada la elevación de la zona, se depositan en forma de nieve en los sectores más elevados, permitiendo la continuidad del régimen hidrológico, lo que se traduce en cursos de agua permanentes.

En el sector Norte existe una mayor variabilidad estacional, debido a la mayor influencia de las precipitaciones estivales, la que se reduce notablemente hacia el Sur (Fig. 3).

Los caudales específicos (caudal por unidad de área) corroboran lo señalado, observándose que los rendimientos decrecen de Norte a Sur desde unos 3 (l/s/Km²) a 0,6 (l/s/Km²). Resulta clara la mayor productividad que generan, en términos globales estas cuencas, comparadas con algunas cuencas que drenan hacia el Océano Pacífico, las que presentan escurrimiento

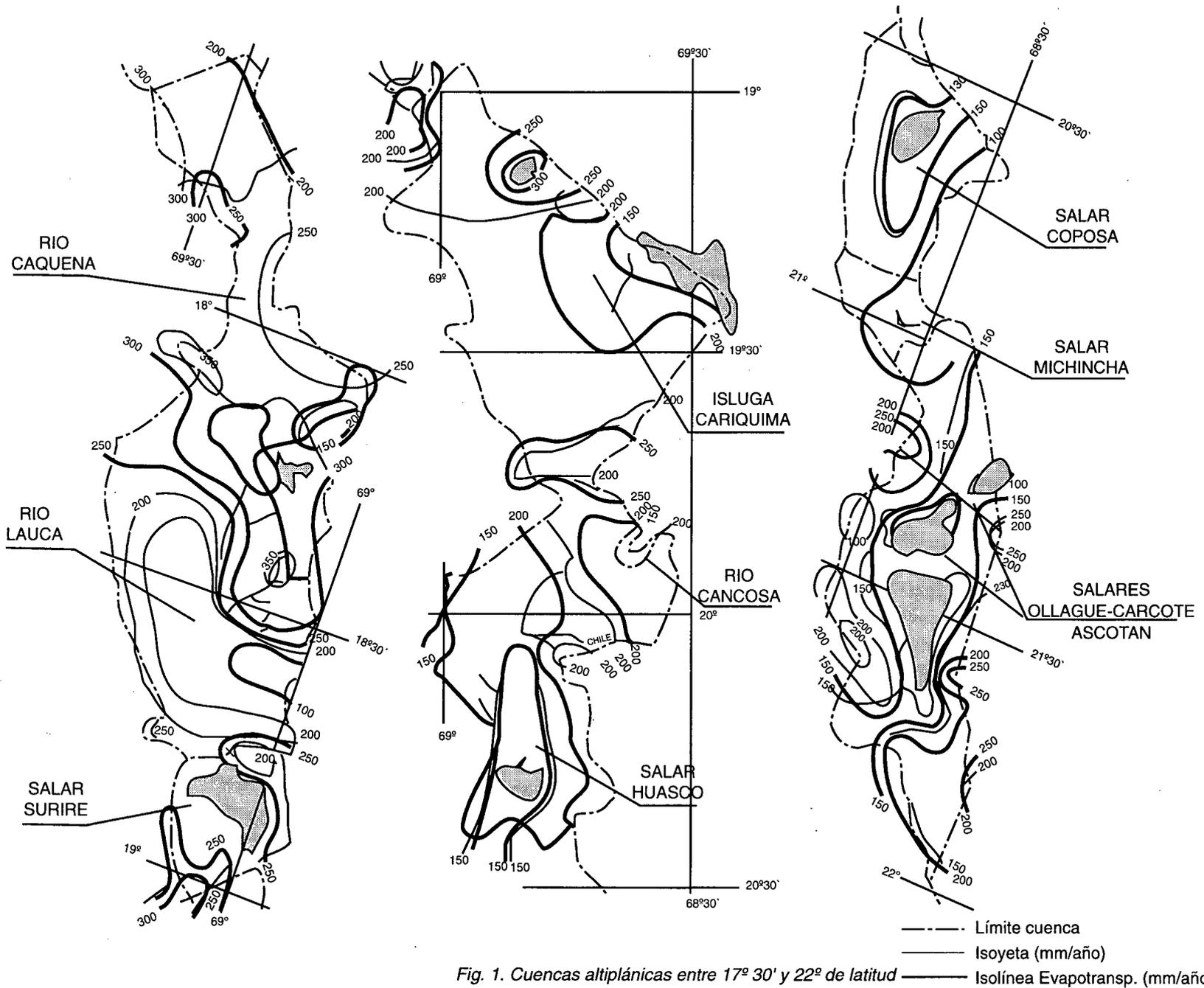


Fig. 1. Cuencas altiplánicas entre 17° 30' y 22° de latitud

permanente a lo largo de casi todo su curso (Cuadro N° 2).

Considerando, que en el caso de cuencas cerradas la evaporación se constituye en el uso-consumo del recurso disponible, en el Cuadro N° 3 se presentan los valores de productividad (caudales específicos), que muestran magnitudes comparables con las indicadas en el Cuadro N° 2.

Balance hídrico

Sobre la base de los resultados recopilados y procesados por la Dirección General de Aguas (DGA) es posible advertir que una alta proporción de la precipitación media que ingresa a las cuencas altiplánicas es consumida a través del proceso de evapotranspiración natural, dicha proporción oscila entre un 75% y 90%.

De lo anterior, se desprende que la escorrentía total dispone de una fracción significativamente menor, que varía entre el 10 y 25% de la precipitación.

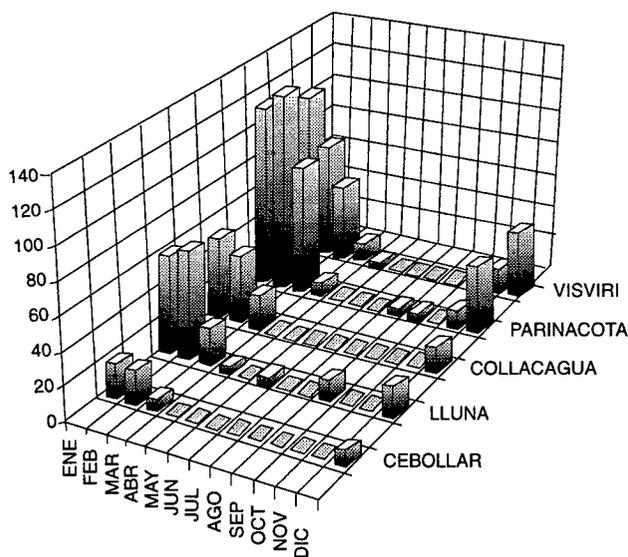


Fig. 2. Precipitación media mensual (mm)

CUADRO N° 1.

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LAS CUENCAS

CUENCA	SUPERFICIE (Km ²)	COTA MEDIA	PRECIPITAC. ANUAL	CAUCES PRINCIPALES
RIO CAQUENA	(*) 1268	4230	300-400	CAQUENA, COLPACAGUA Y COSAPILLA
RIO LAUCA	(*) 2406	4295	150-400	LAUCA, GUALLATIRE Y DESAGUADERO
SALAR SURIRE	537	4150	250-300	SURIRE
RIO ISLUGA CARIQUIMA	(*) 2171	4200	150-300	ISLUGA, CARIQUIMA, MAUQUE
RIO CANCOSA	(*) 502	4325	150-250	CANCOSA, OCACUCHO
SALAR HUASCO	1374	4125	150-250	PIGA, COLLACAGUA
SALAR COPOSA	1088	4000	150-200	QUEBRADA PABELLON
SALAR MICHINCHA	298	4340	150-200	Q. YABRICAYITA, Q. UJINA
SALAR OLLAGÜE	(*) 320	4050	100-200	QUEBRADA AMINCHA
SALAR ASCOTAN	1435	4100	100-250	
SALAR CARCOTE	525	4100	100-250	

(*) Cuencas que drenan fuera del territorio nacional.

CUADRO N° 2.
CAUDALES ESPECIFICOS

CUENCA	SUPERFICIE (Km ²)	CAUDAL (Q) (m ³ /s)	q (l/s/Km ²)
RIO CAQUENA (1)	1.268	3,67	2,89
RIO LAUCA (1)	2.406	2,46	1,02
RIO ISLUGA (1)	470	0,50	1,06
RIO CARIQUIMA (1)	1.701	1,68	0,98
RIO CANCOSA (1)	502	0,30	0,60
OLLAGÜE (1)	320	0,30	0,93
RIO LLUTA (2)	3.447	1,44	0,41
Q. CAMARONES (2)	4.767	0,59	0,12
Q. CAMIÑA (2)	3.350	0,61	0,18
Q. AROMA (2)	1.481	0,25	0,17
Q. TARAPACA (2)	1.644	0,39	0,23
Q. QUIPISCA (2)	716	0,11	0,15
RIO LOA ALTO (2)	1.977	0,53	0,26
RIO SALADO (2)	2.384	0,80	0,33

(1): Cuencas Altiplánicas (2): Cuencas con drenaje al Océano Pacífico

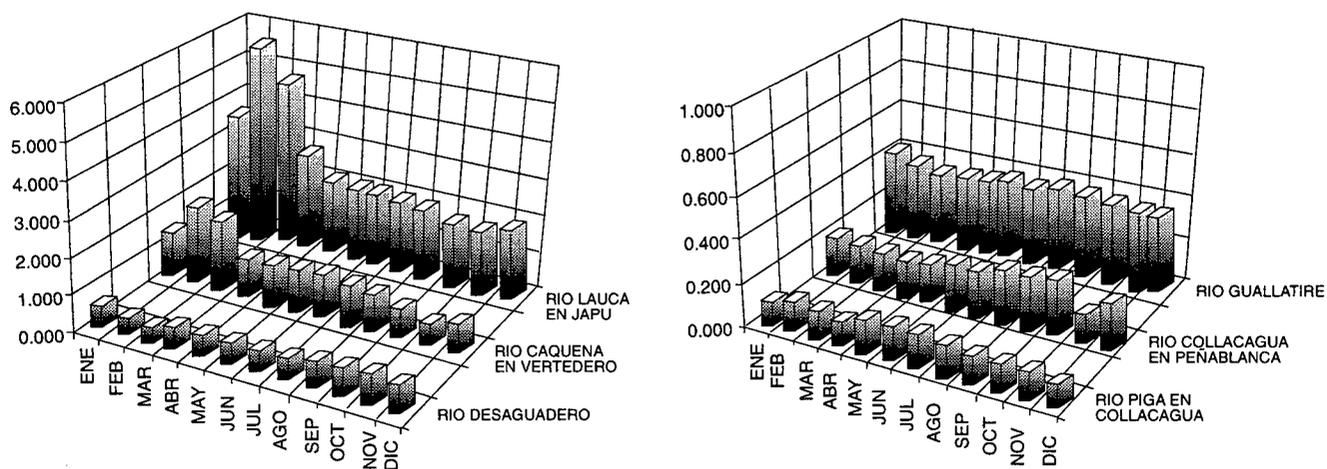


Fig. 3. Caudales medios mensuales (m³/s)

CUADRO N° 3.
CUENCAS CERRADAS

CUENCA	SUPERFICIE (Km ²)	EVAPOR. (m ³ /s)	Q ESPEC. (l/s/Km ²)
CHUNGARA	257	0,70	2,72
SURIRE	537	1,84	3,43
HUASCO	1.374	0,65	0,47
COPOSA	1.088	0,64	0,47
MINCHINCHA	298	0,18	0,60
CARCOTE	2.019	1,90	0,94

Para el caso de cuencas cerradas, cuya base de equilibrio la constituyen los salares, la escorrentía es nula, por lo que la evaporación representa el uso - consumo del recurso restante, correspondiendo al flujo de escorrentía total del sistema. Este flujo muestra una mayor variabilidad, oscilando entre 10% y 43% del total de la precipitación sobre la cuenca (Fig. 4).

En el Cuadro N° 4 se muestran las componentes del balance hídrico para las cuencas de la zona, realizado sobre la base de un período estadístico de 20 años (1961-1981).

En términos globales la disponibilidad de los recursos hídricos en la zona se presenta en el Cuadro N° 5.

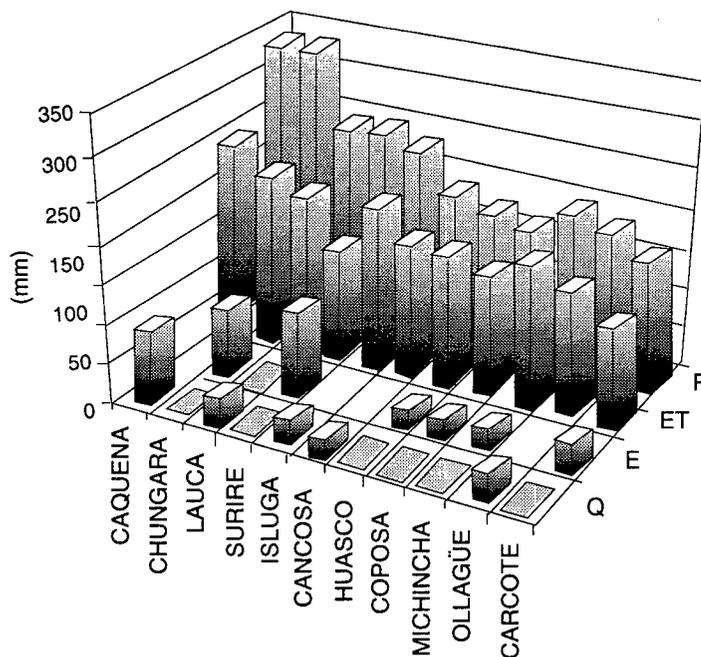


Fig. 4. Balance hídrico

CUADRO N° 4.
BALANCE HIDRICO

CUENCA	SUPERFICIE	PRECIPITACION	ESCORRENTIA	EVAPTRANSP.	EVAPORACION
CAQUENA Y OTRAS	1.268	336	91	245	-
LAGO CHUNGARA	257	341	0	215	86
RIO LAUCA LAUCA	2.406	249	32	201	6
SALAR SURIRE	537	251	0	143	108
ISLUGA CARIQUIMA	2.171	236	31	205	-
RIO CANCOSA	502	190	19	171	-
SALAR HUASCO	1.374	175	0	160	15
SALAR COPOSA	1.088	169	0	151	18
SALAR MICHINCHA	298	195	0	176	19
SALAR OLLAGÜE	320	184	30	154	-
CARCOTE Y ASCOTAN	2.019	162	0	124	30

FUENTE: Balance Hídrico de Chile, DGA. 1987

CUADRO N° 5.
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HIDRICOS (m³/s)

TIPO	I REGION	II REGION	TOTAL
CAUDAL SUPERFICIAL	9,18	0,30	9,48
EVAPORACION SALARES	4,44	2,45	6,89
ERROR ESTIMACION	3%	6%	6%

II. HIDROGEOLOGIA

La potencialidad hidrogeológica del sector altiplánico chileno está esencialmente ligada a la geología. En la zona se desarrolla un sustrato constituido por rellenos volcánicos cuaternarios y terciarios compuestos por coladas, tobas, brechas andesíticas e ignimbritas. Dicho sustrato presenta una permeabilidad secundaria, asociada principalmente a procesos de fracturamiento que se han desarrollado en este tipo de formaciones. Las características indicadas permiten la existencia de procesos de infiltración y transmisión del recurso hídrico a través de estas unidades (DGA, 1986). Estos sectores, generalmente constituidos por rellenos cuaternarios, no consolidados, volcánico-clásticos, que alcanzan espesores de 100 m o más almacenan el recurso hídrico y son actualmente explotados.

Para aquellos sectores donde se dispone de antecedentes hidrogeológicos, la productividad de los pozos resulta bastante significativa, consignándose de alta a muy elevada (DGA, 1986), con valores superiores a 10 m³/hr/m. Cabe destacar que se dispone de pocos antecedentes que permitan generalizar esta situación, debe mencionarse que el sector altiplánico presenta un interesante atractivo desde el punto de vista hidrogeológico, lo que se ha traducido en un fuerte incremento de solicitudes de área de exploración de aguas subterráneas que la DGA ha recibido en los últimos años.

III. CALIDAD DE AGUAS

La información disponible en el área de análisis es bastante escasa y permite, en términos generales, disponer de una visión preliminar de las características principales de la constitución química de las aguas. En el Cuadro N° 6 se presenta una síntesis de calidad de las aguas en cursos donde se dispone de antecedentes para tal efecto. A partir de estos valores se establece la aptitud de las aguas, considerando uso para agua potable y/o riego sobre la base de las normas de calidad de aguas vigentes (NCh 409 y NCh 1.333 Of. 78); en el Cuadro N° 7 se muestra esta situación.

CUADRO N° 6.
CALIDAD DE AGUAS (mg/l)

CUENCA	CAQUENA	COSAPILLA	LAUCA	CHUNGARA	SURIRE	PIGA	COLLACAGUA	ISLUGA
PH	7,9	7,2	7,8	7,4	7,6	7,6	8,0	8,0
C.E.	1.245	274	690	230	563	500	520	1.185
CO3	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3	258,9	52,1	227,0	65,8	182,1	234,8	244,0	182,5
Cl	154,1	9,1	39,0	40,0	47,6	21,3	28,4	93,1
S04		70,1	139,0	44,6	65,0	62,4	86,4	367,4
Ca	44,4	14,5	38,0	17,2	39,3	34,0	42,0	70,1
Mg	62,9	11,1	38,0	10,7	26,7	20,6	23,0	64,0
K	15,2	4,8	8,1	3,9	11,7	7,8	7,8	18,6
Na	103,2	26,2	64,0	12,8	34,3	46,0	59,8	90,9
B	3,2	1,0	1,6	0,7	1,4	0,9	-	2,0
As	0,08	0,04	0,04	0,01	0,07	0,01	-	0,05

CUADRO N° 7.
SITUACION ACTUAL DE LAS CUENCAS

CUENCA	SITUACION
CAQUENA	Muestra excesos en conductividad, cloruros, Boro y Arsénico. Restringiendo su uso en riego, y no siendo apta para el agua potable.
COSAPILLA	Mejor calidad que el río Caquena, aunque el nivel de Boro restringe su uso en riego.
LAUCA	Buena calidad, ligero exceso en Boro puede restringir levemente en riego.
SALAR SURIRE (VERTIENTES)	Exceso en As no la hace apta para agua potable, la presencia de B limita su uso en riego. Alguna información sobre el río Surire indica que sus aguas no son aptas para el agua potable, debido a la presencia de As y restringe su uso en riego por el B y la C.E.
RIO PIGA	No presenta restricciones para agua potable; se detecta B, restringiendo su uso en riego.
RIO COLLACAGUA	Muestra una situación similar al río Piga.
RIO ISLUGA	Presenta excesos en conductividad, sulfatos, Na y B, que restringen su uso para riego. No se detectan excesos en As.
SALAR DE CARCOTE Y ASCOTAN	Exceso en conductividad, sulfato, Boro y Arsénico en ciertos puntos.

AGRADECIMIENTOS: El autor desea expresar su profundo agradecimiento a la Ing. Srta. Tatiana Cuevas V. por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

DGA, 1986. Mapa Hidrogeológico Nacional.

DGA, 1987. Balance Hídrico de Chile.

INYGE LTDA., 1991: Análisis y Planificación de los Recursos de Agua en la II región de Antofagasta, ESSAN S.A.

INYGE LTDA., 1991: Análisis de los Recursos de Agua de la región de Tarapacá. Intendencia, I región.

PEÑA, H. y SALAZAR, C., 1992. Calidad de las Aguas, Depto. Estudios y Planif. Dirección General de Aguas, MOP.

HISTORIA DEL LAGO TITICACA DURANTE EL HOLOCENO

PHILIPPE MOURGUIART (1), JAIME ARGOLLO (2) DENIS WIRRMANN (3)

(1) ORSTOM, CP 9214, LA PAZ, BOLIVIA

(2) INSTITUTO DE GEODINAMICA Y LIMNOLOGIA, FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS, UMSA, LA PAZ, BOLIVIA

(3) ORSTOM, BP 1857, YAOUNDE, CAMEROUN

RESUMEN

Mediante el uso de una función de transferencia que considera las asociaciones de ostrácodos ha sido posible reconstruir con precisión la evolución de los paleoniveles del lago Titicaca durante los últimos 8.000 años. Las variaciones bruscas de nivel han debido afectar profundamente la vida de las poblaciones ribereñas.

ABSTRACT

A transfer function using ostracod assemblages of Lake Titicaca (Bolivia) sediments has permitted the palaeohydrological reconstruction of this basin during the last 8,000 years. Abrupt changes in the Evaporation / Precipitation ratio may have played an important role in the human settlement.

INTRODUCCION

La historia (y la prehistoria) de las poblaciones humanas a orillas del lago Titicaca, es muy compleja y agitada. Los etnólogos, ethnohistoriadores y arqueólogos han probado la existencia de importantes movimientos de poblaciones de un lugar a otro (Bouysse-Cassagne, 1992; Bouysse-Cassagne *et al.*, 1992; Morlon, 1991; Ponce Sanginés *et al.*, 1992). Algunas de estas migraciones probablemente encuentran su origen en cambios rápidos del clima regional. El objetivo de este artículo no es poner en paralelo todas las transformaciones aparecidas en las civilizaciones prehispánicas con variaciones del clima regional bien identificadas, ya que las fechas obtenidas son, en los dos casos y por el momento, demasiado fragmentarias e imprecisas. Nos contentaremos con presentar los resultados adquiridos con ayuda de una función de transferencia ostrácodos/nivel del lago Titicaca y, a partir de éstos, sugerir un comienzo de reflexión sobre el tema: el hombre andino y su medio ambiente.

LOS DATOS - EL METODO

El Altiplano es una cuenca endorreica de 190.000 km², 200 km de ancho en promedio y se extiende aproximadamente 1000 km de Norte a Sur. La parte Norte de este sistema está ocupada por el lago Titicaca (aprox. 8.500 km², 3.809 m de altura) y su cuenca vertiente (aprox. 48.840 km²). Si bien el volumen en agua del Titicaca es importante, del orden de 900 km³ (Wirrmann, 1991), su nivel está muy fuertemente influenciado por las variaciones interanuales en el régimen de las precipitaciones (Antúnez de Mayolo, 1992). Se conservarán en la memoria los años 1983 (año seco) y 1986 (año húmedo). El hecho que el lago Titicaca responda casi instantáneamente a toda modificación de la intensidad de las precipitaciones sobre su cuenca, es particularmente interesante para un geólogo. Quedan por definirse en el pasado sus paleoniveles.

Los ostrácodos son microcrustáceos esencialmente bénticos que viven en estrecha dependencia con su micro medio ambiente. Son sensibles a la naturaleza del sustrato (granulometría), a la presencia en las aguas de herbarios, a las fuentes de alimento (plancton, por ejemplo) y al contenido de Oxígeno disuelto. Todos estos términos están relacionados a la altura del agua (Mourguiart y Roux, 1990). Para verificar esta relación puramente cualitativa, hemos recurrido a un análisis factorial en componentes principales (115 muestras actuales que provienen de los lagos Titicaca, Poopó y del Sur Lípez fueron introducidas en la AFC). El empleo de una regresión lineal múltiple cuya calidad se da por el coeficiente de regresión (Fig. 1), permite en seguida el paso de la asociación de ostrácodos fósiles al parámetro altura de agua en el momento del depósito en los sedimentos de esta asociación.

LOS RESULTADOS

La función de transferencia establecida así, fue probada en los datos obtenidos a partir de 2 sondeos realizados en el lago Titicaca:

- el testigo TD1, obtenido a 19 m de agua en la parte oeste del lago Huiñaimarca,
- el testigo TJ, obtenido a 50 m en el lago Chucuito, en la bahía de Yunguyo.

Los datos brutos "paleoprofundidades" se dan en Fig. 2. A fin de comparar los resultados entre éstos, es necesario, en un primer tiempo, volverlos homogéneos. Se transforma la escala altura de agua en una escala altura del plano de agua. La etapa siguiente consiste en verificar, a partir de fechas ¹⁴C, si los grandes acontecimientos identificados son sincrónicos (Fig. 3).

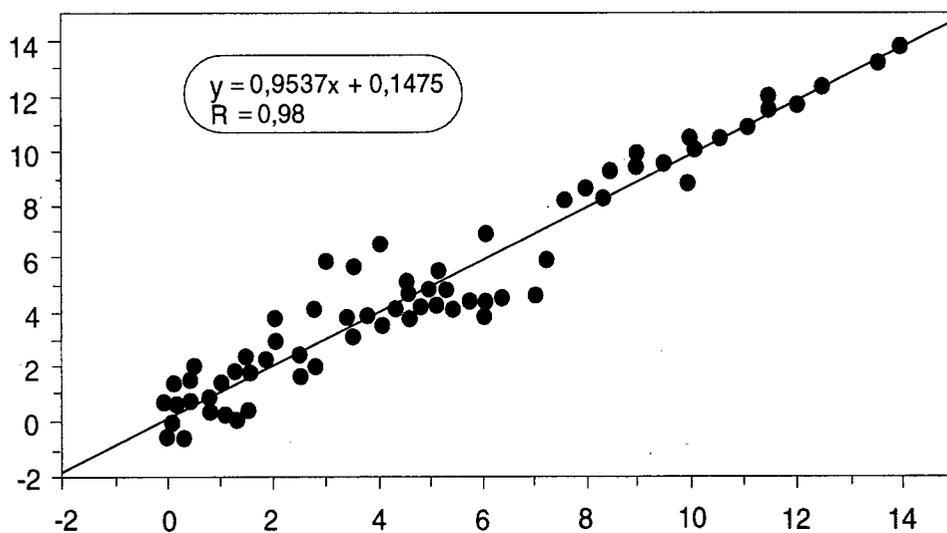


Fig. 1. Resultados de la regresión lineal múltiple (profundidades estimadas versus profundidades medidas).

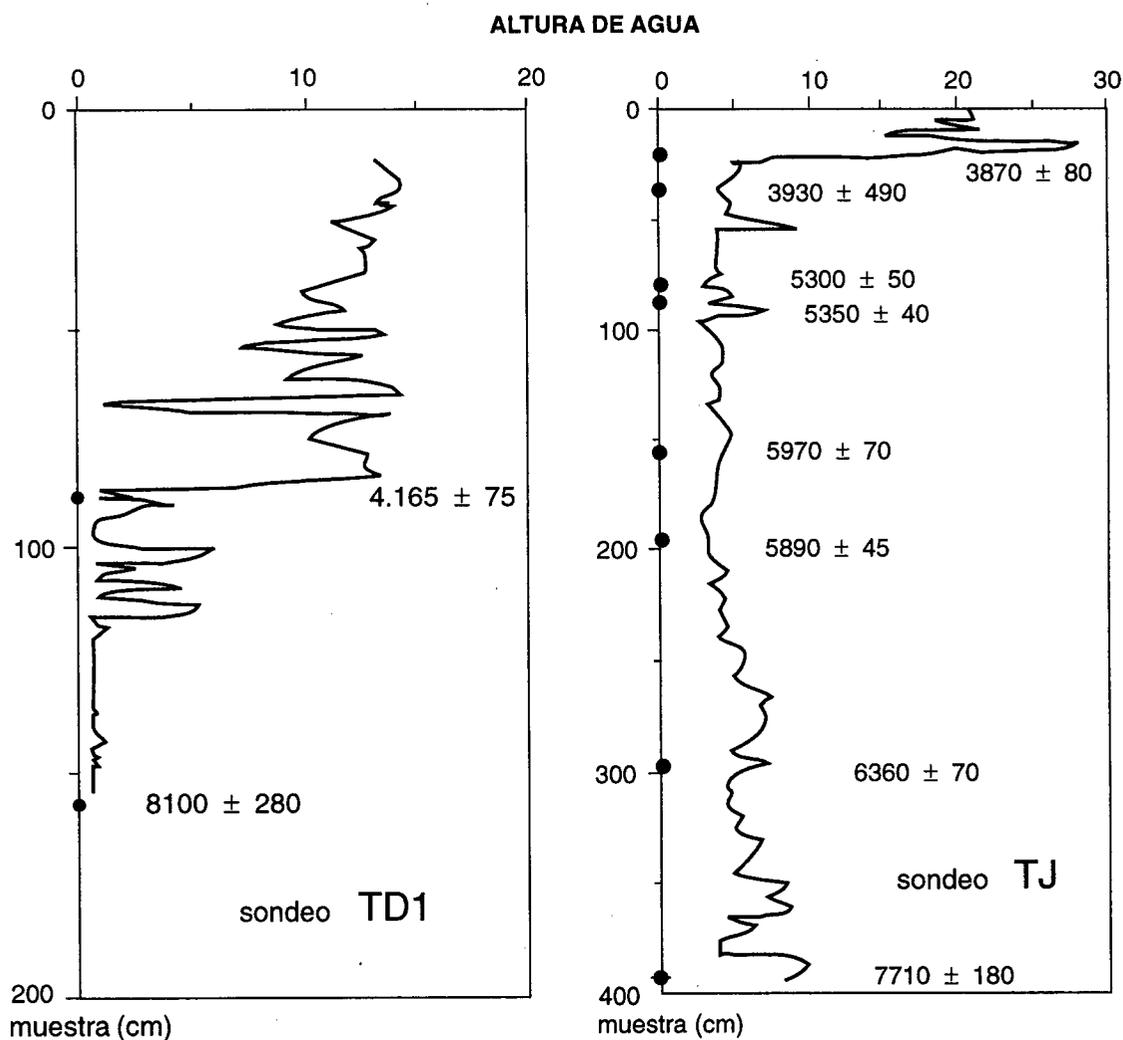


Fig. 2. Datos brutos de la función de transferencia asociaciones fósiles de ostrácodos /paleoprofundidades de agua

DISCUSION

En los dos testigos, los depósitos que contienen ostrácodos cubren un tramo de tiempo de aproximadamente 8.000 años B.P. Ambos presentan una laguna en sus cimas, lagunas ocasionadas por el método de extracción con ayuda del extractor de testigos Mackereth (Mourguiart *et al.*, 1992). Las evoluciones batimétricas de los testigos son notablemente comparables. Los niveles sedimentarios precedentes a la aparición de las faunas sedimentarias encierran cristales de yeso (Wirrmann *et al.*, 1988). Lo que significa, en el caso del testigo TD1, una desecación de esta parte del lago Huiñaimarca (entorno tipo Salar) y, en el caso del testigo TJ, un descenso de agua de al menos 54 m del nivel del lago Chucuito (Fig. 4) alrededor de 8.000 años P. (entre 8.100 ± 280 y 7.710 ± 180 años P.).

Poco después, la fauna aparece en los dos testigos, o, en otros términos, la parte Oeste del Huiñaimarca está nuevamente en agua (al menos episódicamente; Mourguiart *et al.*, 1992) y el nivel del Gran Lago sube. Luego, el nivel medio de las dos cuencas fluctúa alrededor de un nivel bajo (aproximadamente a 3.789 m de altura en la parte oeste del Huiñaimarca y de 3.760 - 3764 m de altura en el lago Chucuito) y esto hasta una fecha enmarcada por dos fechas sobre el testigo TJ: 3.930 ± 490 y 3.870 ± 80 años B.P. Durante cerca de 4.000 años, el entorno del lago Huiñaimarca es comparable al actual lago Poopó. El Gran Lago ha conservado un carácter oligohalino con algunas fases de aumento de la salinidad de sus aguas (principalmente hacia 5.700 - 5.300 años B.P.). Hacia 3.900 años B.P., los dos planos de agua suben enormemente (+14 m al nivel de la TD1 y + 22-23 m a nivel de la TJ). Este cambio hidrológico tan importante, es sinónimo de un cambio climático abrupto a nivel regional (Mourguiart *et al.*, 1992). A partir de este instante, y hasta la cima de los testigos (aprox. 1.900 años B.P.), las dos cuencas se comunican por medio de estrechos vía la fosa de Chúa (Fig. 5), con excepción de un acontecimiento (edad estimada 2.400 años B.P.) presente en los dos testigos e igualmente marcada en otros sondeos (por ejemplo, testigo TE; Mourguiart *et al.*, 1992). Las aguas de la parte oeste del lago Huiñaimarca son de tipo oligohalino. Se obtuvieron informaciones adicionales de otros sondeos (testigos TB2, TG1, TC1,...) que permiten completar el esquema de evolución, en 3 cuencas, del lago Titicaca durante el Holoceno, pero hasta ahora no hemos podido delimitar, por medio de fechas, el último ascenso que ha llevado los tres planos de agua al mismo nivel (contexto actual del lago Titicaca). Sabemos, a lo más, que este estado no ha sido alcanzado antes de 1.500 años B.P.

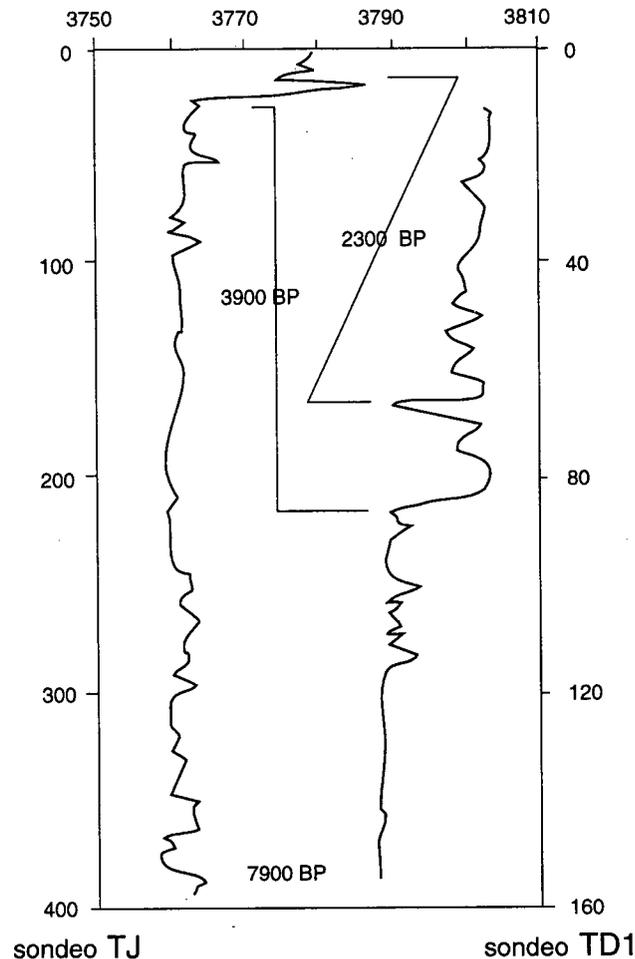


Fig. 3. Evolución del lago Titicaca (lagos Chucuito y Huiñaimarca) durante el Holoceno.

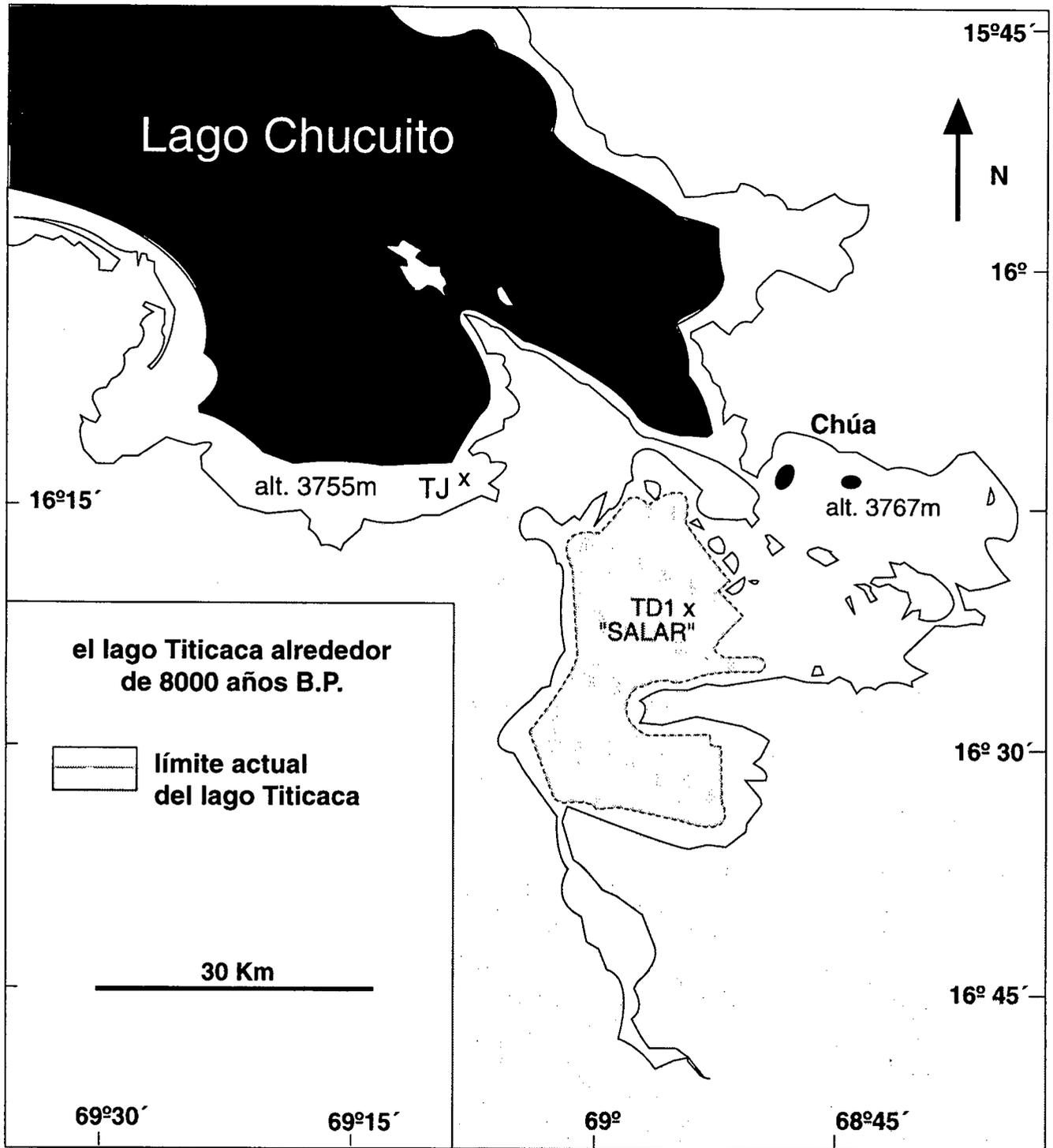


Fig. 4. El lago Titicaca alrededor de 8.000 años B.P.

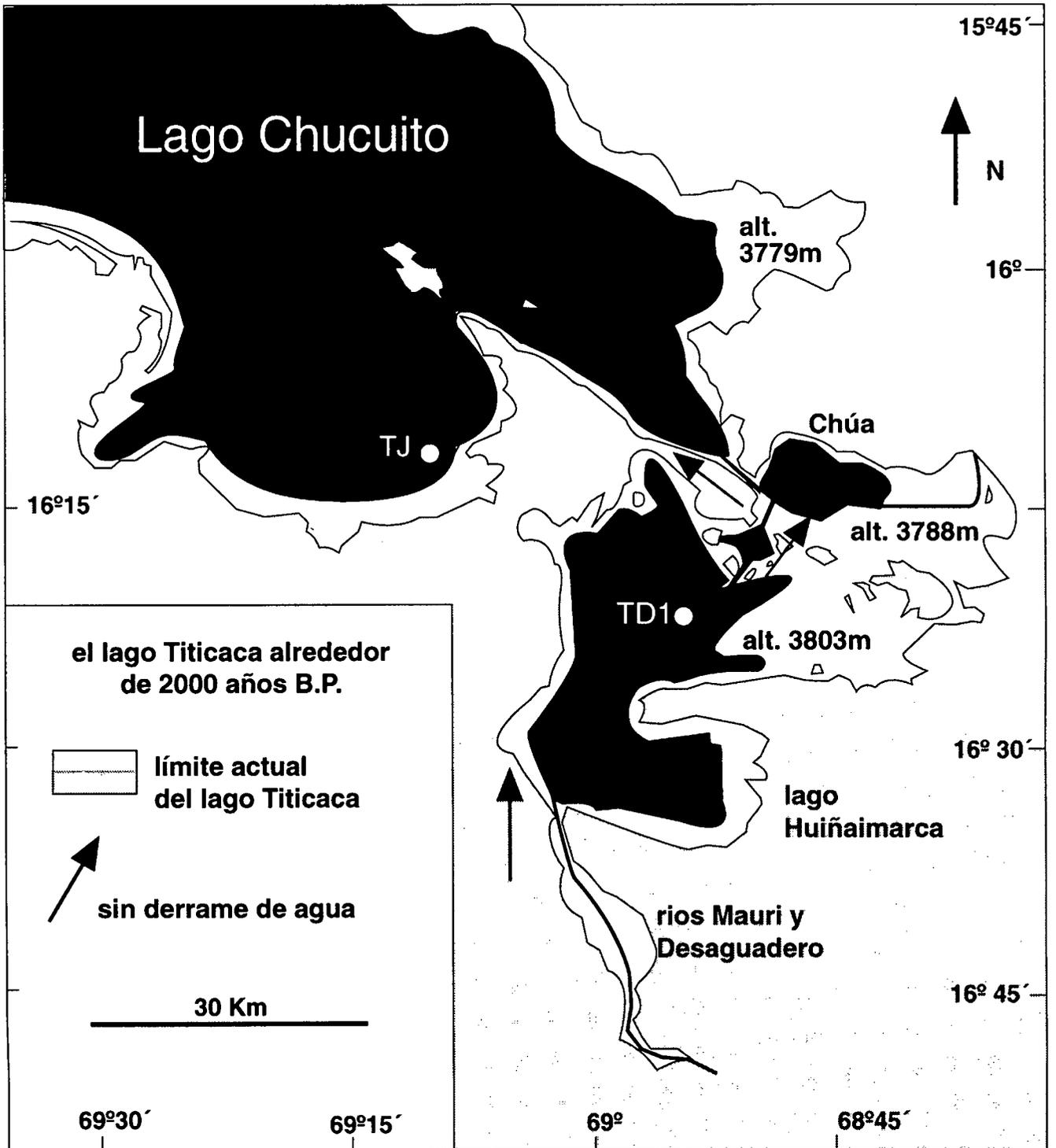


Fig. 5. El lago Titicaca alrededor de 2.000 años B.P.

En resumen, la historia del lago Titicaca durante los 8.000 últimos años, es una historia compleja caracterizada por la importancia de estas fases de bajos niveles. Algunos de estos acontecimientos fueron correlacionados en períodos de "tipo El Niño" (Martín *et al.*, 1992, 1993), parcialmente frecuentes antes de 3.900 años B.P. y más esporádicamente después. Hasta última fecha, el hombre ha vivido en un entorno difícil, principalmente de caza, pesca y ganadería. La recurrencia similar a fases climáticas secas ha impedido todo desarrollo de la agricultura. A partir de 3.900 años B.P. el contexto cambia. Las precipitaciones aumentan en la cuenca del Lago Titicaca, la agricultura puede aparecer: es la aparición de las civilizaciones andinas (Bouysse-Cassagne, 1992). No obstante, una fase seca, muy importante, se instala en el Altiplano alrededor de 2.400-2.300 años B.P. Se intenta correlacionar esta sequía con la desaparición brutal del imperio pre-incaico Tiwanaku. Recordemos que en tiempos del esplendor de Tiwanaku y más allá, la altura de la superficie del agua se encuentra por el sitio de la TD1, alrededor de 3.804 m y en el lago Chucuito, alrededor de 3.788 - 3.795 m (cf. Fig. 5). Es entonces perfectamente posible imaginar importantes tierras cultivadas (tipo camellones) hoy en día sumergidas y, por qué no, la existencia de ciudades o pueblos alrededor del lago Chucuito, sumergidos actualmente bajo 15 a 20 m de altura de agua. Gracias a nuestros datos, podemos avanzar que el mito de la ciudad sepultada no es tal.

CONCLUSION

Una función de transferencia ostrácodos/batimetría nos permitió volver a trazar con precisión la evolución paleo-hidrológica del lago Titicaca durante los últimos 8.000 años. Este ha funcionado en cuencas, separadas o no, que pudieron tener características muy diferentes (altura de los planos de agua y química de las aguas) en ciertas épocas. La interpretación paleoclimática, que se desprende de estos cambios paleohidrológicos, ha permitido abordar bajo un día nuevo, el problema del hombre andino y de su entorno.

REFERENCIAS

- Antúnez De Mayolo, S., 1992. Recurrencia del Fenómeno «El Niño» y el Titicaca. Int. Symp. on Former ENSO Phenomena in Western South America, 4-7 March 1992, Ed. Ortlieb L. y Macharé, J.: 15-20.
- Bouysse-Cassagne, T., 1992. Le lac Titicaca: histoire perdue d'une mer intérieure. Bull. Inst. fr. études andines, 21(1): 89-159.
- Bouysse-Cassagne, T., Morlon, P., Mourguiart, Ph. y Wirrmann, D., 1992. Agricultura, sociedad y medio natural en la cuenca del Titicaca: tres mil años de relaciones. Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 18 de febrero de 1991, Ed. Morales D. y Vacher J.J., 383-388.
- Martín, L., Absy, M.L., Flexor, J.M., Fournier, M., Mourguiart, Ph., Sifeddine, A. y Turcq, B., 1992. Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7000 dernières années. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 315, Série II, 97-102.
- Martín, L., Absy, M.L., Flexor, J.M., Fournier, M., Mourguiart, Ph., Sifeddine, A. y Turcq, B., 1993. Southern oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7000 years. Quaternary Research 39, 338-346.
- Morlon, P., 1991. Variations climatiques et agriculture sur el Altiplano du lac Titicaca (Pérou-Bolivie): Une approche préliminaire. La Météorologie, 39, 10-29.
- Mourguiart, Ph. y Roux, M., 1990. Une approche nouvelle du probleme posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres: utilis on d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes. Géodynamique, 5 (2), 151-165.
- Mourguiart, Ph., Wirrmann, D., Fournier, M. y Servant, M., 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 315, Série II, 875-880.
- Ponce Sangines, C., Reinhard, J., Portugal, M., Pareja, E. y Ticlla, L., 1992. Exploraciones arqueológicas subacuáticas en el lago Titicaca. La Palabra Producciones (Ed.), La Paz, 760 p.
- Wirrmann, D., 1991. Morfología y batimetría. El lago Titicaca. In: Síntesis del conocimiento limnológico actual. C. Dejoux y A. Iltis (Ed.), 31-37.
- Wirrmann, D., Mourguiart, Ph. y De Oliveira, L., 1988. Holocene sedimentology and ostracod repartition in lake Titicaca. Paleohydrological interpretation. In: Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, J. Rabassa (ed.), vol. 6, 89-127.

LA INFLUENCIA DE LA ALTA DE BOLIVIA EN LAS PRECIPITACIONES EN EL PERU

HERMENEGILDA MANRIQUE OLIVARES

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - PERU
APARTADO POSTAL 1308, LIMA, PERU

RESUMEN

El comportamiento de las precipitaciones en el Perú tiene relación con el desplazamiento de la Alta de Bolivia incrementándose cuando ésta se desplaza al Noroeste y se encuentra intensificada o cuando se desplaza hacia el Sureste y se interrelaciona con la banda de Convergencia del Atlántico Sur o sistemas frontales. Durante la sequía del período lluvioso 1989-90 la Alta se desplazó hacia el Norte y Este, no fue posible identificarla en las imágenes, porque la convección no estuvo organizada alrededor de ella, más bien fue frecuente la presencia de vientos del Oeste los que propiciaron estabilidad atmosférica en los trópicos. Se observó que la Corriente en Chorro estuvo menos intensa y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur se presentó en forma esporádica.

INTRODUCCION

El territorio peruano por su orografía está dividido en tres regiones naturales teniendo un comportamiento pluviométrico diferente en cada una de ellas, registrándose la mayor cantidad de precipitación en la Región de la Selva.

El régimen de precipitación en el Perú tiene un marcado carácter estacional el cual está plenamente relacionado con la actividad convectiva cuando se desplaza hacia el Sur en el Verano Austral. Durante este período es muy frecuente la presencia de eventos violentos tales como avenidas, deslizamientos e inundaciones y sequías que han ocasionado ingentes pérdidas humanas y económicas.

Diferentes estudios que se han venido desarrollando desde los años 60 hasta la actualidad, han demostrado la presencia de un intenso sistema Anticiclón-Vaguada cuasi estacionario que se localiza en los niveles altos de la atmósfera, cuyo núcleo se localiza alrededor de los 17°S y 65°W y es más conocido como La Alta de Bolivia que se extiende sobre la mayor parte de América del Sur, así también es considerada como el mayor indicador del régimen de verano.

Algunas características de la Alta sobre el Perú han sido vistas en casos de exceso y deficiencia de precipitación, Cornejo (1983) analizó las precipitaciones características del evento "El Niño" en el período del 20 al 30 de Marzo de 1983 en el Noroeste del Perú donde notó la presencia de un sistema cuña-vaguada que se ubica sobre América del Sur, Manrique (1991) relacionó el desplazamiento del núcleo de la Alta durante los períodos lluviosos 1988 al 1990 encontrando influencia significativa en el comportamiento de las precipitaciones.

DATOS

Se han utilizado datos diarios y mensuales de precipitación de los períodos lluviosos 1985-86, 1988-89, 1989-90 de 50 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio peruano, información del Satélite Geoestacionario GOES, flujos pronosticados, análisis de altura del CMN de Washington, datos diarios de la localización del Centro de la Alta publicados por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE- desde los años 1988 hasta 1990 y estadísticas de las emergencias ocurridas en el Perú de esos años elaboradas por Defensa Civil.

RESULTADOS

En el año 1986 el Lago Titicaca registró el nivel más alto de este siglo y durante ese período lluvioso (1985-86) las precipitaciones se presentaron intensas y copiosas registrándose valores sobre lo normal, afectando incluso toda la región sur del país.

En las imágenes sateliticas, flujos pronosticados y análisis de la CMN, se observó el desplazamiento del Núcleo de la Alta sobre toda esa Región Sur y la interrelación con los sistemas frontales.

Los períodos lluviosos 1987-88 y 1988-89 se caracterizaron por ser húmedos, con significativas precipitaciones, registrándose eventos violentos. Fue entonces muy frecuente observar incursiones de la Alta sobre el territorio Peruano llegando incluso hasta la región central disminuyendo las precipitaciones en la región sur del país. Cuando esto ocurre se ha observado una Corriente en Chorro bastante intensa que se localiza cerca de 35°S y en algunas otras ocasiones al Norte de Chile con velocidades de hasta 55 nudos.

Se observó un mayor desplazamiento hacia el Este y Sureste colocándose al Noroeste de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur que descendió al Sur de su posición normal. Esta interrelación con la Banda ocasionó precipitaciones más intensas con consecuencias catastróficas.

El período lluvioso 1989-90 se caracterizó por un desplazamiento de la Alta hacia el Norte y Este y no fue posible identificarla con frecuencia en las imágenes, porque la convección sobre la parte central no estuvo organizada alrededor de la Alta, más bien se observó la presencia de vientos del Oeste estabilizando los trópicos.

La corriente en Chorro se presentó menos intensa y se localizó entre 40° a 45°S, fueron muy pocos los frentes que ingresaron al continente. La Zona de Convergencia del Atlántico Sur estuvo menos intensa de lo normal presentándose esporádicamente. En este período se produjo una de las sequías más severas que azotó al Perú y a otros países de América del Sur.

BIBLIOGRAFIA

Aceituno, P., y A. Montecinos, 1992. Precipitación en el Altiplano Sudamericano: Variabilidad Interanual e Intraestacional y mecanismos asociados. I Congreso Iberoamericano de Meteorología, Octubre 1992, España.

Cornejo, A., 1989. Análisis Sinóptico durante un año de "El Niño". Curso de Climatología Sinóptica del Perú y Sudamérica, 18-20 de Septiembre de 1989, Lima, Perú.

Climanálise, de 1987 a 1990. Boletín de Monitoramento e Analice Climática. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, SP, Brasil.

Manrique, H., de 1987 a 1990. Tendencia de las precipitaciones en el Territorio Nacional. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima-Perú.

Manrique, H., 1991. Situación Sinóptica Asociada a la Sequía del Período Lluvioso 1989 - 90; pp. 260-267 en Memorias: V Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Cuzco-Perú, 28 Octubre - 01 Diciembre de 1991.

Manrique, H., 1991. Estudio Preliminar de la Alta de Bolivia y su Influencia en el Comportamiento de las Precipitaciones en el Territorio Peruano; pp. 212 a 219 en: Memorias V Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Cuzco-Perú, 28 Octubre - 01 Diciembre de 1991.

Necco, L., 1988. Sistemas Meteorológicos Regionales Extratropicales, Hemisferio Sur. Seminario Regional para Instructores Nacionales de la AR IV, Asunción - Paraguay, 19 - 30 Septiembre de 1988.

Virji, H., 1981: A preliminary study on summertime tropospheric circulation patterns over South América estimated from cloud winds. Mon. Wea. Rev., Rev., 109, 599-612.

CLIMATOLOGIA DE LA PUNA DE ATACAMA Y SU RELACION CON LOS RECURSOS HIDRICOS

HUGO ROMERO, ANDRES RIVERA y PATRICIO FERNANDEZ
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, UNIVERSIDAD DE CHILE

INTRODUCCION

En el margen oriental del Desierto de Atacama, subiendo desde Antofagasta hacia la Cordillera de los Andes, un progresivo y maravilloso cambio se aprecia en el paisaje. Las formas redondeadas, con múltiples colores y descubiertas de toda vegetación, empiezan a intercalarse con grandes conos volcánicos, profundas quebradas, fosas tectónicas cubiertas de blancas sales, cerca de las cuales se alimentan aves y mamíferos, de pastos y agua que escurre tímida desde la cordillera.

En algunos de esos parajes, el hombre ha vivido desde hace miles de años, primero recolectando frutos y cazando auquénidos, para luego cuando su desarrollo cultural le permitió sortear los avatares de la naturaleza, quedarse a cultivar y domesticar animales.

En este vasto territorio altiplánico de Antofagasta, coexisten hoy en día, las mismas culturas que se sedentizaron hace más de 4.000 años, junto a las mejores expresiones de modernidad, como son la ciudad de Calama y la mina de cobre de Chuquicamata, las cuales embebidas de un espíritu de progreso y crecimiento, usan y manejan los recursos naturales, en una búsqueda creciente de rentabilidad y optimización económica.

Con el pasar de los años, el cambio en los sistemas naturales ha sido constante, en un contexto casi permanente de escasez de agua, lo que ha acentuado la competencia por su detección y aprovechamiento.

San Pedro de Atacama, Ascotán y los salares, entre otros lugares de interés, representan el esfuerzo milenario, del hombre y la naturaleza, en alto sinergismo y complementación, por lo que son percibidos en Chile y el extranjero, como sitios casi mágicos, en muchos casos al nivel de las grandes expresiones de la cultura Inca en Perú o Tiahuanacu en Bolivia.

En base a estas características, el turismo se está transformando en una actividad de grandes perspectivas económicas, lo que ha traído consigo un aumento de la población flotante, la compra de tierras indígenas por afuerinos y un aumento en la demanda del agua.

Por otro lado la modernización económica del país y la existencia en el altiplano de numerosos recursos naturales, en especial mineros, ha generado un aumento de las inversiones productivas, lo que también se ha traducido en una mayor demanda de agua.

La falta de trabajo en los asentamiento poblados altiplánicos, la aculturización de sus habitantes y las grandes potencialidades que reflejan las ciudades, ha aumentado la emigración a Calama y Antofagasta, lo que se suma a un importante crecimiento demográfico de las mismas, por las crecientes actividades económicas ligadas a la producción. Todo lo anterior, también se ha traducido en un aumento de la demanda de agua.

Este es el marco donde se desarrolla el presente trabajo, en el cual el cambio climático y la tendencia árida, se contraponen al crecimiento de las actividades económicas, lo que se ha traducido en variados problemas culturales y sociales de los habitantes. La intención de los autores, es describir cómo ha sido la evolución y situación climática actual, los principales problemas detectados y las proyecciones que se avizoran.

PALEOCLIMAS FINI-PLEISTOCENICOS

La región altiplánica de Antofagasta, se caracteriza por su gran dinamismo tectónico y volcánico, factores esenciales en la constitución de su estructura en el Cuaternario.

Según Abele (1991), las formas del Altiplano de Chile entre los 18° y los 24° de Lat. Sur muestran una mantención de condiciones hiperáridas desde el Mioceno Superior. Dicha aridez se manifiesta en la escasa disección de las ignimbritas allí depositadas y en que la mayor parte de los salares y lagunas, tienen distintos niveles de cota sin que hubiesen desaguado a nivel superficial, por lo que siempre han sido embalses endorréicos.

Durante el Pleistoceno, la región fue cubierta a lo menos tres veces por glaciares, los que tuvieron un mayor desarrollo en las vertientes Este de la Puna, lo que implica un aporte de humedad proveniente desde el interior del continente.

Dichas glaciaciones, requirieron un significativo aumento de precipitaciones, condición que, no fue sincrónica con el Late

Glacial Maximum (LGM) entre los 23.000 y 18.000 A.P., por lo que según Garleff Stingl (1987), en dicho período se dió una mayor aridización, fruto de un mayor descenso de la línea del Permafrost.

Entre los 17.000 y 15.000 A.P., Messerli *et al.* (1993) plantean un aumento de las precipitaciones del orden del 60 %, con un componente de verano y origen en la circulación atmosférica del Este. Esta mayor humedad, pero en un ambiente frío, condujo a la recarga de agua subterránea en la cuenca de Atacama.

Durante el Glacial tardío (15.000-11.000 A.P.), Messerli *et al.* (1993) constataron la formación de grandes cuerpos de agua subterránea y extensos lagos superficiales, los cuales son sincrónicos con el Paleolago Tauca, en el Sur del Altiplano Boliviano. Los aumentos de precipitación fueron del orden del 120 %, también con componente de verano. El polen típico de los Andes bolivianos encontrado en los estratos de dicho período en las lagunas Lejía y Tuyagto, evidenciarían un transporte por la circulación del Este.

En base a dichos planteamientos, se postula un cambio de condiciones secas y frías imperantes en el Máximo Glaciar (LGM) hacia húmedas en el Glacial Tardío, lo que en términos climáticos significaría un aumento de las lluvias de verano, de fuente Este.

Las evidencias paleohidrológicas provenientes del Altiplano Peruano-Boliviano, indican que entre 12.500 y 11.000 A.P. los Paleolagos (Tauca) cubrieron un área 4 veces más extensa que en la actualidad, lo que indicaría un aumento de 30-50% de las precipitaciones anuales. Estas tendrían su origen en lluvias tropicales de verano, asociadas al desplazamiento hacia el Sur, de la Convergencia Intertropical (Seltzer, 1993).

Esto significa en términos climáticos, que la componente zonal de la circulación atmosférica fué poderosa. Las precipitaciones conectadas a los vientos del Oeste fueron más intensas para las latitudes medias, pero su influencia no significó cambios al Norte de Copiapó (27° Sur).

De los antecedentes recopilados, queda clara la alta variabilidad climática de finales del Pleistoceno en la región, pero se ratifica una tendencia de sequedad a pesar de los episodios húmedos.

EL HOLOCENO Y SUS DISTINTOS ESTADIOS EN RELACION CON LA ARQUEOLOGIA

La densa vegetación, la abundante vida animal y los recursos hídricos, fueron la base para las primeras culturas de cazadores y recolectores, que probablemente llegaron al Altiplano Atacameño al final del Pleistoceno, cerca de los 13.000 A.P. (Núñez, 1992).

Durante el Holoceno temprano, el clima tuvo un carácter templado y húmedo, con unos 3,5° C más que las temperaturas actuales de verano, evidenciada por la aparición de suelos profundos unos 500 metros más arriba que en la actualidad. Estas condiciones favorecieron la aparición de los primeros cazadores y recolectores en la primera ola de ocupación Paleoindia.

En dicho periodo se dió también una importante recarga de los acuíferos, algunos de los cuales son aprovechados hoy en día.

Entre los 8.500 y 4.800 A.P., según Núñez (1992) escasos sitios arqueológicos muestran una baja ocupación, constituída por cazadores y recolectores. Este período, es considerado como con un clima con mayores temperaturas que las actuales y gran sequedad, definido como un puzzle arqueológico.

Entre los 5.000 y 3.000 A.P. el óptimo climático, implicó un aumento de los asentamientos humanos, que combinaron la caza y la recolección, como actividades económicas. En torno a dicho periodo se encuentran también las primeras evidencias de domesticación de camélidos, lo que significa un uso óptimo de los recursos de los distintos pisos altitudinales, así como gran intercambio entre la costa y el interior.

Entre los 3.000 y 2.000 A. P. hay algunas evidencias de decrecimiento en las precipitaciones, compensadas por la domesticación y la irrigación en el oasis de San Pedro de Atacama. Se constata menor recurrencia del "Invierno Boliviano" y la reducción de la precipitación líquida de carácter ciclónico .

Desde los 2.000 A.P. hasta la actualidad, las condiciones áridas han prevalecido, lo que ha implicado disminución de los recursos hídricos y abandono de algunos poblados. Las actividades se redujeron a los oasis más estables, tales como San Pedro, Chiu Chiu, Lasana y otros que se abastecen de sistemas hídricos provenientes de la Cordillera.

Un caso particularmente ejemplificador del impacto de los cambios climáticos sobre los asentamientos poblados altiplánicos, es el de TULOR. Sitio arqueológico trabajado por el padre Le Paige y excavado por arqueólogos de la Universidad de Chile (Ana María Barón, actual alcaldesa de San Pedro y Javier Tamblay), quienes han dado en 2.000 años antes del presente, el periodo de inicio de su abandono.

Las primeras actividades agrícolas allí localizadas, se basaron en la recolección de los frutos del Algarrobo y Chañar, así como del cultivo del maíz y la crianza de llamas.

Tulor se localiza a unos 5 kilómetros al Sur de San Pedro de Atacama, en el sitio donde el río San Pedro pierde fuerza y su cauce pierde pendiente, inundando un sector fértil. Este punto está justo al Este de las menores alturas de la Cordillera de la Sal, por lo que la intensidad de los vientos locales es mucho mayor allí que en otros de los ayillos de San Pedro.

Cuando el clima comenzó nuevamente a revertirse, a los 2.000 A.P., la mayor sequedad, aportó mayor cantidad de arenas y polvo las cuales fueron arrastradas por fuertes vientos provenientes del llano de la Paciencia, volcándose dentro de la cuenca del Salar de Atacama, justo frente a Tulor. Este proceso natural implicó la formación de una duna, la que progresivamente avanzó en dirección del Ayillo, comenzando su cubrimiento.

Los habitantes, construyeron una muralla defensiva, la que fue impotente ante la fuerza de las arenas, por lo que definitivamente, debieron abandonar las casas y tierras de cultivo, desplazándose un poco más al Norte a los otros sectores fértiles del oasis.

A esa altura de la historia, los atacameños, ya habían logrado un nivel cultural agroalfarero, con sistemas de regadío y domesticación, por lo que no desaparecieron, tal como ocurrió con sus antepasados del período Paleoindio.

En la actualidad, sólo es posible apreciar una mínima parte del sitio arqueológico, la que ya ha sido descubierta por las arenas, que siguen su camino de destrucción hacia el Sur-Este, donde el frente de avance tiene más de 5 metros, que caen verticales sobre el desierto y el resto del ayillo de Tulor.

Esa porción visible, muestra los signos de 2.000 años de abrasión, por lo que murallas de originales 2,5 metros, hoy sólo muestran 30 centímetros de altura.

Según Messerli *et al.* (1993) el fenómeno de El Niño, es una posible interpretación climatológica a los hallazgos paleoecológicos descritos en el último período.

En términos de síntesis, parece probable que el inicio del upwelling (surgencia) de aguas frías en el Este del Pacífico después de los 5.000 A.P. (Enfield, *in* Messerli *et al.*, 1993) sea correlacionable con el aumento de la sequedad en el desierto costero, que avanzó progresivamente dirección del Altiplano, el cual sólo se abastece en la actualidad, por precipitaciones estivales tropicales, sin afectar el hiperárido desierto central y costero del Norte de Chile. Esto ha implicado que después de los 2.200 A.P., y bajo los 3.500 m s.n.m., no se ha dado más que una recarga parcial de los acuíferos, con escasa cubierta vegetal y progresiva aridización.

TOPOCLIMATOLOGIA ACTUAL

El Altiplano Chileno es el margen meridional-occidental del Gran Altiplano Sudamericano Peruano-Boliviano. Como tal, sus características climáticas generales, tienen igual génesis y dinámica temporal. Sin embargo, su carácter marginal, implica una especificidad y diversidad marcada, respecto del resto de la región altiplánica.

El conjunto de los elementos diferenciadores del Altiplano de la Región de Antofagasta, lo definen como un sector transicional, entre los dos grandes sistemas climáticos que afectan a gran parte del país. El continental-estival, desde la región altiplánica al norte, y el frontal-occidental, desarrollado progresivamente en dirección al Sur. En cualquier caso, el componente continental-estival representa un porcentaje variable entre el 80 y 50 % del total de precipitaciones del área .

Las precipitaciones que en cada verano afectan al Altiplano, tienen su origen en los alisios que acarrearán gran cantidad de humedad proveniente desde el Atlántico Tropical, la cual es transportada por la circulación continental ligada a la Alta de Bolivia. Esta configuración coincide con la presencia de intensa actividad convectiva, en especial sobre las cadenas montañosas, producida por fuerte radiación basal, con un gradiente vertical de temperatura superadiabático en los primeros 500 a 1.000 m sobre la superficie, generándose convección húmeda y precipitación (Fuenzalida y Rutllant, 1986).

Sobre el Altiplano de Antofagasta, la combinación de trayectorias zonales a 500 Hp y una fuerte convección térmica, posibilitan la advección de masas de aire relativamente húmedas desde el NE y Este, precipitando.

Las trayectorias de masas de aire continental, son dirigidas al sur y forzadas por la presencia de la Cordillera, por lo que los sectores Occidentales de la misma y bajo el nivel de inversión térmica, se mantienen con predominio anticiclónico. Sin embargo, en algunos puntos logran sortear la gran barrera orográfica de los Andes a través de portezuelos, valles y fosas tectónicas. Es en estas condiciones, cuando factores locales, tales como la fuerte convección producida en lagos, lagunas, salares y fosas, se liga con la advección relativamente húmeda del NE y Este, proceso que alimenta la convección húmeda y la precipitación.

En la última década, se han detectado fuertes eventos lluviosos en los años 1975, verano de 1984 y verano de 1987. Desde dicha fecha a la actualidad, se ha vivido una prolongada sequía, con inusuales nevazones invernales, en los años 1983, 1992

y 1993. Estas últimas parecen ser causadas por una ciclogénesis de barlovento que afecta a frentes que se desplazan de Norte a Sur.

Se postula que la incidencia del fenómeno El Niño, implica menores precipitaciones estivales de origen Norte y Este y mayores lluvias invernales en la región altiplánica de Antofagasta. El incremento de las precipitaciones invernales y primaverales, de origen frontal occidental, pueden alcanzar un carácter catastrófico en la costa del Pacífico, produciendo inusuales nevazones en la cordillera de los Andes.

Al año siguiente de la ocurrencia del fenómeno El Niño, se restablecen las condiciones "normales" de circulación, las que junto a eventos cálidos en el Atlántico, han implicado fuertes precipitaciones estivales de origen continental, tales como en 1984 al año siguiente del mayor Niño del siglo (82-83).

La mantención de condiciones similares a las de años Niño, por períodos de tiempo prolongado, implicaría períodos de sequía en el Altiplano, acompañados de mayores temperaturas, tales como los observados en la última década (Rivera y Romero, 1993).

ASPECTOS HIDROLOGICOS

Las cuencas altoandinas de la región en estudio, se caracterizan por ser del tipo endorreicas, donde es posible encontrar en sus depresiones salares y sectores lagunares importantes, las que son irrigadas temporalmente, dando origen a vegas y bofedales, que ofrecen una importante dinámica ecológica tanto desde el punto de vista de la capacidad de carga de avifauna y fauna terrestre silvestre, como para la sustentabilidad en el uso antrópico de estos significativos recursos de pastoreo y desarrollo de ganado auquénido. Estas cuencas se desarrollan en la zona de la Puna de Atacama, presentándose también hacia el norte, como es el caso de las cuencas de los salares de Ascotán-Carcote, y hacia el sur la del Salar de Punta Negra (CONSECOL, 1986).

Es importante señalar que estas cuencas altoandinas, presentan los mayores montos potenciales de aprovechamiento de aguas, fundamentalmente de sus napas confinadas. Sin embargo, los montos de recarga están en función de altas variaciones de los aportes hídricos, tanto del punto de vista temporal como espacial. Lo anterior ha llevado a diferentes autores a postular que ciertos sectores del Altiplano de la región poseerían aguas calificadas como fósiles, pues provendrían en sus orígenes, de las paleolagunas que aquí se desarrollaron, bajo condiciones climáticas más húmedas que las que actualmente se conocen.

Respecto al análisis químico, los recursos hídricos que están disponibles en la Región de Antofagasta, son en su gran mayoría no potables, por el alto contenido de diversos componentes tóxicos (Arsénico y Boro), los cuales se encuentran ligados fundamentalmente a rocas volcánicas cenozoicas que prevalecen en el territorio andino oriental, particularmente de centros volcánicos más recientes o con actividad latente. El Arsénico estaría principalmente relacionado con el volcanismo andesítico, mientras el Boro, lo estaría particularmente con el volcanismo riolítico a dacítico. Ambos se incrementarían extraordinariamente en áreas de volcanismo latente activo, como en el caso de las aguas de los géysers de El Tatio (ESSAN 1992).

Las contaminaciones por sólidos disueltos, con la inclusión de cloruros y sulfatos, resultan de baja cuantía en las cabeceras de las hoyas altoandinas y se incrementan gradualmente en la medida del avance de los recursos hídricos aguas abajo.

Las aguas subterráneas poseen una característica hidroquímica bastante similar a las aguas superficiales, con importantes cantidades de Arsénico, Boro, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos. Estas aguas no son en general de gran profundidad y cuando se trata de aguas subterráneas con recorridos cortos o poco distantes, poseen una buena calidad química, superior a la de el o los probables acuíferos más profundos de menor calidad inferida.

FACTORES HUMANOS Y SU RELACION CON EL RECURSO HIDRICO

En la región de Antofagasta cohabitan dos estilos de vida que tienden a ponerse cotidianamente en conflicto. Por un lado en los sectores costeros, se desarrollan los más importantes asentamientos poblados de la región, con una dinámica propia de las grandes urbes minero-industriales en expansión y crecimiento constante. Destaca la ciudad de Antofagasta, inserta dentro de una comuna que alcanza una población de 226.749 habitantes (SIECOM, 1992). Otro centro urbano de importancia es Calama, cuya población comunal es de 120.602 habitantes (SIECOM, 1992), la que continúa en un desarrollo permanente ligado al crecimiento y expansión de la Gran Minería del Cobre, fundamentalmente de la División Chuquibambilla.

Este crecimiento via industrialización y expansión derivada fundamentalmente de la actividad minera cuprífera y sus economías de escala y urbanización asociadas, tiende a contrastar notoriamente con la dinámica económica de los sectores altiplánicos, donde la actividad principal se resume en el desarrollo agrícola de pequeños oasis y/o en la actividad pastoril que en función de las características climáticas e hidrológicas anteriormente explicitadas, hace que los habitantes hayan asumido la transhumancia como forma de vida desde tiempos prehispánicos.

Según el estudio de INYGE (1991), existe una mala utilización del agua en las comunidades agrícolas, debido al uso de

técnicas arcaicas de cultivo y de deficientes técnicas de riego, lo que otorga una baja rentabilidad económica a los cultivos. Dentro de estos centros poblados, destaca San Pedro de Atacama, localizado en la cabecera norte del Salar de Atacama, que basa su actividad económica en la producción agrícola y pastoril, las que pueden calificarse como de subsistencia.

Caso aparte es el turismo, implementado por afuerinos con reciente pero floreciente desarrollo. De hecho en la actualidad existen numerosos proyectos de inversión turística, construcción de hoteles y camping, que permitan satisfacer a los más de 25.000 turistas que anualmente llegan a San Pedro (comunicación verbal Municipalidad de San Pedro de Atacama).

En las márgenes orientales del Salar de Atacama se desarrollan también pequeños pueblos (Toconao, Peine, y Camar), los que subsisten basados en un relación muy rica entre hombre-naturaleza, que se desarrolla en conjunción a una fuerte herencia del pasado atacameño de los habitantes.

Estos pueblos altiplánicos están sufriendo un proceso de depresión sociocultural que tiende a adoptar características preocupantes. Por un lado la falta de fuentes de trabajo permanentes y bien remuneradas. Por otro, una estructura de propiedad que no se acomoda al desarrollo agrícola moderno, dificultando el acceso a nuevas tierras a los potenciales agricultores jóvenes, lo que asociado a una escasez de agua casi permanente, hace que la población joven emigre a los centros urbanos-industriales donde por falta de capacitación y que por el propio rechazo del habitante ciudadano a los inmigrantes, no accedan a mejores oportunidades laborales, engrosando así los círculos marginales de pobreza de las ciudades.

PROBLEMAS ACTUALES EN RELACION AL RECURSO HIDRICO

Las problemáticas actuales en lo que se refiere al recurso hídrico, pueden resumirse como los conflictos generados entre los demandantes de agua locales y la escasa y variable oferta de este recurso. Como demanda de agua se entiende, toda aquella agua tanto potable como no potable que es requerida para el surgimiento y estabilidad tanto de los procesos productivos como de los asentamientos poblados de la región, en una dimensión temporal. Pueden definirse así, los siguientes sectores de demanda: Demanda para procesos industriales mineros y no mineros de agua fresca, principalmente para la Gran Minería de Cobre y su actividad industrial anexa, como por ejemplo, Chuquicamata y Minera Escondida; demanda para consumo urbano, manejada principalmente por la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta ESSAN, la cual surte de este recurso a las ciudades regionales; demanda de consumo de agua potable para las comunidades altiplánicas y para sus actividades agrícolas, las que son satisfechas localmente.

La oferta del recurso se entiende, como toda aquella agua (tanto superficial como subterránea), que en función de sus montos y calidades físico-químico-biológicas, satisficaría los requerimientos de los potenciales demandantes del recurso hídrico.

La demanda de agua de los sectores industriales y urbanos ha sufrido un aumento considerable en los últimos años, en función del crecimiento progresivo de las inversiones en el sector minero-extractivo, como asimismo del crecimiento de las ciudades.

Las demandas actuales y futuras (proyectadas al año 2000), de agua, pueden resumirse en la siguiente tabla:

**TABLA 1.
DEMANDA DE AGUA EN L/S**

SECTOR	AÑO 1.990	AÑO 2.000
MINERO - INDUSTRIAL	2.833	6.065
URBANO (1)	1.003	1.055
AGRICULTURA (2)	6.793	S/D

(1) Incluye Antofagasta, Mejillones, Calama, Tocopilla, María Elena, Pedro de Valdivia y Coya Sur.

(2) Incluye Hoya del Río Loa y Hoya del Salar de Atacama, junto a otras extracciones menores. (Fuente: INYGE, 1991).

Esta demanda de agua, contrasta con la producción potencial de agua de la hoya del Río Loa, (principal fuente de extracción del recurso líquido), que asumiendo una precipitación del 50% de probabilidad de excedencia, asciende a 9.473 lts (INYGE, 1991).

El resto de la oferta de agua es aportada por la hoya del Salar de Atacama, cuyas aguas se utilizan en la agricultura de las comunidades que se encuentran en las inmediaciones del Salar.

Por tanto no existiría un déficit importante, entre la oferta del recurso hídrico y la demanda del mismo, dentro de un contexto global y actual de desarrollo, salvo en pequeños poblados como Quillagua, que por localizarse en los sectores terminales del curso del Río Loa, reciben exiguos aportes del recurso hídrico, lo cual imposibilita su desarrollo agrícola.

Sin embargo, dada las actuales restricciones para el consumo de agua potable en algunos centros poblados como asimismo del aumento futuro de la demanda de agua para los sectores minero-industrial y urbano, los sectores altoandinos, en especial los salares y ríos altiplánicos, se presentan como alternativas importantes para la satisfacción de eventuales déficits de agua, lo cual podría afectar negativamente, tanto a las comunidades altiplánicas espacialmente asociadas, como al delicado equilibrio ecológico de los ecosistemas andinos constituidos fundamentalmente por una rica variedad de avifauna estacional y de diversas poblaciones de fauna terrestre. Cabe agregar que la demanda se incrementa en forma constante, sin tomar en cuenta las enormes variaciones temporoespaciales que posee la oferta de recursos hídricos en la región.

Dentro de los nuevos proyectos en estudio destinados a la satisfacción de la demanda de agua, tanto mineroindustrial como urbano, se pueden destacar por su envergadura los siguientes:

- a) Extracción de agua subterránea por parte de CODELCO Chile, División Chuquicamata, en la cuenca Ascotán Carcote, localizada en la cuenca alta del Río Loa, aproximadamente 230 km al noreste de Calama. Este proyecto que actualmente se encuentra en la etapa de prospección, contempla la extracción de unos 1200 l/seg, los cuales serían acueductados hacia los nuevos megaproyectos que tiene en carpeta la compañía (Mina Radomiro Tomic, El Abra).
- b) Construcción de una represa para el consumo de unos 240 l/seg de agua potable que se conduciría a Antofagasta, por parte de la Empresa ESSAN en el sector del río Putana, uno de los afluentes principales de agua dulce al río San Pedro, que surte de agua a la comunidad homónima. Dicha extracción se proyecta en base a un canje de aguas con las comunidades de San Pedro.
- c) Extracción de agua, por parte de ESSAN, en la cuenca del Salar de Tara en una fracción aproximada de 1000 l/seg, para el abastecimiento de agua potable de Antofagasta. Debido a que el Salar de Tara presenta una gran biodiversidad, se encuentra dentro de las áreas protegidas de CONAF.

CONCLUSIONES

Los habitantes de la Puna de Atacama son de origen Atacameño o Aymara. Sus niveles educacionales son elementales. Sin embargo, su conocimiento del territorio, su dinámica y procesos naturales, es evidentemente mayor que la de los afuerinos. Lo más interesante, es que las perspectivas epistemológicas de los habitantes, tienen muy poco que ver con las concepciones modernas de la civilización occidental, basadas en el desarrollo científico-técnico.

Lo primero que destaca es el elevado nivel de sincretismo. La combinación y simbiosis de la fé católica, con elementos culturales nativos de larga data y origen prehispánico, se grafican en sus ritos, experiencias y formas de enfrentar la vida.

Por otro lado, la relación que ellos tienen con su medio ambiente, es radicalmente distinta al que se puede observar en regiones más transculturizadas o donde priman valores economicistas.

El alto nivel de sinergismo, con el que analizan y se explican los procesos naturales, sobrepasa una concepción holista clásica. Lo que para la ciencia moderna tiene carácter objetivo, en cuanto a objeto de estudio, para ellos no es más que una extensión de sí mismos en su entorno.

El significado asignado a los astros, nubes, ríos, montañas y suelos, posee un carácter "sobrenatural" y por ello muy distinto y lejano a lo que la ciencia podría otorgarles.

En este sentido es de fundamental importancia considerar estas características antes de emprender cualquier estudio, proyecto de planificación o inversión económica en el sector.

Las crecientes proyecciones de la demanda de agua potable para Antofagasta y la red urbana regional, deben ser enfrentadas con una optimización de los recursos actualmente en uso. El reciclaje y el uso de fuentes alternativas de abastecimiento, impediría los desequilibrios culturales o ecológicos, de las comunidades del Altiplano.

Ante la propuesta de INYGE (1991) de redirigir hacia usos más rentables las aguas que se pierden por el mal uso agrícola e inadecuadas técnicas de riego en los oasis atacameños, se debe fomentar la discusión y participación de la comunidad toda, a la luz de las características culturales de sus habitantes y considerar que la competencia por los recursos naturales puede provocar mayores trastornos sociales, en especial por la posible emigración de las poblaciones locales hacia los centros urbanos regionales y su consiguiente marginalización social.

Las intenciones de ESSAN, de canjear aguas a cambio de un uso más óptimo de las mismas con las comunidades atacameñas, requiere de la participación plena e informada de los involucrados. Pero más importante, requiere la definición de un plan de desarrollo agropecuario para las comunidades locales, que considere la modernización agrícola y las técnicas de riego de los habitantes, con el fin de evitar las consecuencias de una creciente demanda urbana y de posibles restricciones hidrológicas impuestas por los cambios climáticos.

La tendencia al aumento del turismo y actividades conexas, obliga al Estado, a través de la Municipalidad y Gobierno Regional, a tomar un rol activo en la planificación de la expansión urbana, en especial definiendo la real capacidad de carga del oasis. Un plan regulador para San Pedro, es la alternativa más próxima. Sin embargo, su realización debe considerar las características culturales y naturales de la zona.

La posibilidad de prospección y extracción de aguas subterráneas, parece una de las mejores opciones. Sin embargo, el análisis de recarga realizado por Messerli *et al.* (1993), plantea el carácter fósil de muchas de ellas, puesto que tienen una recuperación mayor a 40 años. De hecho varias napas actualmente en uso, fueron recargadas entre los 11.000 y 7.000 A.P. Lo que indicaría que se está haciendo uso o se proyecta usar aguas no renovables.

Otra alternativa estipulada por ESSAN, es el aprovechamiento de aguas de los salares tales como Tara. Si bien no existe población en esa zona, la gran biodiversidad que sustentan dichos ecotonos, en un ambiente de alta variabilidad interanual y dependencia de las precipitaciones, obliga a realizar detallados estudios de las líneas de base involucradas.

La actual legislación de aguas, si bien contempla medidas de información y control, no expresa la alta especificidad que existe en una zona como la descrita. Los trámites para aprobar o rechazar peticiones de agua deberían contemplar evaluaciones detalladas de impacto ambiental, la que no debe concentrarse sólo en aspectos típicos de la zona central o del sur de Chile, sino que debe contemplar los factores culturales y de cambio climático específicos de la región altiplánica.

Las empresas que trabajan o solicitan peticiones de agua, deberían informar e incorporar a los habitantes locales en sus quehaceres, para evitar conflictos innecesarios o abusos de poder.

CODELCO y la Gran Minería del Cobre tienen una demanda proyectada muy elevada, lo que obliga a prospectar nuevos recursos. Dichas prospecciones deberían contemplar el funcionamiento del sistema en su conjunto y no deberían entrar en competencia con comunidades que poco o nada pueden hacer frente a su poder político y económico.

De mantenerse la tendencia creciente de demanda de agua por parte de la minería, industria y ciudades y adicionando las perspectivas de aridización y escasez de recursos hídricos debido a los cambios climáticos milenarios, el sistema podrá colapsar a corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

Abele, G., 1991. The influence of age, climate, and relief on the preservation of volcanic landforms in the North Chilean Andes. Bamberg Geographische Schriften Bd. 11, pág. 45-57, Bamberg, Alemania.

CONSECOL, 1986. Balance hidrológico Nacional, IIª Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago.

ESSAN, 1992. Plan de desarrollo para los servicios de agua potable y alcantarillado de ESSAN S.A. Definición del Proyecto de Inversión, Tomo 11. Santiago. Marzo.

Fuenzalida, H. y Rutllant, J., 1986. Estudio sobre el origen del vapor de agua que precipita en el invierno boliviano. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Garleff, K. y Stingl, H., 1987. Investigaciones geomorfológicas sobre aspectos del paleoclima en los Andes argentinos. Investigaciones alemanas recientes en Latinoamérica: Geología, proyectos de la Dt. Forschungsgemeinschaft, Bonn, Alemania.

INYGE, 1991. Análisis y Planificación de los Recursos de Agua en la segunda región de Antofagasta. Informe Final. Santiago.

Messerli, B. *et al.*, 1993. Climate change and natural resource dynamics of the Atacama Altiplano in the last 18.000 years: A preliminary synthesis. Mountain Research and Development, Vol. 13, Nº 2, U. California, USA.

Núñez, L., 1992. Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama. Ed. Universitaria, Santiago, Chile.

Rivera, A. y Romero, H., 1993. Topoclimatología del altiplano de Antofagasta: Antecedentes para una evaluación paleoclimática. Taller Internacional el Cuaternario de Chile, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago.

Seltzer, G., 1991. Late-Quaternary Glaciation and Climate Change in the central Andes. Mountain Research and Development, Vol. 13, Nº 2, U. California (Berkeley) USA.

SIECOM, 1992. Sistema de estadísticas comunales. Ministerio del Interior, Subsecretaría de Desarrollo Regional, Chile.

ESCENARIOS PALEOHIDROLOGICOS Y PALEOCLIMATICOS DE LOS ULTIMOS 30.000 AÑOS EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

JAIME ARGOLLO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS
FAC. DE CIENCIAS GEOLÓGICAS, UMSA.
CASILLA 12198, LA PAZ, BOLIVIA

INTRODUCCION

El sistema hidrológico de los altos Andes bolivianos (16°-22° S.) incluye la zona de los glaciares donde las precipitaciones son de tipo nival, la zona de piedemonte (4.200-4.700 m de elevación) donde se producen intensas precipitaciones torrenciales durante el verano (estación de lluvias), y las cuencas amplias localizadas en el Altiplano que incluye de norte a sur las cuencas de los lagos Titicaca y Poopo y las cuencas evaporíticas de Uyuni y Coipasa.

Estos sistemas están controlados por climas estacionales contrastantes. Durante la estación húmeda (verano austral), los vientos del E sobre los Andes centrales son favorables a frecuentes penetraciones del aire húmedo de la Amazonía, lo que causa lluvias torrenciales. Durante la estación seca (invierno austral), cuando la zona de convergencia intertropical se desplaza más al norte, las fluctuaciones de vientos del W sólo permiten penetraciones esporádicas de aire húmedo de la Amazonía, produciendo precipitaciones débiles y esporádicas.

BALANCE HIDROLOGICO

Durante el Cuaternario tardío, las fluctuaciones de los glaciares y las variaciones de los niveles de agua de los lagos, son muy variables y complejas.

Fluctuaciones de glaciares

Las fluctuaciones de los glaciares durante el Cuaternario reciente están bien marcadas en la morfología de los antiguos valles glaciares. La cronología fue establecida en base a dataciones radiocarbónicas de sedimentos orgánicos (turberas). Cuatro o cinco grupos de morrenas han sido identificados en estos valles.

Un primer grupo de morrenas se sitúa a 1.000 metros por debajo de los glaciares actuales, cuya edad es posterior a 23.000, 27.000 y 26.700 años AP, en las Cordilleras de Apolobamba, Real y Cochabamba, respectivamente.

Un segundo grupo de morrenas resalta en la morfología de los valles. Estas trabajan depósitos glaciares anteriores, lo que demuestra la magnitud de este evento, que se produce con fecha posterior a 15.500 años AP. Este evento constituye el último máximo glaciar en los Andes de Bolivia.

Un tercer grupo, próximo al precedente en altitud, pero bastante alejado en distancia horizontal, se encaja en los valles glaciares, cuya posición cronológica no es conocida todavía.

Otro grupo bastante cerca del precedente, se ubica anterior a 10.500 y 10.000 años AP.

Un último grupo de morrenas glaciares, con características morfológicas muy recientes, se sitúa a una centena de metros por debajo de los frentes glaciares actuales (Pequeña edad del hielo de los siglos 14 al 18). Estas morrenas se hallan por encima de los depósitos pantanosos del Holoceno.

Fluctuaciones de los niveles lacustres

Los estudios realizados por diferentes autores, tanto en el Altiplano Sur como en el Altiplano Norte, indican para este período dos o tres niveles lacustres altos, 80 m en las cuencas meridionales (Servant y Fontes, 1978), antes de registrar un balance negativo durante el Holoceno, 40 m para el lago Titicaca (Oliveira Almeida, 1986; Wirmann *et al.*, 1987)

Las evidencias del período lacustre Minchin, bien expuestas en el Altiplano Sur, están representadas por depósitos de sedimentos arcillo-arenosos más o menos calcáreos y niveles de estromatolitos.

Todavía no se conoce bien la evolución paleoclimática del lago, pero los estromatolitos en los puntos más altos indican que las aguas se hallaban a más de 80 m por encima del nivel lacustre actual. Las dataciones obtenidas a partir de conchillas ubican un paleolago posterior a 27.000 años AP.

El descenso del nivel del lago Minchin, posterior a 22.000 y anterior a 15.000 años AP, está marcado por depósitos de gravas que reposan sobre las arcillas lacustres.

El episodio lacustre Tauca, está representado por arenas finas, limos, y niveles de conchillas. El nivel máximo de las aguas se halla a más de 70 m por encima del nivel actual. Las dataciones obtenidas sobre conchillas y calcáreos lacustres, sitúan este episodio alrededor de 11.500 años AP.

Otro depósito anterior a la desecación del lago Tauca, ha sido datado en 10.020 y 10.380 años AP lo que sitúa este período al final del Pleistoceno e inicio del Holoceno.

El pasaje Pleistoceno - Holoceno está caracterizado, en el Altiplano Sur, por la desecación parcial de los lagos, mientras que en el Norte la evolución paleobatimétrica ha sido muy compleja. Un estudio sedimentológico de testigos obtenidos del lago Titicaca (Wirrmann *et al.*, 1991) ha sido subdividida en cinco fases:

- a) Un descenso del nivel del lago desde 10.500 hasta 7.700 años, estableciéndose a los 9.000 años un nivel de 15 m más bajo que el nivel actual.
- b) La disminución del nivel del lago alcanza a 50 m en el lago grande entre 7.000 y 7.250 años. El lago Titicaca se separa en dos pequeñas cuencas sin comunicación.
- c) Un período de nivel lacustre bajo (10 y 45 m) respecto del nivel actual ocurre entre 7.250 y 4.000 años. Posteriormente un lento y progresivo aumento del nivel del lago está marcado por especies de Ostrácodos de agua dulce y por conchas de moluscos y de restos de carófitas.
- d) Después de una fase de disminución de nivel, corto pero importante, ocurre un aumento progresivo y el nivel se establece alrededor de 10 m por debajo del actual, entre 4.000 y 2.000 años. Las aguas devienen dulces después de 3.600 años. Al final de este período la comunicación entre las dos cuencas vuelve a establecerse.
- e) El lago Titicaca establece su nivel actual entre 2.000 y 1.000 años AP y el río Desaguadero se convierte en efluente.

DEPOSITOS FLUVIATILES

Los depósitos fluviales del Cuaternario reciente están bien conservados en la mayor parte de los valles no glaciares. El estudio sedimentológico de estos depósitos muestra que los caudales superficiales han evolucionado durante los últimos 30.000 años entre un régimen torrencial favorable a la erosión y un régimen más regular favorable a la acumulación de sedimentos finos.

Tres fases mayores de erosión generalizadas han sido observadas en casi todos los sitios estudiados. La primera es inmediatamente posterior al último máximo glacial y se sitúa alrededor de 17.000 y 13.500 años AP. Las otras dos son de edad Holocena, situados entre 7.500 y 6.000 años AP y luego de 1.500 a 500 años AP.

Tres fases mayores de acumulación de sedimentos finos fueron datadas, una anterior a 17.000 años AP, otra entre 13.000 y 7.500 y 6.000 - 1.500 ó 500 años AP. La primera de estas tres fases es poco conocida todavía. La segunda fase se subdivide en tres unidades: a) de 13.000 a 10.000 con desarrollo de turbas poco espesas, lo que indica que la humedad en el fondo de los valles no fue muy marcada; b) una reactivación de la profundización de los ríos se observa hacia los 10.000 años; c) entre 9.500 y 8.000 años, las turberas se han desarrollado ampliamente en el fondo de los valles.

La fase hidroclimática datada entre 6.000 y 1.500 ó 500 años AP está caracterizada por una extensión de turberas entre 6.000 y 4.500 años AP. Posteriormente medios muy fluctuantes de sedimentación se instalan en los valles, marcadas por una extensión episódica de las turberas, erosiones locales, disección de los flancos de los valles, episodios de sequía (turberas carbonizadas).

INTERPRETACIONES PALEOHIDROLOGICAS Y PALEOCLIMATICAS

Existe un conjunto de argumentos que sugieren la contemporaneidad entre las fluctuaciones del nivel de los lagos, las oscilaciones glaciales, y la sedimentación fluvial. Los resultados obtenidos por Hastenraht y Kutzbach (1985), indican que durante los períodos de extensión lacustre Minchin y Tauca, las precipitaciones habrían sido superiores a los actuales en 300 ó 200 mm/año como promedio. En otro trabajo, Kesler (1985), propone que el alto nivel lacustre del episodio Tauca se debió a precipitaciones 30% superiores a las actuales sobre la cuenca del Altiplano.

El aumento de la superficie de agua de los lagos y al mismo tiempo, el aumento de las pérdidas por evaporación, exige que el sistema sea mantenido por precipitaciones importantes o por el aporte de otras fuentes.

Servant y Fontes (1978), sugirieron que las aguas de fusión de los glaciares, podían ser buenas proveedoras de agua para los lagos. Hastenraht y Kutzbach (1985) estiman que la cantidad de agua de fusión proveniente del último pleniglacial es insuficiente

(equivalente a 20 mm de agua por año aproximadamente) para provocar la elevación de los niveles lacustres, proponiendo entonces, el incremento de las precipitaciones como la causa principal de la mayor acumulación de agua en los lagos y del avance de los glaciares, y no así la disminución de la temperatura.

Tomando en cuenta estos resultados, se puede proponer una interpretación paleoclimática aproximada de las oscilaciones glaciares y lacustres para los últimos 30.000 años.

- La extensión del lacustre Minchin probablemente contemporánea con el episodio glacial de 27.000 y 18.000 años AP, correspondería a un período muy húmedo, ligado a precipitaciones mucho más importantes que en la actualidad.
- Condiciones bastantes áridas, caracterizan el último interstadial y el interlacustre.
- Una aumento sustancial de las precipitaciones marca la subida del nivel de los lagos y el último máximo glacial.
- Globalmente, el período posterior al último pleniglacial está caracterizado por la instauración de condiciones climáticas secas y húmedas. Traducida ésta por dos fases de deglaciación y probablemente dos fases de desecación del lago Tauca.
- Durante el Holoceno (últimos 10.000 años), hasta alrededor de 3.600 años AP, parecen mantenerse condiciones climáticas relativamente secas (glaciares reducidos, bajos niveles lacustres, desarrollo de turberas).

Posteriormente se instalan en forma progresiva condiciones climáticas más húmedas. Los niveles lacustres suben, los glaciares avanzan (pequeña edad del hielo). Medidas físicas e isotópicas de los testigos de hielo de la Cordillera de Quelcaya (Perú), confirman que, durante el último empuje de los glaciares, entre 1.500 y 1.720 años DC, el clima era húmedo (Thompson *et al.*, 1985).

Desde entonces, el retorno a condiciones climáticas más secas explicaría el retroceso de los glaciares hasta el presente.

REFERENCIAS

- Hastenrath, S., y Kutzbach, J., 1985: Late Pleistocene Climate and water budget of the South American Altiplano. *Quaternary Research*, 24: 249-256.
- Kesler, A., 1985. Zur Rekonstruktion von spätglazialem Klima und Wasserhaushalt auf dem peruanisch-bolivianischen Anden. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Band 21, 107-114.
- Oliveira Almeida, L.F., 1986. Estudio sedimentológico de testigos del Lago Titicaca. Implicaciones paleoclimáticas. Tesis de Grado, Univ. Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Servant, M. y Fontes, J.C., 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interpretations paléoclimatiques. *Cah. Orstom., ser. geol.*, X, 1, 9-23.
- Thompson, L., Mosley-Thompson, E., Bolzan, J.F. y Koci, B.R., 1985. A 1.500 year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelcaya Ice Cap., Perú. *Science*, 229, 971-973.
- Wirrmann, D., y Mourguiart, Ph., 1987. Oscilations et paleosalinités des lacs du Quaternaire récent en Bolivie. *Géodinamique*, 2, 98101 .
- Wirrmann, D., Ybert, J.P. y Mourguiart, P., 1991. Una evaluación paleohidrológica de 20.000 años. Síntesis del conocimiento limnológico actual, Lago Titicaca. Edición ORSTOM-ISBOL, La Paz, Bolivia.

GLACIOLOGIA E HIDROLOGIA DE GLACIARES EN LA CORDILLERA REAL DE BOLIVIA

P. RIBSTEIN y B. FRANCOU

ORSTOM, CP 9214, La Paz, Bolivia

RESUMEN

Desde 1991, se han reunido datos hidrológicos y mediciones del balance de masa del glaciar de Zongo, en la Cordillera Real de Bolivia. Se trata de un glaciar de 2.1 km² situado dentro de una cuenca de 3 km². Los escurrimientos presentan una fuerte variabilidad estacional, con valores importantes durante la estación de lluvias y valores muy bajos en julio y agosto. Estos resultados se deben a que la estación de lluvias es también la estación más cálida y presenta los valores más altos de radiación solar que llegan al límite de la atmósfera. La comparación de los balances hidrológicos y glaciológicos muestra que la sublimación es débil, comparada con el derretimiento, en el valor de la ablación total. Desde 1973, datos hidrométricos permiten obtener 20 años de escurrimiento del glaciar. En esta serie, los escurrimientos más fuertes son la consecuencia de los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation) de 1982, 1987 y 1991.

ABSTRACT

Mass balance measurements and hydrological data are obtained since 1991 from the glacier of Zongo, in the Cordillera Real of Bolivia. This glacier has an area of 2.1 km², in a 3 km² catchment. The runoff is characterized by a large seasonal variability, with the highest rates during the rainfall season, and very small values in July and August. Reasons are to be found in the large amount of solar radiation coming from the limit of the atmosphere and in the high temperatures during the rainfall season. The comparison of glaciological and hydrological balances shows the small rate of the sublimation, compared with meltwater in the ablation amount. Hydrometrical data since 1973 allow to reconstruct 20 years of the glacier runoff. The largest monthly discharges appear after the ENSO events of 1982, 1987 and 1991.

INTRODUCCION

El recurso en agua procedente de los glaciares es de gran importancia para las zonas situadas al pie de los Andes; sin embargo, ha sido poco estudiado. Los procesos hidrológicos que corresponden a glaciares de la zona temperada son bastante bien conocidos (Young, 1985), pero son diferentes a los de los glaciares de latitudes bajas, debido a la especificidad del clima tropical: fuerte variabilidad estacional de las precipitaciones, gran cantidad de energía solar recibida que conduce a valores relativamente altos de radiación y de temperatura; la coincidencia de la estación de las lluvias, donde se produce la acumulación, y de la estación cálida con ablación máxima, vuelve compleja la interpretación de los balances (Kaser *et al.*, 1990).

Desde 1991, se realiza un estudio glaciológico e hidrológico en la Cordillera Real, parte de la Cordillera Oriental de Bolivia. Este trabajo completa el trabajo de inventario de los glaciares bolivianos llevado a cabo por Jordan (1991). El principal glaciar estudiado es el glaciar de Zongo, en el macizo del Huayna Potosí. Es un glaciar de 2.1 km², en una cuenca de drenaje de 3 km² (Fig. 1), que pertenece a la cuenca amazónica de los Andes. Se extiende sobre una vertiente, de sur a este, entre 6.000 y 4.890 m.

Las primeras observaciones glaciológicas (Franco *et al.*, a publicarse) e hidrológicas (Ribstein *et al.*, a publicarse) están en curso de publicación. En el presente artículo, recordaremos los principales resultados insistiendo sobre la interpretación de la serie reconstituida de 20 años de balances hidrológicos.

BALANCE DE MASA DEL GLACIAR

Un glaciar es una masa de hielo que se alimenta de agua sólida, transforma esta agua en hielo y la restituye en forma líquida (caudal río abajo del glaciar) y en forma de vapor (sublimación/evaporación). A escala anual, la alimentación predomina en la región alta del glaciar (zona de acumulación), mientras que la ablación es dominante en la región baja (zona de ablación). La línea de paso entre las dos zonas es denominada ELA ("Equilibrium Line Altitude").

La ELA se ubica en promedio alrededor de los 5200 m en el glaciar de Zongo. El balance de masa es estudiado a partir de 15 balizas repartidas sobre la zona de ablación. Tres balizas son situadas en zona de acumulación a 5.600 m. El dispositivo glaciológico es completado por algunas mediciones de acumulación y de densidad en grietas y pozos. Las balizas de la zona de ablación son leídas cada mes, al mismo tiempo que 5 pluviómetros totalizadores de 2.000 cm² de diámetro permitiendo una buena estimación de las precipitaciones entre 5.200 m y 4.800 m.

El año hidrológico comienza en septiembre. Dos años hidrológicos completos de observación permiten sacar algunas conclusiones válidas al nivel de los glaciares de la Cordillera Real de Bolivia. El primer año 1991-1992 se caracterizó por una situación ENSO (El Niño-Southern Oscillation), que en los Andes centrales está asociada a un déficit pluviométrico y a una desviación positiva de las temperaturas (Thompson *et al.*, 1984; Franco y Pizarro, 1985; Tapley y Waylen, 1990). En la estación de la Plataforma de Zongo (4.770 m de altura, al pie del glaciar), se observaron 686 mm de precipitación en 1991-1992, lo que representa un 77% del promedio interanual (886 mm) correspondiente al período 1970-1993. Este déficit es particularmente marcado a partir del mes de marzo. En la estación de El Alto (4.071 m de altura, 30 km del glaciar), próximo a La Paz, la temperatura media fue

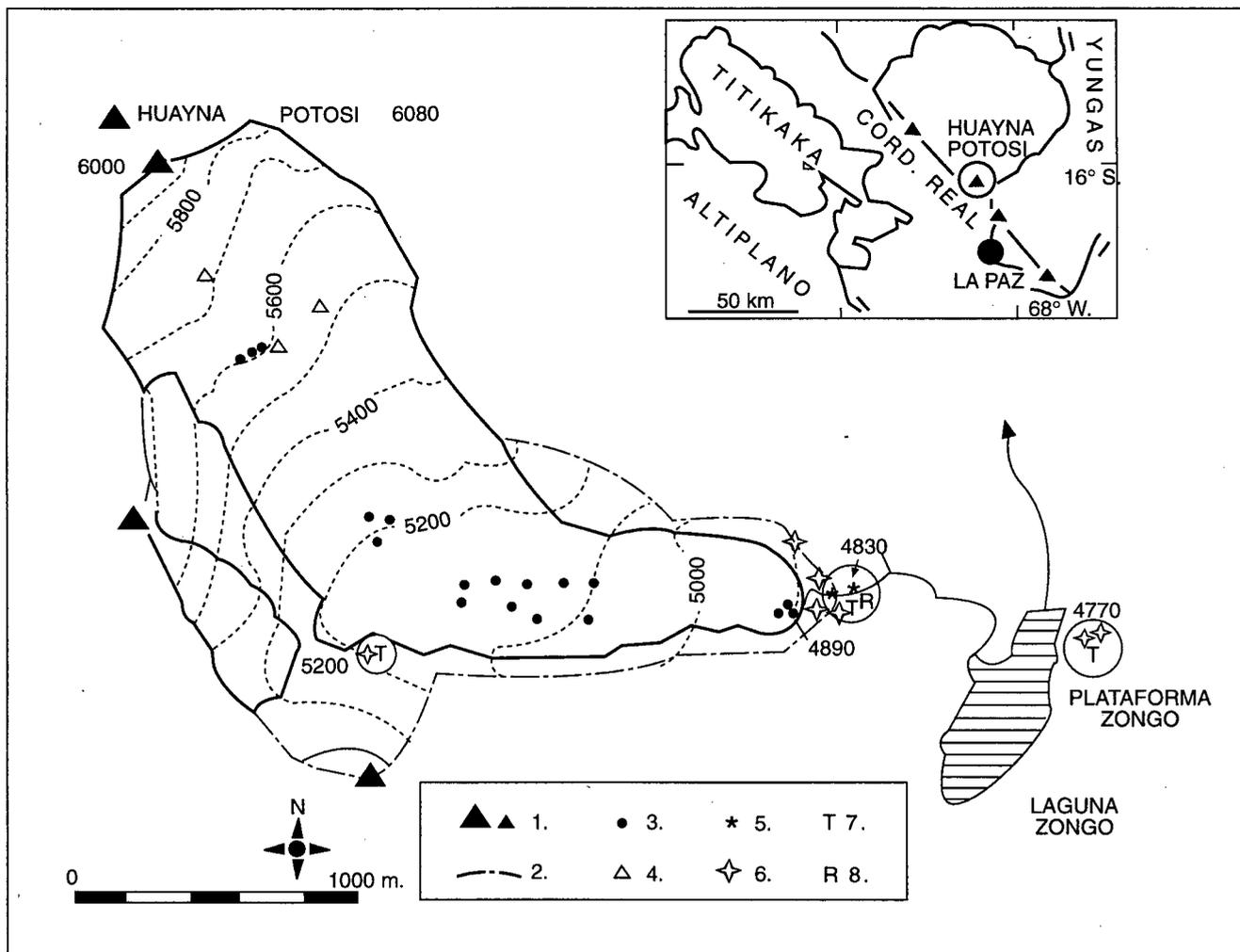


Fig. 1: Posición de los diferentes equipos en el Glaciar de Zongo. 1: Cumbre, 2: Límite de cuenca, 3: baliza de balance, 4: sondeo en la zona de acumulación, 5: estación hidrométrica, 6: pluviómetro totalizador, 7: termógrafo, 8: piranómetro.

de 6.7°C, valor muy próximo al promedio interanual desde 1970, pero hubo una desviación positiva importante de las temperaturas de diciembre a junio (Cuadro 1). En 1992-1993, los valores de temperatura y de precipitación están próximos a los valores medios en las estaciones de referencia. El promedio de los valores en los pluviómetros totalizadores (916 mm en 1991-92, 1.060 mm en 1992-93) muestra que el glaciar recibe aproximadamente 20% más de lluvia de lo que se mide en la estación Zongo, o sea un promedio interanual de aproximadamente 1.100 mm, precipitado a nivel de la ELA.

La Fig. 2 representa la evolución mensual de las precipitaciones (promedio de los pluviómetros totalizadores), de la ablación (precipitación menos el balance medio que se mide en las balizas) y de los caudales observados río abajo. Como se puede notar en esta figura, la ablación y los caudales son mucho más fuertes el primer año que el segundo. Esto se debe a que durante la estación de lluvias 1991-92 las temperaturas eran más elevadas y había menos precipitaciones, por lo tanto, más radiación solar que llega sobre el glaciar debido a la disminución de la nubosidad.

El carácter estacional de la ablación es muy marcado, con fuertes valores (balances muy negativos) de octubre a diciembre y, el primer año, de marzo a mayo. Los valores de ablación de junio a agosto son muy bajos e incluso hay una acumulación (precipitación superior a ablación) en agosto debido a importantes caídas de nieve. Esta estacionalidad se explica primero por la radiación al límite de la atmósfera que presenta un máximo en diciembre y un mínimo en junio (Cuadro 1). La estación real de acumulación es muy corta, en enero y febrero principalmente.

Integrando sobre el conjunto de la superficie del glaciar las mediciones de balance realizadas en las balizas, se puede calcular el balance neto del año. Los resultados son de -1.38 m de agua para el año 1991-92 y de +0.02 m de agua para 1992-93. Los valores del balance en función de la altura permiten determinar la posición de la ELA: está situada a 5.300 m el primer año y a 5.100 m el segundo.

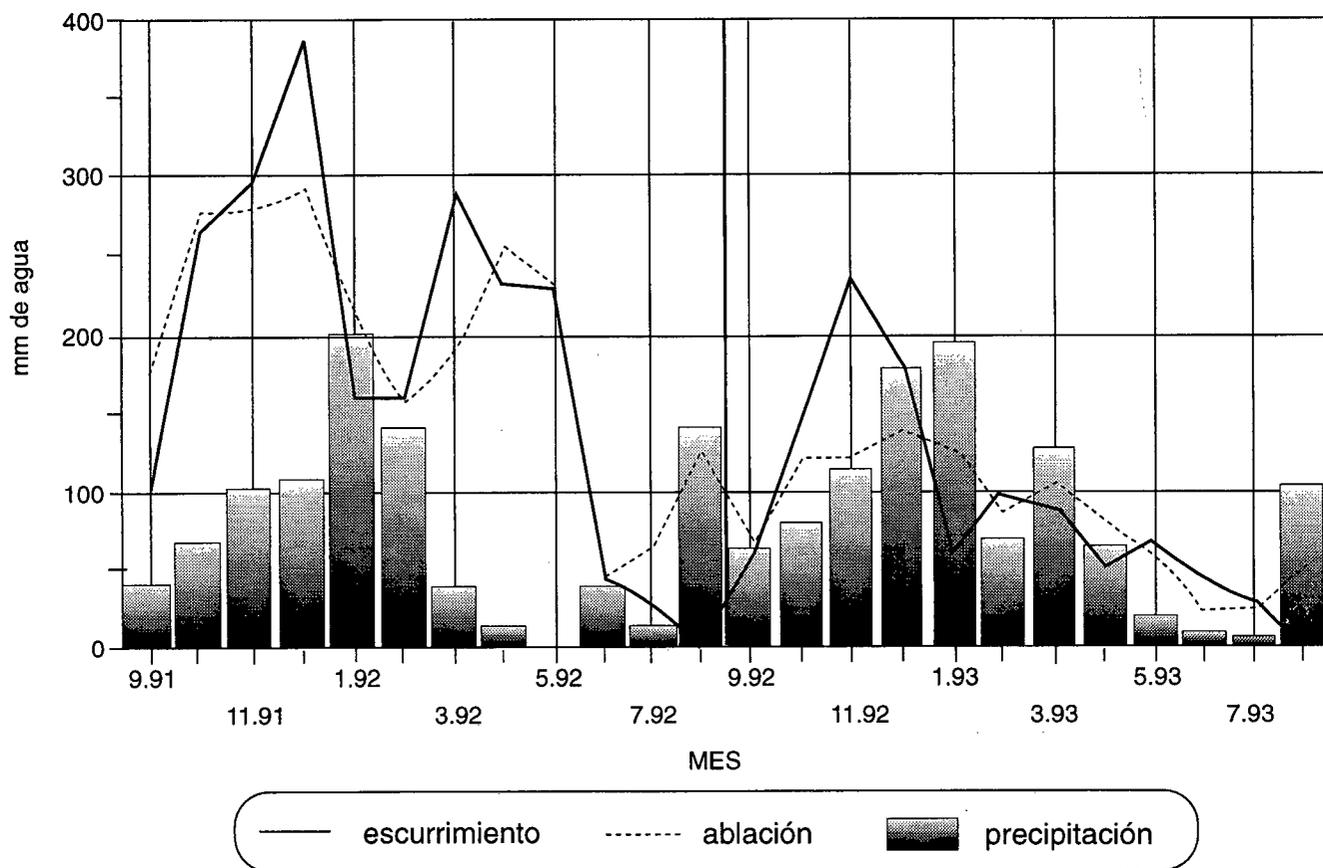


Fig. 2: Precipitación, Escurrimiento y Ablación total en el Glaciar de Zongo (septiembre 1991-agosto 1993). La ablación total se calcula por la precipitación en el glaciar menos el balance medio que se mide en las balizas integrado sobre el conjunto de la superficie del glaciar.

BALANCE HIDROLOGICO

La estación hidrométrica principal está situada a 4.830 m de altura y a 300 m de distancia del frente del glaciar. Las zonas fuera del glaciar principal presentan una superficie total de 0.9 km², o sea 23% de la superficie total de la cuenca de drenaje, y están compuestas esencialmente de morrenas y acantilados rocosos. El equipo hidrométrico comprende un limnógrafo para registrar las variaciones de nivel de agua y un vertedero triangular que permite una transformación inmediata de los niveles en caudales.

Los resultados hidrológicos confirman los resultados glaciológicos: la simultaneidad de los períodos de acumulación y de derretimiento y la alta diferencia entre los dos años (ver Fig. 2).

El volumen anual escurrido fue, el año ENSO 1991-92, de 5.38×10^6 m³, y el del segundo año de 3.24×10^6 m³. Los caudales máximos instantáneos son importantes, ya que se observó 1.07 m³/seg. en diciembre de 1992. Los caudales más fuertes no están relacionados a precipitaciones fuertes, pero en cambio aparecen durante períodos bastante secos, con un cielo claro y una fuerte radiación solar.

La comparación de las precipitaciones y de los escurrimientos río abajo del glaciar subrayan el carácter regulador de la masa de hielo. Antes de que la estación de lluvias comience realmente, aparecen caudales importantes en octubre y noviembre; y los escurrimientos siguen siendo importantes mientras que las lluvias son débiles de marzo a mayo. Al centro de la estación de lluvias los coeficientes de variación de los escurrimientos diarios de un glaciar son mucho más bajos que los de una cuenca de drenaje pluvial con la misma superficie y sometida al mismo régimen de precipitación, como ya lo habían mostrado Fountain y Tangborn (1985) sobre los glaciares del hemisferio norte.

Partiendo de la hipótesis de un coeficiente de escurrimiento fuera del glaciar de 0.8, se obtiene, para las precipitaciones observadas, el volumen escurrido que no concierne al glaciar: 0.66×10^6 m³ en 1991-92 y 0.76×10^6 m³ en 1992-93. La diferencia con el volumen anual escurrido, reducido al 2.1 km² del glaciar, proporciona el espesor de agua sacado por el derretimiento en toda la área del glaciar: 2.25 m el primer año, 1.18 m el segundo. Estos valores deben compararse con los

CUADRO 1

VALORES MENSUALES DEL ESCURRIMIENTO DE 1991 A 1993, DEL ESCURRIMIENTO PROMEDIO DESDE 1973, DE LA RADIACIÓN SOLAR AL LÍMITE DE LA ATMÓSFERA, DE LA TEMPERATURA DE 1991 A 1993 Y DE LA TEMPERATURA MEDIA DESDE 1970 EN LA ESTACIÓN DE EL ALTO.

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	An
E (91-92)	88.1	230	274	342	192	185	243	194	179	52.7	28.2	32.8	170.1
E (92-93)	67.8	152	234	201	114	114	116	66.8	65.1	42.2	29.2	31.2	102.8
E medio	81.9	159	244	239	197	201	184	137	94.2	56.7	40.2	49.4	140.3
Ho	404	439	456	460	458	448	422	377	334	312	321	358	399
T (91-92)	5.8	7.6	8.0	8.6	7.6	7.8	7.8	7.6	7.1	5.0	3.8	4.0	6.7
T (92-93)	6.3	7.5	8.1	8.5	7.2	7.9	7.2	7.3	6.3	4.5	4.2	4.7	6.6
T media	6.3	7.7	8.4	8.1	7.5	7.5	7.5	7.0	5.8	4.1	3.8	5.0	6.6

E: escurrimiento en l/s¹; Ho: radiación solar que llega al límite de la atmósfera (Wm⁻²); T: temperatura en grados Celsius en la estación de El Alto.

valores del balance neto del año, con la ecuación:

$$\text{balance neto} = \text{precipitación} - \text{ablación} = \text{precipitación} - \text{sublimación} - \text{derretimiento}$$

Con -1.38 m de balance neto para 0.916 m de precipitación, se obtiene una ablación total de 2.30 m en 1991-92. Comparando este valor a los 2.25 m de derretimiento, se deduce que la sublimación fue despreciable en relación al derretimiento. Este resultado está confirmado en 1992-93, incluso si la sublimación es demasiado débil, en relación a la precisión del cálculo, para ser deducida del simple balance hidrológico. Hastenrath (1978) ya había notado valores bajos de sublimación sobre el casquete de Quelccaya en Perú.

VEINTE AÑOS DE ESCURRIMIENTO DEL GLACIAR

Para la gestión de las centrales hidroeléctricas situadas aguas abajo del glaciar y que pertenecen a la COBEE (Compañía Boliviana de Energía Eléctrica), se hacen dos lecturas diarias del nivel del agua del torrente emisario del glaciar, en una estación ubicada aguas arriba del laguna Zongo.

Los caudales diarios obtenidos por un modelo a partir de las dos lecturas diarias presentan un coeficiente de correlación de 0.95 (600 observaciones) con los caudales diarios observados en la estación hidrométrica de 1991 a 1993. Como las observaciones de nivel de agua existen desde 1973, se pudo obtener una serie de 20 años de escurrimiento del glaciar. El cálculo de los caudales se hizo a nivel diario, pero los valores son utilizados a nivel mensual. Para llenar las lagunas y aumentar así el número de años con información, fue utilizada una correlación a nivel mensual entre los escurrimientos y las temperaturas medias en la estación de El Alto (coeficiente de correlación $r=0.85$; 226 observaciones). Solamente para 14 meses se obtuvo la información de esta manera, de un conjunto de 240 meses de escurrimientos del glaciar.

La Fig. 3 presenta la serie de escurrimientos obtenidos de esta manera, con las temperaturas medias de la estación de El Alto y los valores del índice de oscilación del sur (IOS). Estos tres parámetros están representados en medias móviles sobre 12 meses, con el objeto de atenuar la variabilidad estacional. Los caudales más fuertes aparecen en el transcurso de los períodos más calientes, que corresponden a los acontecimientos ENSO (1982, 1987, 1991), caracterizados por IOS fuertemente negativos (diferencia de presión entre Tahiti y Darwin, en valores centrados reducidos). Pero el análisis de la Fig. 3 muestra que el desfase entre los puntos de escurrimiento y los IOS más negativos es variable: es superior a un año en 1987-88, mientras hubo un desfase muy bajo en 1991-92.

El ENSO de 1982-83 ha sido el más fuerte observado y ha producido los escurrimientos más importantes del glaciar, correspondiendo a temperaturas a menudo superiores de más de dos veces a la desviación estándar de las temperaturas medias mensuales en la estación El Alto.

El ENSO de 1977 es mucho menos marcado, pero se debe observar que el período 1976-1978 presenta muchas lagunas de observaciones de los niveles de agua y los valores mensuales han sido pues obtenidos a partir de las temperaturas medias mensuales de la estación de El Alto.

En fin, la serie de 20 años de escurrimiento nos permite situar los escurrimientos observados de 1991 a 1993 en relación a los

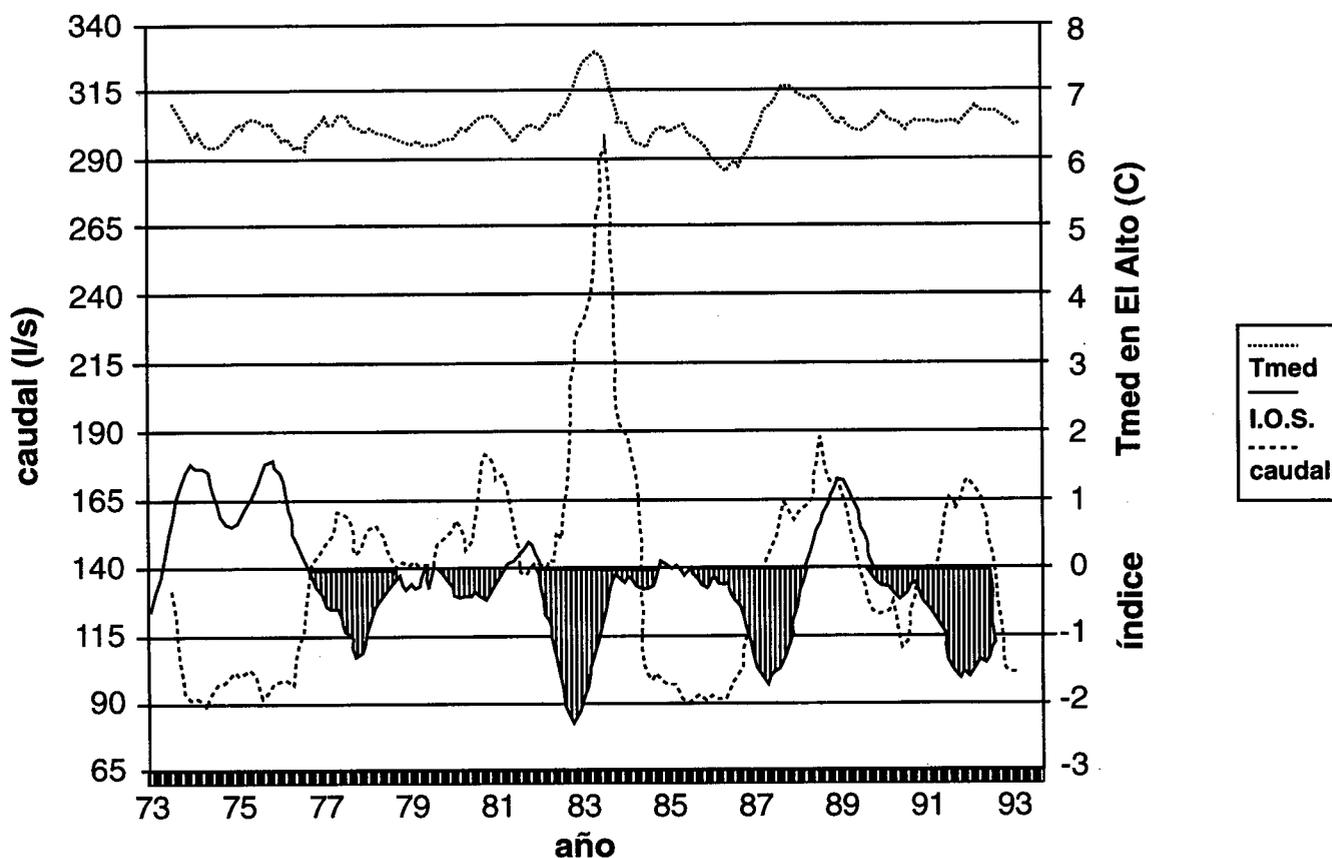


Fig. 3: Medias móviles sobre 12 meses del caudal del glaciar (serie obtenida por cálculo), del Índice de Oscilación del Sur - IOS- (eventos ENSO con áreas rayadas) y de la temperatura media en la estación de El Alto.

promedios mensuales (Cuadro 1). En el transcurso del episodio ENSO de 1991, los escurrimientos fueron particularmente fuertes en diciembre y de marzo a mayo. En cambio, de 1992 a 1993, los déficits más importantes aparecen de enero a abril. En promedio, los caudales más elevados aparecen en noviembre, mientras que la radiación ya es fuerte y poco atenuada por la nubosidad pues la estación de las lluvias aún no ha llegado.

CONCLUSION

Por primera vez, resultados hidrológicos y glaciológicos permiten analizar el funcionamiento de glaciares en la parte central de los Andes. Existe simultaneidad del período de acumulación (estación de lluvias) y del período de ablación (estación caliente), incluso si los escurrimientos más fuertes tienen tendencia a aparecer en noviembre-diciembre, justo antes de los meses más lluviosos (enero-febrero). La sublimación parece ser poco importante en relación al derretimiento de la nieve y del hielo. En fin, valores fuertemente negativos del índice de oscilación del sur, que definen acontecimientos ENSO, están unidos a una desviación positiva de las temperaturas y a escurrimientos significativamente más importantes del glaciar.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio pudo ser realizado gracias al apoyo logístico proporcionado por la COBEE (Compañía Boliviana de Energía Eléctrica) y a la participación de F. Quispe, R. Vargas y R. Saravia. Los autores agradecen también a E. Tiriau por su importante contribución en el trabajo de terreno y en el análisis de datos.

REFERENCIAS

Fountain, A.G. y Tangborn, W.V., 1985. The effect of glaciers on streamflow variations. *Water Resources Research* 21(4): 579-586.

Francou, B. y Pizarro, L., 1985. El Niño y la sequía en los Altos Andes Centrales (Perú y Bolivia). *Bull. I.F.E.A.* 14 (1-2): 1-18.

Francou, B., Ribstein, P., Saravia, R. y Tiriau, E., a publicarse. Month balance and water discharge on an intertropical glacier:

the glacier of Zongo, Cordillera Real, Bolivia, 16°S. Submitted to Journal of Glaciology.

Hastenrath, S., 1978. Heat-budget measurements on the Quelccaya Ice Cap, Peruvian Andes. *Journal of Glaciology* 20(82): 85-97.

Jordan, E., 1991. *Die Gletscher der bolivianischen Anden*. Stuttgart, Franz Steiner Verlag: p. 1-365.

Kaser, G., Ames, A. y Zamora, M., 1990. Glacier fluctuations and climate in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology* 14: 136-140.

Ribstein, P., Tiriau, E., Francou, B. y Saravia, R., a publicarse. Tropical climate and glacier hydrology: a case study in Bolivia. Submitted to *Journal of Hydrology*.

Tapley, T.D. y Waylen, P.R., 1990. Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Peru. *Hydrological Sciences Journal* 35(4): 429-446.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E. y Morales-Arno, B., 1984. El Niño-Southern oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 226: 50-52.

Young, G.J. 1985. Overview. In: G.J. Young (Eds.), *Techniques for predictions of runoff from glacierized areas*. International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Wallingford, Publ. N° 149: 3-23.

GEOQUIMICA DE AGUAS EN EL ALTIPLANO. UNA APROXIMACION

HUGO ALONSO C.

DEPTO. DE QUIMICA, UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, ANTOFAGASTA.

RESUMEN

Las aguas del Altiplano y Precordillera presentan un amplio rango en su composición química que va desde la propia a fusión de nieves hasta salmueras. Los principales procesos que tienden a salinizarla son la evaporación, producto de un clima muy árido que puede conducir hasta depositación de sales (salares), el volcanismo Plioceno-Cuaternario a través de la interacción agua/roca volcánica y, en menor grado, la mezcla con fluidos magmáticos. La meteorización de rocas como fuente principal de sólidos se realiza a alta y baja temperatura, alteración meteórica e hidrotermal, respectivamente.

ABSTRACT

Waters from Altiplano and Precordillera present a huge range in their chemical composition, covering from melted snow to brines. The main processes which tend to increase water salinity are evaporation, as a consequence of this highly arid climate and which may contribute to salt deposits (salars), Pliocene-Quaternary volcanism through water-volcanic rocks interaction and, in a lower degree, the mixture with magmatic fluids. The weathering of rocks as principal source of solutes take place at high and low temperatures, meteoric and hydrothermal alteration, respectively.

INTRODUCCION

Hay dos acepciones que se utilizan en nuestro país para el término Altiplano. Una es geológica y otra ecológica.

En su acepción geológica el Altiplano es una extensa unidad morfoestructural que ocupa el NE de Chile, SE de Perú, NO de Argentina y mitad occidental de Bolivia conformando una gran cuenca de 200.000 km² y de 4.100 a 4.600 m de altura. Se encuentra flanqueado por dos cordilleras, denominadas en Bolivia como Cordillera Oriental y Cordillera Occidental, correspondiendo esta última a la Cordillera de los Andes en Chile. Las rocas son volcánicas, intrusivas y sedimentarias con edades desde el Paleozoico al Cuaternario. El material predominante son ignimbritas sobre las cuales se ha sobrepuesto aparatos volcánicos del Plioceno-Cuaternario, los que, junto a eventos tectónicos, originaron cuencas donde se implantan lagunas y salares. El volcanismo en el borde occidental ha sido muy intenso, presentando manifestaciones actuales como fumarolas, geysers y vertientes termales.

El concepto de Altiplano en una acepción ecológica corriente, se utiliza para referirse al área geográfica, particularmente precordillerana, donde ocurren formas de vida estable ligadas en distintas maneras a etnias indígenas. Para efectos de este trabajo se utilizará el término Altiplano en su acepción geológica y Precordillera para la ecológica.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS Y SUS CAUSAS.

La composición química de las aguas del Altiplano y Precordillera es muy variada, en un rango de calidad que va desde la propia a fusión de nieves hasta salmueras, predominando un carácter salino que limita su aptitud de uso (Alonso y Vargas, 1985, 1988). A ello se agrega la presencia por sobre normas internacionales, de elementos contaminantes, como Arsénico en agua potable y Boro en riego (Alonso, 1992).

Dos agentes principales condicionan su carácter químico: clima árido y volcanismo.

Clima. Las precipitaciones ocurren desde Diciembre a Marzo con valores que en Bolivia van desde 150 a 500 mm, disminuyendo hacia el sur; y en el Altiplano de la II Región, de 200-250 mm anuales, disminuyendo hacia el oeste con el descenso de altura. La evapotranspiración potencial es mayor que la pluviometría, informándose en Bolivia valores entre 1.000 a 1.500 mm/año, lo que origina una alta evaporación. La temperatura en invierno desciende hasta -30°C y presenta variaciones diarias de hasta 35°C.

Volcanismo. El Norte de Chile entre los 17° 30' y 28° 30' S (Arica a Vallenar) tiene una superficie aproximada de 225.000 km² de la cual 35.000 km² son de rocas volcánicas cuaternarias (Fig.1). A ello se agrega la presencia de unos 420 centros volcánicos, varios de ellos en cierto grado de actividad. Manifestaciones de volcanismo reciente son las surgencias de aguas termales, geysers y fumarolas.

GEOQUIMICA DE AGUAS EN ZONAS VOLCANICAS.

En zonas, como el Altiplano, donde interactúan variados agentes y procesos salinizantes no ha sido fácil identificar la parte que corresponde al volcanismo en la composición química de aguas. Dado que la principal característica de un área volcánica es el flujo de calor, un criterio sería considerar su mayor temperatura respecto a un valor de fondo (2 a 5°C sobre la media anual).

Una aproximación a los mecanismos químicos involucrados se ha hecho por dos vías. Una experimental, lixiviando rocas en

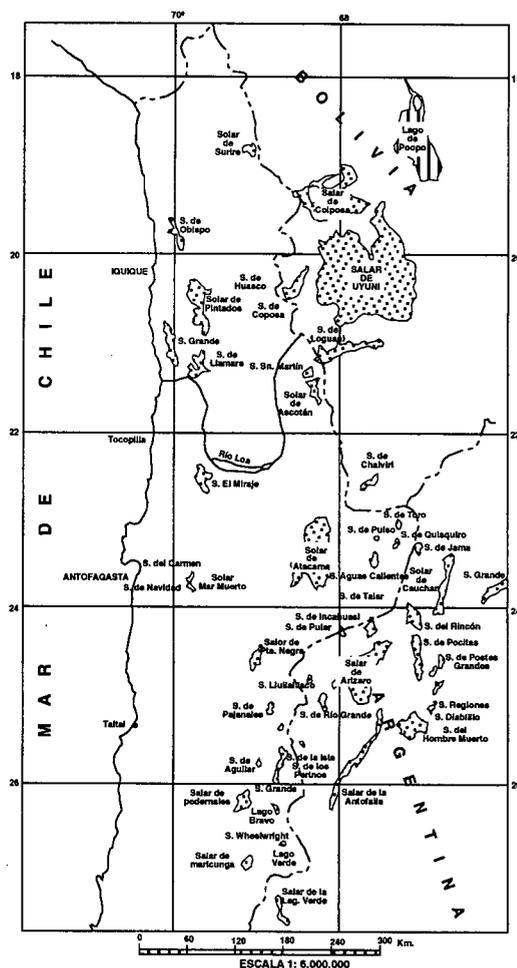
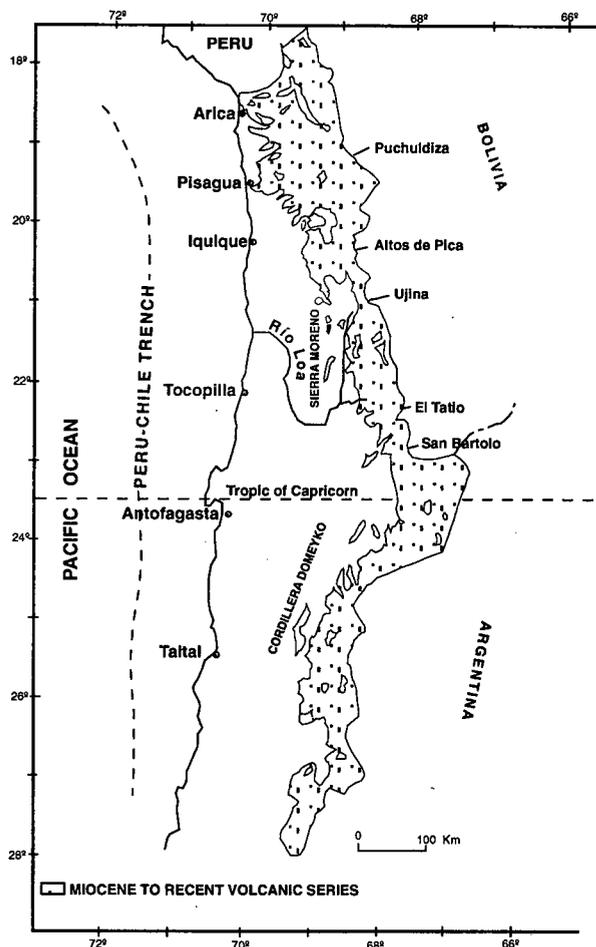


Fig. 1. Volcanismo del Plioceno al Cuaternario en los Andes del Norte de Chile (Lahsen, 1982)

Fig. 2. Mapa de Ubicación de los depósitos salinos del norte de Chile, sur-oeste de Bolivia y nor-oeste de Argentina (Vila, 1975)

distintas condiciones operativas, en especial diferentes temperaturas (Ellis y Mahon, 1964; Ewers, 1977; Seyfred y Bischoff, 1979). Otra, estudiando sistemas geotermales entre los cuales cabe mencionar por su interés para Chile, los trabajos en El Tatio, II Región (Cusicanqui *et al.*, 1975; Gigenbach, 1978) y en Puchuldiza en la I Región (Mahon y Cusicanqui, 1980).

De los resultados experimentales y de campo, puede deducirse lo siguiente:

- a) Los solutos provienen mayoritariamente de alteración de rocas volcánicas por reacción con agua a alta y baja temperatura, alteración meteórica e hidrotermal respectivamente. Ello es válido para componentes mayores (Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloruros y Sulfatos) como menores (Litio, Rubidio, Fluor, Boro). Si bien estos últimos tienden a concentrarse en el fundido residual durante la cristalización magmática, lo que induciría a postular un origen profundo, su alto contenido en rocas como las riolitas, abundantes en el Norte de Chile, favorece su fuente desde ellas.
- b) La contribución de fluidos derivados de un cuerpo magmático profundo puede estimarse escasa, del orden del 5-10%. La transferencia de solutos desde el fluido denso que asciende hacia el agua meteórica que desciende, ocurriría a una profundidad en la cual la presión de vapor de la fase magmática igualaría la presión hidrostática del agua. La mezcla resultante continúa su interacción con la roca en su movimiento subterráneo. Estos procesos se ven favorecidos por fracturamientos tectónicos que facilitan el movimiento de fluidos.

PROCESOS DE SALINIZACION EN CUENCAS CERRADAS.

En el Altiplano y Precordillera existen numerosas cuencas cerradas con superficie variable, desde unos pocos hasta varios miles de km² (Fig. 2) y en cuya parte más baja se ubican lagunas y salares que pueden tener una compleja historia geoquímica. La sucesión de eventos de precipitación de sales en períodos geológicos secos y de su redisolución en épocas húmedas, entre los cuales se intercalan frecuentemente episodios volcánicos, se reflejan en la columna estratigráfica. En ésta suele encontrarse estratas salinas a distintas profundidades que constituyen fuentes de solutos, en especial para aguas subterráneas.

La salinización de aguas en estas cuencas es producto de dos mecanismos. Uno es el de incorporación de solutos como consecuencia de reacciones químicas de alteración de rocas. Otro, posterior, es el de su concentración por evaporación que puede llegar hasta la precipitación de sales. Para ambos procesos se ha propuesto diversos modelos físico-químicos cuyos resultados se comparan con observaciones de terreno (Garrels y Mackenzie, 1967; Hardie y Eugster, 1970; Al Droubi, 1976; Risacher y Fritz, 1991).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La composición química de las aguas del Altiplano y las que de allí drenan superficial y subterráneamente hacia la Precordillera, es producto de variadas causas. Sobre la composición original de las precipitaciones va superimponiéndose una serie de procesos que la enriquecen en solutos, tales como alteración meteórica e hidrotermal de rocas, posible mezcla con fluidos magmáticos, redisolución de antiguas evaporitas y concentración de sales por evaporación. No todos estos procesos ocurren forzosamente en un lugar o con igual intensidad.

Considerando las fluctuaciones del ciclo hidrológico, la información hidroquímica es válida sólo para las condiciones de la toma de muestra. El carácter químico más probable de una corriente o laguna es el resultado estadístico de un número adecuado de medidas, lo que obliga a un seguimiento suficiente en el tiempo y su relación con variables meteorológicas y eventualmente con manifestaciones de volcanismo eruptivo. El muestreo de sedimentos de drenaje e identificación de sales asociadas, debe ser incluido dentro de lo posible, ya que actúan como integradores de esas fluctuaciones.

REFERENCIAS.

- Al-Droubi, A., 1976. Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Mémoire Sc. Géologiques. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 176 p.
- Alonso, H., 1992. Arsenic enrichment in superficial Waters, II Región, Northern Chile. Int. Seminar Arsenic in the Environment and its Incidence on Health, Proceeding, pp. 101-108.
- Alonso, H., y Vargas, L., 1985. Hidroquímica de poblados del Salar de Atacama. VI Cong. Chileno Ing. Sanitaria y Ambiental. VI, pp. 39-55.
- Alonso, H., y Vargas, L., 1988. Hidrogeoquímica de lagunas del Altiplano, Segunda Región. V. Cong. Geológico Chileno, V. 2, pp. D35-D43.
- Cusicanqui, H., Mahon, W., y Ellis, A., 1975. The geochemistry of the El Tatio Geothermal Field, Northern Chile. Proceeding UN Symposium on Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, CA.
- Ellis, A. y Mahon, W., 1964. Natural hydrothermal system and experimental hot-water/rock interactions. Geochim. Cosmochim. Acta, V. 28, pp. 1323-1357.
- Ewers, G.R., 1977. Experimental water-rock interactions and their significance to natural hydrothermal systems in New Zealand. Geochim. Cosmochim Acta, V. 41, pp. 143-150.
- Garrels, R., y Mackenzie, F., 1967. Origin of the chemical compositions of some spring and lakes. Equilibrium Concepts in Natural Water System. Am. Chem. Soc., pp. 222-242.
- Giggenbach, W., 1978. The isotopic composition of waters from the El Tatio geothermal field, Northern Chile. Geochim Cosmochim Acta, V. 42, pp. 979-988.
- Hardie, L. A y Eugster R. H., 1970. The evolution of closed-basin brines. Mineral Soc. Amer. Spec. Publ., V. 3, pp. 273-240.
- Mahon, W. y Cusicanqui, H., 1980. Geochemistry of the Puchuldiza and Tuja hot spring, Chile. New Zealand J. of Science, V. 23, pp. 149-159.
- Risacher F., y Fritz B., 1991. Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solutes and brine evolution. Geochim. Cosmochim Acta., V. 55, pp. 687-705.
- Seyfried, W. E. y Bischoff, 1979. Low temperature basalt alteration by seawater: an experimental study at 70°C y 150°C Geochim. Cosmochim Acta, V. 43, pp. 1937-1947.

EXPOSICION AL ARSENICO DE LA POBLACION ATACAMEÑA

SANCHA, A.M., VEGA, F., FUENTES, S., VENTURINO, H., BARON, A.M., MORENO, V., SALAZAR, A.M.

DEPARTAMENTO EN INGENIERIA CIVIL, FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE,
CASILLA 228-3, SANTIAGO CHILE

RESUMEN

El propósito del estudio fue cuantificar la presencia de arsénico en el agua utilizada por la población atacameña; determinar los niveles de Arsénico total y Arsénico inorgánico en orina y detectar lesiones dérmicas atribuibles a la ingestión de Arsénico. De los 2979 habitantes residentes en 13 pueblos atacameños, 761 participaron voluntariamente en el estudio. Se determinó la concentración de arsénico en las fuentes de agua de la población y este antecedente se usó para clasificar la población en tres grupos de acuerdo al nivel de arsénico del agua de consumo: elevado (300 - 800 µg/L), moderado (100 - 300 µg/L) y bajo (2 - 100 µg/L). Los tres grupos son similares respecto a dieta, estilos de vida y características socio-demográficas. La concentración media de arsénico inorgánico y metabolitos excretados por los tres grupos fue 427 µg/L, 192 µg/L, y 96 µg/L, respectivamente. La prevalencia de lesiones cutáneas (hiperpigmentación) para cada uno de los tres grupos resultó ser 20,6%, 13,3% y 6,3%. Se observó una clara relación exposición-respuesta entre concentración de As en el agua de consumo y frecuencia de lesiones dérmicas. La escasez de efectos observados en la salud de la población atacameña puede ser explicada por diferencias en la susceptibilidad a los efectos del As debido a una mayor capacidad de detoxificación por metilación que puede estar influenciada por factores genéticos, dietéticos o de estilo de vida.

ABSTRACT

The purpose of the study was to determine the levels of total and inorganic As in urine and to detect skin lesions attributable to Arsenic ingestion. Of the 3,000 inhabitants residing in 13 settlements, 761 participated voluntarily in the study. The As concentration was determined in surface water sources in the area, which was used to classify the population in three groups, according to the level of As in the water supply: high (300-800 µg/L), medium (100-300 µg/L) and low (< 100 µg/L). The three groups are similar with respect to diet, lifestyle and sociodemographic characteristics. The mean urinary concentrations of inorganic arsenic and metabolites excreted by the three groups were 427 µg/L, 192 µg/L and 96 µg/L, respectively. The most frequent adverse skin effect was hyperpigmentation with a clear exposure - response relationship between Arsenic concentration in drinking water and the frequency of this dermal lesion. The prevalence of cutaneous lesions for each of the three groups is 20.6%, 13.3% and 6.3% respectively. The paucity of observed health effects may be explained by the difference in atacameñan susceptibility to effects of As due to increased detoxification of Arsenic by methylation which may be influenced by genetic or dietary and other lifestyle factors.

INTRODUCCION

Los pueblos de Ayquina, Camar, Caspana, Cupo, Chiu-Chiu, Lasana, Peine, Río Grande, San Pedro de Atacama, Socaire, Talabre, Toconao y Toconce se sitúan en una zona cuyos suelos y recursos hídricos están naturalmente contaminados con arsénico.

La bibliografía clásica señala que la ingestión de aguas contaminadas con Arsénico se asocia con trastornos cardiovasculares y efectos adversos en la piel incluyendo hiperqueratosis e hiperpigmentación y en algunos casos cáncer de piel. Recientemente la ingestión de Arsénico se ha asociado también a cáncer de riñón, vejiga, hígado y pulmón (Smith *et al.*, 1992).

Durante los años 1989 - 1991 la Universidad de Chile, en conjunto con el Instituto de Salud Pública, desarrolló en la zona atacameña un proyecto de investigación con apoyo del International Development Research Centre de Canadá cuyo objetivo, entre otros, fue evaluar la exposición al Arsénico de la población atacameña.

El principal mecanismo de contaminación natural con Arsénico, en esta zona, es el proceso de solubilización de los materiales geoquímicos de origen volcánico, constituyendo el agua el principal medio de transporte del tóxico, llegando por esta vía al ser humano y a los alimentos que se producen en la zona.

METODOLOGIA

I. ETAPAS DEL PROYECTO

- i) Estudio del conocimiento, actitudes y prácticas de la población atacameña respecto a fuentes de agua y alimentación. Este estudio se hizo a través de encuestas a 642 familias atacameñas que entregaron información sobre:
 - Características de la población atacameña para determinar la composición de la muestra del estudio clínico.
 - Fuentes de agua y dieta alimenticia de la población atacameña para seleccionar las muestras de agua, vegetales y suelos.
- ii) Determinación de presencia de Arsénico en el ambiente atacameño: agua, suelos y alimentos.

Las muestras de agua fueron preservadas con HCl bajo refrigeración a 4°C y las muestras de vegetales fueron almacenadas a -20°C.

TABLA 1.
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACION ATACAMEÑA

PUEBLO	NUMERO DE HABITANTES					
	HOMBRES		MUJERES		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
Ayquina	50	1,68	51	1,71	101	3,39
Camar	43	1,44	48	1,61	91	3,05
Caspana	132	4,43	142	4,77	274	9,20
Cupo	16	0,54	21	0,70	37	1,24
Chiu-Chiu	133	4,46	114	3,83	247	8,29
Lasana	79	2,65	68	2,28	147	4,93
Peine	101	3,39	95	3,19	196	6,58
Río Grande	36	1,21	44	1,48	80	2,69
San Pedro de Atacama	481	16,15	474	15,91	955	32,06
Socaire	148	4,97	171	5,74	319	10,71
Talabre	41	1,38	35	1,17	76	2,55
Toconao	188	6,31	196	6,58	384	12,89
Toconce	34	1,14	38	1,28	72	2,42
	1482	50,49	1497	49,51	2979	100,00

TABLA N° 2.
EDAD Y TIEMPO DE RESIDENCIA MEDIA DE LA POBLACION ATACAMEÑA

PUEBLO	EDAD (años)		TIEMPO RESIDENCIA (años)	
	X	S.D.	X	S.D.
	Ayquina	29,96	23,79	29,75
Camar	20,76	18,51	18,29	17,56
Caspana	24,94	19,53	24,94	19,53
Cupo	26,07	23,57	26,07	23,57
Chiu-Chiu	25,44	20,37	20,60	18,05
Lasana	30,74	21,68	23,82	20,10
Peine	29,37	21,41	26,10	22,76
Río Grande	23,79	20,81	23,24	20,84
San Pedro de Atacama	29,97	23,13	23,76	22,84
Socaire	25,41	21,30	25,33	21,24
Talabre	20,86	19,10	18,65	17,79
Toconao	25,32	20,40	23,08	21,12
Toconce	23,72	19,74	22,64	19,38

iii) Estudio de los efectos de la ingestión de Arsénico en la población atacameña.

Este estudio se hizo en terreno a través de muestreo de orina, cuestionario clínico y examen físico para detectar lesiones de la piel y alteraciones vasculares periféricas.

Las lesiones de piel investigadas correspondieron a placas leucomelanodérmicas e hiperqueratosis palmar y plantar. Las alteraciones vasculares bajo estudio fueron enfriamiento, palidez, disminución del ritmo cardíaco y lesiones indicativas de falta de irrigación en extremidades distales.

La población examinada incluyó 761 sujetos; 726 habitantes de 13 pueblos atacameños y 35 sujetos de Huatacondo, tomado como pueblo control.

II. ESPECIACION ANALITICA DEL ARSENICO.

La especiación analítica del Arsénico se hizo por generación de hidruro (HGMS) (Perkin Elmer2100 - MHS 20).

En el caso de muestras de aguas se analizó el Arsénico total y el Arsénico trivalente en presencia de pentavalente (Yamamoto *et al.*, 1981; Hinners, 1980).

A las muestras de vegetales y suelos se les determinó, Arsénico total después de digestión con $\text{HNO}_3 / \text{H}_2\text{SO}_4 / \text{HClO}_4$.

En el caso de muestras de orina, la técnica analítica usada permitió el análisis de la concentración total de Arsénico y de los compuestos de Arsénico inorgánico (trivalente As (III) + pentavalente As (V) y de sus metabolitos (ácido monometilarsónico MMAA ($\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})_2$) y ácido dimetilarsónico DMAA ($(\text{CH}_3)_2\text{As} + \text{CH}_2\text{COOH}$). El Arsénico de origen marino ácido trimetil arsénico TMAA ($\text{CH}_3\text{As} + \text{CH}_3\text{As} + \text{CH}_2\text{COOH}$) fue calculado por diferencia (Farmer *et al.*, 1990; Vahter *et al.*, 1986; Subramanian, 1988; Norin *et al.*, 1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

i) Estudio del conocimiento, actitudes y prácticas de la población atacameña respecto a fuentes de agua y alimentos.

En la Tabla 1 se muestra la distribución por sexo de la población atacameña y en la Tabla 2 la edad media y tiempo de residencia de esta población. Se puede observar que San Pedro de Atacama es el pueblo más populoso con 32,06% del total de la población y Cupo es el menos poblado con 1,24% No hay diferencias estadísticamente significativas en la distribución por sexo de la población.

Los antecedentes de edad y tiempo de residencia de la población en estudio presentan una gran dispersión por el hecho que en esto pueblos viven solamente niños y ancianos ya que aquellos en edad reproductiva abandonan el lugar en busca de trabajo.

TABLA 3.

CONCENTRACION Y ESPECIACION DE ARSENICO EN EL AGUA DE CONSUMO DE LA POBLACION ATACAMEÑA

LOCALIDAD	FUENTE AGUA	ESPECIACION DE ARSENICO EN EL AGUA $\mu\text{g/L}$		
		As total	As (V)	As (III)
Ayquina	R. Toconce	823	739	84
	R. Linzor	383	383	$\leq 7,6$
	Q. Turi	573	573	$\leq 11,5$
Camar	Q. Camar	447	447	$\leq 8,9$
Caspana	Q. Caspana	9	-	-
Cupo	Q. Cupo	124	124	$\leq 2,5$
Chiu-Chiu	R. Loa	254	254	$\leq 5,1$
	R. Toconce	772	772	$\leq 15,4$
Lasana	AL Toconce (Linzor)	372	372	$\leq 7,4$
	R. Loa	230	220	10
	R. Siloli	141	141	$\leq 2,8$
Peine	Q. Peine	100	100	$\leq 2,0$
Río Grande	R. Río Grande	80	80	$\leq 1,6$
San Pedro de Atacama	R. Vilama	619	619	$\leq 12,4$
	R. San Pedro	172	131	40,7
Socaire	Q. Socaire	220	220	$\leq 4,4$
Talabre	Q. Talabre	26	26	$\leq 0,5$
Toconao	Q. Onar-Jérez	19	19	$\leq 0,4$
	R. Silapeti	15	15	$\leq 0,3$
Toconce	R. Toconce	363	363	$\leq 7,2$
Huatacondo*	Q. Tamentica	≤ 1	-	-
	Q. Cautemisca	≤ 2	-	-
	Q. Huatacondo	≤ 2	-	-

* Control

TABLA 4.
CONCENTRACION DE ARSENICO EN VEGETALES CULTIVADOS EN LOS PUEBLOS ATACAMEÑOS

VEGETAL	ARSENICO EN VEGETAL µg/g base fresca	ARSENICO EN AGUA DE RIEGO mg/L
Repollo	0,054	0,172
	0,033	0,220
	0,715	0,619
Rábano	0,207	0,172
	0,938	0,619
Acelga	0,156	0,220
	0,520	0,619
Beterraga	0,218	0,002
	0,282	0,172
	0,718	0,619
Papa	0,040	0,172
	0,044	0,220
Ajo	0,018	0,090
	0,050	0,220
Arveja	0,030	0,002
	0,162	0,172
	0,044	0,220
Cebolla	0,036	0,002
	0,106	0,172

TABLA 5.
CONCENTRACION DE ARSENICO EN SUELOS DE HUERTOS PARA CULTIVOS

SUELO DE HUERTOS	ARSENICO µg/g
San Pedro de Atacama (Condeduque)	220,5
San Pedro de Atacama (Larache)	448,0
Toconao	93,0
Socaire	180,5
Caspana	86,0
Huatacondo*	64,0

* Pueblo Control

TABLA 6.

CONCENTRACION MEDIA DE ARSENICO URINARIO Y SIGNOS DE HIPERPIGMENTACION EN LA POBLACION ATACAMEÑA

POBLACION ATACAMEÑA QUE CONSUME AGUA CON CONTENIDO ELEVADO DE ARSENICO 300 - 800 µg/L								
PUEBLO	POBLACION GENERAL		POBLACION EXAMINADA		POBLACION CON SIGNOS DE HIPERPIGMENTACION		CONCENTRACION MEDIA DE ARSENICO DE ORINA µg/L	
	(N)	(N)	(%)	(N)	(%)	As Total	As inorgánico	
Ayquina	101	35	34,65	9	25,7	1146,1	622,1	
Camar	91	30	32,97	5	16,7	1051,0	668,7	
Chiu-Chiu	247	49	19,84	7	14,3	802,1	333,2	
Lasana	147	49	33,33	7	14,3	545,0	262,6	
Sn. Pedro Atac.	955	181	18,95	53	29,3	674,8	378,3	
Toconce	72	30	41,67	7	23,3	424,9	297,8	
POBLACION ATACAMEÑA QUE CONSUME AGUA CON CONTENIDO MODERADO DE ARSENICO 100 - 300µ g/L								
PUEBLO	POBLACION GENERAL		POBLACION EXAMINADA		POBLACION CON SIGNOS DE HIPERPIGMENTACION		CONCENTRACION MEDIA DE ARSENICO DE ORINA µg/L	
	(N)	(N)	(%)	(N)	(%)	As Total	As Inorgánico	
Cupo	37	24	64,86	4	16,7	175,9	74,7	
Peine	196	39	19,90	4	10,3	413,3	231,9	
Socaire	319	69	21,63	9	13,0	594,9	30,6	
Caspana	274	86	31,39	9	10,5	75,3	27,3	
Río Grande	80	25	31,25	0	0	428,6	185,1	
Talabre	76	51	67,11	5	9,8	262,1	141,5	
Toconao	384	58	15,10	3	5,2	75,2	30,6	
POBLACION ATACAMEÑA QUE CONSUME AGUA CON CONTENIDO MINIMO DE ARSENICO < 2 µg/L								
PUEBLO	POBLACION GENERAL		POBLACION EXAMINADA		POBLACION CON SIGNOS DE HIPERPIGMENTACION		CONCENTRACION MEDIA DE ARSENICO DE ORINA µg/L	
	(N)	(N)	(%)	(N)	(%)	As Total	As inorgánico	
Huatacondo		35		0	0,0	46,8	12,2	

Las principales quejas con respecto a calidad de agua, expresadas por los atacameños, se refieren al sabor y dureza del agua, ellos no están preocupados por el problema que representa la presencia de Arsénico en su ambiente.

La dieta de los atacameños, se basa en carnes, granos y escasos vegetales y frutas cultivados en la zona. Consumen frecuentemente alimentos marinos en conserva por su costo y facilidad de almacenamiento, dado que no cuentan con energía eléctrica para la conservación de sus alimentos.

ii) Determinación de presencia de arsénico en el ambiente atacameño: agua, suelo y alimentos.

En la Tabla 3 se muestra la concentración de Arsénico en el agua utilizada por los atacameños tanto para su consumo como para riego. En la mayoría de los casos el Arsénico es pentavalente excepto en las fuentes que abastecen San Pedro de Atacama, Lasana y Ayquina donde el agua presenta Arsénico (III) y Arsénico (V). Algunas de estas localidades mostraron los más altos porcentajes de habitantes con signos de hiperpigmentación ocasionados por hidroarsenicismo.

La concentración de Arsénico en algunos vegetales y suelos cultivados en la zona se muestra en Tablas 4 y 5, respectivamente. En estos resultados es interesante observar las diferencias en los niveles de Arsénico para la misma especie vegetal dependiendo de la calidad del agua utilizada en el riego.

iii) Estudio de los efectos de la ingestión de arsénico en la población atacameña.

El estudio clínico reveló que el único signo de arsenicismo en la población atacameña es la presencia de placas leucomelanodérmicas en grado variable de acuerdo al nivel de Arsénico del agua de consumo. El grupo control Huatacondo, no mostró estos efectos. San Pedro de Atacama, Ayquina y Toconce mostraron la más alta tasa de signos de hidroarsenicismo (Tabla 6).

El nivel de As total y As inorgánico y sus metabolitos medidos en la orina de la población atacameña (Tabla 6) en general es bastante alto. En el caso de Huatacondo el nivel de Arsénico total está dentro de los valores considerados normales.

CONCLUSIONES

- El agua de consumo de los pueblos atacameños contiene Arsénico, preferentemente en forma de As (V).
- Los vegetales cultivados en la zona presentan variadas concentraciones de Arsénico, dependiendo del lugar y del agua de irrigación.
- El examen físico reveló que el 16,0% de la población presenta signos cutáneos resultantes de ingestión de Arsénico. En los pueblos que utilizan agua que contiene As(III) y As(V) se observó una más alta ocurrencia de signos de hiperpigmentación (23,1%). Estos hallazgos sólo pueden considerarse como evidencia sugerente ya que se basan en las observaciones hechas a través de un examen físico dermatológico. El análisis estadístico de los resultados muestra diferencias estadísticamente significativas en la presencia de signos de hidroarsenicismo de acuerdo a edad y tiempo de residencia del sujeto.
- La orina de la población atacameña presenta una concentraciones media de Arsénico total de 506,1 µg/L con un rango de 75,2-1146,1 µg/L. Este contenido de Arsénico en orina es muy superior a los valores normales de referencia señalados por la Organización Mundial de la Salud para personas no ocupacionalmente expuestas.

AGRADECIMIENTOS

Los fondos para desarrollar este estudio fueron otorgados por el International Development Research Centre de Canadá (Grant 3P-88-0247).

BIBLIOGRAFIA.

Farmer, J.G. y Johnson, L. R., 1990 Assessment of occupational exposure to inorganic arsenic based on urinary concentrations and speciation of arsenic. *British Journal of Industrial Medicine*, 47:342-348.

Hinners, T.A., 1980., Arsenic Speciation Limitations with Direct Hydride Analysis. *Analyst*, Vol. 105, p. 751-755.

Norin, H. y Vahter, M., 1981. A rapid method for the selective analysis of total urinary metabolites of inorganic Arsenic, *Scand. J. work environ. health* 7, p. 38-44.

Smith A. *et al.*, 1988. Cancer Risk from Arsenic in Drinking Water. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 97.

Subramanian, K.S., 1988. Determination of Arsenic in Urine by Graphite Platform in Furnace Atomic Absorption Spectrometry. Canadian Journal of Spectroscopy. Vol. 33, N° 6, p. 173-181.

Vahter, M., Friberg, L., Rahnster, B., Mygren, A. y Nolinder, P., 1986. Airborne Arsenic and urinary excretion of metabolites of inorganic arsenic among smelter workers. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 57, p. 79-91.

Yamamoto, M., Urata, K., Murashige, K. y Yamamoto, Y., 1981. Differential determination of arsenic (III) and arsenic (V) and antimony (III) and antimony (V) by hydride generation atomic absorption spectrophotometry and its application to the determination of these species in sea water. Spectrochimica Acta, Vol. 36 B, N° 7, p. 671-677.

CARACTERIZACION DE LA CALIDAD SANITARIA DE AGUAS DE BOFEDALES Y VEGAS DEL AREA ANDINA CHILENA.

G. CASTILLO¹, M. CASTRO², M. BAHAMONDES,^{1,3} y V. LORCA¹

1. DEPTO. INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD DE CHILE. CASILLA 228-3, SANTIAGO, CHILE.

2. DEPTO. ANTROPOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE CHILE.

3. GRUPO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS, GIA, SANTIAGO, CHILE.

RESUMEN

El área andina del norte de Chile se caracteriza por presentar un clima desértico-estepárico, donde los escasos recursos hídricos existentes han dado lugar a sistemas vegetacionales saturados de agua, conocidos como vegas y bofedales. Los usos de los sistemas son brebaje de ganado, riego de pastizales y en ciertos lugares, fuente de agua para consumo. Se desconoce la calidad sanitaria de estas aguas, aunque la población aledaña percibe problemas de salud en relación al agua. En este trabajo se analizó *in situ*, aguas de bofedales y vegas de la zona, incluyendo las fuentes de agua (ojo de agua), y se las clasificó según presencia/ausencia de contaminación de origen fecal. Los resultados indicaron que el 38% (25/66) de las aguas eran de buena calidad sanitaria y aptas para todo uso; el 62% (41/66) objetables para consumo humano y el 33% (22/66) de calidad incierta para riego superficial. Los niveles de organismos indicadores detectados en las aguas confirmaron la necesidad de tratamiento para consumo humano, y definieron su idoneidad para uso irrestricto en agricultura.

ABSTRACT

The Chilean northern Andes area exhibits a climate described as desert-steep type. The scarce hydric resources have generated water saturated systems know as meadows or open planes. These systems are used as animal beverage water, orchids irrigation and -sometimes- even as human drinking water. The sanitary quality of such waters remains unknow, eventhough the sorrounding population feel water related health problems. This research reports on the «in situ» analysis of these waters, including water origin sources (water «eyes»). Results were measured in terms of presence/absence of fecal pollution indicators. Results show that 38% (25/66) of samples were fit for drinking water purpose and any other use; 62% (41/66) could not be used as human drinking water, and 33% (22/66) had an uncertain quality (no fit for raw eating crop irrigation). Fecal indicator organisms level measured in these waters stressed the need for water treatment prior to human consumption, but also defined its fitness for unrestricted agricultural uses.

INTRODUCCION

Las áreas precordillerana y altiplánica de la zona andina chilena se caracterizan por presentar clima desértico de altura (BWH) y estepárico de altura (BSH), respectivamente, donde el agua es un recurso escaso. El régimen hídrico, conformado por afloramientos que dan origen a ríos y vertientes, ha condicionado la existencia de sistemas vegetacionales conocidos con el nombre de bofedales y vegas, que se establecen en un ambiente edáfico principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente (Castro *et al.*, 1993).

Los bofedales, conformados por especies de juncáceas en cojines, predominan en la Iª Región; en tanto que en la IIª Región, la predominancia corresponde a vegas, estrata herbácea diferenciada de acuerdo a distintos niveles de salinidad. Este tipo de vegetación es utilizada para pastoreo de ganado camélido-bovino, que corresponde a la principal actividad productiva de una reducida población aymara y de otras entidades pobladas de la zona. Por la lejanía e inaccesibilidad del lugar, prácticamente no se tiene antecedentes sobre la calidad de las aguas, desde el punto de vista de contaminación bacteriológica, situación que ciertas comunidades de la zona perciben como responsable de problemas de salud (Sancha *et al.*, 1992).

La falta de suministros de calidad sanitaria apta para el consumo humano, es una situación común para la gran mayoría de las poblaciones rurales en el mundo (WHO, 1981), principalmente en poblados dispersos localizados en zonas remotas, donde es difícil establecer sistemas de tratamiento y control rutinario de la calidad del agua.

Pensando en esto, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC) ha estado incentivando a nivel mundial el uso de metodologías simples que permitan calificar en el terreno, la calidad sanitaria de las fuentes de agua (Dutka y El Shaarawi, 1990).

En el presente estudio se presentan antecedentes sobre una evaluación preliminar de la calidad bacteriológica de bofedales y vegas del área andina de la primera y segunda región de Chile, realizada mediante un sistema simplificado, propiciado por IDRC, que se ha estado aplicando en sistemas rurales de las zonas central y sur del país (Castillo y Duarte, 1992). El trabajo forma parte de un catastro sistemas acuáticos de altura realizado para la Dirección de Aguas (Castro y col. 1993,) y corresponde a una colaboración del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a dicha investigación. Los resultados del estudio se presentan a continuación.

METODOS

Area de estudio. Las muestras fueron recolectadas desde afloramientos y aguas corrientes de bofedales y vegas de la zona andina, considerando características del uso y manejo de pastos y aguas (Fig. 1). Durante tres campañas, realizadas entre febrero y abril de 1993, se analizaron en terreno, un total de 66 muestras, 32 en la Iª Región y 34 en la IIª Región. En paralelo

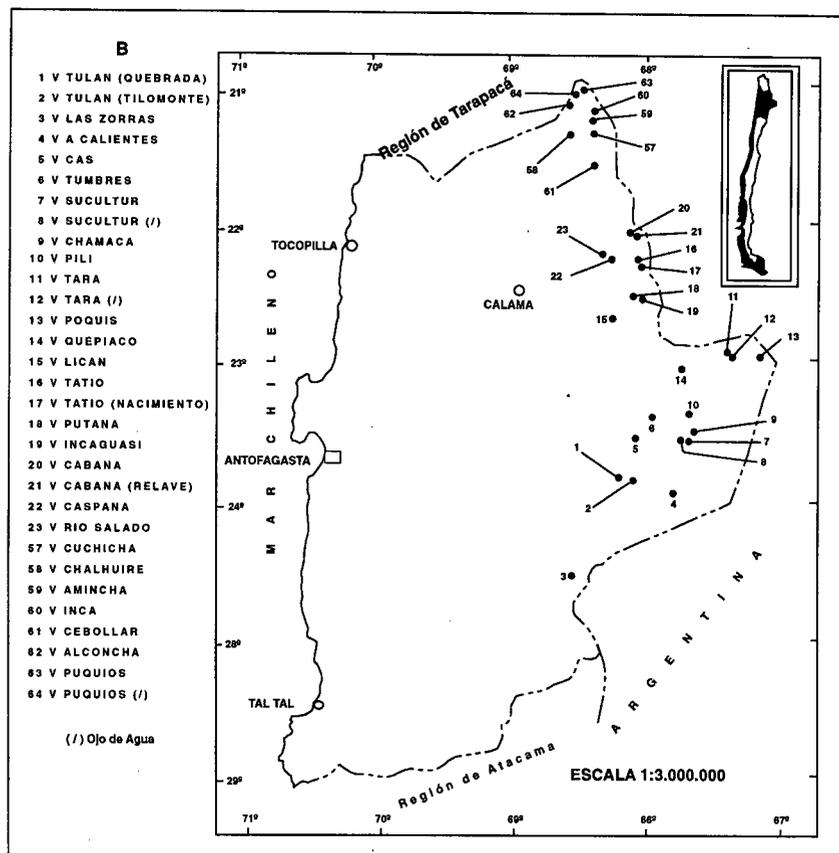
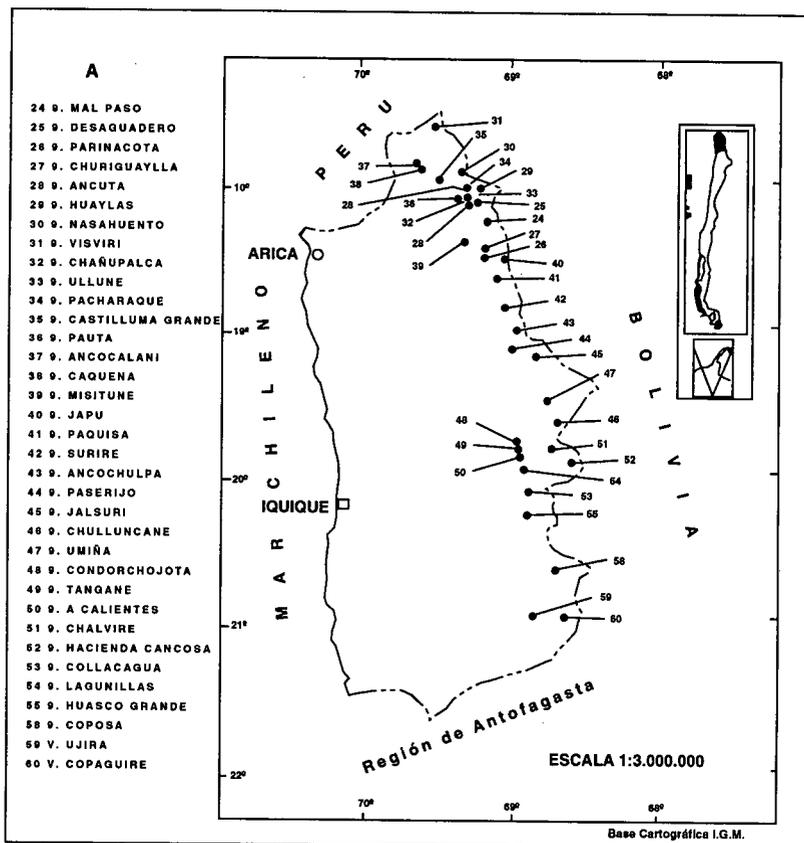


Fig. 1 Ubicación de las muestras estudiadas A. Región de Tarapacá; B. Región de Antofagasta.

se recolectaron 17 muestras duplicadas, las que fueron enviadas al laboratorio para su análisis por metodología convencional.

Procesamiento de la muestras. Para el análisis de las muestras se utilizó el método de la cinta de papel del H₂S, descrito por Manja *et al.* (1982), modificado por Castillo (1992), consistente en la recolección de 100 ml de muestra en un frasco de vidrio estéril, conteniendo una tira de papel filtro impregnada con una mezcla de química, previamente desecada. Posterior a su recolección los frascos se mantuvieron a la temperatura ambiente y durante cinco días se controló el cambio de color (de incoloro a negro) de la cinta de papel. Las muestras que registraron coloración negra (en cualquier grado) se clasificaron como positivas. En el intertanto, los frascos fueron remitidos al laboratorio, donde mediante técnicas estandarizadas se verificó la presencia de bacterias indicadoras de contaminación: coliformes totales y coliformes fecales. Las muestras paralelas fueron analizadas por su contenido en ambos indicadores, mediante metodología estándar (S. Methods, 1989).

Calificación

Con los resultados de verificación del ensayo del H₂S procedió a una calificación sanitaria de las aguas, según el siguiente criterio:

Clase A: Buena calidad bacteriológica por presentar ausencia de color y de bacterias coliformes totales y fecales.

Clase B: Calidad bacteriológica incierta por presentar presencia de color negro y bacterias coliformes totales, en ausencia de bacterias coliformes fecales.

Clase C: Mala calidad bacteriológica por presentar presencia de color negro y bacterias coliformes totales y fecales.

Las muestras analizadas por metodología rutinaria fueron clasificación según su aptitud para agua potable y uso en riego según los criterios establecidos por norma nacional (NCh 409 Of. 84 y NCh 1333 Of. 78 del Instituto Nacional de Normalización (INN, Chile).

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas 1 y 2 se presenta una relación de los datos obtenidos en el estudio de terreno. Estas incluyen procedencia de las aguas (según nomenclatura DGA), identificación de los bofedales y vegas, entidades pobladas usuarias, uso principal de los sistemas, presencia/ausencia de indicadores de contaminación (según metodología simplificada) y su calificación sanitaria.

Del total de muestras analizadas 37,9% (25/66), fueron calificadas en la categoría A, consideradas de buena calidad sanitaria por no detectarse bacterias del grupo coliforme; 28,9% (19/66), correspondieron a la categoría B, de calidad bacteriológica incierta, por presentar bacterias coliformes totales y ausencia de coliformes fecales, y el 33,7% (22/66) se agrupó en categoría C, por contener coliformes totales y fecales. Cabe destacar el alto porcentaje de las muestras catalogadas dentro de las dos últimas categorías, 62,1% (41/66), cuya calidad es considerada no apta para consumo humano.

Los sistemas calificados en la categoría A, correspondieron principalmente a recolecciones efectuadas directamente en afloramientos, o sectores muy cercados a ellos, y a cursos de rápido escurrimiento, en zonas poco pobladas, desde donde se obtiene preferentemente agua para consumo humano. Los sistemas de las categorías B y C coincidieron con áreas de mediano y activo pastoreo y actividad humana, donde la presencia de coliformes totales (categoría B) y coliformes de origen fecal (categoría C), indican pérdida gradual de la calidad del agua para consumo directo y para otros usos menos restrictivos, como regadío o rebaje de animales.

La comparación de los datos obtenidos por región indica que los sistemas de la IIª Región presentan mejor calidad sanitaria que los de la Iª Región. Tal como se observa en la Fig. 2, el 78 % de las vegas analizadas en la región de Antofagasta calificaron dentro de la categorías A y B, mientras que en los bofedales de la región de Tarapacá, ambas categorías representan sólo el 56%. Cabe señalar que en esta última, las entidades pobladas se encuentran en sectores relativamente cercanos, sobre los 4.000 m s.n.m., aledaños a los bofedales, donde se mantiene actividad de pastoreo permanente durante todo el año. En tanto, en la IIª Región, los asentamientos humanos se localizan alrededor de los 3.000 m s.n.m., y las vegas se encuentran en sectores más altos y bastante alejados de los pueblos. En esta región, en consecuencia, la transhumancia -rotación estacional del ganado- cobra más importancia al analizar los factores que incidirían sobre la calidad del agua.

Los resultados cuantitativos de coliformes totales y fecales de 17 muestras recolectadas en ambas regiones se muestran en la Tabla 3. De ellos se desprende que el nivel de contaminación es relativamente bajo, por lo que se pueden considerar como fuentes de agua potable de calidad sanitaria de buena a regular (NCh7770f.71. INN); sin embargo, la gran mayoría (13/17) no cumple con los requisitos de calidad bacteriológica para agua potable, estipulados por la norma chilena en vigencia (NCh 409 Of.84. INN). En ambos casos, estos resultados corroboran la caracterización obtenida de los ensayos simplificados realizados en el terreno (Tablas 1,2), sobre la necesidad de aplicar algún tipo de tratamiento de descontaminación, previo al consumo. Por otro lado, estos datos indican que las aguas son aptas para el riego de todo tipo de especies vegetales, incluidos cultivos restrictos como verduras y frutos crecidos a ras de suelo (NCh 1333 Of.78. INN).

En una zona desértica, remota, inaccesible, sujeta a bruscos cambios diurnos de temperatura y otros factores climáticos

TABLA 1.
CARACTERIZACION SANITARIA BOFEDALES Iª REGION - CHILE

MUESTRA	FECHA	CUENCA	SUBCUENCA	NOMBRE	USUARIO*	USOS	CT	CF	CLASE
24	04/93	ALTIPLANIC	L.Chungará	Mal Paso	Ajata	pastoreo	+	+	C
25			Río Lauca	Desaguadero	Parinacota	pastoreo	-	-	A
26			Río Lauca	Parinacota	Parinacota	pastoreo	-	-	A
27			Río Lauca	Churiguayo	Guallatire	pastoreo	-	-	A
28			Río Lauca	Ancuta	Ancuta	pastoreo	+	+	C
30			Río Lauca (1)	Nasahuento/Chall.	Nasahuento	pastoreo	+	+	C
31			Río Lauca (1)	Visviri	Visviri	pastoreo	+	-	B
32			Río Lauca (1)	Chañupalca	Chañupalca	pastoreo	+	-	B
33			Río Lauca (1)	Ulluni	Chañupalca	pastoreo	-	-	A
34			Río Lauca (1)	Pacharaque	Caquena	pastoreo	+	-	B
38			Río Lauca (1)	Caquena	Caquena	pastoreo	+	+	C
29			Río Lauca (1)	Huaylas	Putre	pastoreo	+	+	C
35		RIO LLUTA	Río Lauca (1)	Castilluma Grande	Colpitas	pastoreo	+	-	B
36			Río Lauca (1)	Pauta Choquinanta	Pauta	pastoreo	+	-	B
37			Río Lluta Alto	Ancocalane	Ancocalane	pastoreo	+	+	C
39		ALTIPLANIC	Río Lauca	Misitune	Misitune	pastoreo	+	+	C
40			Río Lluta	Japu	Guallatire	pastoreo	+	-	B
41			Río Lauca	Paquisa	Guallatire	pastoreo	-	-	A
42			Salar Surire	Salar Surire	Surire	pastoreo	-	-	A
45			Río Lauca (2)	Jalsuri	Isluga	pastoreo	+	+	C
43			Sencata/Sacaya	Parajaya Pansuta	Ancochulpa	pastoreo	-	-	A
44			Sencata/Sacaya	Paserijo	Vilacoyo	pastoreo	+	+	C
46			Sencata/Sacaya	Chuyuncane	Chuyuncane	pastoreo	+	+	C
47			Sencata/Sacaya	Umiña	Ancuaque	pastoreo	+	+	C
48	05/93	PAMPA DEL	Qbda. Tarapacá	Cóndor Chojona	Cultane	pastoreo	+	-	B
49		TAMAGURAL	Qbda. Tarapacá	Tangani	Cultane	Pastoreo	+	-	B
50			Qbda. Tarapacá	Aguas Calientes	Lirima	pastoreo	+	+	C
66		RIO LOA	Río Loa (3)	Copaquire	Copaquire	pastoreo	+	-	B
51			Río Loa Alto	Chalvire	Lirima	pastoreo	+	+	C
52		ALTIPLANIC	Sencata/Sacaya	Canto	Cancosa	pastoreo	-	-	A
54			Salar Huasco	Lagunillas	Cancosa y Li	pastoreo	+	+	C
53			Salar Huasco	Coyacagua			+	+	C
55			Salar Huasco	Huasco Grande	Huasco	pastoreo	-	-	A
56			Salar Coposa	Coposa	Coposa	pastoreo	-	-	A

SIMBOLOGIA

CT : COLIFORMES TOTALES

CF : COLIFORMES FECALES

CLASE

A : BUENA CALIDAD BACTEREOLÓGICA - AUSENCIA DE CONTAMINACION FECAL
 B : CALIDAD BACTEREOLÓGICA SOSPECHOSA - CONTAMINACION INDETERMINADA
 C : MALA CALIDAD BACTEREOLÓGICA - CONTAMINACION FECAL

(*) : Entidad poblada
 (1) : entre límite Perú, Bolivia y río Lauca
 (2) : antes río Guallatire
 (3) : entre río Salado y Quebrada Barrera

TABLA 2.
CARACTERIZACION SANITARIA VEGAS IIª REGION - CHILE

MUESTR NI	FECHA	CUENCA	SUBCUENCA	NOMBRE	USUARIO*	USOS	CT	CF	CLASE
1	01/93	SALAR DE	Salar Atacama	Tulan	Peine	pastoreo	-	-	A
2		ATACAMA	Salar Atacama	Tarajne	Peine	pastoreo	+	+	C
3		(1)	S. Pta. Negra	De Las Zorras	Peine	Abandonad	-	-	A
4		(4)	Aguas Calientes	Aguas Calientes	Socaire	pastoreo	-	-	A
5		SALAR DE	S. Atacama	Cas	Socaire	pastoreo	-	-	A
6		ATACAMA	S. Atacama	Talabre	Talabre	pastoreo	+	-	B
7.8		(4)	S. Aguas Caliente	Sucultur	Talabre	pastoreo	-	-	A
9		(4)	S. Aguas Caliente	Chamaca	Talabre	pastoreo	+	-	B
10		(4)	S. Aguas Caliente	Pili o Río Negro	Talabre	pastoreo	-	-	A
11.12		(2)	Salar Tara	Tara	Talabre	pastoreo	-	-	A
13		(2)	Salar Tara	Poquis	Talabre	abandonad	-	-	A
14		(4)	Lag. Parico	Quepiaco	Talabre	pastoreo	-	-	A
15		SALAR DE	Río San Pedro	Lican	Río Grande	pastoreo	+	+	C
18		ATACAMA	Río San Pedro	Putana	Río Grande	pastoreo	+	-	B
					y Machuca				
16		RIO LOA	Río Loa Alto	Tatio	Caspana	pastoreo	-	-	A
17			Río Loa Alto	Tatio Campament	Caspana	pastoreo	-	-	A
19			Río Loa Alto	Incahuasi	Caspana	pastoreo	+	+	C
20.21	02/93		Río Loa Alto	Cabana	Toconce	pastoreo	+	-	B
22			Río Loa Alto	Caspana	Caspana	pastoreo	+	-	B
23			Río Loa Alto	Ayquina	Ayquina	pastoreo	+	-	B
57	05/93	(3)	Salar Carcote	Cuchicha	Ollagüe	pastoreo	+	+	C
58		RIO LOA	Río Loa Alto	Chalhuire	Ollagüe	pastoreo	-	-	A
59		(3)	Salar Ollagüe	Amincha	Amincha	pastoreo	+	+	C
60		(3)	Salar Ollagüe	Del Inca	Ollagüe	pastoreo	+	+	C
61		(3)	Salar Ascotan	Cebollar	Ollagüe	pastoreo	+	+	C
62		(3)	Salar Ollagüe	Alconcha	Ollagüe	pastoreo	+	-	B
63.64		(3)	Salar Ollagüe	Puquios	Ollagüe	pastoreo	+	-	B
65		ALTIPLANIC	S. Michincha	Ujina	Ujina	abandonad	-	-	A

SIMBOLOGIA

CT : COLIFORMES TOTALES

CF : COLIFORMES FECALES

CLASE

A : BUENA CALIDAD BACTEREOLÓGICA - AUSENCIA DE CONTAMINACION FECAL
 B : CALIDAD BACTEREOLÓGICA SOSPECHOSA - CONTAMINACION INDETERMINADA
 C : MALA CALIDAD BACTEREOLÓGICA - CONTAMINACION FECAL

(*) : Entidad poblada
 (1) : endorreica: Salar de Atacama-vertiente Pacífico
 (2) : fronteriza: Salar de Atacama-Socompa
 (3) : fronteriza: Salar Michincha-Río Loa
 (4) : endorreica: Entre fronteriza y Salar de Atacama

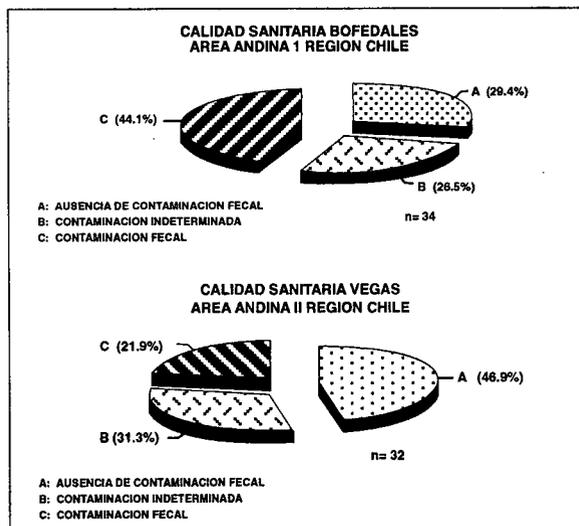


Fig. 2 Comparación de la calidad sanitaria de los bofedales y vegas de las Iª y IIª Regiones de Chile, respectivamente.

TABLA 3.
CALIDAD BACTERIOLOGICA VEGAS Y BOFEDALES SECTOR ANDINO Iª Y IIª REGION - CHILE

REGION	NOMBRE	CT NMP/100 ML	CF NMP/100 ML	CALIFICACION AGUA POTABLE *	CALIFICACION RIEGO **
Iª	Condor Cho	23	6	no apta	apta
	Tangani	13	<2	no apta	apta
	Aguas Calientes	6	6	no apta	apta
	Chalhuire	240	240	no apta	apta
	Canto	<2	<2	apta	apta
	Lagunillas	13	13	no apta	apta
	Huasco	240	62	no apta	apta
	Huasco Grande	<2	<2	apta	apta
	Coposa	<2	<2	apta	apta
IIª	Cuchicha	700	23	no apta	apta
	Chalhuire	6	<2	apta	apta
	Amincha	700	62	no apta	apta
	Del Inca	240	23	no apta	apta
	cebollar	6	6	no apta	apta
	Alconcha	6	<2	no apta	apta
	Puquios	62	<2	no apta	apta
	Ujina	<2	<2	apta	apta

* NCh 409 Of.84, INN, Chile
** NCh 1333 Of.78 INN, Chile

CT : COLIFORMES TOTALES
CF : COLIFORMES FECALES

adversos, prácticamente sin perturbación antrópica, como es la región andina del norte, se asume que las aguas naturales podrían ser consideradas «prístinas»; sin embargo, los antecedentes presentados fundamentan el sentimiento de los escasos habitantes de la zona, al responsabilizarlas del origen de ciertas infecciones que los aquejan. En conclusión, este estudio presenta nuevas evidencias de la importancia de contar con sistemas simples para controlar la calidad del agua en el terreno, y tomar las precauciones necesarias para el aprovechamiento de los recursos hídricos, sin riesgos para la salud (WHO, 1981).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el International Development Research Centre (IDRC), Canadá, a través del proyecto CF:3P-0100-04.

REFERENCIAS

American Public Health Association, 1989. Standards Methods for the examination of water and wastewater. 17th. ed. APHA; AWWA; WPCF. Washington, D.C.

Castillo, G., 1992. Control de Calidad del Agua. Informe Técnico, Proy. IDRC/U.de Chile. CF: 3P-0100-04.

Castillo, G., y Duarte, R., 1992. Evaluación de un sistema de terreno para el control de la calidad del agua potable en el medio rural. Actas XXIII Congreso Interamericano AIDIS, La Habana, Cuba. Tomo 1:86-97.

Castro, M., Bahamondes, M., Salas, H., Azócar, P. y Faúndez, L. 1993. Identificación y ubicación de áreas de vegas y bofedales de la Iª y IIª Región. Depto. Antropología, U. de Chile/Dirección General de Aguas, MOP, Chile.

Dutka B.J. y El Shaarawi, A.H., 1990. Use of simple, inexpensive microbial water quality tests: Results of a Three Continent, Eight Country Research Project. IDRC Report IDRC-MR247e.

Instituto Nacional de Normalización (INN), 1971. NCH 777 Of.71. Fuentes de agua potable y obras de captación.

Instituto Nacional de Normalización (INN), 1978. NCH 1333 Of.78. Criterios de calidad de aguas para diferentes usos.

Instituto Nacional de Normalización (INN), 1984. NCH 409 Of.84. Agua potable. Requisitos.

Manja, K.S., 1982. A simple field test for the detection of fecal pollution in drinking water. Bull W.H.O. 60(5): 797-801.

Mc. Junkin, E.F., 1988. Agua y salud humana. OPS/OMS. Ed. Limusa S.A., México

Sancha, A.M., Vega, F., Venturini, H., Fuentes, S., Salazar, A.M., Moreno, V., Baron, A.M. y Rodríguez, D., 1992. The arsenic health problem in northern Chile evaluation and control. A case study. Pr. Report. Proc. Int. Sem. Arsenic in the Env.&Inc. on Hlth. U. of Chile, Santiago, Chile.

World Health Organization, 1981. Global strategy for health for all by the year 2000. WHO, Geneva, Switzerland.

AREA
ECOSISTEMAS ACUATICOS

SIGNIFICADO DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE ECOSISTEMAS ACUATICOS Y ZONAS ECOTONALES ALTIPLANICOS PARA SU EVALUACION, GESTION AMBIENTAL Y CONSERVACION

HERMANN A. MÜHLHAUSER

UNIVERSIDAD DE CHILE, FAC. DE CIENCIAS, DEPTO. DE CIENCIAS ECOLOGICAS, CASILLA # 653, SANTIAGO, CHILE

RESUMEN

Los Andes Centrales, que se extienden desde Cajamarca (07°50' S) en Perú hasta Antofagasta en Chile (23° 38' S) y Catamarca en Argentina (27°50' S), se caracterizan por una preponderancia de grandes altiplanicies ubicadas por sobre los 3.500 m s.n.m., las cuales reciben el nombre de Puna o Altiplano. En esta región, se desarrollan ecosistemas de altura de características muy peculiares. Las comunidades vegetales y animales de aquellos sistemas ubicados en la vertiente occidental del macizo Andino, responden a condiciones ambientales extremas, con una estación lluviosa corta, con fuertes variaciones diurnas de la temperatura (> 20 °C), las cuales pueden ir bajo el nivel de congelación, especialmente en la noche. Están influenciadas, además, por los efectos más intensos de la radiación solar, baja presión de oxígeno y suelos inmaduros, no diferenciados, aguas con alto contenido salino e influencia de volcanes activos en su entorno. Nuestros estudios se desarrollan al interior del Parque Nacional y Reserva Mundial de la Biosfera Lauca. Como ejemplos de ecosistemas de altura se han investigado el humedal de Parinacota (18° 12' S- 69° 17' W), ubicado a 4.390 m s.n.m. y humedales en los lagos Chungará (18° 14' S, 69° 09' W), ubicado a 4.570 m s.n.m. y Cotacotani (18° 11' S, 69° 13' W), ubicado a 4.530 m s.n.m. El humedal de Parinacota y otros más pequeños en el entorno del lago Chungará son explotados en ganadería por pequeñas comunidades indígenas de la etnia Aymara asentadas en su alrededor. En las comunidades naturales se han caracterizado algunas relaciones entre el tamaño del sistema (humedal, lago), las características hidrológicas y las dimensiones ecotonales, especialmente en relación a los parches del humedal y diferencias en la diversidad biológica. Los sistemas presentan una notable riqueza en especies, tanto en formaciones vegetacionales (más de 20), como en las asociaciones animales; existiendo en los sistemas acuáticos algunas diferencias de composición en fauna bentónica e íctica entre los subsistemas lóticos y lénticos. Del bofedal de Parinacota se ha desarrollado un modelo empírico de valoración utilizando mediciones energéticas en diversos niveles tróficos.

ABSTRACT

The Central Andes is the subregion of Peru, Bolivia and Northern Chile and Argentina that extends from Cajamarca in Perú (07°50' S) to Antofagasta in Chile (23° 38' S) and Catamarca in Argentina (27° 50' S). The most remarkable feature of this subregion is the formation of very high plateau lands, the Altiplano or Puna. Spreading elsewhere in the high plateau, are distinct ecosystems (lakes and wetlands), with well developed land/water, and water/water ecotones. Altiplano wetlands are ideal pastures for native camelids (Llama, Alpaca), and sheep. In the Altiplano, plant and animal communities and man itself, are adapted to extreme environmental conditions. Here, there is an asymmetry of rainfall and temperature, with the Pacific slopes drier and cooler than the eastern slopes. The present report is based on data derived from Parinacota, a Puna wetland ecosystem (4,390 m a.s.l.), and wetlands around Puna lakes Chungará (4,530 m a.s.l.) and Cotacotani (4530 m a.s.l.), both located at National Park and UNESCO Biosphere Reserve Lauca (18° 12' S; 69° 17' W). Human Aymara small communities are sparsely around and in the wetlands. At present the dominant subsistence activity is raising of llamas, alpacas and sheep based on natural vegetation. So far traditional, low-intensity management techniques that have successfully maintained or enhanced the functions of local wetlands and land/inland ecotones had been identified. Fundamentals of plant and animal communities had been studied in connection to a better management. The relationship between wetland size, hydrologic features, dimensions of the ecotone and biodiversity, plant nutrients and abiotic characteristics was also studied. Results showed over 20 plant associations in the wetland. Aquatic benthonic fauna shows a noticeable species richness. Qualitative and quantitative differences exist between lotic and lentic fauna. The investigation shows that in Parinacota wetland an assimilative capacity for nutrients and dissolved solids exists. To identify parameters of wetland patches and ecotones that need to be better understood, in connection to valuation and management, a descriptive conceptual model is developed. The model is supported with calorimetric measurements of energy trapped in the principal trophic levels described.

INTRODUCCION

El paisaje predominante en los Andes Centrales corresponde a un altiplano (> 3.500 m s.n.m.), también conocido como Puna. El Altiplano chileno se encuentra ubicado en el borde sur-occidental de este plateau andino. Esparcidos a través de este semidesierto frío y principalmente por sobre los 4.000 m s.n.m., se ubican diversos ecosistemas acuáticos, predominando lagos y humedales, también conocidos como bofedales o vegas). Estos bofedales constituyen sistemas peculiares los cuales soportan una economía de pastoreo de subsistencia para pequeños asentamientos nativos de la etnia Aymara. El pastoreo de la «alpaca» y la «llama» se realiza en esta zona desde antes de la conquista española (Santorio y Chacama, 1982).

Tradicionalmente la Puna ha sido una importante vía de paso entre la costa, las tierras altas y hacia el Este más allá de los Andes. Sin embargo la falta de interés por los pueblos del valle en colonizar estas tierras altas ha favorecido no sólo la continuidad étnica sino que también la supervivencia de humedales y lagos con una intervención antrópica mínima. Los objetivos de este trabajo se relacionan con los aspectos fundamentales de la estructura y función de humedales y lagos de alta altitud en el Altiplano chileno, en relación con su evaluación ambiental, su manejo y su conservación.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional y Reserva Mundial Unesco de la Biosfera, Lauca (18° 03'; 18° 27' S; 69° 02'; 69° 39' W). La base de datos fue colectada en el humedal de Parinacota (18° 12' S; 69° 17' W; 4.300 m s.n.m.) y bofedales ubicados en el entorno de los lagos Chungará (18° 14' S; 69° 09' W; 4.570 m s.n.m.) y Cotacotani (18° 11' S; 69° 13' W; 4.530 m s.n.m.).

Fisiografía y Clima: Las tierras altas en la cuenca del Lauca consisten de amplias llanuras (ubicadas sobre 4.000 m s.n.m.), delimitadas por cadenas montañosas, especialmente en el este y el oeste. Algunas de las montañas exceden los 6.000 m de altura. El humedal de Parinacota cubre un área de 21 km², el resto de los humedales estudiados no supera un área de unas pocas ha. Los lagos tienen áreas de 19,25 km² y 6,0 km², respectivamente.

La fisiografía presente de la Cuenca del río Lauca ha sido determinada por el volcanismo activo plio-pleistocénico de los Payachatas (volcanes Parinacota y Pomerape) que acumuló en el sector grandes masas de andesitas (González, 1966).

Para la región andina central Salas *et al.* (1966) han descrito nueve unidades fisiográficas. Parinacota, Chungará y Cotacotani se ubican en la unidad denominada Puna.

El clima: Es frío y seco. Las temperaturas diarias oscilan comúnmente hasta 30° C en el transcurso de 24 horas (especialmente durante los meses de invierno). Sin embargo, las temperaturas en la región varían con la altitud así como con características topográficas locales. Usualmente la temperatura desciende bajo cero durante la noche todo el año.

El régimen anual de precipitaciones está caracterizado por lluvias intensas durante el verano (Diciembre a Marzo) y un periodo seco largo que se extiende de Abril a Noviembre (Burgos, 1979). Los registros de precipitación en tres estaciones meteorológicas en la cuenca del Lauca para un período de veinte y seis años (1963 - 1989) fluctuaron en un rango entre 750 mm y < 100 mm. Los valores máximos se obtuvieron en Enero (media = 123,2 mm), Conaf (1986). En la Puna un régimen de pluviosidad irregular es también característico (Ottonello & Ruthsatz, 1982; Vila & Muhlhauser, 1986; Muhlhauser, en prensa).

Los Suelos: Los suelos hidromórficos predominantes en el humedal de Parinacota y el entorno de los lagos Chungará y Cotacotani son derivados de ceniza volcánica con horizontes oscuros y arenosos. Los tipos dominantes, que son comunes para toda la región meridional de la Puna árida (Beek & Bramao, 1968) son: regosols inmaduros, lithosols, aluviales y solonchaks. Los patrones de paisaje local, y la acción del viento, drenaje, erosión y vegetación sobre este humedal dan las condiciones para la remoción y acumulación de depósitos de suelo en rangos de profundidad entre unos pocos cm y más de 1 m. Sobre el suelo, y dependiendo de la fisiografía local existen depósitos de restos vegetales de profundidad y grado de mineralización variable. (Troncoso, 1983; De Carolis, 1986; Conaf, 1986).

Hidrología: El drenaje de la cuenca endorreica, superior del río Lauca (495 km²) comprende varios subsistemas dispuestos en un patrón altitudinal, formando un continuo entre el lago Chungará en la cuenca más alta (280 km²) y lagunas de Cotacotani más el bofedal de Parinacota (cuenca de 100 km²) ubicados aguas abajo (Klohn, 1972). Los principales tributarios son el río Chungará (flujo medio: 400 l/s), para el lago Chungará; los ríos Benedicto Morales (flujo medio: 100 l/s) y Encuentro (20 l/s) para lagunas Cotacotani; río Desaguadero (flujo medio 150 l/s) para el humedal de Parinacota. Este sistema inter-conectado es drenado por el río Lauca (300-1.000 l/s). Este río desagua finalmente en el salar de Coipasa localizado en Bolivia. Los parámetros de calidad del agua se indican en el Cuadro 1.

Vegetación: La formación vegetal de los bofedales corresponde a la de una pradera de alta altitud, con una cobertura de 50 a 100 %. La mayoría de las especies son xerofitas y están adaptadas a las condiciones ambientales extremas de la Puna altoandina. La comunidad de plantas herbáceas cubre un 37 % del área del bofedal. El Cuadro 2, muestra las especies dominantes. Se ha descrito 24 combinaciones de 16 especies de herbáceas y de matorral para el área del bofedal de Parinacota (Troncoso, 1983; Caviedes y Serey, 1992). La mayor parte de la biomasa vegetal corresponde a *Oxychloe andina* (Juncaceae), una geófito, rizomatosa de hojas cortas y duras. Esta planta sólo crece sobre los 4.000 m con un patrón vegetativo específico del tipo parche y forma parte de 11 combinaciones de plantas en el humedal. Los parches de vegetación están espacialmente estructurados en forma de "colchones". El tracto central consiste de *Oxychloe andina* combinada con *Werneria pygmaea*, *W. pinnatifida*, *Distichia muscoides* y *Gentiana prostata*. En áreas más secas del bofedal devienen dominantes dos especies de Graminae: *Festuca* sp. y *Deyeuxia* sp. La comunidad de plantas acuáticas tanto en los lagos como en los humedales está caracterizada por una vegetación sumergida dominada por *Myriophyllum elatinoides*, *Azolla foliculoides*, *Elodea Potamogeton*, *Potamogeton pectinatus*, *Callitriche stagnalis* y la especie emergente *Deyeuxia* sp. En el ecotono tierra/ agua se hacen dominantes dos especies del matorral: *Parastrephia quadrangularis* y *Parastrephia lepidophylla*. La composición florística varía dependiendo de la pendiente, flujo de agua y orientación. Taxonómicamente se puede considerar como endémicas de la Puna a los siguientes géneros de plantas encontrados en el humedal de Parinacota (Kalin Arroyo, 1982): *Oxychloe*, *Azorella*, *Gentiana*, *Werneria* y *Parastrephia*. La vegetación en los humedales de alta altitud depende fundamentalmente de las condiciones hidrológicas. En un gradiente desde terreno seco a zonas inundadas en el ecotono, la estructura de la biomasa de *O. andina* mostró diferencias significativas: En el borde más seco, aguas arriba, el cual se inunda ocasionalmente por períodos de tiempo cortos, se encuentra una biomasa pequeña. La biomasa máxima se observa en áreas que son inundadas frecuente o permanentemente (Cuadro 3). Las zonas ecotonales del humedal puede tener una alta biodiversidad. Sin embargo debido a factores locales, la biodiversidad puede ser difícil de predecir (Holland *et al.*, 1990). Los ecotonos en humedales altoandinos no son una excepción. Acá la mayor riqueza en especies está asociada con áreas permanentemente inundadas, mientras la menor biodiversidad se observa cerca del borde que limita con el sistema terrestre semidesértico.

Fauna de Invertebrados Acuáticos y Peces: Los subsistemas lóticos y lénticos en la Reserva Lauca son ricos en fauna acuática. Los invertebrados están representados principalmente por crustáceos, insectos y gastrópodos. El valor más importante

CUADRO 1.

CAMBIOS EN PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN UN GRADIENTE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA LAUCA. VALORES MEDIOS DE TRES LOCALIDADES EN CADA ZONA ° (1 D.S.)

Zona	pH	Conductividad	Sólidos suspendidos	Total-N	Mhos/cm	g/l	g/l	25°C
Chungará	9.1	1400.0	1,11*	574,00	(0.2)	(112.0)	(0.026)	(5,26)
Laguna Cotacotani	8.2	850.9	0.026	434.09	(0.0)	(7.0)	(0.001)	(6.15)
Aguas arriba Parinacota	8.2	845.0	0.027	439.77	(0.3)	(15.4)	(0.005)	(45.86)
Zona media Parinacota	8.0	742.6	0.021	386.36	(0.4)	(47.8)	(0.006)	(39.10)
Aguas abajo Parinacota	8.5	680.0	0.011	344.31	(0.7)	(58.6)	(0.002)	(25,08)

* = Sólidos disueltos totales

de los invertebrados acuáticos en los humedales es el papel que tienen en el soporte sostenido de la cadena trófica (Murkin & Wrubleski, 1988). En bofedales como Parinacota y lagos como Chungará y Cotacotani los invertebrados acuáticos están mayoritariamente asociados con Macrófitas y detritus vegetal. La abundancia de los grupos dominantes de invertebrados pueden ordenarse como sigue: Desmenuzadores (Anfípodos); Pastoreadores (caracoles de los géneros *Tafia* y *Ancylus*); filtradores y colectores (quironómidos, Diptera); Hemiptera, Coleoptera, Odonata, Tricoptera y Efemeroptera; otros consumidores Anélidos, Hirudíneos (sanguijuelas), Oligoquetos. Los peces están representados en los humedales por dos especies, un pequeño bagre (*Trichomycterus laucaensis*, "suche"), dominante en los sistemas lóticos y *Orestias* sp, "corvinilla", un ciprinodóntido, dominante en los sistemas lénticos. Se observan diferencias en la abundancia, biomasa y diversidad de las comunidades de invertebrados acuáticos entre ambientes lóticos (fluviales) y lénticos (lacustres). La trofodinámica muestra que *T. laucaensis* y *Orestias* sp; consumidores tope en sistemas lóticos y lénticos respectivamente, se alimentan de presas totalmente diferentes. *T. laucaensis* consume preferentemente *Anfípodos* y *Orestias* sp zooplancton y Dipteros quironómidos (Vila, no publicado). Aunque el paisaje acuático en los bofedales y zona litoral de los lagos aparece muy monótono, existen diferencias finas y leves entre los ambientes lénticos y lóticos. Por ejemplo, en los canales del humedal donde el flujo de agua está en un rango entre 0,2 y 0,4 m/s, las especies vegetales dominantes son: *Myriophyllum elatinoides*, *Elodea potamogeton*, *Potamogeton pectinatus* y *Minulus luteus*. En las lagunas donde el flujo del agua está en un rango entre 0,05 y 0,1 m/s las plantas dominantes son: *Ranunculus* sp, *Azolla filiculoides* y *Lemna giba* (De Carolis, 1986). Un patrón de distribución similar se observa con la fauna acuática. En los canales los grupos dominantes son: raspadores y desmenuzadores (Anfípodos y Tricópteros). En las lagunas predominan los filtradores (Zooplankton y Dípteros Quironómidos). En la red de canales las lagunas pequeñas funcionan como nodos, conectando una red de diferentes cursos de agua. Sugerimos que las lagunas (en verdad, expansiones de los canales) tienen un rol en los bofedales como ecotonos agua/agua. Ciertamente se requiere de mayor investigación para probar esta hipótesis.

Otros Vertebrados: En estos sistemas de alta altitud es posible encontrar tres especies de Anfibios: *Pleurodema marmorata* y *Telmatobius peruvianus* (Leptodactylidae), y *Bufo spinulosus* (Bufonidae). Los humedales de alta altitud de la Puna son también un refugio para una rica avifauna. Muchas de estas especies de aves son migratorias (Sallaberry, comunicación personal). Especies importantes son la "tagua gigante" (*Fulica gigantea*), que es endémica. El "pato jergón chico" (*Anas flavirostris*). La "guayata" (*Chloephaga melanoptera*) y la "gaviota andina" (*Larus serranus*). Hasta ahora las relaciones tróficas entre las comunidades de vertebrados e invertebrados acuáticos, anfibios y aves no han sido investigadas. Ocasionalmente dos roedores entran desde el sistema terrestre al bofedal, se trata de: *Lagidium viscacia* (vizcacha) y *Phyllotis boliviensis* (lauchón orejudo).

Pastoralismo: La economía indígena de la Puna ha sido tradicionalmente definida como pastoral y la evidencia arqueológica-antropológica lo sostiene (Otonello y Ruthsak, 1982; Castro, 1982, 1992, en prensa). En la actualidad la Economía pastoral en la región del Lauca es sostenida por camélidos y ovejas. Sin lugar a dudas la "Llama" (*Lama glama*) y la «Alpaca» (*Lama pacus*) son los animales más comunes en el Altiplano ya que suplen de lana, transporte y ocasionalmente carne a las comunidades pastoriles locales. La localización de los asentamientos humanos depende por lo tanto de las condiciones ambientales locales y de los movimientos de sus rebaños. De acuerdo a Rotondaro (1992), en los sistemas estudiados existe un pequeño asentamiento

CUADRO 2.

ESPECIES DOMINANTES DE LA COMUNIDAD DE PLANTAS EN LOS HUMEDALES ANDINOS DE ALTA ALTITUD DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA, LAUCA.

Especies	Familia
<i>Agrostis tolucensis</i>	Graminae
<i>Azolla filiculoides</i>	Azollaceae
<i>Carex incurva</i>	Cyperaceae
<i>Distichia muscoides</i>	Juncaceae
<i>Festuca rigescens</i>	Graminae
<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	Compositae
<i>Lachemilla diplophylla</i>	Rosaceae
<i>Oxychloe andina</i>	Juncaceae
<i>Werneria pygmaea</i>	Compositae
<i>Werneria pinnatifida</i>	Compositae
<i>Werneria spathulata</i>	Compositae

CUADRO 3

BIOMASA DE OXYCHLOE ANDINA, UNA ESPECIE HERBÁCEA DOMINANTE EN UN GRADIENTE EN PARINACOTA, UN HUMEDAL ANDINO DE ALTA ALTITUD.
VALORES MEDIOS DE 10 LOCALIDADES EN CADA ZONA ° 1 D.S.

Zona	Biomasa Vegetal kg/ha
Cuenca superior/ecotono del bofedal inundado en época lluviosa	3250 (367)
Zona Media inundada todo el año excepto al final de la estación seca	5800 (556)
Zona baja permanentemente inundada a través del año	7000 (486)

urbano (Parinacota), una aldea que es ocupada sólo durante festivales religiosos y dos tipos de asentamientos tradicionales: Composiciones con casa, bodegas y corrales. Estos son asentamientos permanentes. La gente considera a estos asentamientos permanentes como su hogar. Un segundo tipo de asentamiento tradicional es el «puesto» de pastoreo; éstos son unidades habitacionales aisladas y que se distribuyen en el perímetro del bofedal. Están ocupados temporalmente dependiendo de la disponibilidad de pasturas. Las familias individuales poseen varios puestos, moviéndose de uno a otro durante el año. La propiedad de la tierra es privada o comunal. El desarrollo pecuario por las distintas familias es realizado en una franja de pasturas delineada por límites físicos tales como: cuencas, cimas, rocas, etc. La franja incluye territorios de humedal y semidesierto seco. Los rebaños se mueven alternadamente por diferentes pasturas localizadas en el humedal y en la zona seca.

EVALUACION AMBIENTAL Y MANEJO

En los humedales de la Reserva de la Biósfera Lauca existen cerca de 10.000 cabezas de ganado de camélidos y ovejas. Troncoso (1983) y De Carolis (1986) han investigado la capacidad de carga para las pasturas localizadas en el humedal de Parinacota. Concluyen que la asociación vegetal: *Oxychloe andina* - *Werneris pygmaea* - *Deyeuxia curvula* tiene la mejor tasa

de conversión para la cría de ganado. En una primera aproximación entrega una carga sustentable de 2,03 llamas/ha/año. Sin embargo el humedal estaría soportando una sobrecarga de 2,06 a 3,53. Para conservar el bofedal, el cual de otra manera tendería a desaparecer por un uso no sustentable, los pastores nativos utilizan técnicas blandas de manejo (Castro, en prensa). Estas metodologías han conservado o incrementado exitosamente las funciones de los ecotonos en los humedales de alta altitud. Las técnicas de manejo están relacionadas principalmente con métodos de regadío. Virtualmente cada característica estructural y funcional de los bofedales está directa o indirectamente determinada por la hidrología (Carter, 1986; Bedford y Preston, 1988). Muhlhauser (en prensa) ha evidenciado de que los bofedales constituyen ecosistemas frágiles muy dependientes del agua. Sin embargo, los Aymara pueden constreñir o expandir los ecotonos tierra/agua, utilizando técnicas de regadío simples y apropiadas. Un nuevo parche de humedal puede desarrollarse en un lapso de cuatro años de adecuado manejo (De Carolis, 1986).

Modelo conceptual para el ecosistema de humedal de alta altitud: Este modelo ha sido desarrollado utilizando la estructura fundamental de flora y fauna natural del bofedal de Parinacota. La construcción del modelo está aún en progreso. Ha sido complementado con mediciones energéticas, calorimétricas en los distintos niveles tróficos de la trama alimentaria. Mediciones de Piranómetro dieron un valor de $4,18 \times 10^{13}$ kcal/año. Mediciones calorimétricas en parches vegetacionales del humedal de Parinacota dieron valores alrededor de $2,55 \times 10^{11}$ kcal/año. La vegetación acuática dió valores de $1,28 \times 10^{10}$ kcal/año. Consumidores tope como Orestias dieron valores de $2,77 \times 10^8$ kcal/año. *T. laucaensis* entregó un valor de $2,23 \times 10^5$ kcal/año. Esta aproximación parece adecuada para evaluar cuantitativamente cualquier modelo propuesto. Sin embargo, la verdadera pregunta es: ¿Cómo valorar los humedales andinos de alta altitud? Hasta ahora la disciplina de la Economía Ecológica ha desarrollado algunas aproximaciones para la valoración práctica de los ecosistemas (Constanza, 1991; Constanza *et al.*, 1992; Muhlhauser, enviado). En la valoración, se deberán tomar decisiones acerca de la preservación de hábitat, biodiversidad, así como los intereses de las poblaciones humanas locales. De este modo se estaría alcanzando metas para un manejo ambientalmente adecuado del sistema. La aproximación, por otra parte, debiera ser válida para los distintos escenarios en los cuales el uso sostenido de los bofedales y su entorno sea llevado a cabo. Proponemos una aproximación muy práctica cual es el concepto de «Salud del Ecosistema» (*sensu* Constanza *et al.*, 1992), asociado al uso de una moneda común tal como Energía o Flujo de Nutrientes (C, N, P).

CONCLUSION

Los humedales andinos de alta altitud o bofedales han sostenido un pastoralismo como una economía básica de subsistencia antes y después de la conquista española hasta nuestros días. Los bofedales son ecosistemas peculiares, donde la vegetación, la fauna e incluso el hombre están adaptados a condiciones ambientales extremas. Del presente estudio se puede concluir lo siguiente:

- La composición florística incluye varias especies endémicas de plantas, existentes sólo en la Puna.
- En los humedales estudiados, la fauna de invertebrados acuáticos constituye un eslabón fundamental y crítico de la unión entre los recursos productores primarios/detrítus del ecosistema y los consumidores secundarios de orden superior, incluyendo: peces, anfibios y aves acuáticas.
- Los parches de humedales altoandinos y sus zonas ecotónicas (tierra/agua o agua/agua) constituyen sistemas frágiles, altamente dependientes del régimen hidrológico local, y no pueden ser manejados aisladamente de: el drenaje de la cuenca superior, los sistemas terrestres semiáridos ubicados en su entorno, ni de los ecosistemas ubicados aguas abajo del humedal. El conocimiento adecuado de las condiciones hidrológicas en la región es un factor clave en la conservación de los humedales altoandinos.
- Otros factores importantes son aquellos relacionados con tasas de mineralización y reciclamiento de materia orgánica y el rol del anillo microbiano en condiciones de alta altitud. También un conocimiento adecuado de los ciclos biogeoquímicos y del flujo de energía.
- Prever la necesidad de reconciliar los usos tradicionales de los recursos existentes en estos humedales lagos y lagunas de alta altitud con las presiones de la sociedad mayor urbana ubicada en pisos altitudinales más bajos. Tales presiones se traducen en mayores demandas de agua para uso potable regadío minería y producción de electricidad.

Un conocimiento apropiado de la estructura y funciones de los humedales andinos de alta altitud debería entregar mecanismos para un uso sustentable de sus recursos.

REFERENCIAS

- Bedford, B. L. y Preston, E. M., 1988. Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape functions: status, perspectives and prospects. *Environmental Management* 12: 751-771.
- Beek, K. I., y Bramao, D. L., 1968. Nature and geography of South American soils. In: E. I. Fittkau *et al.*, (eds.) *Biogeography and*

Ecology in South America, Vol. 1. Dr W Junk, The Hague: 82-112.

Burgos, J. I., 1979. Climatic controls on the South American continent. *In*: Numata, M. (ed.) Ecology of Grasslands and Bambooslands in the World. W. Junk Publishers. The Hague: 20-29.

Carter, V., 1986. An overview of the hydrologic concerns related to wetlands in the United States. *Canadian Journal of Botany* 64:364-374.

Castro, M., 1982. Estrategias socioculturales de subsistencia en las comunidades aymaras altoandinas, en el interior de la provincia de Arica. Parinacota. *In*: Veloso, A. & Bustos, E. (eds.) El hombre y los Ecosistemas de Montaña. El ambiente natural y las poblaciones humanas de los andes del norte grande de Chile (Arica Lat. 18° 28° S). Las poblaciones humanas del altiplano chileno: Aspectos genéticos, reproductivos y socioculturales: Vol. 11, 99-132.

Castro, M., 1992. Utilización de recursos hídricos, economía de pastoreo y asentamientos humanos en la Puna árida. *En*: R. Tecchi & A. Veloso (eds.). Ecosistemas altoandinos de Argentina y Chile. Memorias del Instituto de Biología de la Altura. Universidad Nacional de Jujuy. 3: 69-76.

Castro, M. (aceptado). The use of water resource, pastoralism economy and human settlements in the dry Puna. *In*: Romero, H. (ed.). Proceedings of the 2nd International Workshop of Mountain Ecology. International Mountain Society. Santiago, October, 1991.

Caviedes, E. y Serey, I. 1992. Estado del conocimiento de la Vegetación de los Andes del Norte de Chile y Argentina. Memorias del Instituto de Altura. Universidad Nacional de Jujuy, Argentina, 3:11-17.

Conaf, 1986. Plan de manejo del Parque Nacional Lauca. Documento de Trabajo # 82. Corporación Nacional Forestal, I. Región Tarapacá, 298 p.

Constanza, R. (ed.), 1991. Ecological Economics. Columbia University Press, New York.

Constanza, R., Nonon, B y Haskell, B., 1992. Ecosystem Health. Island Press, Washington

De Carolis, G., 1986. Descripción del sistema ganadero y hábitos alimentarios de ovinos y camélidos domésticos, en el bofedal de Parinacota. Memoria Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, 259 p.

González, O., 1966. El sistema volcánico de los Nevados de Payachata. *Revista Universitaria (Universidad Católica)*, 50-51: 383-395.

Holland, M. M., Whigham, D.F. y B. Gopal, 1990. The characteristics of wetland ecotones. *In*: R. J. Naiman & H. Décamps (eds.) The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. Unesco-Parthenon, New Jersey: 171 - 198.

Kalin-Arroyo, M. Villagrán, C. Marticorena, C. y Armesto, J. 1982. Flora y relaciones biogeográficas en los Andes del Norte de Chile (18° a 19° S). *In*: A. Veloso & E. Bustos (eds.) El hombre y los ecosistemas de montaña. El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18°-20° S). Vol. I. La Vegetación y vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y Chungará. Unesco-MAB 6, Santiago: 71-92.

Klohn, W. 1972. Hidrografía de las zonas desérticas de Chile. Contribución Proyecto CHI-35. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 188 p.

Mühlhauser, H. Geoecology of a high altitude wetland in the Chilean Altiplano. Relevance for landscape and ecosystem structure. *In*: H. Romero (ed). Proceedings of the 2nd International Workshop of Mountain Geoecology. International Mountain Society. Santiago, October 1991, (en prensa).

Mühlhauser, H. Ecólogos + Economistas ° Impacto Ambiental. *Revista Medio Ambiente*, enviado.

Murkin, H. R. y D. A. Wrubleski, 1988. Aquatic invertebrates of freshwater wetlands: función and Ecology. *In*: Hook, D. D. *et al.*, (eds.) The ecology and management of wetlands. Volume I: Ecology of wetlands. Croom Helm, Londres, 592 p.

Otonello de G. Reinoso, M. y B. Ruthsntz, 1982. Environment, human settlement, and agriculture in the Puna de Lujuy, Argentina. *Acase study of land use change. Mountain Research and Development* 2: 111-126.

Peterjohn, W. T. y D. L. Correll, 1986. The effect of riparian forest on the volume and chemical composition of base flow in an agricultural watershed. *In*: Correll D. L. (ed.). Watershed research perspectives. Smithsonian Institution Press. Washington D. C: 244-262.

Rotondaro, R., 1992. Asentamientos humanos en Chungará (Chile) y Pozuelos (Argentina). Memorias del Instituto de Biología de la Altura. Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. 3:35- 48.

Salas, R. Kast, R. Montecinos, F. y Salas, R., 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica. Provincia de Tarapacá. Santiago, IIG, Bol. 21, 114 p.

Santoro, C. y Chacama, J., 1982. Secuencia Cultural de las Tierras Altas del Area Centro Sur Andina. Rev. Chungará 9. Universidad de Tarapacá, Arica.

Schnabel, R., 1986. Nitrate concentrations in a small stream as affected by chemical and hydrological interactions in the riparian zone. In: D. L. Correll (ed.) Watershed research perspectives. Smithsonian Institution press. Washington D.C: 263-282.

Troncoso, R., 1983. Caracterización ambiental del ecosistema bofedal de Parinacota y su relación con la vegetación. Memoria de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, 252 p.

Vila, I. y Mühlhauser, H., 1987. Dinámica de lagos de altura: perspectivas de investigación. Archivos de Biología y Medicina Experimental 20: 95-103.

COMUNIDADES BENTONICAS DE LAGUNAS ALTIPLANICAS Y SU RELACION CON LA ACTIVIDAD TROFICA

MATILDE LOPEZ M.

DEPARTAMENTO MANEJO DE RECURSOS FORESTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES UNIVERSIDAD DE CHILE

RESUMEN

Se estudiaron varias lagunas salinas del altiplano caracterizando sus parámetros químicos y comunidades bentónicas, especialmente la abundancia de diatomeas relevantes en la dieta de flamencos. Se destacan las fluctuaciones químicas y bióticas en el año, comparando estaciones de invierno y verano. Se encontraron relaciones entre tamaños de especies de *Surirella* y concentraciones de sílice en las aguas. Existe una específica relación trófica entre diatomeas y 2 especies de flamencos (*Phoenicoparrus andinus* y *Ph. Jamesi*). Los resultados indican que la estabilidad de las asociaciones diatomológicas está dada no sólo por la homogeneidad ambiental de las lagunas sino además por la actividad de los flamencos. En el delicado equilibrio de las lagunas altiplánicas se discute el rol de la particular cadena trófica definida como nutrientes --> comunidades bentónicas ---> flamencos. El conocimiento de sus fluctuaciones naturales serviría de base para estimar efectos de origen antropogénico.

ABSTRACT

Saline altiplanic lakes were studied by describing their chemical parameters and benthic communities, specially the amount of diatoms suitable to be eaten by flamingoes. The annual chemical and biotic fluctuations were estimated by comparing summer and winter samples. A relation was found between the size of *Surirella* and the sílice concentrations in water. An special trophic relation exist between diatoms and 2 species of flamingoe (*Phoenicoparrus andinus* and *P. jamesi*). The stability of diatom associations would be determined not only by the homogeneous environmental parameters of the lagoons, but also by the activity of flamingoes. On the basis of the gentle equilibrium of altiplanic lakes, the role of the particular trophic chain: nutrients --> benthic communities ---> flamingoes is discussed. The knowledge of this natural fluctuations would be useful for estimations of further anthropogenic effect.

ANTECEDENTES

El término «Salar» identifica a cuencas cerradas (sin drenaje), con alta evaporación que excede el monto de agua aportada por los afluentes a la cuenca. Incluye una serie de espejos lacustres, cuerpos lagunares y llanuras con poca profundidad de sus aguas y depósitos salinos o con materiales elásticos parcialmente cementados por sales.

La salinidad tiene su origen principalmente en la alta evaporación, en otros casos, las sales son aportadas por los efluentes, o ambas situaciones contribuyen al acopio de sales.

Los lagos y lagunas salinas no sólo son importantes desde el punto de vista económico, sino que constituyen indicadores sensitivos de un pasado tectónico y de eventos climáticos pretéritos. Presentan una amplia variedad de composiciones salinas y rangos de concentración de las mismas; Beadle (1974), discutió un criterio para distinguir aguas salinas de dulces, marcando el límite en 5.000 ppm de sólidos disueltos y basándose principalmente en la tolerancia biológica. El límite superior estaría dado por la solubilidad del mineral más soluble en equilibrio con las salmueras residuales. Estas salmueras pueden alcanzar concentraciones cercanas a 400.000 ppm de sólidos totales disueltos.

El ecosistema de salares y lagunas está considerado como extremadamente frágil debido a la escasez de recursos hídricos superficiales. La poca profundidad de sus cuerpos de agua plantea que estudiar las comunidades planctónicas y bentónicas no puede hacerse como dos subsistemas separados. Ocurre aquí, por influencia del viento, una remoción alta de sedimentos («winnowing») que pasan a integrar parte de la masa biológica flotante en un lapso no mayor de 8-10 horas, día a día (López, 1980).

Debido a que los principales componentes del microbentos de los sedimentos son algas silíceas, el objetivo de este estudio fue visualizar si existen algunas regularidades cuantificables en su distribución y cómo se relacionan las mismas con los siguientes niveles tróficos. Especial énfasis fue dirigido a la determinación de sílice, biomasa, y distribución areal de diatomeas del género *Surirella* (Turpin), debido a la importancia que revisten como items alimentarios del flamenco Andino (López, 1988).

UBICACION GEOGRAFICA DE LOS CUERPOS DE AGUA MUESTREADOS

Se visitaron lagunas y salares altiplánicos entre los 17° y los 23° Lat. Sur, en una serie de expediciones efectuadas entre 1980 y 1985. En la Tabla Nº 1, se resumen datos sobre ubicación y elevación sobre el nivel del mar, de los cuerpos de agua estudiados (Krstulovic y Roa, 1985).

TABLA 1.
UBICACION GEOGRAFICA DE LOS CUERPOS DE AGUAS ESTUDIADOS

SALAR O LADO	LATITUD(S)	LONGITUD(W)	ELEVACION M S.N.M.	PROVINCIA
CHILE				
Salar de Atacama (Laguna Salada)	23° 41'	68° 08'	2303	El Loa
Salar de Carcote	21° 18'	68° 20'	3691	El Loa
Salar de Ascotán	21° 29'	68° 23'	3722	El Loa
Salar de Pujsa	23° 12'	67° 32'	4525	El Loa
Saiar de Surire	18° 48'	69° 04'	4200	Parinacota
BOLIVIA				
Lago Soledad	17° 44'	67° 22'	3718	Sud-Lípez Sud-Lípez
Laguna Hedionda	21° 34'	68° 03'	4121	
Laguna Colorada	22° 11'	67° 47'	4278	
Laguna Uru-Uru	18° 05'	67° 06'	3693	

MATERIAL Y METODOS

1. PARTE BIOLÓGICA

a) Técnicas de muestreo:

Este prodimiento fue extendido a todos los cuerpos de agua estudiados. Las muestras oscilaron desde 1 hasta 8.

Se procedió a trazar sobre los sedimentos del fondo, una figura de 1 m² entorno.

En los vértices y el centro del mismo se tomaron las muestras de sedimentos con 1 sacacorte triangular de área 6,9 mm² y con una profundidad de 5 mm (Hurlbert y Chang, 1983). Se tomaron e muestras de cada punto señalado del cuadro y luego esta muestra compuesta (345 mm³), se guardó en un frasquito plástico, donde fueron fijadas con formalina al 5 %. Las muestras se extrajeron, al inicio o al final del día, evitando así las horas de mayor viento.

b) Limpieza de Material:

Se procedió la siguiente forma para eliminar la gran concentración de carbonatos presente en la mayoría de las muestras:

1. De los frascos plásticos con material fijado se sacó 3 ml.
2. Se agregó 6 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCL para remoción de carbonatos.
3. Se dejó reposar por algunos minutos, hasta que hubo disminuido la efervescencia producida.
4. Se centrifugó por cuatro minutos, se eliminó el sobrenadante y se lavó con agua destilada dos veces, repitiendo la centrifugación.
5. Se traspasó el material centrifugado a un vaso de precipitado agregando 6 ml de ácido nítrico (HNO₃ para remoción y eliminación de material orgánico.
6. Los 40 ml resultantes se reducen a 20 ml por ebullición bajo campana. Se colocan bolitas de ebullición en el fondo del vaso de precipitado que ayuda a disociar conglomerados de materia orgánica e inorgánica por medio de choques.
7. Se agregó dicromato de potasio K₂Cr₂O₇, para ayudar a eliminar restos de materia orgánica de las diatomeas.
8. Se lavó y centrifugó (como en punto N° 4), hasta alcanzar un pH cercano a la normalidad.

c) Preparación de placas con material fijado.

Se tomaron 2,5 ml con una pipeta Staempel (automática). A cada porta objetos (10) se le agregaron 5 gotas (0,24 mm³) del material (sedimento limpio) calentando hasta sequedad. El calefactor (hot plate) estaba graduado a 35° C. Luego de reducir la temperatura, se procedió a fijar las muestras en Hyrax y cubrir con un cubreobjetos. Posteriormente se dejó a Temperatura

ambiente por 24 horas para que la preparación adquiriera firmeza. Luego se sellaron los bordes del cubreobjetos con barniz de uñas transparente y se procedió a rotular.

Este procedimiento se realizó para cada estación de muestreo dentro de cada laguna, es decir, se prepararon diez placas por estación de muestreo.

d) Descripción de dos especies de *Surirella*.

Surirella sella Frenguelli (Husted)

Valvas grandes fuertemente heteropolares. El área central hialina presenta una modificación muy marcada, variando desde una forma elíptica hasta una casi lineal estrecha. Numerosos ejemplares presentan una leve torción. Se las puede encontrar abundantemente en las lagunas poco profundas de los salares, especialmente en aquellas con aguas sulfatadas sódicas.

Sus dimensiones oscilan en:

Eje apical: 50 a 220 μm

Eje transapical: 54 a 129 μm . (Servant -V. y Blanco, 1984)

Surirella wetzeli (Husted)

Valvas elípticas simétricas en el eje apical. Área central prolongándose estrecha hacia los ápices. Estrías muy finas. Costas completas 2,5 en 10 μm . Tamaño:

Eje apical: 75 a 150 μm

Eje transapical: 30 a 85 μm

Esta especie difiere principalmente de *S. Sella*, por la estrecha simetría de su área central (López, 1980).

e) Recuento de algas silíceas y estimación de biomasa.

Para el recuento de las preparaciones se utilizó un microscopio Watson Microsystem 70, bajo aumento de 400 X. Se observaron 50 campos ópticos distribuidos al azar en cada preparación. Se recontaron todas las especies de *Surirella sella* y *S. Wetzeli* de cada campo, midiéndose además los ejes apicales y transapicales.

Estas mediciones se efectuaron debido a que existe una relación entre el contenido de carbono y el tamaño de la célula (Paasche, 1960; López, 1977). En las lagunas del Salar de Atacama y Surire, se procedió a calcular la superficie-área promedio para cada especie, aplicando la fórmula de la elipse. Para conocer que superficie ocupan los individuos recontados en la muestra total analizada de cada laguna, se multiplicó por la superficie-área promedio. Esta relación matemática encierra los siguientes supuestos:

- a) Que todos los individuos recontados estaba uno al lado del otro, sin sobreposición, y
- b) Que todas las valvas (integrando o no el frústulo) yacen en forma horizontal.

2. PARAMETROS QUIMICOS

a) Técnica de muestreo.

Las muestras de agua se colectaron haciéndolas coincidir con las distintas estaciones de muestreo para sedimentos. Se utilizó botellas plásticas de 500 ml y se determinaron concentraciones de SiO_2 , Ca^{+2} , Mg^{+2} , CaCO_3 (SO^{-2} , CO^{-2} y HCO^3). Todas las determinaciones se efectuaron con los métodos señalados por el Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 1981); a excepción de la determinación de sílice en agua, que se efectuó por un método colorimétrico y con las siguientes especificaciones:

Puede ser usado por muestras que contengan de 0,1 a 100 mg/l de sílice. Muestras que contengan más de 100 mg/l deberán ser analizadas por procedimientos gravimétricos estandares (Govet, 1961).

RESULTADOS

1. PARAMETROS BIOLÓGICOS

a) Análisis a Macroescala.

De la Tabla 2 se desprende que en la Salar de Atacama ambas especies de *Surirella* muestran mayor abundancia en invierno que en verano.

TABLA 2.
CALCULO DE LA SUPERFICIE AREAL DE 2 ESPECIES DE SURIRELLA

Laguna	Especie	^{1/2} Eje apical (mm)	^{1/2} Eje transapical (mm)	Sup-Area (mm ²)	Nº indiv. por mm ²
Salada salar de Atacama Verano	<i>S. Wetzeli</i>	0,03346	0,02095	0,00220	454
	<i>S. Sella</i>	0,03792	0,01884	0,00224	446
Invierno	<i>S. Wetzeli</i>	0,03351	0,01790	0,00188	529
	<i>S. Sella</i>	0,03292	0,01646	0,00188	584
Salar de Surire	<i>S. Wetzeli</i>	0,02926	0,01759	0,00161	617
	<i>S. Sella</i>	0,02375	0,02160	0,00161	618
Salar de Ascotán	<i>S. Wetzeli</i>	0,04281	0,03216	0,00432	321
	<i>S. Sella</i>	0,03022	0,01656	0,00157	636
Salar de Carcote	<i>S. Sella</i>	0,03269	0,03091	0,00314	318
Salar de Pujsa	<i>S. Sella</i>	0,04764	0,02536	0,00379	263
Laguna Hedionda	<i>S. Wetzeli</i>	0,04157	0,03600	0,00470	212
Laguna Soledad	<i>S. Wetzeli</i>	0,03757	0,02600	0,00306	325
Laguna Uru-Uru	<i>S. Wetzeli</i>	0,04157	0,03600	0,00470	370
Salar de Atacama (afuente)	<i>S. Wetzeli</i>	0,04658	0,03490	0,00515	194
	<i>S. Sella</i>	0,04690	0,04048	0,00712	130

En el curso escurrente a la laguna salada se encontró menor abundancia en ambas especies.

El número de individuos por mm², se mantiene dentro del mismo rango de abundancia, en las diferentes lagunas abarcando desde 17° a las 23° Lat. Sur y en transecto altitudinal que oscila entre los 2.300 m s.n.m. (prealtiplano) y los 4.500 m s.n.m. (Altiplano).

En el Salar de Surire la biomasa total de *Surirella* corresponde a 34,35 mg de C por mm².

TABLA 3.
CALCULO DE BIOMASA PARA DOS ESPECIES DE SURIRELLA. FLUCTUACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES

Localidad	Estaciones	Especies		Nº total cels.	MgC/mm ²	
		<i>S. sella</i>	<i>S. wetzeli</i>			
Salar de Atacama	V-1	37	134	171	4,07	
	V-2	114	70	184	6,32	
	Enero	V-3	47	169	215	8,38
		V-4	11	235	247	7,95
		V-5	2	15	17	0,02
		V-6	2	22	23	0,04
		V-7	1	27	269	12,70
Total 39,48						
Agosto	I-1	44	164	208	6,15	
	I-2	115	170	285	12,74	
	I-3	221	90	212	6,01	
	I-4	24	178	202	4,39	
	I-5	32	106	138	2,41	
	I-6	1	12	13	0,01	
	I-7	7	202	209	6,10	
Total 37,81						
Salar de Surire	P-1	25	221	246	6,82	
	P-2	35	176	211	6,82	
	Septiembre	P-3	22	111	133	2,02
		P-4	19	151	170	3,32
		P-5	99	114	213	3,34
		P-6	98	119	217	3,59
		P-7	86	118	204	6,28
		P-8	126	90	216	4,00
Total 34,35						

TABLA 4.
ANALISIS QUIMICO DE AGUA (ppm)

		SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SiO ₂	pH	Dureza	Tº	Conductividad Micromhos/cm
Salar de Atacama											
Laguna Salada 2	20-8-83	2,224,03	52,40	164,68	902,86	908,26	58,58	8,10	5.992,07	10,0	22,506
Laguna Salada 3	20-8-83	2,321,94	52,40	128,35	1.025,62	901,06	59,79	8,05	6.268,93	9,0	--
Laguna Salada 4	09-1-83	1.306,11	---	272,16	422,24	507,66	75,23	--	3.143,41	20,0	66,000
Laguna Salada 6	20-8-83	2.307,13	52,40	169,52	1.037,49	905,86	59,58	8,15	6.318,37	11,0	--
Laguna Salada 7	20-8-83	1.875,98	51,21	181,63	839,50	725,65	64,00	8,15	5.082,38	10,0	
Lagunas Superficiales al Salar de Atacama											
Vertiente en Peine	1-80	657,60	20,70	41,40	298,50	103,20	--	7,70	--	--	--
Vertiente en Tilo Monte	1-80	576,00	33,00	98,40	260,50	144,50	--	8,00	--	--	--
Lag. Central Salar Surire	9-83	--	84,00	128,10	250,00	72,00	19,80	--	55,54	--	--
Lag. Central Salar Carcote	9-83	--	--	--	0,08	0,01	--	--	--	--	--
		2.980,00		200,00	60,00	260,00		7,50	3.400,00		

NOTA: Números en Laguna Salada corresponde a estaciones de muestreo.

b) Análisis a microescala

De la Tabla 3, se puede visualizar que en el Salar de Atacama las algas son más pequeñas en invierno que en verano, expresado en términos de biomasa total, estos valores son 37,81 mg C por mm² y 39,48 mg de C por mm², respectivamente.

2. PARAMETROS QUIMICOS.

Se entrega con detalles (Tabla N° 4) los parámetros químicos de las lagunas del Salar de Atacama, Surire y Carcote, por ser lagunas de concentración y fluctuaciones anuales de *Phoenicoparrus andinus* (Hurlbert y Keith, 1979).

En el Salar de Atacama lo más relevante, se refiere a las concentraciones de sílice, Calcio y bicarbonato comparando la situación estival (llamada «invierno Boliviano») y el invierno propiamente tal.

Si se comparan los datos especialmente, en época de invierno encontramos que el Salar de Surire tiene aproximadamente un tercio de la concentración de sílice que el Salar de Atacama y la décima parte o menos respecto al Magnesio. La dureza total es de 2 órdenes de magnitud menor.

Introducción los datos de Carcote, encontramos que la concentración de Magnesio es un tercio menor que el Salar de Atacama y la de Calcio es un orden de magnitud menor.

DISCUSION

En la Tabla 2, se observa que el número (N°) más alto de individuos por mm², para ambas especies se presenta en el Salar de Surire, sin embargo corresponde a individuos con pequeña superficie - área. El número más bajo de las mismas, corresponde a muestra del afluente a la laguna salada del Salar de Atacama. Estos últimos valores (194 *Surirella Wetzei* y 130 *S. Sella*) son los que más se aproximan a los informados por Hurlbert y Chang (1983), donde se reporta una densidad de 110 individuos por mm² en los sedimentos superficiales de la laguna Puripica - Chico, Bolivia. En las otras lagunas bolivianas y chilenas se observa una distribución regular en el número de individuos por mm².

Comparando dos períodos de muestreo, en la laguna salada del Salar de Atacama, se puede decir que en verano estas especies están mejor representadas por ejemplares más grandes que durante el invierno. Comparando ambas especies entre sí, *Surirella Sella* mantiene individuos de tamaño relativamente constantes en ambas épocas, a diferencia de *S. Wetzei*, la cual muestra frústulos más pequeños en invierno que en verano.

Relacionando las variaciones temporales de tamaño, con el contenido de sílice (SiO₂), se puede ver que el mayor aporte (por efecto de las lluvias) de sílice al salar se produce en el verano, de allí que se podría inferir que durante este período las algas cuentan con más materia prima para construir frústulos de mayor tamaño. Así existiría también una mayor cantidad de biomasa expresada como mg de carbono por mm³ en los sedimentos del fondo.

INTERACCION DIATOMEAS - FLAMENCOS

Muchos de los cuerpos de agua altiplánicos son lugares de alimentación o sitios de importancia poblacional para las tres especies flamencos sudamericanos que coexisten habitualmente allí. Hay una clara correlación entre la existencia de altas salinidades, diatomeas y presencia de *Phoenicoparrus andinus* y *Ph. Jamesi*. La otra especie *Phoenicopterus chilensis* utiliza sectores con sedimentos y también áreas con fondos endurecidos o arenosos y aguas con salinidad medianas a bajas, incorporando en su dieta preferentemente planctones e invertebrados bentónicos tales como copépodos, anfípodos, quirinómidos, corixidos y *Artemia salina*, siendo ésta la más omnívora de las 3 especies (Hurlbert *et al.*, 1984.)

Existen pocas evidencias experimentales de como la estructura y el funcionamiento de un ecosistema acuático se alteraría por la desaparición de una o más especies de aves que se alimentan habitualmente allí. Hurlbert y Chang (1993) realizaron un experimento para delimitar el rol de los flamencos en la determinación de la flora diatomológica bentónica. Sus resultados nos indican que existiría una modificación sustancial de aquella, comparando áreas exluídas y no exluídas.

Por otra parte, en muestras de excrementos del flamenco andino y sedimentos, obtenidos de tres lagunas de diferentes ubicación en el Salar de Carcote (López, 1988) se encontró una distribución bimodal para algas provenientes de las fecas y unimodal para aquellas de los sedimentos. La explicación de esta distribución se basa en que los espacios inter-lamelares del filtro alimentario de *Ph. andinus* miden de 300 a 600 μ m por 140 a 1.200 μ m y que esta especie ingiere partículas de 100 a 500, μ m o más (Servant-Vildary, 1984). Con este rango de tamaño, los flamencos comerían diatomeas y hasta estados inmaduros de insectos o microcrustáceos (Jenkin, 1957; Hurlbert *et al.*, 1991). Estos últimos quedarían retenidos mecánicamente entre las lamelas del pico, ayudando a la sujeción de las algas más pequeñas.

Por otra parte estudios sobre los contenidos estomacales de flamencos provenientes de la laguna Colorada de Bolivia y de dos lagunas saladas chilenas, mostraron una impresionante similitud de tamaño de las diatomeas. Esto no se debería a un tipo de alimentación selectiva de *Ph. jamesi*, sino más bien a la similitud de la microflora en los lagos de composición química idéntica

y a la selección mecánica de los lamelas bucales (Patrick, 1968).

Servant - Vildery (op. cit) estudiando la flora de los sedimentos superficiales de la laguna Colorada, encontró que ésta era similar a lo encontrado por Patrick (op. cit.), aproximadamente 20 años antes. Así, los flamencos podrían tener un doble efecto en mantener estas asociaciones diatomológicas sin grandes variaciones en el año (similar diversidad específica) por:

- 1° La remoción que efectúan en los sedimentos, evitando que las vainas gelatinosas de las algas azul verdes (*Cyanophyta*), formen masas densas similares a jaleas, y
- 2° La fertilización con sus deyecciones de las áreas que frecuentan, permitiendo que, en épocas de baja presencia, estos nutrientes favorezcan el crecimiento de las asociaciones diatomeológicas.

Un hecho se suma en favor de estas hipótesis. En febrero, época durante la cual los flamencos son particularmente abundantes, en la Laguna Colorada, existen asociaciones de diatomeas comparables a aquellas de mayo que es una época poco favorable a los flamencos. Así mismo, muchas de estas diatomeas son dispersadas, por las aves, siendo devueltas por defecación en otras lagunas distintas a aquellas donde fueron comidas, contribuyendo a la homogeneidad estructural en todas las lagunas.

CONCLUSIONES:

En el caso de las tres especies de flamencos Altiplánicas se pueden alcanzar algunas generalidades:

- a) Todas ellas obtienen su alimento por filtración el sedimento limoso del fondo de las lagunas. La profundidad máxima para la obtención del alimento es inferior a 1 m.
- b) Las 3 especies presentan diferentes sistemas de búsqueda y preferencias alimentarias. El tamaño de los items alimentarios retenidos está determinado por el tamaño del sistema de filtros de cada especie.
- c) La salinidad de las aguas, jugaría un rol fundamental en la calidad de las asociaciones diatomológicas. Así las especies de *Phoenicoparrus* se verían favorecidas por altos niveles de sales y decrecimiento de estos niveles determinaría la presencia de *Phoenicopterus chilensis*.

En este delicado ambiente lagunar la evolución trófica ha conducido a una especialización doble. Existiendo una parte mecánica de obtención, manejo e ingestión del alimento, particular de cada especie, y otra parte bioquímica que requiere de un estudio más experimental como proyección futura.

REFERENCIAS

- Beadle, L.C., 1974. The Inland Water of Tropical Africa. An Introduction to Tropical Limnology. Longman Group Ltd., London, 365 p.
- Govet, G. J.S., 1961. Critical factor in the Colorimetric Determination of Silica. Anal. chemical, V. XXV, p. 69-80
- Hurlbert, S.H. y J.O. Keith, 1979. Distribution and Spatial Patterning of flamingoes in the Andean Altiplano. The AUK 96: 328-342.
- Hurlbert, S.H. y C. Chang, 1983. Ornitholimnology effect of grazing by the Andean Flamingo (*Phoenicoparrus Andinus*). Proc. Nat. Acad. Sc. USA, Vol. 80; 4766-4769
- Hurlbert, S. H., M. López y G. O. Keith, 1984. Wilson's Phalarope in the Central Andes and its interaction with the Chilean Flamingo. Rev. Chilean Hist. Nat., 57: 47 - 57.
- Hurlbert, S.H. *et al.*, 1991. Flamingo biology and ancient ice deposits in Saline lakes of the Central Andes. Procc. 5th Internat. Sympos. on Inland Saline Lakes, p. 9.
- Jenkin, P., 1957 The filter-feeding and food of flamingoes (*Phoenicopteri*). Nature, London 240: 404-490.
- Krstulovic, y Roa C., 1985. Determinación de Sílice, Biomasa y Distribución Areal de dos especies del género *Surirella* Turpin 1827 en Lagunas de Salares. U. de Antofagasta, 65 p.
- López, M., 1980. Un nuevo subgenero de *Surirella* en Sedimentos del Salar de Carcote, Chile. Not Mens. Museo Nacional del Historia Natural XXIV (281-287) 3-7.
- López, M., 1988. Alimentación de flamencos altiplánicos, con énfasis en *Phoenicoparrus andinus* (Philippi) en el Salar de

Carcote, Chile. 1er taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos. CONAF, Chile - N.Y. Zool Soc., USA, p. 84-89.

Paasche, E., 1960. On the relationship between primary production and standing stock of phytoplankton. J. Conseil, Conseil Perm. intern. Exploration Mer. 26:33-48.

Patrick R., 1961. Diatoms (Pacillariophyceae) from the alimentary tract of *Phoenicoparrus jamesi* (Sclater). Portilla. Yale Peabody Mus. Of Nat. History, 49: 3-42.

Servant - Vildary, S., 1984. Les Diatomées des lacs sursalés Boliviens. Cahiers ORSTOM, Sér. Géol., vol XLV: 35-53.

Servant-Vildary, S. y M. Blanco, 1984. Les diatomées fluviolacustres du Pléistocène à la Formación Charaña. Cahiers. O.R.S.T.O.M. Sér. Géol., Vol. XIV, (1):55-102.

MICROORGANISMOS DE AMBIENTES EXTREMOS: SALAR DE ATACAMA, CHILE

VICTORIANO CAMPOS PARDO

MICROBIOLOGIA AMBIENTAL. INSTITUTO DE BIOLOGIA
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS Y MATEMATICAS, UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
AVDA. BRASIL 2950 - VALPARAISO, FAX: 212746

RESUMEN

El estudio de zonas áridas y de ambientes extremos presenta cada día mayor interés, debido a la expansión de los desiertos ya sea por el impacto antropogénico o por situaciones climáticas. El conocimiento de microorganismos procariotas en ambientes extremos tiene importancia tanto por el conocimiento mismo de los microorganismos presentes como por las estrategias que deben desarrollar para pervivir en estos ambientes o por el papel que desempeñan en ellos. En el presente trabajo se presentan los resultados de 10 años de investigación sobre estos microorganismos en el área del Salar de Atacama y zonas de influencia como el Tatio. Se seleccionaron diferentes estaciones, en las que se determinaron parámetros físico-químicos, y se realizó recuento, aislamiento e identificación de los microorganismos procariotas. Los resultados muestran poblaciones bacterianas heterogéneas, representadas por diferentes grupos de microorganismos: *halotolerantes*, *halófilos*, *Archaeobacteria*, *Cyanobacteria* y *termófilos*, entre los grupos más significativos.

ABSTRACT

The study of arid zones and extreme environments is of increasing interest due to the expansion of deserts because of anthropogenic impact or by climatic situations. The knowledge of prokaryotic microorganisms in extreme environments is important in itself in terms survival strategies and roles such microorganisms play in their habitat. In this work we present results of 10 years of research on microorganisms from the area of the Salar de Atacama and the Tatio. Sampling stations were selected and physico-chemical parameters determined; in addition, bacterial counts isolations and identifications were performed. Results show heterogeneous bacterial populations represented by different groups of microorganisms: *halotolerant*, *halophilic bacteria*, *Archaeobacteria*, *Cyanobacteria* and *thermophilic* bacteria among the most significant groups.

INTRODUCCION

Numerosos autores han tratado de definir qué se considera ambiente extremo. Brock (1979), lo define como una condición bajo la cual algunas clases de organismos pueden crear, mientras otras no pueden, de esta manera, ambiente extremo puede ser definido taxonómicamente. Así, encontraríamos ambientes con una alta diversidad de especies y ambientes denominados extremos, donde los grupos taxonómicos han desaparecido.

Desde un punto de vista pragmático Kushner (1980) estudia todas aquellas características comunes de los ambientes que se han definido como extremos, como son: altas temperaturas, bajas temperaturas, altas radiaciones, elevadas concentraciones de metales pesados o de agentes químicos nocivos, altas concentraciones de sal, baja disponibilidad de agua, pobreza de nutrientes, etc., o combinación de estas características.

La biota presente en este tipo de ambientes adquiere importancia debido al escaso conocimiento de algunos grupos, a sus características muy particulares o las estrategias que deben desarrollar para superar el "stress" y al papel que juegan los organismos procariotas en el establecimiento de las cadenas básicas para la vida.

El desierto de Atacama se extiende de Este a Oeste desde la Cordillera de Los Andes hasta la costa. En esta pendiente presenta dos pliegues importantes que originan la Cordillera de la Costa, por Occidente y la Cordillera de Domeyko, en el Oriente confirmando una depresión llamada "La Gran Fosa" con una longitud de 900 km. en el sentido Norte-Sur y 90 Km. entre la Cordillera de los Andes y la de Domeyko. Así, el Salar de Atacama se encuentra ubicado en el seno de una gran cuenca cerrada de 85 km. de largo por 50 km. de ancho (Fig. 1-2). Se trata del mayor Salar de Chile con una superficie de 3.000 km², localizado a 23°30' latitud Sur y 68°15' latitud Oeste y a 2.230m. sobre el nivel del mar. Distintas zonas del Salar reúnen condiciones con características extremas como: alta salinidad, altas radiaciones electromagnéticas (UV), altas temperaturas, sequedad y áreas con disponibilidad de agua.

MATERIALES Y METODOS

Recuento y Aislamiento de Microorganismos procariotas.

En las primeras expediciones se realizó un amplio muestreo determinando características físico-químicas tales como: temperatura máxima y mínima, pH, salinidad, conductividad, luminosidad y características químicas de los cuerpos de agua, lo que permitió establecer 7 estaciones de muestreo que presentaban características diferentes, una de ellas en el límite N-E fuera del Salar, en el Tatio, por ser una zona de *géisers* de particular interés. Las estaciones fueron las siguientes: Valle de La Luna (VL), Zona de Polígonos (ZP), Yervas Buenas (YB), Laguna de Tebenquiche (LT), Pozas Camino Toconao (PT), Tilopozo (Ti) y Tatio (Ta).

Los microorganismos fueron aislados de muestras de suelos, aguas, sedimentos y rizósfera. Los recuentos de viables se

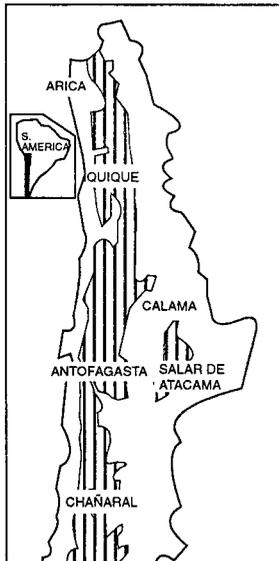


Fig. 1 Localización geográfica del Salar de Atacama y perfil de alturas.

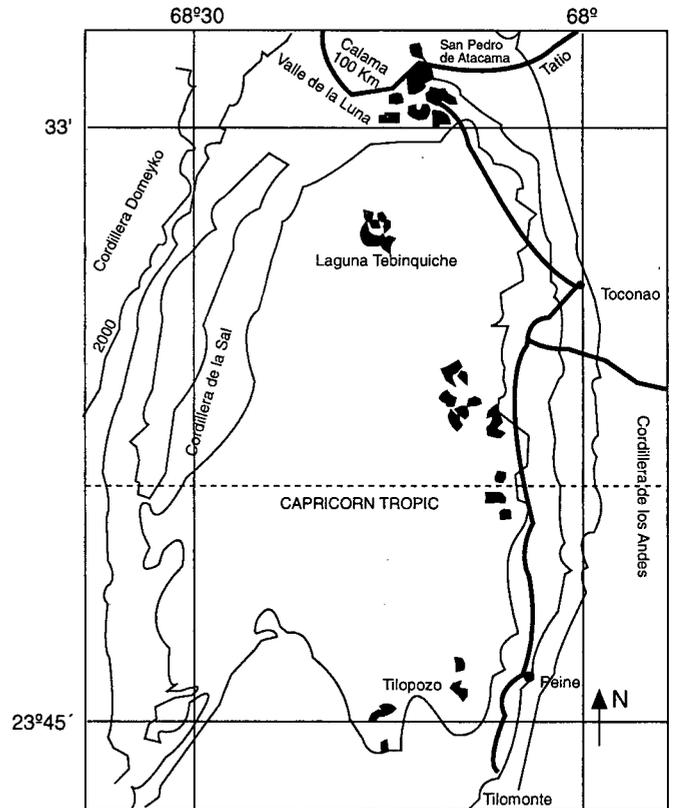


Fig. 2 Contorno del Salar de Atacama y posición relativa de estaciones de muestreo

realizaron plaqueando (0,1 ml) del homogenizado de diluciones decimales hasta 10^{-4-6} de las muestras de suelo, sedimento y rizósfera. Las muestras de agua se sembraron en forma homogénea (0,1 ml) por placa y en duplicado. Además se filtraron in situ utilizando membranas volúmenes de 100, 50 y 10 ml. Las membranas fueron depositadas en placas con diferentes medios selectivos.

Para el recuento y aislamiento de los microorganismos se utilizaron los medios de cultivo: (MH) de acuerdo a Quezada *et al.* (1984), (SG) Sehgal y Gibbons, (EIM) Eimkjellen, (HH) Halococcus y Halobacterium, (BG-11), (D) medio modificado de Costenholtz y medio (CAS).

Con el fin de diferenciar los tipos de halofiliismo, el medio (MH) fue preparado a las siguientes concentraciones de sales totales: 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. Para el aislamiento y cultivo de las bacterias halófilas extremas se utilizó el medio (MH) con 25% de sal, suplementado con penicilina (500.00 UI/ml) de acuerdo a Torreblanca *et al.* 1986). Las bacterias halotolerantes fueron identificadas de acuerdo a Marquez *et al.* (1987). Las cianobacterias fueron cultivadas en el medio BG-11 e identificadas de acuerdo a Rippka (1979).

Las bacterias, sembradas en placas, en bolsas selladas, fueron incubadas a 28°C por 4 a 7 días, exceptuando las halófilas extremas que fueron incubadas por 15 días a 37°C. Las colonias se aislaron al azar de las placas y fueron sub-cultivadas en el mismo medio para asegurar su pureza. Las cianobacterias fueron cultivadas a la temperatura del laboratorio y con luz. Para asegurar la mantención de los ceparios, se han mantenido las cepas paralelamente a -70°C, liofilizadas y no liofilizadas a 5°C.

Para la caracterización de las cepas, en general, se realizaron unas 110 pruebas, entre morfológicas y culturales, fisiológicas, bioquímicas, nutricionales y de sensibilidad a los antibióticos.

Para el análisis numérico de halófilas, se seleccionaron 107 pruebas que se codificaron en forma binaria. El grado de semejanza entre las diferencias cepas se obtuvo mediante el uso de coeficientes de apareamiento simple S_{sm} (Sokal y Michener, 1958) y el de Jaccard S. (1908). La técnica de agrupación (UPGMA) y el coeficiente de correlación cofenética se realizaron de acuerdo a Sneath y Sokal (1973).

El contenido de ácidos grasos de las cepas seleccionadas como cepas tipo, se analizó adicionalmente por cromatografía

gaseosa. Se realizó microscopia electrónica tanto de barrido como de transmisión de acuerdo a los objetivos, y se determinó el contenido de (G+C) por cromatografía líquida de alta resolución.

RESULTADOS

Número total de microorganismos y géneros determinados.

Los estudios realizados en diferentes desiertos permiten deducir que la baja cantidad de materia orgánica, en este tipo de suelos, corresponde fundamentalmente a la aportada por los microorganismos. Así, se describen, para el Sahara, valores de $2,0 \times 10^3$ - $1,5 \times 10^6$, para el Kara Kumi, valores de $8,6 \times 10^4$ - $6,7 \times 10^5$, para el Sonora de $1,5 \times 10^6$ y para el Monjave de $2,9 \times 10^6$ - $1,6 \times 10^7$.

Halófilos moderados determinados en el Salar de Atacama pueden encontrarse en Campos *et al.* (1990), Prado *et al.* (1991) y Valderrama *et al.* (1991). En la Tabla N° 1 se muestran algunos datos determinados para diferentes tipos de muestras en el Salar de Atacama.

Un porcentaje superior al 35% de los aislamientos corresponde a microorganismos halófilos. Se ha logrado identificar 9 géneros de bacterias halófilas moderadas y de halotolerantes. Por otra parte, se logró aislar el Género *Halomonas*, descrito como de extrema tolerancia a la sal, anteriormente aislado de salinas solares.

Sin embargo, cepas de halófilas moderadas, correspondientes a bacilos, Gram negativos, móviles y oxidasa negativos y de *Vidrios*, que no correspondieron con las características de las cepas tipo de colección, continúan en estudio para definir su clasificación; con la posibilidad de determinar nuevas especies.

Asimismo, se han aislado y se encuentran en estudio más de 200 cepa que cumplan las características básicas de halófilas extremas (*Archaeobacteria*).

El estudio de la rizósfera de dos de las especies vegetales más abundantes alrededor de la laguna de Tebenquiche, nos ha permitido identificar los microorganismos que cumplen un papel preponderante en la solubilización de fosfatos y producción de vitaminas, esenciales para el desarrollo de estas especies vegetales.

Los géneros que ha sido posible identificar entre las bacterias halófilas moderadas corresponden a: *Marinomonas*, *Vibrio*, *Alteromonas*, *Marinococcus*, *Acinetobacter* y *Micrococcus*. Entre las bacterias halotolerantes los géneros: *Bacillus*, *Pseudomonas-Deleya*, *Micrococcus*, *Acinetobacter* y *Stafilococcus*. Entre las cianobacterias se ha logrado verificar la presencia de *Anabaena*, *Gloeothece*, *Synechococcus*, *Gloecapsa*, *Nostoc* y *Oscillatoria*.

Se encuentran en estudio todas aquellas cepas que no correspondieron a las características de las cepas tipo de colección y las halófilas extremas.

CONSIDERACIONES

Por su localización a más de 2.000 m sobre el nivel del mar, por sus características geológicas y composición química, por sus posibilidades en recursos hídricos, el Salar de Atacama corresponde a un modelo único, y el estudio de su biota es objeto de múltiples posibilidades científicas.

Por otra parte, el incremento constante de las zonas áridas en el mundo, por causas climáticas o antropogénicas, requiere el mayor esfuerzo científico-tecnológico para su control, manejo y recuperación.

Microorganismos como los descritos son de interés no sólo "*per se*" por sus peculiares características que les permiten adaptarse a condiciones extremas. Bacterias, como las halófilas extremas ubicadas en el reino primario o rama propuesta como *Archaeobacteria* (Woese, 1987) han suscitado gran interés en los últimos años. Se advierte un creciente interés en descubrir las posibles aplicaciones de bacterias extremófilas, que incluya producción de nuevos polímeros, obtención de enzimas o estudios de cromóforos, o de particularidades de los mismos referidos a su funcionalidad en condiciones de "*stress*", determinado por el pH, salinidad o temperatura.

En la actualidad, mayor conocimiento de las cianobacterias, adquiere gran importancia, particularmente por su producción de toxinas de alto poder, capaces de provocar la muerte o daño crónico a vertebrados terrestres y acuáticos y a invertebrados acuáticos y zoo-plancton. Ha causado alarma la ocurrencia de "*blooms*" con la producción de microcistina, especialmente, en reservorios de agua para bebida. De ahí, el interés de estudiar estos organismos en ambientes donde el recurso agua sea limitado.

Los proyectos de investigación, en el salar de Atacama, nos han permitido, por una parte, aislar numerosas cepas de bacterias halófilas débiles, moderadas y extremas y, adicionalmente, halotolerantes y cianobacterias; por otra, describir por primera vez

TABLA 1.
RECUENTOS TOTALES DE MICROORGANISMOS EN EL SALAR DE ATACAMA Y TATIO

Lugar de Muestreo	Tipo de Muestra	Valor Promedio Microorganismos Totales (/ml de H ₂ O o gr. suelo)
TEBENQUICHE (LT)	Agua	6 x 10 ⁴
TILOPOZO (Ti)	Agua	2 x 10 ⁴
POZAS TOCONAO (PT)	Agua	2 x 10 ⁴
RIO Y. BUENAS (YB)	Agua	1 x 10 ⁴
TATIO (Ta)	Agua	5 x 10 ²
TEBENQUICHE (LT)	Rizósfera	5 x 10 ⁵
TEBENQUICHE (LT)	Sedimento	5 x 10 ⁵
POLIGONOS (ZP)	Suelo	7 x 10 ⁴
VALLE DE LA LUNA (VL)	Suelo	1 x 10 ⁴

estos grupos, en ambientes tan particulares como los señalados, contando con la posibilidad de encontrar nuevas especies bacterianas. Al mismo tiempo, los estudios en curso nos permitirán determinar las potencialidades aplicadas de estos microorganismos.

La participación de ecólogos, botánicos y químicos, en los grupos de trabajo, nos permite visualizar las interacciones en la biota, y entre ésta y el medio físico, de importancia en la comprensión global de estos ambientes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con aportes de DGI-UCV, FONDECYT, PNUD y STIFTUNG-VOLKSWAGENWERK.

REFERENCIAS

- Brock, T.D., 1979. Ecology of Saline Lakes. Strategies of Microbial Life in Extreme Environments, Ed. M. Shilo, pp. 29-47. Dahien, Konferenzen, Berlín.
- Campos, V., B. Prado, C. Lizama, L. Pendola and M. Robledano, 1990. Prokaryotes of Saline environments in the Atacama Salar. Proceeding Second Biennial Water Quality Symposium. G. Castillo, V. Campos y L. Herrera (eds.), pp. 275-279.
- Jaccard, P., 1908. Nouvelles recherches sur la distrution florante. Bull. Soc. vand. des Sc. Nat., 44:223-270.
- Kushner, D.J., 1980. Extreme environments. In: Contemporary microbial ecology. ELLWOOD, D.C., HEDGER, J.N., LATHAM, M.H., LYNCH, J.M. y SLATER, J.H. (eds), Academic Press, London.
- Marquez, M.C., A. Ventosa y F. Ruíz-Berraquero, 1987. A Toxonomic study of heterotrophic halophilic and non halophilic bacteria from solar saltern. J. Gen. Microbiol., 133:45-56.
- Prado, B.A. Del Moral, E. Quesada, R. Ríos, M. Monteoliva-Sanchez, V. Campos, y A. Ramos-Cormenzana, 1991. Numerical taxonomy of Moderately Halophilic Gram-negative Rods Isolated from from the Salar de Atacama, Chile. System. Appl. Microbiol., 24:275-281.
- Quesada, E., A. Ventosa, F. Ruíz-Berraquero, y A. Ramos-Cormenzana, 1984. *Deleya halophila*, a new species of moderately halophilic bacteria. Int. J. Syst. Bact., 34:287-292.
- Rippka, R., 1979. Genetic Assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. J. Gen. Microbiol., 111:1-61.

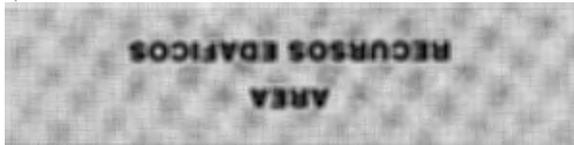
Sneath, P.H.A. y R.R. Sokal, 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. Freeman. W.H. (ed.) San Francisco.

Sokal, R.R. y C.D. Michener, 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships, University of Kansas Sci. Bull., 38:1409-1438.

Torreblanca, M., F. Rodríguez-Valera, G. Juez, A. Ventosa, M. Kameruka y D.J. Kushner, 1986. Classification of non-alkaliphilic halobacteria based on numerical taxonomy and polar lipid composition and description of *Haloarculla* gen. nov. and *Haloferax* gen. nov. System. Appl. Microbiol., 8:89-99.

Valderrama, M.J., B. Prado, A. Del Moral, R. Ríos, A. Ramos-Cormenzana y V. Campos. 1991. Numerical taxonomy of moderately halophilic Gram-positive cocci isolation from the Salar de Atacama (Chile). Microbiología SEM, 7:35-41.

Woese, C.R., 1987. Bacterial Evolution. Microbiol. Rev., Vol. 51:221-271.



RECURSOS EDAFICOS DEL ALTIPLANO, I REGION

WALTER LUZIO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
UNIVERSIDAD DE CHILE, CASILLA 1004, SANTIAGO, CHILE

RESUMEN

Los estudios sobre los recursos edáficos en la zona deberían orientarse hacia el conocimiento de las características físicas respecto a la posición que ocupan en el paisaje. En este sentido la evaluación de los gradientes y taludes en relación a los suelos que los conforman son de gran importancia para determinar la conservación del recurso suelo. Dentro de las caracterizaciones deben considerarse, además, los aspectos químicos mineralógicos, teniendo presente la vegetación existente, con el fin de abordar la conservación de los recursos de una manera sistemática e integral.

ABSTRACT

The research activity on edaphic resources of the altiplano should be oriented to the knowledge of the physical features of the soils according to their location in the landscape. Thus, gradients and taluses evaluation in relation to their soils is of great importance to preserve the soil resource. The characterizations should also include chemical and mineralogical aspects, taking into account the existing vegetation in order to undertake resource preservation in a systematic and integral manner.

RECURSOS EDAFICOS DEL ALTIPLANO

El recurso suelo en el Altiplano ha sido descrito y evaluado sólo en muy contadas ocasiones, esencialmente como un componente del ecosistema, y más, escasamente aún, como un cuerpo natural independiente.

Esta situación se debe a que los estudios de suelos normalmente están dirigidos a conocer, delimitar y evaluar a aquellos que se encuentran en zonas con alguna potencialidad agrícola, lo cual evidentemente no ocurre en el Altiplano. Diferente es la condición de los valles sobre los que existen diversos estudios de suelos, generalmente en las secciones medias y bajas. La potencialidad agrícola de los suelos del Altiplano es limitada por varias razones:

1. Las bajas temperaturas medias del suelo impiden la germinación y desarrollo de la mayoría de las especies cultivadas.
2. La limitada disponibilidad de agua para establecer cultivos de riego.
3. La escasez de población y de asentamientos humanos. Esto determina que los cultivos que se practican tengan sólo el carácter de huertos familiares de subsistencia.

Por lo tanto, el estudio de los suelos no debe enfocarse hacia una meta meramente de utilización agrícola, sino más bien como el conocimiento y evaluación de un recurso que forma parte de una geomorfología metaestable susceptible de degradarse con excesiva facilidad.

En este contexto el conocimiento de las propiedades físicas y morfológicas de los suelos y la vegetación asociada a ellos aparece como un objetivo de significación pues las plantas colaboran en la estabilización del subsuelo, a través de su sistema radical que promueve la formación de agregados permanentes y en la superficie como una cobertura que impide o disminuye los movimientos de remoción en masa.

Por los motivos expuestos en el punto anterior se puede deducir que la información disponible no es abundante y se concentra en unos pocos informes, la mayoría de los cuales tienen 15 o más años de antigüedad.

El valle de Lluta tiene un reconocimiento de suelos realizados por el Ministerio de Agricultura (Díaz *et al.*, 1957) que posteriormente fue actualizado por INDERCO en 1981. El estudio de suelos de la Ouebrada de Camarones fue realizado en 1958 por Díaz y Meléndez como parte de los trabajos que realizaba el Ministerio de Agricultura. Igualmente, un sector del valle de Azapa fue reconocido por Funes en 1970.

Cabe recalcar que estos estudios sólo comprenden las secciones medias y bajas de los valles por lo cual no proporcionan antecedentes de los sectores Altiplánicos.

Con relación al conocimiento que se tiene de los recursos edáficos del Altiplano propiamente tal, los primeros antecedentes provienen de Wright y Astudillo (1962), donde analizaron las características más relevantes y las potencialidades de los bofedales aún cuando no hay descripción de perfiles de suelos y tampoco hay datos de análisis físicos y químicos de ellos. Posteriormente Díaz y Wright publicaron «Soils Of The Arid Zone of Chile» (Soils Bulletin N° 1, de FAO, 1965). Este trabajo

proporciona antecedentes generalizados sobre los suelos del sector con un mapa esquemático y algunas descripciones de suelos que se toman como suelos modales. Sin embargo, en este informe no hay datos de propiedades físicas y químicas, de tal forma que las conclusiones carecen del apoyo analítico adecuado.

En 1976, Fajardo y Ortiz realizaron un inventario de los recursos naturales en la I Región y publicaron un mapa de suelos 1: 500.000 donde se identifican los principales suelos del Altiplano. Sin embargo, la escala de trabajo y de publicación no permiten un conocimiento detallado de los suelos.

Finalmente Luzio y Vera (1982) realizaron un estudio de suelos en el Altiplano dentro del proyecto análisis de los ecosistemas de la I Región de Chile para la Corporación del Fomento de la Producción. En este informe se analizan el clima, los suelos, la vegetación y los recursos forrajeros en capítulos independientes. El enfoque del estudio es ecosistémico ya que los suelos se describieron y analizaron en función del ecosistema del cual formaban parte. Constituyen el primer estudio que cuenta con análisis químicos y físicos por horizontes en cada suelo.

ACTIVIDADES ACTUALES Y PROYECCIONES FUTURAS

Desde 1982 a la fecha no existen antecedentes de nuevos estudios o prospecciones de los suelos del Altiplano, por lo cual el conocimiento de este recurso continúa siendo escaso y restringido a pequeños sectores. Además, es muy difícil realizar una adecuada evaluación del recurso sin contar con datos sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos.

Considerando que la potencialidad agrícola de la Región es muy limitada, el estudio de los suelos debería orientarse hacia el conocimiento de las características físicas en relación a la posición que ocupa en el paisaje. La distribución de tamaño de partículas, la estabilidad de agregados, los porcentajes de retención de agua, la cuantificación y distribución de fragmentos gruesos constituyen algunos temas que son relevantes para poder evaluar la mayor o menor susceptibilidad de los suelos a deteriorarse.

En este mismo sentido la evaluación de la gradientes y taludes en relación a los suelos que las conforman son de gran importancia para determinar la conservación del recurso suelo. Se puede deducir fácilmente la estrecha asociación que debe existir entre los estudios edáficos y los estudios geomorfológicos pues el comportamiento de los suelos dependerá finalmente de cual sea el segmento del paisaje que se encuentran ocupando.

Se entiende también que dentro de las caracterización de los suelos, tienen cabida aspectos químicos y mineralógicos que son importante para evaluar su comportamiento. Estos dicen relación con la disponibilidad de elementos nutrientes y el tipo de mineral de arcilla dominante de la fracción tierra fina.

Finalmente, los estudios vegetacionales deben asociarse a los estudios edáficos con el fin de abordar la conservación de los recursos de una manera sistémica e integral. Este enfoque adquiere relevancia si se considera que los ecosistemas Altiplánicos son por naturaleza muy frágiles y muy susceptibles de degradarse si algunos de los componentes del ecosistema se activa en forma desproporcionada.

REFERENCIAS

- Díaz., C. *et al.*, 1957. Reconocimiento del Valle del río Lluta. MINAGRI- DECORAF. Agricultura Técnica XVIII N° 2: 305 - 354.
- Díaz, C. y Melendez, E., 1958. Reconocimiento de suelos de la Quebrada de Camarones. Minagri-Decoraf. Agricultura Técnica XVIII N°2: 78-109.
- Díaz, C. y Wright, C., 1965. Soils of the arid zone of Chile. FAO Soils Bulletin N° 1, 46 p. y Appendix, 42 p.
- Fajardo, M. y Ortiz, A., 1976. Inventario de los recursos naturales por el método de percepción del satélite Landsat. IREN-CORFO y Serplac I Región. Informe IREN 36, 2 Vol.
- Funes, M., 1970. Informe agrológico del sector cerro Chuño, valle de Azapa (Arica). Servicio Agrícola y Ganadero. MINAGRI.
- Inderco, 1981. Compilación y evaluación de los antecedentes del valle del río Lluta. Dirección General de Aguas. M.O.P. Capítulo 2: 84-168.
- Luzio, W., y Vera, W., 1982. Características de los suelos en los ecosistemas de la I Región. En: Sociedad Agrícola Corfo Ltda.- Universidad de Chile: Análisis de los ecosistemas de la I Región de Chile. Informe para la Corporación de Fomento de la Producción, 45-119
- Wright, C. y Astudillo, J., 1962. Los bofedales: Bog peats of semiarid Chilean Altiplano. FAO Quarterly Report, 1962.

LOS SUELOS DE ALTURA DE LA REPUBLICA ARGENTINA: LA PUNA

JOSE R. VARGAS GIL y CARLOS O. SCOPPA

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y RECURSOS NATURALES DE CASTELAR
INTA, ARGENTINA

RESUMEN

La totalidad de los suelos de altura de la Argentina (+2000 m s.n.m.) se encuentran localizados en el límite occidental del país en el ámbito de la cordillera de los Andes. Han sido reconocidos, clasificados y cartografiados en escalas 1:500.000 y 1:1.000.000 por el Atlas de Suelos de la República Argentina donde se observan 2 ámbitos diferenciados: el meridional y el septentrional.

El primero, consiste en una alternancia de áreas llanas y montañosas que se extiende desde Bolivia hasta los 27° S, mientras el segundo se conforma exclusivamente de un relieve montañoso que llega, desde esa latitud hasta el Cabo de Hornos. Asimismo mientras en la Puna existe una vegetación característica, en el septentrional ésta casi no existe. En ambos sectores el RHS es arídico, en algunos casos ústico y el RTS es méxico y/o frígido y aún crítico dependiendo de la altura y la latitud.

Atendiendo a su relativa importancia social y económica se describen sólo los suelos de la Puna en relación con las 3 grandes unidades geomórficas que la conforman: relieve montañoso, llano (subdividido en función de su estabilidad y el elemento geomórfico fundamental) y eólico.

Los suelos dominantes del relieve montañoso son los Entisoles a los cuales siguen los Molisoles, en los sectores más empinados, y Aridisoles. En las áreas llanas lo son los Aridisoles y Entisoles, en algunos casos sódicos y levemente salinos, e Histosoles en sectores diferenciados. Por último las áreas de relieve eólico están caracterizados por diferentes subgrupos de Entisoles exclusivamente.

ABSTRACT

All the high altitude soils of Argentina (+ 2000 m a.s.l.) are located in the west border of the Country within the ambit of the Andes Cordillera, and they have been surveyed, classified and mapped at 1:500.000 and 1:1.000.000 scale for the Atlas de Suelos de la República Argentina where two different ambits are observed: the southern and the northern.

The first one, Puna, consists of an alternation of plain and mountainous areas that spread from Bolivia up to 27° S, while the second one consists of an exclusively mountainous relief reaching, from that latitude, to Cabo de Hornos. Likewise, as in the Puna there is a characteristic vegetation, in the southern ambit there is almost none and in both, the SMR is aridic, in some cases ustic, and the STR is mesic, frigid and critic depending on altitude and latitude.

Considering its relative social and economic importance, only those soils corresponding to the Puna sector were described which is done in relation with the 3 great geomorphic units included in it: mountain relief, plain (subdivided according to its stability and the geomorphic mainly) and eolic.

The dominant soils of the mountain relief are the Entisols, following the Molisols in the more steep sectors, and Entisols while in the plain areas, dominant soils are Aridisols and Entisols in depressed sectors. Finally, the areas of eolic relief are characterized by different subgroups of Entisols exclusively.

INTRODUCCION

Los suelos de altura en la Argentina están vertebrados en la cordillera de los Andes, con tres ámbitos de representatividad bien manifiestos, Puna, Andes Arídicos y Andes Patagónicos (Fig.1).

El septentrional, Puna Argentina, con componentes de montaña y llanura, que desde Bolivia llega por el sur hasta la latitud de 27° S, los otros, en el centro y sur del país son más estrechos y están restringidos únicamente al relieve montañoso (Fig. 1).

2.1. Suelos de formas estabilizadas antiguas

Piedemontes, conos coluvio-aluviales y llanuras (a veces aterrazadas), se constituyen un escalón topográfico, preservados de la acción geomórfica actual, por cobertura vegetal de matorral arbustivo, la presencia de suelos bien desarrollados y con pavimento de desierto.

Los suelos dominantes son Paleargides típicos, Paleargides vérticos y Paleargides petrocálcicos, que tienen perfiles poco profundos, horizonte argílico denso y a veces discontinuidad a una plancha de tosca. En el extremo norte se encuentran Paleargides ústicos.

2.2. Suelos de formas estabilizadas recientes

Se trata de conos coluvio-aluviales de bajo ángulo, de formación reciente, escasamente protegidos por cobertura vegetal, cuyos suelos tienen poco desarrollo. La superficie está cubierta en grado variable por acarreo, susceptible de movilizarse por agua como por viento.



Fig.1. Ambitos de distribución de los suelos de altura en la Argentina.

Los suelos más comunes son los Cambortides típicos, acompañados por Torriortentes thapto cámbicos cuando el suelo soporta un acarreo fino y en capas, y Torriortentes thapto cámbicos cuando el acarreo es pedregoso.

Cerca de las áreas bajas se encuentran Haplargides ácuicos y Cambortides ácuicos.

2.3. Suelos de áreas bajas

Este ambiente lo forman las áreas de desagüe activas del sistema de avenamiento y las áreas de influencia de los reservorios naturales donde ellas llegan.

Se puede diferenciar las bajadas en cauce, los derrames y las llanuras fluvioacustres.

2.3.1. Bajadas en cauces

Las vías de desagüe definido, tienen cauce formado y barrancas que se levantan a altura variable. Ellas se formaron por profundización del acuce a medida que los cursos buscan su nivel de base.

Los suelos de esta unidad corresponden al ambiente de terraza, que en los ríos mayores se manifiestan en dos niveles (Río San Antonio de los Cobres, Quebrada de San Sana, Río Santa Catalina y otros), de ellas la mejor expresada es la terraza superior coetánea con la terraza única de los arroyos menores.

Los suelos dominantes son Entisoles y Aridisoles: Torrifluventes, con capas aluviales bien expresadas, Torriortentes cuando se trata de suelos pedregosos y Haplargides.

En las proximidades a la desembocadura se encuentran Suelos Sódicos débilmente salinos (Natrargides ácuicos).

2.3.2. Derrames

Sin control de cauce, el agua se moviliza en forma difusa desparramándose en abánicos. Los suelos juveniles son Torrifluventes y Torriortentes y son frecuentes los suelos sepultados, Torrifluventes thapto cámbicos, Torriortentes thapto cámbicos, las acumulaciones de acarreo se van encimando progresivamente hasta el momento en que el agua decide un cambio de curso.

2.3.3. Llanuras fluvioacustres

Se encuentran en el fondo de los valles amplios y bolsones, debido al tipo de drenaje centrípeto, el eje es ocupado por un río o arroyo que lleva sus agua a distancias cortas a una laguna o un salar. Los salares corresponden a antiguas lagunas que se fueron secando en forma progresiva. En la parte húmeda de la Puna existen todavía Lagunas como la de Pozuelos y Guayatyoc; hacia el Sur, por ser cada vez más árido, sólo se encuentran salares: Arizaro, Pocitos, del Hombre Muerto, Antofalla y otros.

Todos estos suelos han sido reconocidos, clasificados y cartografiados en escala 1:500.000 y 1:1.000.000 en el Atlas de Suelos de la República Argentina y 1:2.500.000 en el de Grandes Grupos, donde se presenta toda la información edáfica del país (ver: INTA - CIRN, 1990; Godagnone y Salazar, 1993; Vargas, 1974; Vargas y Culot, 1980). En la información de las provincias occidentales se pueden ver, las unidades de suelo de altura, como se integran en el paisaje, cual es su composición, su clasificación taxonómica.

En esta contribución se centrará la atención en la Puna Argentina, por la importancia social y económica que ésta tiene para la región noroeste y el país en su conjunto.

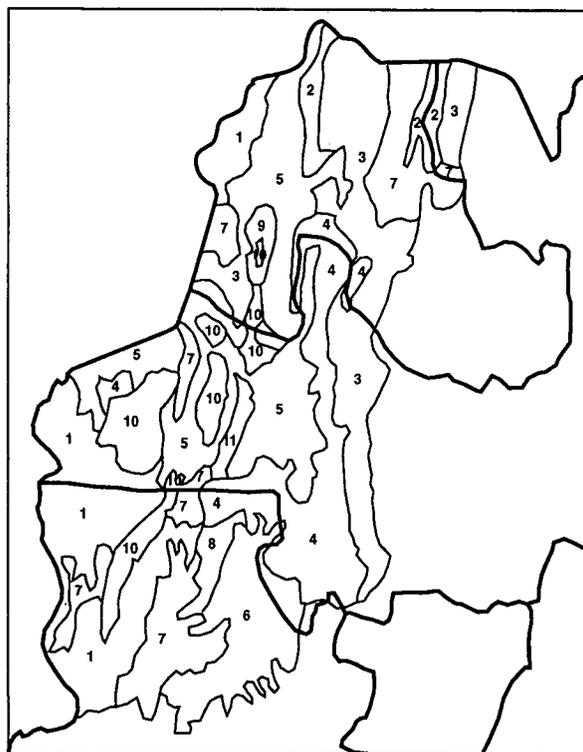
CONSIDERACIONES GENERALES

La Puna Argentina es un elevado macizo, prolongación natural del Altiplano boliviano-peruano. En el éste está limitada por las sierras de Aguilar, Chañi, Acay, Pastos Grandes y Laguna Blanca. El límite occidental está formado por volcanes terciarios y cuaternarios, distribuidos irregularmente en las proximidades a la Cordillera de Domeyko en territorio Chileno.

La Puna es un área elevada sobre los 3.200 m s.n.m. y la contorman sierras y cordones separados por amplias llanuras y depresiones (bolsones).

Las cadenas montañosas están constituidas preferentemente por materiales Paleozoicos y Mesozoicos, escasamente recubiertos por material detrítico de meteorización. Los bolsones y valles puneños son depresiones cerradas, o parcialmente cerradas, rellenas por sedimentos Cuaternarios, en cuya parte más baja se encuentra un curso seco, una laguna o un salar.

El clima como factor formador de suelo tuvo variaciones importantes; durante el Cuaternario, alternaron ciclos húmedos y secos responsables de la acumulación de sedimentos aluviales y eólicos y de procesos de edafización más o menos intensos.



1	<p>CRIORTENTES VITRANDICOS TORRIORTENTES TIPICOS UDIVITRANDES LITICOS</p>	<p>CADENAS MONTAÑOSAS</p>
2	<p>CRIORTENTES LITICOS CRIORTENTES TIPICOS HAPLARGIDES BOROLICOS</p>	
3	<p>TORRIORTENTES LITICOS TORRIORTENTES TIPICOS CAMBORTIDES LITICOS</p>	
4	<p>TORRIORTENTES LITICOS TORRIORTENTES TIPICOS CAMBORTIDES LITICOS</p>	
5	<p>TORRIORTENTES LITICOS CRIORTENTES VITRANDICOS HAPLARGIDES BOROLICOS</p>	
6	<p>TORRIORTENTES LITICOS CRIORTENTES VITRANDICOS UDIVITRANDES LITICOS ROCA</p>	
7	<p>PALEARGIDES TIPICOS PALEARGIDES PETROCALCICOS</p>	<p>PIEDEMONTES</p>
8	<p>CAMBORTIDES TIPICOS TORRIFLUENTES THAPTO CAMBICOS TORRIORTENTES THAPTO CAMBICOS</p>	
9	<p>HAPLACUEPTES TIPICOS FRAGIACUEPTES AERICOS MEDIFIBRISTES HIDRICOS</p>	<p>LANURAS DE INUNDACION</p>
10	<p>SUELOS INDIFERENCIADOS</p>	<p>SALINAS</p>
11	<p>USTOCREPTES TIPICOS HAPLUSTOLES TIPICOS ARGIUSTOLES TIPICOS</p>	<p>CONOS ALUVIALES</p>

Fig. 2. Distribución de los suelos en la Puna Argentina.

El clima actual en la parte llana se caracteriza por la concentración de lluvias de verano, que de 350 mm en el norte decrecen a 50 mm en el sur. La temperatura media anual es de 8°C, con heladas prácticamente en todo el año y vientos intensos y constantes, más frecuentes a fines del invierno. La evapotranspiración potencial es de 567 mm, únicamente en el norte hay exceso de agua en los meses de enero y febrero.

La altitud permite diferenciar el régimen crítico por encima de 4000 m s.n.m. y frígido por debajo de este nivel. El régimen de humedad de los suelos en la zona no montañosa es árido a excepción del extremo norte algo más húmedo, donde se hace ústico, este mismo régimen tienen las laderas de la Cordillera Oriental en el faldeo homónimo. El régimen de temperatura es méxico.

SUELOS (Fig. 2)

1. Suelos del relieve montañoso

Esta designación incluye cadenas montañosas, cerros y colinas que sobresalen de la llanura puneña.

Por encima de los 4000 m s.n.m., donde las temperaturas medias anuales no superan los 8°C, se presentan preferentemente Entisoles: Criortentes líticos (con la regolita en menos de 50 cm de profundidad y abundante rocosidad en el perfil y en superficie), Criortentes típicos (con regolita maciza); en ambos suelos la litología de la roca subyacente y de la regolita es muy variable en naturaleza y composición. En zona de rocas volcánicas se encuentra Criortentes vitrándicos.

En los sectores menos empinados con mayor abundancia de sedimento fino, se encuentran Molisoles: Crioboroles vitrándicos, Crioboroles ácuicos y Aridisoles: Haplargides líticos borólicos y Cambortides borólicos y Paleargides borólicos.

Por debajo de los 4000 m s.n.m. abundan Entisoles: Torriortentes líticos y Torriortentes típicos, ambos suelos pedregosos con o sin discontinuidad a la roca firme.

Las áreas restringidas de deshielo y en las vertientes que dan lugar a vegas, a distintas alturas, se encuentran histosoles; Criofibristes y Borofibristes; se trata de turbas de agua fría que derivan de gramíneas cespitosas.

2. Suelos de áreas llanas

En el sector extramontañoso, se pueden diferenciar formas estabilizadas antiguas, formas estabilizadas recientes y las áreas bajas a cada una de las cuales corresponde diferentes asociaciones de suelos.

Los suelos más representativos son: Torrifluventes típicos, Torrifluventes ácuicos, Haplargides mólicos, Suelos turbosos: Medifibristes fluvacuénticos y a medida que se salinizan, Halacueptes frágicos, Fragiacueptes, Calciortides y Salortides típicos y ácuicos.

3. Acumulaciones eólicas actuales

Médanos activos se distribuyen en distintos ambientes, alcanzando incluso las laderas de serranías que sirven de freno al movimiento de viento. El proceso de desertización es acelerado y las áreas afectadas por erosión eólica crecen progresivamente.

Los suelos más comunes en áreas de acarreo de arena son: Torripsamentes thapto árgico, Torripsamentes thapto cámbicos. En ambiente de médanos estabilizados, Torripsamentes típicos y, en la zona más húmeda, Ustipsamentes típicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Agrónomo Rubén Godagnone la importante información brindada en relación con información y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

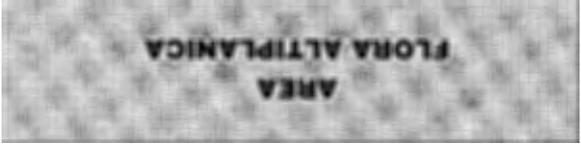
REFERENCIAS

Godagnone, R. y Salazar, J.C. 1993. Mapa de Suelos de la República Argentina, escala 1:2.500.000. Instituto de Suelos, CIRN. INTA, en SIG (ILWIS).

INTA-CIRN. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Tomo I, pp. 1-729 y Tomo II, pp. 1-677.

Vargas Gil, J.R., 1974. Suelos de la República Argentina. Geologisch Institut. Universiteit Gent, Bélgica, pp. 1-195.

Vargas Gil, J.R. y Culot, J.P., 1980. Los suelos de la Puna. IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná, pp. 1065-1075.



LA VEGETACION EN EL ALTIPLANO

ROSA NEGRETE CORDOVA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACEUTICAS,
UNIVERSIDAD DE CHILE
VICUÑA MACKENNA 20, CASILLA 233, SANTIAGO 1, FAX (562) 222 7900

RESUMEN

Para preservar las riquezas naturales renovables de la zona del Altiplano, es necesario profundizar en el conocimiento de las mismas, con el fin de evaluar su verdadero potencial y promover su aprovechamiento racional por parte del hombre nativo, mejorando sus condiciones de vida sin abandonar sus tradiciones.

Hasta el momento la mayoría de los estudios sobre los recursos vegetales se han orientado hacia una prospección cuantitativa. En el futuro proponemos, además de continuar en esta línea, ampliar las investigaciones con una visión más cualitativa determinando el valor nutritivo de las especies designadas como alimenticias y forrajeras, y las verdaderas propiedades farmacológicas y posible toxicidad de las plantas medicinales, relacionándolo con la composición química. Esto permitirá valorizarlas, dándoles el respaldo científico que permita su correcta aplicación, en un caso, como alimento y, en el otro, en el campo terapéutico.

ABSTRACT

A deeper knowledge of the natural renewable resources of the Altiplano is necessary to preserve them and evaluate their actual potential and also promote their rational use by native men, improving their life quality without altering their traditions.

At present most studies about vegetable resources have been oriented towards a quantitative survey. For the future we propose to continue with what has been done and to widen the research activity to a more qualitative approach, thus determining the nutritive value of both food and forage species, the real pharmacological properties, and the posible toxicity of medicinal plants, and finally relating them with their chemical composition. This will permit to give them a scientific validation to use it correctly as food or as a therapeutic medium.

LA VEGETACION EN EL ALTIPLANO

La relativa inaccesibilidad de la precordillera y particularmente del Altiplano, significó el aislamiento de estas regiones de la influencia de los núcleos urbanos de la Costa Chilena. Esta situación terminó de manera abrupta alrededor de 1950 con la construcción de caminos de acceso que unieron las planicies Altiplánicas con la ciudad de Arica. La ruptura del aislamiento determinó fuertes movimientos migracionales desde el Altiplano y la precordillera hacia este núcleo urbano en su activo proceso de industrialización con fuerte requerimiento de mano de obra y de servicio doméstico. Esto se tradujo en un abandono de las formas tradicionales de uso de la tierra, especialmente por los jóvenes de ambos sexos. Por otra parte, la facilidad de acceso también determinó una mayor demanda de productos agropecuarios del interior y al mismo tiempo una mayor presión sobre los recursos naturales.

Es de suma importancia preservar estos recursos naturales y dar a sus habitantes nuevas formas de desarrollo que les permita subsistir alcanzando mejores condiciones de vida, sin abandonar sus tradiciones.

Una de las formas de lograr futuras perspectivas económicas para la zona, sin dañar la estrecha vinculación del hombre con el medio que lo rodea, es precisamente conocer este medio y tratar de desarrollarlo al máximo aprovechando los recursos naturales renovables. En este contexto el acrecentamiento de las actividades agropastorales parece especialmente aconsejable y una de las formas de realizarlo sería favoreciendo la reproducción de las mejores especies forrajeras autóctonas. En esta forma se estaría protegiendo el recurso natural vegetal junto con aumentar la actividad ganadera, hasta la fecha principal fuente de subsistencia para esta población.

En la investigación realizada en la Comunidad Toconce, zona precordillerana de Antofagasta, por Aldunate *et al.* (1981), llama la atención el hecho que de todas las especies vegetales recolectadas por los investigadores un 61,9% fue designado como forrajera, lo que corrobora el carácter eminentemente ganadero que la región ha tenido desde épocas prehistóricas. Queda la duda si realmente estas especies son forrajeras por sus características nutritivas o porque la carencia de alimento para el ganado lleva a que cualquier especie se considere como tal. Son muchos los vegetales que se designan dentro de este rubro y que, desde el punto de vista taxonómico, se podrían catalogar dentro de los grupos de plantas con principios activos farmacológicamente potentes como lo son los alcaloides; seguramente éstas son consideradas como forrajeras cuando están secas, es decir, cuando su actividad farmacológica es reducida a una mínima expresión, ya que si se consumieran frescas podrían ser altamente tóxicas. También podría indicar, que se ha desarrollado en animales como llamos y viscachas una resistencia a la toxicidad de ciertos principios activos como es lo que sucede, por ejemplo, con *Stipa subaristata* (Gramineae), n.v. «paja vizcachera», «sikuya blanca», con respecto a la cual varios indígenas consultados coinciden en señalar que esta paja es consumida por los llamos y vizcacha, siendo venenosa para los burros. De esto se puede concluir que es necesario determinar cuáles son las especies forrajeras con real valor nutritivo, cuyo consumo favorece el crecimiento y mantención del ganado, de modo de privilegiar su cultivo dando un efectivo apoyo al desarrollo económico de la zona. Del total de las especies forrajeras,

dos tercios se encuentran en el TOLAR y en la RIBERA. A pesar de que la VEGA tiene un bajo número de especies con este atributo, su utilidad forrajera es inmensa debido a su extensión y cobertura vegetal continua.

Otro rubro de utilización importante es el alimenticio. Las plantas con este uso representan en la localidad de Toconce (II Región) el 14,9% del total de la vegetación registrada. Más de la mitad de ellas crece en el TOLAR y MEDANO. Están constituida por frutos, raíces y rizomas de plantas típicas de estas altitudes. También sería de sumo interés hacer una evaluación del valor nutritivo de estas especies con el fin de seleccionarlas y favorecer su cultivo.

Siguiendo la idea de la explotación de los recursos renovables de la zona con el fin de aumentar sus ingresos, sin duda el conocimiento de la flora autóctona medicinal constituye uno de los patrimonios más promisorios y valiosos del Altiplano. En el mismo trabajo recién mencionado, sobre la flora de Toconce, de acuerdo a los usos asignados por los lugareños, las especies medicinales aparecen después de las forrajeras en orden de importancia. Al contrario de lo que ocurre con estas últimas, la mayor potencialidad medicinal se encuentra en los pisos de mayor altitud. Es así como seis de las nueve especies que crecen en el PANISO pertenecen a esta categoría. El TOLAR, por presentar el mayor número de especies, tiene también la mayor cantidad de plantas medicinales. Otro piso que merece destacarse es el MEDANO, en el que se le atribuyen efectos curativos a más de la mitad de sus vegetales. La distribución de las especies medicinales en el área revela que éstas se concentran en sustratos secos ya que los hábitat más húmedos como la VEGA y RIBERA son los que tienen menos plantas con propiedades terapéuticas, siendo más ricas en recursos forrajeros. Esta característica da especial relevancia al conocimiento científico de estas especies, el que permitiría seleccionarlas con mayor actividad farmacológica con la finalidad de promover su desarrollo aprovechando los terrenos con menos disponibilidad de agua, y así destinar los más húmedos a la obtención de plantas forrajeras y alimenticias.

Los primeros reconocimientos florísticos de la zona altiplánica provienen de Meyen (1834) y de Philippi (1860). Antecedentes importantes acerca de la secuencia altitudinal de las formaciones vegetacionales zonales en los Andes Chilenos a la latitud de Arica, son los aportados por Schmithusen (1956, 1957) y por Pisano (1965). Posteriormente Gunckel (1967) analiza la fitonimia de las plantas atacameñas, fundamentalmente sobre la base de colecciones de Socaire y datos bibliográficos. Su interés se centra principalmente en el aspecto lingüístico relacionados con los nombres vernaculares. En las últimas dos décadas, el conocimiento florístico de la región ha sido enriquecido notablemente con las contribuciones de investigadores como: Ricardi (1962), Matthei (1963), Ricardi y Marticorena (1966), Ricardi y Welt (1974). Otra publicación al respecto es la de Serracino *et al.* (1974) quienes analizan la flora silvestre y su utilización, de la zona Guatin (San Pedro de Atacama). Navas (1976) en un ameno artículo publicado en *El Cronista*, (Revista de la Universidad de Chile) relata su viaje a Isluga, la ciudad sagrada de los aymaraes. Aldunate *et al.* (1981) publican los resultados de una interesante investigación realizada en la precordillera de la región de Antofagasta en el área correspondiente al pueblo de Toconce. Otro trabajo donde se analiza la vegetación de un transecto altitudinal que va desde Turi (3.100 m) a cerro León (4.250 m) en el costado occidental de los Andes del Norte de Chile (22°06' - 22°22' S; 68°15' - 68°07' W) es el realizado por Villagrán *et al.* (1981). En esta investigación se dan los valores de cobertura total de la vegetación del transecto, los que varían desde 2,5% en el extremo altitudinal inferior a un 35,7% a 4.000 m s.n.m. Además se diferencian cuatro zonas fisionómicas, incluyendo seis asociaciones: 1) «Pre-puna» (2.700 - 3.150 m s.n.m.) caracterizada por una cobertura de subarbustos xerofíticos que incluyen dos asociaciones: *Acantholippia deserticola* - *Franseria meyeniana* la que se encuentra sobre los arenales de Turi; y *Franseria meyeniana* - *Helogyne macroglyne* - *Helianthocereus atacamensis* restringida a barrancos y cañones o desfiladeros. 2) «Puna» (3.150-3.850 m s.n.m.) fisionómicamente dominada por arbustos, presentando una vegetación más alta, incluye las asociaciones *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis*, y *Junellia seriphioides* - *Baccharis incarum* - *Lampaya medicinalis*. 3) La zona «Altoandina» localizada por encima de la «Puna» incluye las asociaciones de *Fabiana bryoides* - *Adesmia horrida*, *Oxalis exigua* - *Mulinum crassifolium*. 4) El «Subnivel» de las altas montañas, semidesértico posee una vegetación pobremente desarrollada. Sólo tres especies se encuentran en el límite vegetacional alto (4.380 m s.n.m.).

Otra investigación importante donde se analiza la vegetación de un transecto altitudinal que va desde la Sierra de Huaylillas (1.540 m s.n.m.) hasta el cerro Guane-Guane (5.200 m s.n.m.), en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes (18°-19°S) es la Sierra de Huaylillas (1.540 m s.n.m.) hasta el cerro Guane - Guane (5.200 m s.n.m.), en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes (18°-19° S) es la realizada por Villagrán *et al.* (1982). En este trabajo se aplica la metodología fitosociológica y la de análisis de gradientes. Se dan valores de cobertura total de la vegetación la que varía desde 0,1% en el extremo altitudinal inferior limítrofe del desierto de Atacama, hasta 70% a 4.000 m s.n.m. en la transición entre la Precordillera y el Altiplano. Las principales formaciones fisionómicas, incluyendo cinco asociaciones y tres subasociaciones, son los siguientes:

1.- Formación desértica, entre 1.540 y 2.800 m incluyendo la asociación *Atriplex microphyllum* - *Franseria meyeniana*. 2.- Formación de Tolar, entre 3.000 y 4.000 m s.n.m. incluyendo la asociación *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Diphlostephium meyenii*. 3.- Formación de Pajonal, entre 4.000 y 5.000 m s.n.m. incluyendo las asociaciones: i) *Parastrephia lepidophylla santelices*, en la transición entre el TOLAR y el PAJONAL, ii) *Parastrephia lucida* - *Festuca orthophylla*, en las planicies altiplánicas y iii) *Festuca orthophylla*, en las laderas de los cerros que emergen del Altiplano. Castro *et al.* (1982), hacen un completo estudio de la flora de los Andes de Arica. Se mencionan 225 especies autóctonas, de las cuales un 74,3% tienen nombres vernáculos, 68,8% uso reconocido y 44,9% son forrajeras. En cuanto a las especies de uso medicinal, éstas constituyen el 30% de la flora utilizada. En una encuesta realizada con 36 personas de diferentes sexos, edades y localidades, se mencionan un total de 38 usos terapéuticos. Se hace referencia a 23 publicaciones. Una importante investigación, es la realizada por Kalin

Arroyo *et al.* (1984) quienes estudian la flora de la Cordillera de los Andes del interior de Vallenar entre el área de Conay y las cuencas de Laguna Grande y Laguna Chica (1.600 - 4.300 m s.n.m.) (28°30' - 20°00'S y 69°45' - 70°15'W), provincia de Huasco, III Región, Chile, basándose en materiales colectados y observaciones hechas en dos expediciones efectuadas en los veranos de 1981 y 1983. Se incluyen descripciones breves, datos sobre hábitat y rangos altitudinales determinados a base de registros tomados a intervalos de 50 m de altura, para un total de 281 especies. Se da a conocer nuevos límites sur de 5 especies. Se propone la nueva combinación *Gentianella gilliesii* (Gils) Marticorena y Arroyo.

También se han realizado trabajos de Herborización en la Precordillera y el Altiplano del sector Las Cuevas del Parque Nacional Lauca. Elaboración de la Carta de Vegetación (formación vegetal y especies dominantes) del Altiplano de la provincia de Parinacota, entre Caquena y Guallatire. Línea Base Ambiental y Monitoreo de los Recursos Biológicos en la Cordillera y el Altiplano del Salar de Maricunga, provincias de Chañaral y Copiapó, Región de Atacama y de la Cuenca Superior de Guatacondo y los Salares de Coposa y Michincha, provincia de Iquique, Región de Tarapacá. Monitoreo Ambiental del Altiplano en un sector de la Reserva Nacional de Las Vicuñas, provincia de Parinacota, Región de Tarapacá. Revisión de la Carta de Vegetación Regional, a escala 1:250.000 de todo el Altiplano de la Región, ubicación y descripción de los humedales (vegas y bofedales) en la I y II Región de Chile (Faúndez, 1993).

Para los tres principales cinturones de vegetación (los matorrales del desierto, los Andes y los Altos Andes) en el Norte de los Andes chilenos sobre el desierto de Atacama, sobreviven seis transectos, cada uno con un ancho aproximado de uno a cuatro grados de latitud, localizados a 18°S, 19°S, 21°S, 24°S, 26°S, 28°S, donde existen 769 especies de plantas vasculares pertenecientes a 290 géneros (Kalin Arroyo *et al.*, 1988). En cuanto a estudios fitoquímicos y farmacológicos, en general son escasas las especies que han sido analizadas, entre los principales trabajos realizados tenemos el estudio químico de *Senecio romarinus* Phil. var *ascotanensis* (Phil.), recolectado en Toconce y realizado por Morales *et al.* (1982), quienes aislaron lactonas sesquiterpénicas del tipo eremofilanólidos identificados como: 1-oxo-8-idroxi-10°-H-eremofilanólido (Istanbulina A) p.f. 248° y 1-oxo-8-H-10-H-eremofilanólido (Istanbulina B) p.f. 167°. Otra publicación respecto a este tema es la de Morales *et al.* (1986).

Otro trabajo con una especie recolectada en Toconce es el de Rivero *et al.* (1982) quienes analizaron el extracto etanólico de *Mulinum crassifolium* Phil., Umbelliferae, aislando: la escopoletina y los ácidos anísico, verátrico y ferúlico. Otra publicación relacionada con estos resultados es la de Riveros *et al.* (1984).

También ha sido estudiada por Loyola *et al.* (1989a) *Parastrephia quadrangularis* de la cual se ha aislado una nueva flavona identificada como 5,7-dihidroxi-3,8,3',4'-tetrametoxiflavona, además de escopoletina, umbeliferona y p-cumaroiloxitremetona. Otra especie de la flora de Toconce es *Chersodoma jodopappa* la que ha sido investigada por Morales *et al.* (1985) de la cual se han obtenido dos lactonas sesquiterpénicas del tipo eremofilanolido. 6β-hidroxi-8β-dihidroxi-10β (H)-eremofil-7 (11)-en-8, 12-olido. Además de un alcaloide pirrolicidínico.

Otra especie recolectada en Toconce y que ha sido sometida a una investigación química por Loyola *et al.* (1982) es *Senecio graveolens* Weed. (Chachacoma) de la cual se han aislado el dihidroeparin; acetildihidroeparin; 5- acetil-salicilaldehído y la 3(3'-hidroxi-isopentil)-4-hidroxiacetofenona. En una publicación posterior de Loyola *et al.* (1985b) se mencionan además de los productos ya indicados otros compuestos como 4-hidroxi-3-(isopenteno-2-il)-acetofenona y 3-hidroxi-2,2-dimetil-6-acetilcromano.

La actividad antihipertensiva de un compuesto aislado de *Senecio graveolens* Weed. (chachacoma), identificado químicamente como 5-acetil-6-hidroxi-2-isopropenil-2,3-dihidrobenzofurano, ha sido comprobada por Cerda (1986). La prueba se realizó en ratas con hipertensión neurogénica, inducida mediante lesiones electrolíticas bilaterales del núcleo del tracto solitario (NTS). La administración del compuesto, vía sistemática, produjo una disminución de las presiones sistólica, diastólica y media (P a M), llegando ésta a algunos casos, al valor control. Estos resultados confirmarían el efecto antihipertensivo de esta nueva droga, aplicada en síndrome hipertensivo agudo. Su probable mecanismo de acción podría ser a través de B- receptores. Otras especies, estudiadas bajo el aspecto químico son *Trichocereus chilensis* (Morales y McLaughlin, 1989). *Mulinum crassifolium* (Loyola *et al.*, 1990a, 1990b, 1991). *Diplostephium cinereum*, donde se investiga la composición química del exudado resinoso y *Polylenis tarapacana* y *P. besseri* (K'nua) en las que se investigan los flavonoides y su acción microbiana (Henríquez, 1993).

Desde un punto de vista biológico se ha investigado el efecto tóxico sobre Tripomastigotes de *Trypanosoma cruzi* «in vitro» (González *et al.*, 1990).

PROYECCIONES FUTURAS

Para preservar las riquezas naturales renovables de la zona, es indispensable tener un profundo conocimiento de las mismas, que permita evaluar su verdadero potencial y promover su aprovechamiento racional por parte del hombre nativo, con el fin de mejorar sus condiciones de vida sin abandonar sus tradiciones.

Hasta el momento, los principales estudios sobre los vegetales se han orientado hacia su prospección cuantitativa considerando además, los beneficios que el hombre logra de los mismos. Hacia el futuro proponemos, además de continuar en esta línea, extender las investigaciones a un aspecto más cualitativo, en el sentido de determinar el valor nutritivo de las especies designadas como alimenticias y forrajeras y realizar una prospección de las plantas medicinales orientada a averiguar tanto sus verdaderas

propiedades farmacológicas como su posible toxicidad, relacionándolas con sus constituyentes químicos, con el fin de valorizarlas, dándole el respaldo científico que permita su correcta aplicación terapéutica.

La implementación de este tipo de investigaciones, favorecerá el desarrollo sustancial de esta zona, afectada directamente por la escasez de recursos nutricionales y medicinales.

BIBLIOGRAFIA

Aldunate, C., Armesto, J., Castro, V., y Villagrán, C., 1981. Estudio Etnobotánico en una comunidad precordillerana de Antofagasta: Toconce. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat., Chile, 38: 183 - 223.

Castro, M., Villagrán, C., y Kalin Arroyo, M.T., 1982. Estudio etnobotánico en la Precordillera y Altiplano de los Andes del Norte de Chile (18°- 19° S) Volumen de Síntesis - Proy. MAB - 6 - UNEP - UNESCO. Santiago de Chile, Vol. II, 133 - 205.

Cerda, C.J., 1986. Actividad antihipertensiva de un derivado de benzofurano extraído de *Senecio graveolens* Weed. (vul. Chachacoma). Tesis Químico Farmacéutico, Fac. de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Santiago-Chile.

Faundez, L., 1993. Comunicación por escrito.

González, J., Sagua, H., Araya, J., Loyola, A., Morales, G., Pereira, J. y Estrada, M., 1990. In Vitro activity of natural products against the Trypanastigote from *Trypanosoma cruzi*. Phytotherapy Research, 4:1

Gunckel, H., 1967. Fitonimia Atacameña, especialmente cunza. Rev. Universitaria, Univ. Católica de Chile, Santiago, 52: 3-81.

Henríquez, F., 1993. Comunicación por escrito.

Kalin Arroyo, M.T., Marticorena, C., y Villagrán, C., 1984. La flora de la Cordillera de los Andes en el área de Laguna Grande y Laguna Chica, III Región, Chile, Gayana, Bot. 41 (1-2): 3-46.

Kalin Arroyo, M.T., Squeo, F.A., Armesto, J. y Villagrán, C., 1988. Effects of aridity on plant diversity in the northern Chilean Andes: Results of a natural experiment. Ann. Missouri Botanical Garden 75: 55-88.

Loyola, L.A., Morales, G.S. y Pedreros, S.L., 1982. Derivados de p-hidroxacetofenona aislados desde *Senecio graveolens* Weed. Bol. Soc. Chil. Quím. 27 (2): 310-312

Loyola, L.A., Naranjo, S.J., y Morales, B.G., 1985a. 3,8, 3'4' - tetramethoxy - 5,7 - dihydroxyflavone from *Parastrephia quadrangularis*. Phytochemistry, 24 (8): 1871-2.

Loyola, L.A., Pedreros, S.L., y Morales, G., 1985b. p-hydroxyacetophenone derivatives from *Senecio graveolens*, Weed. Phytochemistry, 24 (7): 1600 - 2

Loyola, L.A., Morales, G., Rodríguez, B., Jiménez, J., De La Torre, M., Perales, A., y Torres, M., 1990a. Mulinic and isomulinic acids rearranged diterpenoids with new carbon skeleton from *Mulinum crassifolium*. Tetrahedron 46,5413.

Loyola, L.A., Morales, G., De La Torre, M.C., Pedreros, S. y Rodríguez, B., 1990 b. 17-Acetoxyulinic acid, a rearranged diterpenoid from *Mulinum crassifolium*. Phytochemistry 29:3950.

Loyola, L.A., Morales, G., De La Torre, M.C., Pedreros, S., y Rodríguez, B., 1991. Mulinenic acid a rearranged diterpenoid from *Mulinum crassifolium*. Journal of Natural Products, 54: 1404.

Matthei, O.R., 1963. *Anthochloa lepidula* Nees et Meyen (Gramineae), especie interesante del Norte de Chile, Gayana, 8: 11-15.

Meyen, J.F., 1834- 1835. Reise um die Erde. Berlín.

Morales, G. S., Loyola, L.A., Grenet D.A., y Riveros, R.A., 1982. Lactonas sesquiterpénicas aisladas desde *Senecio rosmarinus* Bol. Soc. Chil. Quím. 27 (2): 162-164.

Morales, G.S., Bórquez, R.J., Mancilla, P.A., Pedreros, T.S. y Loyola, A.L., 1986. An eremophilanolide from *Senecio rosmarinus*.

Phytochemistry 25 (10): 2412 - 14.

Morales, G., Bórquez, J., Mancilla, A., Pedreros, S. y Loyola, L., 1985. Constituents of *Chersodoma jodopappa*. J. Nat. Prod. 49 (6), 1140-1.

Morales, G., y McLaughlin, J.L., 1989. 3-O-Palmityl longispinogenin from *Trichocereus chilensis*. J. Nat. Prod., 52, 381.

Navas, B.E., 1976. Isluga, en el Altiplano Chileno. El Cronista, Revista de la Universidad de Chile. Año 1. Santiago de Chile. Mayo.

Philippi, R.A., 1860. Viaje al desierto de Atacama hecho de orden del Gobierno de Chile en el verano 1853-54. Halle, viii, 236 pp., 1 mapa, 27 lám.

Pisano, E.V., 1965. Biogeografía. En, «Geografía Económica de Chile». Corfo, Santiago, Chile.

Ricardi, M., 1962. Dos compuestas peruanas nuevas para Chile. Gayana 4: 3-18.

Ricardi, M. y Marticorena, C., 1966. Plantas interesantes o nuevas para Chile. Gayana 14: 3-29.

Ricardi, M. y Weldt, E., 1974. Revisión del género *Polygachyrus* (compositae). Gayana 26: 3-34.

Riveros, R., Morales, G., y Loyola, L., 1982. Componentes ácidos del *Mulinum crassifolium* (Fam.Umbelíferas). Bol. Soc. Chil. Quím. 27 (2): 244-246.

Riveros, R., Morales, G., Loyola, L.A y Torres, R., 1984. Scopoletin and aromatic acids from *Mulinum crassifolium*. Fitoterapia, 55 (4), 234-6.

Schmithusen, J., 1956. Die räumliche Ordnung der Chilenischen Vegetation. Bonner-Geogr. Adh. 17: 1-86.

Schmithusen, J., 1957. Probleme der Vegetations-Geographie. Wiesbaden.

Serracino, G., Stehberg, R. y Liberman, G., 1974. Informe etnobotánico de Guatín (San Pedro de Atacama). Antropología Segunda Epoca, Santiago, 1: 55-65.

Villagrán, C., Armesto, y Kalin Arroyo, M.T., 1981. Vegetation in high Andean transect between Turi and Cerro León in Northern Chile. Vegetation 48: 3-16.

Villagrán, C., Kalin Arroyo, M.T., y Armesto, J., 1982. La vegetación de un transecto Altitudinal en los Andes del Norte de Chile (18-19° S). Volumen de Síntesis - Proy.. MAB-6-UNEP-UNESCO. Santiago de Chile. Vol. II, 133-205.

FLORA AND VEGETATION OF NORTHERN CHILEAN ANDES

MARY T. KALIN ARROYO (1), FRANCISCO A. SQUEO (2), HEINZ VEIT (3),
LOHENGRIN CAVIERES (1), PEDRO LEON (1), ELIANA BELMONTE (4).

- (1) Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.
(2) Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.
(3) Lehrstuhl für Geomorphologie, Universität Bayreuth, Germany.
(4) Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Correspondence to:

Dr. Francisco A. Squeo, Depto. Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena - Chile • Fax: 56 (51) 204383,
Phone: 56 (51) 204369 - 401, E-mail: fsqueo@elqui.cic.userena.cl

ABSTRACT

In northern Chilean Andes two rainfall patterns are found: a summer rain region (17°-24°S) and a winter rain region (25°-32°S). The transition between both rain regions (24°-25°S) correspond also with the driest area ('arid diagonal').

The Andes Mountains started to emerge in the Upper Tertiary. The existence of high mountains in the Miocene/Pliocene, together with the likely birth of the cold Humboldt-current at about this time, led to an aridization of northern Chilean Andes. The Quaternary with its generally dry conditions is characterized by the occurrence of relative moist phases during the glacials. The models, concerning the northwards or southwards shift of climatic belts (e.g., the westerlies) during glacial periods, are discussed.

The flora of northern Chilean Andes include 865 plant species, 21% of these species are endemic to Chile. In the winter rain region exist twice higher endemism than the summer rain region. Species richness decreases by 80% and cover by 50% over the very severe rainfall gradient from 18°S to 24°S. Perennial herbs are most abundant in areas of highest rainfall, annual herbs gain greatest prominence in areas of intermediate aridity, while woody species are more frequent under extreme dry/warm and extreme dry/cold conditions.

Four vegetation belts can be distinguished along northern Chilean Andes: a) **Pre-alpine belt** (also called Desertic or Pre-Puna belt) located at lower elevations, b) **Subalpine belt** (or Puna belt), c) **Low Alpine belt** (the cushion belt), and d) **High Alpine belt**.

At 18°S flowering occurs year round with two marked peaks, before and after the rainy season. For the winter rain site at 33°S, flowering extends from September through early May, with a peak in mid-summer (January). The flowering periods of individual species are 4 times longer at 18°S compared with 33°S. The anemophily increases towards drier areas. The biotic pollination is primarily carry out by diptera and himenoptera in both summer and winter rain regions.

Temperature plays a role in determining life forms and, in consequence, the physiognomic similitude among vegetation belts. Tall species are less cold tolerant than ground-level species in both summer and winter rain regions. Tall species have supercooling capacity; in contrast, all ground-level species have freezing tolerance as the main mechanism of resistance to cold temperatures. Also in both regions, shrubs showed lower stomatic conductance to water vapor, lower photosynthetic rates and lower water potential than perennial herbs.

Consequences of global climate change on the flora and vegetation of northern Chilean Andes are discussed.

RESUMEN

En los Andes del norte de Chile se encuentran dos patrones de precipitación: una región con lluvias de verano (17°-24°S) y otra región con lluvia de invierno (25°-32°S). La zona de transición entre las lluvias de verano e invierno (24°-25°S), coincide con la parte más árida ('diagonal árida').

La Cordillera de los Andes comenzó a levantarse en el Cenozoico Superior. La existencia de altas montañas en el Mioceno/Plioceno, junto con el probable nacimiento de la Corriente de Humboldt en este tiempo, determinó el comienzo de la aridización de los Andes del norte de Chile. El Cuaternario fue en general seco pero con fases relativamente húmedas durante las glaciaciones. Se discuten los modelos de desplazamiento hacia el Norte o hacia el Sur de los cinturones climáticos (p.e., los 'westerlies') durante los períodos glaciales.

La flora de los Andes del norte de Chile posee 865 especies, 21% de estas especies son endémicas a Chile. En la región de lluvia de invierno existe el doble de especies endémicas que en la región de lluvia de verano. La riqueza de especies disminuye un 80% y la cobertura un 50% en el severo gradiente de precipitación entre los 18°S y 24°S. Las hierbas perennes son más abundantes en áreas con mayor precipitación, las hierbas, anuales aumentan en importancia en áreas de aridez intermedia, mientras que las especies leñosas son más frecuentes bajo condiciones árido/cálidas y árido/frías.

Cuatro pisos de vegetación se pueden distinguir en los Andes del norte de Chile: a) el piso **Pre-andino** (o piso Desértico o Pre-Puna) localizado a bajas elevaciones, b) el piso **Subandino** (Puna), c) el piso **Andino Inferior** (el piso de los cojines), y d) el piso **Andino Superior**.

La floración a los 18°S ocurre a lo largo de todo el año con dos máximos marcados, antes y después de la estación de lluvia. Para el sitio con lluvia de invierno a los 33°S, la floración se extiende entre Septiembre hasta principios de Mayo, con un máximo a mitad del verano (Enero). Los períodos de floración de especies individuales son 4 veces más largos a los 18°S comparado con los 33°S. La anemofilia incrementa hacia las áreas más áridas. La polinización biótica es principalmente realizada por dípteros e himenópteros bajo los dos patrones de precipitación.

La temperatura tiene un papel importante en determinar las formas de vida, y en consecuencia la similitud fisonómica a lo largo de los pisos de vegetación. Bajo los dos patrones de precipitación, las especies altas son menos tolerantes a las bajas temperaturas comparados con las especies que crecen a nivel del suelo. Las especies altas poseen la capacidad de sobre-enfriar; en contraste, todas las especies que crecen al nivel del suelo poseen tolerancia al congelamiento como principal mecanismo de resistencia a bajas temperaturas. También en ambas regiones los arbustos muestran menor conductancia estomática al vapor de agua, menor tasas de fotosíntesis y menores potenciales hídricos comparados con las hierbas perennes.

Se discuten las consecuencias del cambio climático global sobre la flora y vegetación de los Andes del norte e Chile.

Palabras claves: Andes del norte de Chile, clima, paleoclima, riqueza de especies, endemismo, forma de vida, tolerancia al frío, intercambio de gases, cambio global.

INTRODUCTION

The northern Chilean Andes Mountains rise abruptly from a narrow lowland area bordering the Pacific Ocean to elevations over 6,000 m. The highland present a steep climatic gradient providing a good scenario to inquire about evolution of the flora and their adaptations to different environmental constrains.

In this chapter the high-altitude, mountainous environment of northern Chile will be discussed, in terms of their climate, paleohistory, species richness, vegetation, reproduction and ecophysiological adaptations.

I. Climate in the northern Chilean Andes.

Extremely arid climates in western South America extend from 15° S in southern Perú to around 30°S in Chile. In lowlands of these regions, annual rainfall average is usually lower than 100 mm (Fig. 1). At low elevation, between 17°S and 25°S, annual precipitation is between 0-10 mm. In this absolute desert, vegetation is present, only around few river valleys and in areas exposed to coastal fog.

The Chilean-Peruvian Desert is a 'rain shadow' and a 'cold air' desert (Rauh, 1983). The present climate is determined by three major factors: a) the annual behavior of the Intertropical Convergence situated over equatorial latitudes (Gómez & Little, 1981) which brings moisture from the northeast ('easterlies'), b) a Polar front bringing precipitation from the west ('westerlies'), and c) the Humboldt Current - Niño/Niña events (Zinsmeister 1978; Aceituno *et al.*, 1993). As a consequence of the interplay of these parameters, northern Chilean Andes can be divided in two regions: a) a **winter rain region**, south of 24-25°S (rains occur during winter, as snow over 3,000 m, and summers are warm and dry), b) a **summer rain region**, north of 24°S (rains occur during summer, and winters are cold and dry). There is a small overlap between these two rainfall patterns in the driest area in between, the 'Arid Diagonal'.

Air-temperature is reduced by 6.5°C/1,000 m in the northeast Chilean Andes (Fig. 2). For instance, mean annual temperature at Murmuntane (3,280 m) is 9.7°C, while at Parinacota (4,395 m) is 2.5°C.

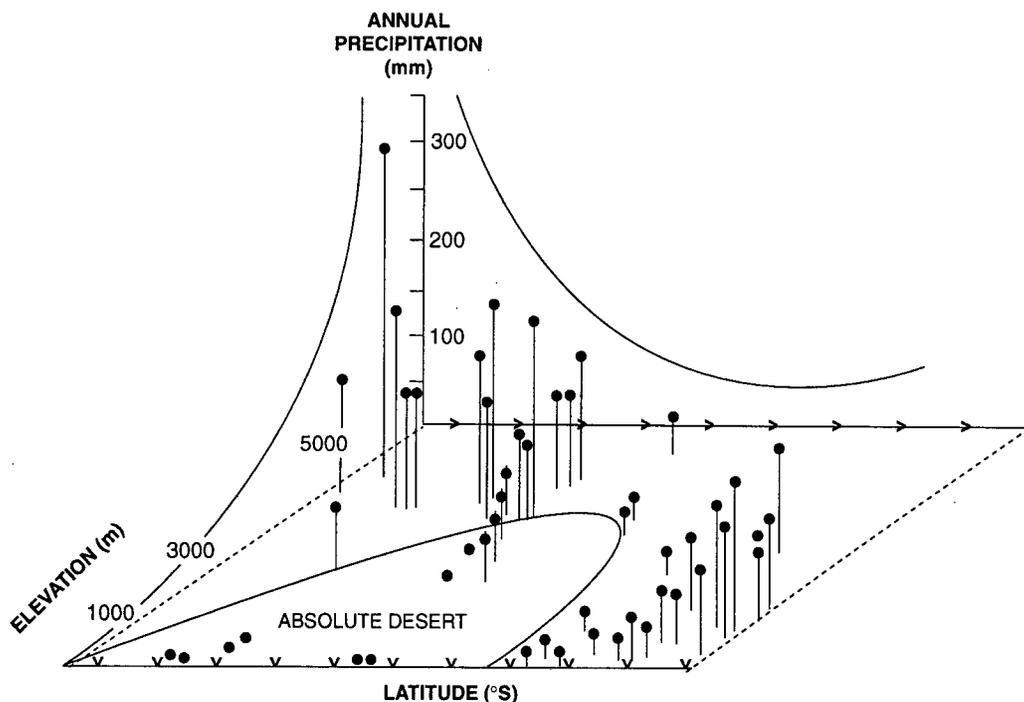


Fig. 1. Mean annual precipitation related to elevation and latitude in northern Chile (from Arroyo *et al.*, 1988)

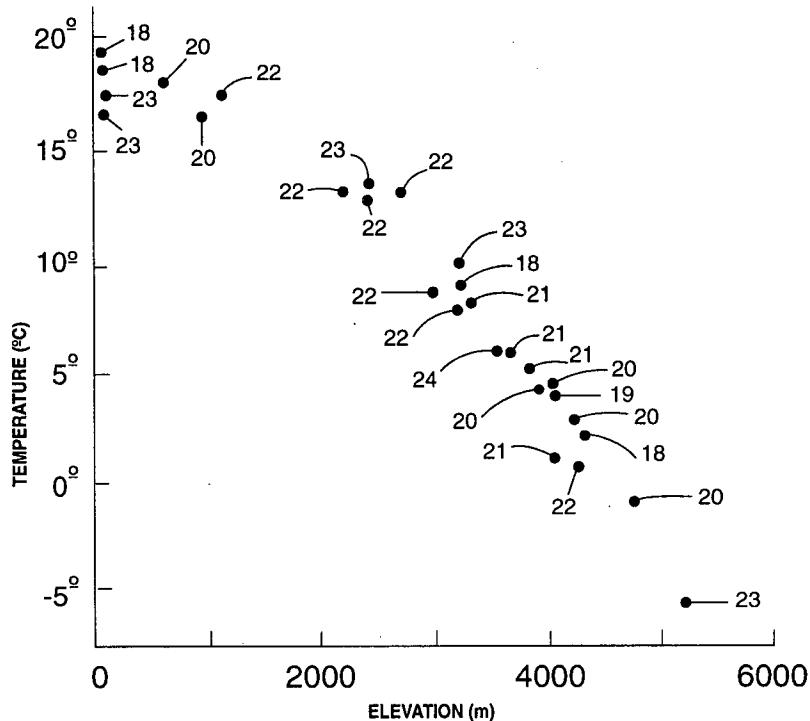


Fig. 2. Mean temperature plotted against elevation for areas between latitude 18° and 24°S in northern Chilean Andes (from Arroyo *et al.*, 1988).

II. Andes Mountain Paleohistory

Emergence of the Andes. The strong uplift of the Chilean Andes started in the Upper Tertiary, accompanied by volcanic activity since the Miocene some 23 my B.P. (Mortimer, 1975, 1980; Zeil, 1979). The existence of high mountains in the Miocene / Pliocene, together with the likely-birth of the cold Humboldt-current at about this time, led to an aridization of northern Chilean Andes (Herm 1969; Paskoff, 1979; Mortimer 1980; Naranjo & Paskoff 1985; Alpers & Brimhall 1988; Arroyo *et al.*, 1988). Favored by the high elevation, glaciations of the Altiplano probably occurred as early as Pliocene (Clapperton, 1979). The Quaternary with its generally dry conditions is characterized by the occurrence of relative moist phases. The number and the age of such periods is not well known. However, a simple model with the alternation of humid glacials and dry interglacials can no longer hold true. As can be seen for the Upper Pleistocene, strong climatic fluctuations, especially variations of the moisture regime, occurred during one single glacial period, which reflected by glacier variations and changes of the Altiplano lake-levels. In light of these facts, the established models of the past decades, concerning the northwards or southwards shift of climatic belts (e.g., the westerlies) during glacial periods, have to be discussed in much more detail.

Pleistocene-Holocene climates. From the Altiplano in Perú and Bolivia three to five pleistocene periods with increased moisture are documented by glacier advances. The Mid- to Upper Pleistocene periods of glacier advances seem to correspond with higher levels of Lake Titicaca (Dobrovlny 1962; Servant 1977; Ballivian *et al.*, 1978; Hastenrath & Kutzbach, 1985; Lauer & Rafiqpoor, 1986; Seltzer, 1993). During the Last Glacial Maximum (around 20,000 yr B.P.) the maximum temperature depression reached about 6-7°C. In spite of this, the prevailing dry conditions led to the formation of only small glaciers and low lake levels on the Altiplano. More humid conditions are documented > 28,000 yr B.P. (Minchin Period) as well as during lateglacial times (Tauca Period, 3-4°C colder). They have been interpreted as an intensification or slight southward shift of the tropical easterly winds (Kessler, 1984, 1991). A moist late glacial period with high lake levels is also documented in the Argentine and Chilean Andes until 30°S (Veit & Stingl 1991; Grosjean *et al.*, 1991; Veit, 1993a, b; Garleff *et al.*, 1993; Messerli, *et al.*, 1993). The more humid conditions in Chile south of 27°S at this time have their origins from intensified westerlies (Veit, 1993a). A stronger influence of the westerlies in the south and of the easterly winds in the north led to a narrowing of the 'Arid Diagonal'. However, the dry core of the 'Arid Diagonal' persisted in its present position around 24°S.

The increased moisture on the Altiplano led to intensified runoff, which is documented by the down-cutting of the rivers. This holds true, for example, in the Río Lluta Valley, east of Arica at Poconchile, where 14C-dates of ancient valley floors show the beginning of this process around 16,000 yr B. P. (Veit, 1993b). Similarly one might interpret various 'humid' indicators in the Atacama desert as effects of runoff from the Altiplano and not of increased precipitation in the Atacama itself. Thus, the 'Arid Diagonal' apparently has a long Pleistocene to Tertiary history and is not a very recent feature (e.g. Ochsenius, 1982).

Compared to lateglacial times, the climate became drier at the transition to the Holocene, but was relatively moist until 7,500 yr B.P. This is indicated by the levels of Lake Titicaca, that remained rather high (Wirrmann & de Oliveira, 1987), and by the activity of alluvial fans and by soil formation above 2,500 masl in the Norte Chico (Veit, 1991, 1993b) and at 23°S (Messerli *et al.*, 1993). From 7,500 yr B.P. on, the climatic conditions in the Andes became significantly drier. With the exception of a probably very short moisture oscillation in the Mid-Holocene, these dry conditions prevailed until 3,700 B.P., indicated by a fall of Lake Titicaca of about 50 m below the present level, the lack of activity of alluvial fans and by soil erosion processes in the Norte Chico. From 3,700 yr B.P. on, the climate became slightly moisture and cooler in the Norte Chico and approached to the present arid to semiarid conditions. At the Altiplano a similar trend of climatic evolution is indicated by the rise of Lake Titicaca, though palynological findings at 23°S (Messerli *et al.*, 1993) indicate drier conditions from 2,200 yr B.P. on.

III. Species Richness

Endemic patterns: The total number of species in northern Chilean Andes (not including the desert preAndean shrubland) is 865 representing 16.9% of the Chilean flora (Table 1). 21% of these species are endemic to Chile. Now, in the same relative area (7° latitude), the winter rain region (25-32°S) has twice more endemism to Chile (27% versus 14%) and twice more endemism to the respective rain region (19% versus 10%) than the summer rain region (17-24°S). These differences could be a consequence of the continuity of the Altiplano flora to the north inside the same rain pattern, and migration. Despite these differences, the high endemism in northern Chilean Andes (ca.14%) shows that recent evolution *in situ* occurred.

Latitudinal patterns: Species richness drops off by 80% from 18°S (heaviest summer rain in northern Chilean Andes) to 24°S (lightest summer rain) (Table 2); whereas, number of species increases to the south with an increase in winter rains. Arroyo *et al.* (1988) showed that, under similar thermal conditions, species richness was positively correlated with precipitation. Under both precipitation regimes, as aridity increases, trends for fewer species per genus and fewer genera per family are seen (Table 2). Thus fewer species or fewer genera have been able to survive in the most arid regions, and/or less local speciation exists. These latitudinal changes in species richness also reflect reduced north-south species migration there on account of the absolute desert extending above 3,000 m at 24°S (Arroyo *et al.*, 1982; Villagrán; 1983).

Altitudinal patterns: Flora of the two rain regions show different responses to elevation. In the summer rain region, the maximum number of species occurs at mid elevation (Fig. 3); while on the winter rain region species richness decreases with increase in elevation. Additionally, at the same elevation, the number of species decreases towards the 'Arid Diagonal' where the east-west precipitation gradient is most pronounced and a absolute desert exists.

TABLE 1.

ENDEMISM PATTERNS IN NORTHERN CHILEAN ANDES (NO INCLUDING THE DESERT PRE-ANDEAN SHRUBLAND). DATA ARE FROM THE 'FLORA DE CHILE DATA BASE' BASED IN 112,000 RECORDS OF HERBARIUM COLLECTIONS AND THE LITERATURE.

Latitudinal Range	Rain Patterns	Total Species numbers	Chile		Endemic Species to the rain region	
17°00' to 24°59'S	Summer	523	71	13.6%	51	9.8%
25°00' to 31°59'S	Winter	449	121	26.9%	84	18.7%
17°00' to 31°59'S	both	865	182	21.0%	119	13.8%

TABLE 2.

COMPARISON OF THE NUMBER OF SPECIES PRESENT (SPECIES RICHNESS) AT DIFFERENT LATITUDES IN THE NORTHERN CHILEAN ANDES. DATA FROM ARROYO *ET AL.* (1988)

	Summer rain				Winter rain	
	18°S	19°S	21°S	24°S	26°S	28°S
Number of species	391	219	164	77	144	270
Number of genera	195	138	110	55	90	162
Species/genus	2.0	1.6	1.5	1.4	1.6	1.7
Number of families	64	53	37	30	42	58
Genera/family	3.0	2.6	3.0	1.8	2.1	2.8

III. Vegetation

Cover: There is also a clear reduction in total plant cover with aridity (Fig. 4). In the wettest areas in the northern Andes, total cover does not exceed 50%. However, at 24°S, less than 20% of the total surface is covered. Arroyo *et al.*, (1988) found that plant cover was positive correlated with species richness, showing that increases in aridity also affect plant biomass.

Life forms: Dividing the altitudinal gradient in three elevation levels (2,000-3,000 m, 3,000-4,000 m and 4,000-5,000 m), Arroyo *et al.*, (1988) showed that life form composition changes along the aridity gradient (Table 3). Comparing the wet and arid extremes of the summer rain region, perennial herbs are underrepresented at the arid extreme in the three elevations. Contrary to expectations, annual herbs did not increase with greater aridity. Annuals were significant less represented in the driest (2,000-3,000 m) of the three elevations. Woody species, in contrast, tend to be more highly represented as aridity increases; the trend is clear in the driest elevation and where aridity is overlaid with cold stress (4,000-5,000 m).

In the elevation gradient, a lower fraction of annual species are present at the highest elevation along all the latitudinal gradient, suggesting less tolerance to low temperatures. The higher proportion of annuals at midelevation in 21-24°S suggests that the annual habit is adapted in arid climates up to a certain moisture limit.

TABLE 3.
LIFE FORMS ON NORTHERN CHILEAN ANDES. DATA FROM ARROYO ET AL. (1988).

	18-19°S	21-24°S	26-28°S
2,000 - 3,000 m			
Shrubs & trees	(28) 40.6%	(7) 70.0%+	(62) 42.5%
Perennial herbs	(24) 34.8%	(2) 20.0%+	(41) 28.1%
Annual herbs	(17) 24.6%	(1) 10.1%+	(43) 29.4%
	(69 spp.)	(10 spp.)	(146 spp.)
3,000 - 4,000 m			
Shrubs & trees	(70) 32.4%	(32) 36.0%	(54) 35.8%
Perennial herbs	(107) 49.5% ^{ac}	(32) 36.0% ^{bd}	(61) 40.4% ^{cd}
Annual herbs	(39) 18.1 %	(25) 28.1%	(36) 23.8%
	(216 sp)	(89 spp.)	(151 spp.)
4,000 - 5,000 m			
Shrubs & trees	(25) 17.4% ^{ac}	(32) 37.6% ^{bd}	(25) 26.0% ^{cd}
Perennial herbs	(107) 74.3% ^a	(43) 50.6% ^b	(48) 50.0% ^b
Annual herbs	(12) 8.3% ^a	(10) 11.8% ^a	(23) 24.0% ^b
	(144 spp.)	(85 spp.)	(96 spp.)

Same letters show no significant differences with G-test, + =G-test not applicable.

Vegetation belt: Despite the existence of a disruption in the latitudinal distributions of the Andean taxa around determining floristic differences between the summer and winter rain regions (Arroyo *et al.*, 1981; Villagrán *et al.*, 1983), four vegetation belts can be distinguished on a physiognomic basis along northern Chilean Andes (Fig. 5): a) **Pre-alpine** belt (also called Desertic or Pre-puna belt) located at lower elevations, is a low shrubland with few tree species present in wet areas, b) **Subalpine** belt (or Puna belt): dominated by shrubs, c) **Low Alpine** belt: dominated by sub-shrubs and grasses, also cushion species are present, and d) **High Alpine** belt (Subnival or Alpine desert belt): the highest vegetation belt, permafrost is usually close to the soil surface, only a few species forming small rosettes and grasses are present (Ruthsatz, 1977; Villagrán *et al.*, 1981, 1983; Squeo *et al.*, 1994).

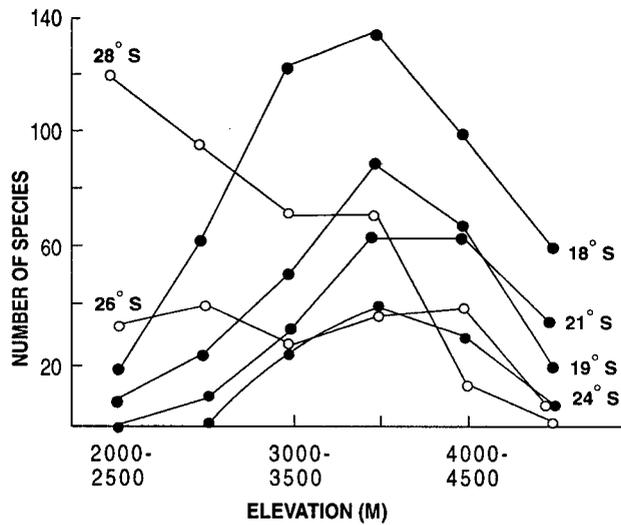


Fig. 3. Variation in number of species (species richness) with elevation at different latitudes in northern Chilean Andes. Summer rain region (solid circles), winter rain region (open circles) (from Arroyo et al., 1988).

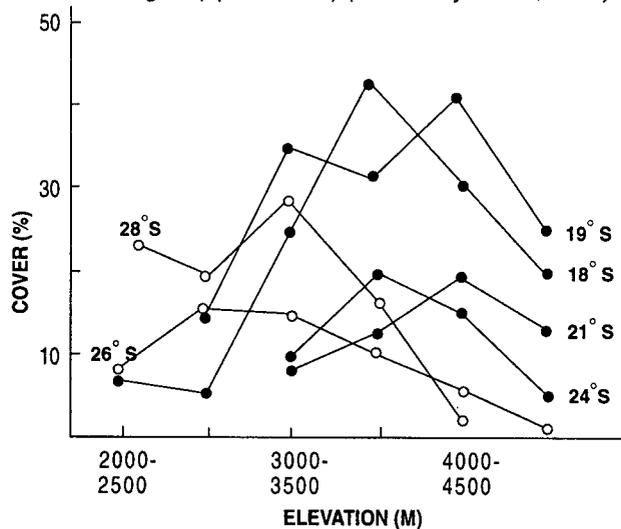


Fig. 4. Variation in plant cover (% of ground vegetated) with elevation at different latitudes in northern Chilean Andes. Summer rain region (solid circles), winter rain region (open circles) (from Arroyo et al., 1988).

IV. Phenology

Phenological data of summer (18°S) and winter (33°S) rain sites are compared using data from sampling stations in the Sub-alpine vegetation belt (Fig. 6). At 18°S flowering occurs year round with two marked peaks, one in October-November before the rainy season, and a second in March-April after the end of the rainy season. Above 4,000 m, there is some decrease in flowering during the colder months (Belmonte & Moscoso, 1985). The flowering periods of individual species are 3.8 months in average.

For the winter rain site at 33°S, flowering extends from September, immediately at snow-melt, through early May, with a peak in mid-summer (January). In addition to the seasonal differences, the flowering periods of individual species are shorter on the winter rain site (one month on average). At 30°S and in the last three vegetation belts (between 3,000 and 4,500 masl) flowering extends only from November to May (Squeo, et al., 1994), suggesting that differences because of increasing in aridity may also occurs.

V. Pollination

Total importance of anemophily in the flora increases towards drier areas (26% of the flora at 22°S) in comparison with wet areas (21.7% at 18°S, and 19.3% at 30°S) (Arroyo et al., 1983). Arroyo et al. (1987) showed that biotic pollination is primarily carry out by diptera and himenoptera in both 18°S and 33°S (Fig. 7). However, dipterans are the most frequent visitors at 18°S (ca. 50% of the total flora), while plant visit by hymenopterans and dipterans are very similar in the winter rain site. Plant visit by butterflies are lower than 10% at 18°S and close to 20% at 33°S. Hummingbird (higher at 18°S) and coleoptera (higher at 33°S) are the visitors less represented. These differences in pollinators between summer and winter regions could be related with different biota sources and differences in energetic requirements of the pollinators.

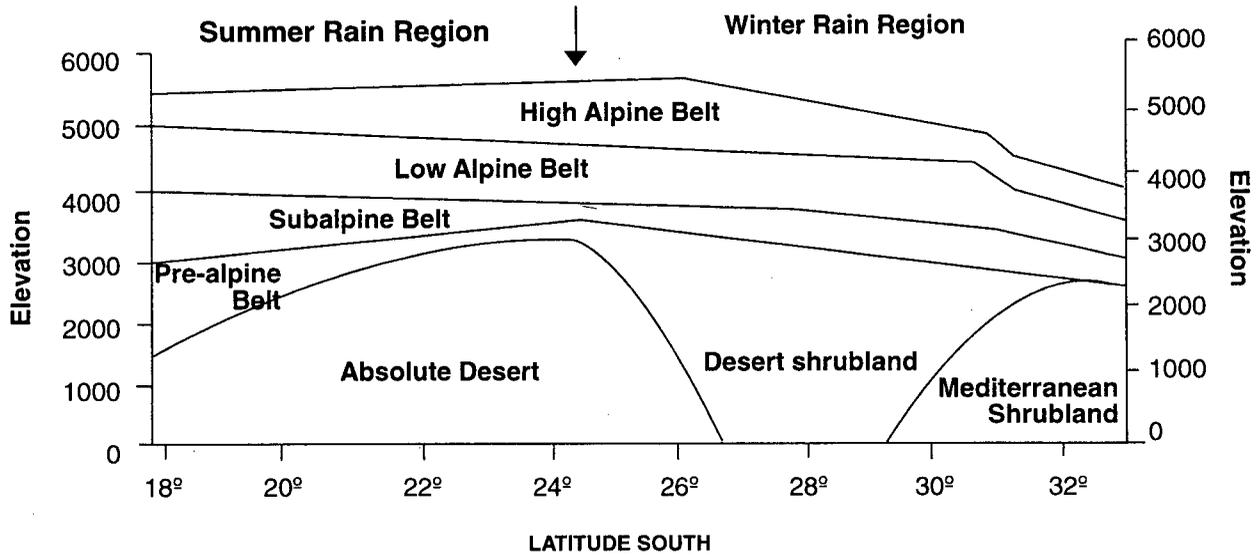


Fig. 5. Vegetation belt on the western side of the northern Chilean Andes (from Squeo et al., 1994).

VI. Ecophysiological patterns

No ecophysiological data are available from the summer rain region in northern Chilean Andes, but information available from the Páramo vegetation in Venezuelan Andes (8°N) could be used as representative of the summer rain region.

Temperature: Temperature plays a role in determining life forms and, in consequence, the physiognomic similitude among vegetation belts. Data from Venezuelan Páramo (8°N, a wet summer rain region close to the Puna) and north-central Chile (30°S) show that tolerance to low temperatures increases with elevation at the same rate as decreases in mean annual temperature (Goldstein et al. 1985; Squeo et al. 1996). That is, plant species growing at higher elevations are more tolerant to low temperatures.

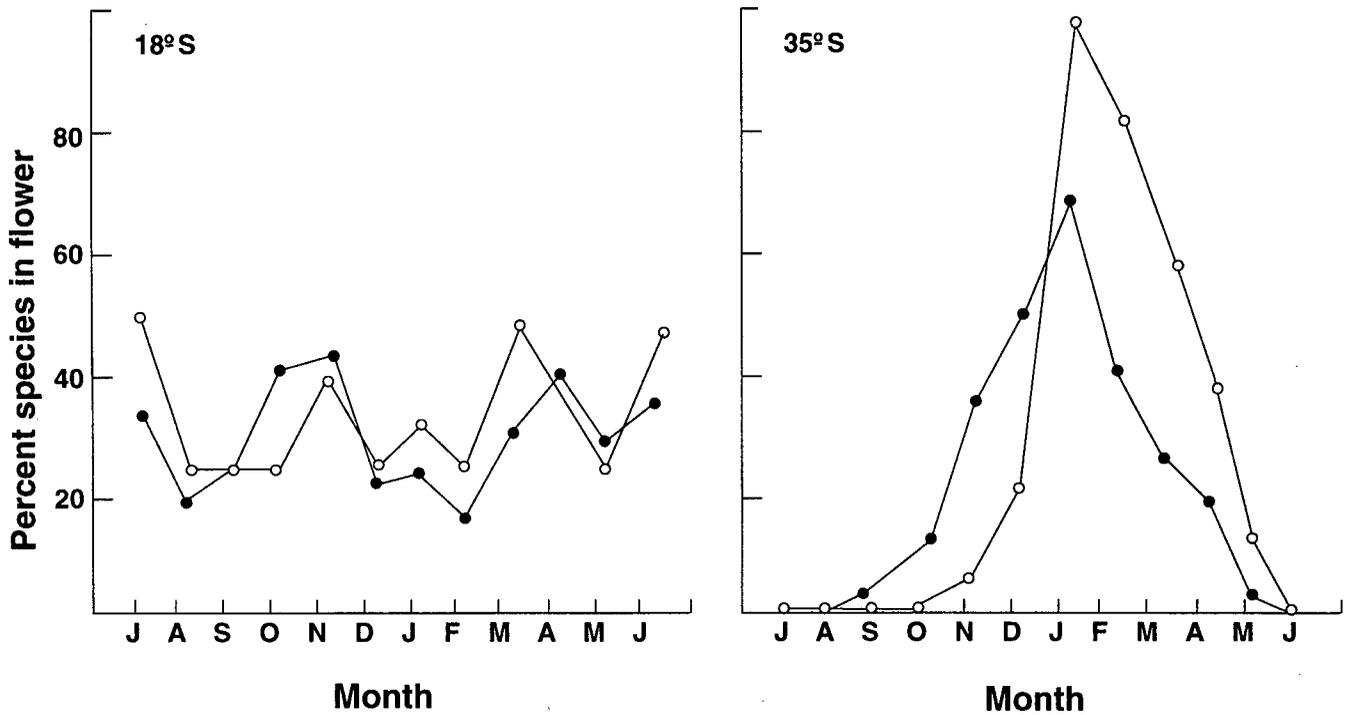


Fig. 6. Percent of species of all families present in flower (solid circles) as compared with percent of Compositae (open circles) in flower at 18°S (3,400 m, 36 spp.) and 33°S (2,500 m, 42 spp.) (from Arroyo et al., 1990)

Temperature and plant height: At the same elevation (4,200 m), plant height and lethal temperature was positively correlated in the Páramo (Squeo *et al.*, 1991). A similar pattern was also found at 30°S, where injury temperature was 2.5°C lower in small plants (< cm height) than in tall plants (Squeo *et al.*, 1996).

Cold resistance mechanisms: Two main cold resistance mechanisms are present in plants inhabiting high mountains: a) freezing avoidance (e.g., supercooling capacity, insulations) and b) freezing tolerance (Rada *et al.*, 1985a, Körner and Larcher, 1988; Scheibe and Beck, 1990; Squeo *et al.*, 1991, 1996). Freezing tolerance provides a best protection to the plants against cold injury, but freezing avoidance, that can endure plants for a few hours, does not decrease their photosynthetic capacity.

Tall species, at both 8°N and 30°S, have supercooling capacity preventing ice formation in their tissues (e.g., *Polylepis sericea*, *Espeletia* spp., *Adesmia hystrix*, *Tetraglochin alatum*); in contrast, all ground-level species have freezing tolerance as main mechanism resistance to cold temperatures (e.g., *Azorella* spp., *Adesmia* spp., *Viola* spp.) (Goldstein *et al.*, 1985; Rada *et al.*, 1985a, 1985b, 1987; Azócar *et al.*, 1988; Squeo, *et al.*, 1991, 1996). This pattern probably exists because during the growing season the lowest, night-temperatures occur at ground-level.

Gas exchange: Similar to found for the Páramo plant species at 8°N (Goldstein and Meinzer, 1983; Rada, *et al.*, in press), shrubs at 30°S showed lower stomatic conductance to water vapor, lower photosynthetic rates and lower water potential than perennial herbs (Table 4). All of the studied species showed a reduction in stomatal conductance to water vapor, closing stomata at midday suggesting that this is a common mechanism to overcome the strong water stress. Plant species at 30°S showed lower water potential than at 8°N.

TABLE 4.
MEAN OF GAS EXCHANGE PARAMETERS FOR SHRUBS AND PERENNIAL HERBS FROM 30°S (3,350 M A.S.L.) (RADA ET AL IN PRESS, SQUEO AND AZÓCAR, UNPUBL DATA.)

n= number of species, g= leaf conductance to watervapor (mmol m⁻² s⁻¹), A= CO₂ assimilation rate (μ mol m⁻² s⁻¹), Y= Water potential (MPa), Mean ±SD. In parenthesis are showed maximum values of g and A, and minimum values of Y.

	n	g	A	Y
Shrubs	3	128±54 (199±91)	1.4±0.5 (2.9±1.2)	-4.3±0.7 (-5.1±0.9)
Perennial herbs	4	223±11 (325±66)	3.5±1.0 (5.0± 1.8)	-2.8±0.5 (-3.6±0.6)

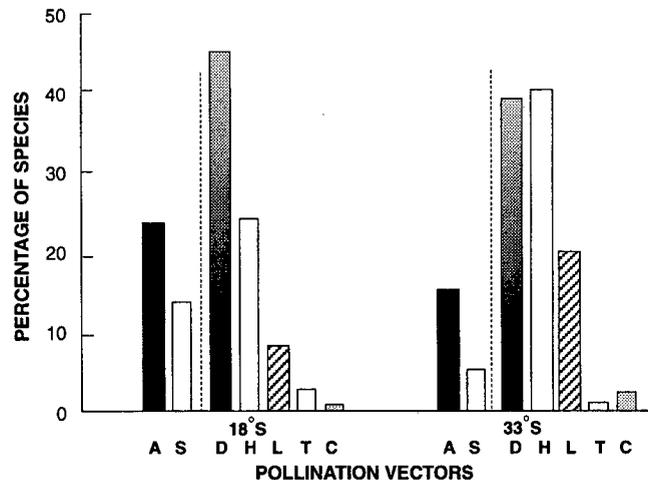


Fig. 7. Pollination mechanisms at 18°S (2,000 - 5,000 m, 128 spp.) and at 33°S (2,200 - 3,900 m, 127 spp.). A= wind pollinated, S= without visits; visited by diptera (D), by hymenoptera (H), by lepidoptera (L), by hummerbird (T) and coleoptera (C) (modified from Arroyo *et al.*, 1987).

VII. Perspectives.

Global Climate Change: According to present global circulation models (GCMs), temperature and precipitation in the earth are changing (Schlesinger & Mitchell, 1987; Stouffer *et al.*, 1989). Arroyo *et al.* (1993) predicted that between 30° and 18°S, the mean annual temperature will be 2.3°C higher in 2030 than in 1958. In the same period the atmospheric CO₂ concentration will be doubled. This increment in mean annual temperature is equivalent to a decrease of 354 m in elevation. What do these temperature changes mean for vegetation? Alpine vegetation would be forced to move 350 m upward in 72 years!. The life spans of many woody species and high-elevation cushion plants extend longer than 72 years.

GCMs also predict a reduction in precipitation at mid-latitudes on the west side of South America in contrast to the global precipitation trend (that would increase between 7 and 11 %) (Schlesinger & Mitchell, 1987). The amount of precipitation and latitudinal limit between summer and winter rain regions will change same than in the past, as discussed in the paleoclimate section. The summer rain region will increase in precipitation and its south limit will extend further than 24°S; in contrast, precipitation in the winter rain region will decrease. Alpine vegetation would have to move several degree of latitude south within 72 years!

The 'simplest' option for any species to cope with rapid global warming, either short-or long-lived, should be that of tracking its preferred temperature and precipitation through migration. Arroyo *et al.* (1993) suggest that the most important factors for a successful migration in a rapidly changing temperature and precipitation environment are dispersal capacity, presence of pollinators in migration sites, and recruitment.

Spatial heterogeneity: Existence of spatial heterogeneity in the Andes Mountains could help to reduce long distance migration's problems. Squeo *et al.* (1993) showed that under the same macroclimatic conditions, different thermal environment are present at 30°S. Thermal refuges (e.g., rocky sites, equatorial facing slopes) are used by tall shrubs while, in areas with snow accumulation in winter, woody cushion species are more abundant. In the Altiplano at 18°S, *Polylepis* forest are also located in rocky sites of equatorial facing slopes, similar to *Polylepis sericea* in the Venezuelan Páramo (Rada *et al.*, 1985a). These thermal differences between polar and equatorial facing slopes also determines differences in phenological and reproductive processes in sub-shrubs from central Chilean Andes at 33°S (Rozzi *et al.*, 1989).

The previous studies on plant species inhabiting northern Chilean Andes have heavily rely on a basic descriptive analysis. New studies and long term monitoring are still essential to know how these changes will affect the high alpine plant communities. Information about most of ecological and ecophysiological mechanisms and processes operating in these communities is still insufficient.

REFERENCES

- Aceituno, P., Fuenzalida, H. & Rosenbluth, B., 1993. Climate along the extratropical west coast of South America. In: H. Mooney, E. Fuentes & B. Kronberg (eds.), *Earth System Responses to Global Change: Contrasts between North and South America*. San Diego: Academic Press: 61-69.
- Alpers, C. & Brimhall, G.H., 1988. Middle Miocene climate change in the Atacama desert, northern Chile: evidence from supergene mineralization at La Escondida. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 100: 1640- 1656.
- Arroyo, M.T.K., Armesto, J.J. & Villagrán C., 1981. Plant phenological patterns in the high Andean Cordillera of Central Chile. *Journal of Ecology* 69: 205-223.
- Arroyo, M.T.K., Villagrán, C., Marticorena, C. & Armesto J.J., 1982. Flora y relaciones biogeográficas en una transecta altitudinal en los Andes del norte de Chile (18°- 19°S). In: A. Veloso & E. Bustos (eds.), *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Montevideo: UNESCO. 1: 71 -92.
- Arroyo, M.T.K., Armesto, J.J. & Primack, R., 1983. Tendencias altitudinales y latitudinales en mecanismos de polinización en la zona andina de los Andes templados de Sudamérica. *Revista Chilena de Historia Natural* 56: 159-180.
- Arroyo, M.T.K., Squeo, F. A. & Lanfranco, D., 1987. Polinización biótica en los Andes de Chile: avances hacia una síntesis. *Ann. Congr. Latinoamericano de Botánica* 1: 55-75.
- Arroyo, M.T.K., Squeo, F.A., Armesto, J.J. & Villagrán, C., 1988. Effects of aridity on plant diversity in the Northern Chilean / Andes results of a natural experiment. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 55-78.
- Arroyo, M.T.K., Rozzi, R., Squeo, F.A. & Belmonte, E., 1990. Pollination in tropical and temperate high elevation ecosystems: hypotheses and the Asteraceae as a test case. In: M. Winiger, U. Wiesmann & J.R. Rheker (eds.), *Mount Kenya Area: Differentiation and Dynamics of a Tropical Mountain Ecosystem*. Berne: UNESCO-IUBS: 21-31.

- Arroyo, M.T.K., Armesto, J.J., Squeo, F.A. & Gutiérrez J.R., 1993. Global change: flora and vegetation of Chile. In: H. Mooney, E. Fuentes & B. Kronberg (eds.), *Earth System Responses to Global Change: Contrasts between North and South America*. San Diego: Academic Press: 239-263.
- Azocar, A., Rada, F. & Goldstein, G., 1988. Freezing tolerance in *Draba chinophila* a 'miniature' caulescent rosette species. *Oecologia* 75: 156-160.
- Ballivian, O., Bles, J.L. & Servant M., 1978. El Plio-Cuaternario de la región de la Paz (Andes orientales, Bolivia). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér.géol.* 10: 101-114.
- Belmonte, E. & Moscoso, D., 1985. Patrones fenológicos de 81 especies de precordillera y altiplano de la I Región, 18°- 19°S, Chile. *Gema* 2: 46-67.
- Clappeerton, C.M., 1979. Glaciation in Bolivia before 3.27 Myr. *Nature* 277: 375-376.
- Dobrovoly, E., 1962. Geología del Valle de la Paz. Ministerio de Minas y Petróleo, Depto. Nacional de Geología, Boletín 3.
- Garleff, K., Stringl, H. & Veit, H., 1993. New dates on the Upper Quaternary history of landscape and climate in the Bolsón of Fambalá/NW Argentina (Province Catamarca). *Zbl. Geol. Palaont.*: in press.
- Goldstein, G., Rada, F., & Azócar, A., 1985. Cold hardiness and supercooling along an altitudinal gradient in andean giant rosette species. *Oecologia* 68: 147-152.
- Gómez, E. & Little, V., 1981. Geoecology of the Andes. The natural science basis for research planning. *Mountain Research and Development* 1: 115-144.
- Grosjean, M., Messerli, B. & Schreier, H., 1991. Seenhochstände, Bodenbildung und Vergletscherung im Altiplano Nordchiles: Ein interdisziplinärer Beitrag zur Klimageschichte der Atacama. *Erste Resultate Bamberger Geogr. Schr.* 11: 99-108.
- Hastenrath, S. & Kutzbach, J., 1985. Late Pleistocene climate and water budget of the South American Altiplano. *Quat. Res.* 24: 249-256.
- Herm, D., 1969. Marines Pliozan und Pleistozan in Nord- und Mittel-Chile, unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Mollusken-Faunen. *Zitteliana* 2: 1-159.
- Kessler, A., 1984. The paleohydrology of the Late Pleistocene Lake Tauca in the Bolivian Altiplano and recent climatic fluctuations. In: J.C. Vogel (ed.), *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere*: 115-122.
- Kessler, A. 1991. Zur Frage der Änderung der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation auf dem Altiplano seit dem Spätglazial. *Bamberger Geogr. Schr.* II: 351-358.
- Körner, C. & Larcher, W., 1988. Plant life in cold climates. In: S.F. Long & F.I. Woodward (eds.), *Plant and Temperature*. Symp. Soc. Exp. Biol. 42: 25-57.
- Lauer, W. & Rafiipoor, M.D., 1989. Zum Stand der Pleistozanforschung in der nordöstlichen Kordillere von Bolivien. *Erdkunde* 43: 228-231.
- Messerli, B., Grosjean, M., Bonani, G., Burgi, A., Geyh, M.A., Graf, K., Ramseyer, K., Romero, H., Schotterer, U., Schreuer, H. & Vuille, M., 1993. Climate change and natural resource dynamics of the Atacama altiplano during the last 18,000 years: a preliminary synthesis. *Mountain Research and Development* 13: 117- 127.
- Mortimer, C., 1975. Cenozoic studies in northernmost Chile. *Geologische Rundschau* 64: 395-420.
- Mortimer, C., 1980. Drainage evolution in the Atacama desert of northernmost Chile. *Revista Geológica de Chile* 11: 3-28.
- Naranjo J. A. & Paskoff, R., 1985. Evolución cenozoica del piedemonte andino en la Pampa del Tamarugal, norte de Chile (18°- 21°S). *Actas IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, V. 5*, p. 149-164.
- Ochsenius, C., 1982. Atacama: the holo-genesis of the Pacific coastal desert in the context of the tropical South American Quaternary, *Striae* 17: 112-131.
- Paskoff, R., 1970. *Le Chili semi-aride*. Bordeaux: Biscaye Frères: 420 p.
- Rada, F., Goldstein, G., Azócar, A. & Meinzer, F., 1985a. Freezing avoidance in Andean giant rosette plants. *Plant Cell and Environment* 8: 501-507.
- Rada, F., Goldstein, G., Azócar, A. & Meinzer, F., 1985b. Daily and seasonal osmotic changes in atropical treeline species.

Journal of Experimental Botany 36: 989-1000.

Rada, F., Goldstein, G., Azocar, A. & Torres, F., 1987. Supercooling along an altitudinal gradient in *Espeletia schultzii*, a caulescent giant rosette species. Journal of Experimental Botany 38: 491-497.

Rada, F., Squeo, F., Azócar & Cabrera, M. M., in press. Water and Carbon relations in the genus *Adesmia* D.C. (Papilionaceae), along an altitudinal gradient in the high north - central Chilean Andes. Revista Chilena de Historia Natural.

Rauh, W., 1983. The Peruvian-Chilean deserts. In: N.E. West (ed.), Temperate Desert and Semi-deserts. Ecosystems of the World. Amsterdam: Elsevier. 5: 239-267.

Rozzi, R., Molina, J.D. & Miranda, P., 1989. Microclima y periodos de floracion en laderas de exposición ecuatorial y polar en los Andes de Chile central. Revista Chilena de Historia Natural 62: 75-84.

Ruthsatz, B., 1977. Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest-Argentiniens. Diss. Bot. 39: 1-168.

Scheibe, R. & Beck, E., 1990. Ecophysiological studies on afroalpine plants. In: M. Winiger, U. Wiesmann & J.R. Rheker (eds.), Mount Kenya Area: Differentiation and Dynamics of a Tropical Mountain Ecosystem. Berne: UNESCO-IUBS: 159-165.

Schlesinger, M.E. & Mitchell, J.F.B., 1987. Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. Reviews of Geophysics 25: 760-798.

Seltzer, G., 1993. Late Quaternary glaciation as a proxy for climate change in the central Andes. Mountain Research and Development 13: 129-138.

Servant, M., 1977. El cuadro estratigráfico del Plio-Cuaternario del Altiplano de los Andes tropicales de Bolivia. Rev. de Geoc. UMSA 1: 23-29.

Sueo, F., Osorio, R. & Arancio, G., 1994. Flora de los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana. Ediciones Universidad de la Serena, 176 p.

Squeo, F.A., Rada, F., Azócar A. & Goldstein, G., 1991. Freezing tolerance and avoidance in high tropical Andean plants: Is it equally represented in species with different plant height? Oecologia 86: 378-382.

Squeo, F.A., Veit, H., Arancio, G., Gutiérrez, J.R., Arroyo, M.T.K. & Olivares, N., 1993a. Spatial heterogeneity of high mountain vegetation in the Andean desert zone of Chile. Mountain Research and Development 13: 203-209.

Squeo, F.A., Rada, F., García, C.E., Ponce, M.E., Rojas, A.L. & Azócar, A., 1996. Cold resistance mechanisms in high Desert Andean plants. Oecologia, 105 : 552 - 555.

Stouffer, R.J., Manabe, S. & Bryan, K., 1989. Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase in CO₂. Nature 342: 660-662.

Veit, H., 1991. Jungquartäre Relief- und Bodenentwicklung in der Hochkordillere im Einzugsgebiet des Rio Elqui (Nordchile, 30°S). Bamberger Geogr. Schr. 11: 81 -97.

Veit, H., 1993a. Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico: an overview. Mountain Research and Development 13: 138-144.

Veit, H., 1993b. Untersuchungen zur Genese und zum Alter jungquartärer fluvialer und limnischer Sedimente im nordchilenischen Trockenraum. Berliner Geogr. Arb. 43: in press.

Veit, H. & Stringl H., 1991. Landschafts- und Klimageschichte der Ariden Diagonale im Bereich von 27-33°S unter besonderer Berücksichtigung geomorphologischer und bodenkundlicher Befunde. Bamberger Geogr. Schr. I I: 369-373.

Villagrán, C., Armesto, J.J. & Arroyo, M.T.K., 1981. Vegetation in a high Andean transect between Turi and Cerro Len in Northern Chile. Vegetatio 48: 3-16.

Villagrán, C., Arroyo, M.T.K. & Marticorena, C., 1983. Efectos de la desertificación en la distribución de la flora andina de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 56: 137-157.

Wirrmann, D. & de Oliveira, Almeida, L.F., 1987. Low Holocene level (7,700-3650 years ago) of Lake Titicaca (Bolivia, South America). Paleogeogr. Paleoclimat. Paleoecol. 59: 315-323.

Zeil, W., 1979. The Andes, a geological review. *Beiträge zur regionalen Geologie der Erde* 13: 1-260.

Zinsmeister, W.J., 1978. Effect of formation of the West Antarctic ice sheet on shallow water marine faunas of Chile. *Antarctic Journal of United States* 13: 25-26.

QUIMICA DE PRODUCTOS NATURALES DE LA FLORA PRECORDILLERANA ANDINA DE LA II REGION DE CHILE

LUIS A. LOYOLA M. y JORGE BORQUEZ R.

LABORATORIO DE PRODUCTOS NATURALES
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA, CHILE

La Química de Productos Naturales ha despertado siempre el interés de los científicos y en las últimas décadas ha experimentado un desarrollo espectacular debido a los avances en las técnicas de extracción, separación y medida de parámetros físico-químicos, así como por los nuevos conocimientos en métodos sintéticos, la consolidación de nuevos conceptos y por su aplicación en campos interdisciplinarios. La Química de los Productos Naturales, debido a la gran variedad de tipos de compuestos por ella estudiados, ha sido precisamente la actividad que ha propiciado el desarrollo y constante perfeccionamiento de los métodos instrumentales y ha contribuido de forma decisoria al esclarecimiento de aspectos fundamentales de la Química Orgánica.

En el momento actual, dos de los problemas más interesantes de la Química de los Productos Naturales, la determinación estructural y la síntesis total, son en ciertos casos un trabajo rutinario debido al cúmulo de datos existente en la bibliografía. Por ello existen grupos de trabajo en esta disciplina que dirigen sus esfuerzos hacia áreas inexploradas, abriendo así un enorme abanico de posibilidades para la investigación en productos naturales.

Sin embargo, la actividad clásica del aislamiento y estudio estructural de los metabolitos secundarios sigue teniendo un enorme interés. Son muchas las razones que pueden aducirse para justificar la continuada labor investigadora en este aspecto de la Química de los Productos Naturales y, entre esas razones, las más importantes son aquellas que se refieren al intrínseco interés químico-orgánico de estos compuestos y los derivados del estudio de las causas de su formación, significado y funciones en el ser vivo que lo produce.

La investigación en productos naturales se ve fomentada y mantenida en constante actualidad por el hecho de que muchos de los productos sintetizados por microorganismos, vegetales e insectos son compuestos de interesantes propiedades farmacológicas, de control del medio ecológico y una fuente renovable de materias primas de indudable interés económico.

Además de las razones señaladas anteriormente, el estudio de la composición química de los organismos vegetales está justificado hoy en día por su empleo en la resolución de problemas de sistemática botánica. Los caracteres químicos de una planta constituyen datos fiables sobre los cuales establecer una correcta clasificación botánica y la quimiotaenonomia es una parcela científica en constante auge, en la que la Química de Productos Naturales juega un papel fundamental y decisivo.

Desde el año 1978 el Grupo de Productos Naturales de la Universidad de Antofagasta ha venido desarrollando una línea de investigación que pretende estudiar la flora autóctona de la II Región desde un punto de vista químico con el objeto de aislar, purificar, caracterizar y determinar las estructuras moleculares de los metabolitos secundarios que estas plantas biosintetizan. Las plantas han sido seleccionadas de acuerdo con sus antecedentes químicos, botánicos, biológicos y de la medicina popular llevándonos a centrar el estudio fundamentalmente en especies de las familias Asteraceae, Umbelliferae y Verbenaceae, significando el aislamiento de numerosos metabolitos secundarios: lactonas sesquiterpénicas, diterpenoides, alcaloides, flavonoides, cumarinas y derivados de la p-hidroxiacetofenona.

En los últimos años, disponiendo de un número importante de productos naturales, hemos iniciado los estudios de evaluación de la actividad biológica de estos metabolitos, así se han obtenido resultados de sus efectos anti-*Trypanozoma cruzi*, efectos antioxidante y de toxicidad general de algunos de ellos. Los resultados serán presentados desde un punto de vista químico y desde un punto de vista biológico.

Desde un punto de vista químico hemos estudiado las siguientes especies botánicas, indicando en cada caso los productos naturales aislados y la referencia correspondiente. La clasificación botánica fue realizada por el Prof. Clodomiro Marticorena del Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas y Recursos Naturales de la Universidad de Concepción.

ASTERACEAE

Senecio graveolens (chachacoma): derivados de la p-hidroxiacetofenona:

- Dihidroeuparin
- 3-Hidroxi-2,2-dimetil-6-acetilcromano
- 4-Hidroxi-3-(isopenten-2-il)-acetofenona
- 3-(3'-Hidroxiisopentil)-4-Hidroxiacetofenona (2)*
- 5-Acetilalcaloides (1) (Loyola *et al.*, 1985).

* Los Números corresponden a las fórmulas de Fig. 1

Senecio viridis (moco-moco o mocoro):

- Dihidroeuparin
- 2,2-Dimetil-6-acetilcromano

Senecio rosmarinus: Lactonas sesquiterpénicas del tipo eremofilanólida y un compuesto aromático:

- Oxo-10 β H-eremofila-7-(11)-en-8, 12-olida (3)
- 1-Oxo-8 β -hidroxi-10 β -H-eremofilanólida
- 1-Oxo-8 β -H-10 β -H-eremofilanólida
- Acetovanillona (Morales *et al.*, 1986)

Senecio phylloleptus:

- 3-(3'-hidroxiisopentil)-4-Hidroxiacetofenona
- 2,2-Dimetil-6-acetilcromano.

Chersodoma jodopappa: Lactonas sesquiterpénicas del tipo eremofilanólida y un alcaloide pirrolicidínico:

- 6 β -Hidroxi-8 β H-eremofila-7(11)-en-8, 12-olida
- 6 β ,8 β -Dihidroxi- 10 β H-eremofila-7(11)-en-8, 12-olida
- Senkirkina (Morales *et al.*, 1985)

Parastrephia quadrangularis: 2 cumarinas simples, un derivado de p-hidroxiacetofenona y un nuevo flavonoide.

- Escopoletina
- Umbeliferona
- p-Cumaroiloxi tremetona
- 5,7-Dihidroxi-3,3',4',8'-tetrametoxiflavolla, (Loyola *et al.*, 1985a)

Parastrephia teretiusscula: 2 flavonopides.

- 5,4'-Dihidroxi-7,3'-dimetoxiflavanona
- 5,3',4'-Trihidroxi-7-metoxiflavanona

Parastrephia phyllicaeformis: 2 flavonoides y una cumarina simple.

- 5,4'-Dihidroxi-7-metoxiflavona (genkwanina)
- 5,4'-Dihidroxi-7,8'-dimetoxiflavona
- Escopoletina

Baccharis boliviensis: flavonoides y diterpenoides.

- 5,3'-Dihidroxi-6,7,8,4'-tetrametoxiflavona
- 5,7,4'-Trihidroxi-3,6,8,3'-tetrametoxiflavona
- 5,4'-Dihidroxi-3,6,7,8,3'-pentametoxiflavona
- 7,4'-Dihidroxi-5,6,8-trimetoxiflavona
- 5,4'-Dihidroxi-6,7,8,3'-tetrametoxiflavona
- 15,16-epoxi-trans-clerodano-3,13(16),14-trien-17-ol (4)
- 17-succinoiloxi-ent-cleroda-3,13(16),14-trien-15, 16-óxido
- Acido 3,15,16-epoxi-trans-cleroda-3,13(16),14-trien-17-oico (Morales *et al.*, 1990)

***Haplopappus rigidus* (baylahuén)**: 1 flavonoide y 2 diterpenoides.

- 3,5,7-Trihidroxi-8,4'-dimetoxiflavona
- 18-Acetil-neo-sagittariol (5)
- β -D-Xilopiranósido de manool (6)

UMBELLIFERAE

***Molinum crassifolium* (chuquicán o chuquicandia)**: Diterpenoides con un nuevo esqueleto carbonado que hemos denominado "mulinano"

- Acido mulínico (7)
- Acido isomulínico (8)
- Acido 17-acetoximulínico (9)
- Acido mulinénico (10) (Loyola *et al.*, 1990a, 1990b, 1991).

VERBENACEAE

Lampaya medicinalis (lampayo): Cuatro flavonoides, p-hidroxiacetofenona y un diterpenoide:

- 5-Hidroxi-7,3',4'-trimetoxifavona
- 5,4'-Dihidroxi -7,3'-dimetoxiflavona (velutina)
- 5-Hidroxi-7,4'-dimetoxiflavona
- 5,4'-Dihidroxi-6,7,3'-trimetoxiflavona (cirsilenol)
- p-hidroxiacetofenona
- Genipina.

Verbena origenes (rica-rica):

- β -Sitosterol.

Las plantas estudiadas fueron recolectadas en la zona de Toconce y El Tatio al interior de Calama, II Región, Chile. Crecen en condiciones muy particulares de un microclima de grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche, con dos inviernos anuales y a una altura sobre el nivel del mar sobre 3000 metros. La mayor parte de ellas, son utilizadas con fines medicinales por los lugareños para contrarrestar el efecto de la "puna o soroche", la tos, la diabetes, como ocurre con los casos respectivos de la "Chachacoma, "Tola" y "Chuquicán".

En un análisis de los resultados de importancia química se destacan los compuestos aislados con estructuras moleculares nuevas, tales como diterpenoides, derivados de p-hidroxiacetofenona y flavonoides, cuyas estructuras se representan a continuación.

Especial mención requieren los productos aislados de *Mulinum crassifolium*, que corresponden a un nuevo esqueleto reordenado de diterpenoide que hemos denominado **MULINANO**. La numeración de los carbonos es la del tipo labdano, por considerar que biogenéticamente puede ser derivado de este tipo de diterpenoide.

La elucidación estructural de los productos naturales se realizó mediante el uso intensivo de modernas técnicas espectroscópicas, tales como UV, IR, EM, RMN¹H, RMN¹³C, DOR, DC, análisis elemental, actividad óptica, análisis de difracción de Rayos-X, etc.

Desde un punto de vista biológico, y atendiendo a la disponibilidad de cantidades adecuadas de algunos productos naturales, en nuestro laboratorio se ha iniciado el estudio del efecto tóxico o lítico sobre tripomastigotes de *Trypanosoma cruzi* "in vitro", con medición de la toxicidad general; del efecto antioxidante de flavonoides en la peroxidación de aceite de pescado; y del efecto hipotensor a nivel preclínico de derivados de la p-hidroxiacetofenona.

Se evaluó el efecto anti-*T. cruzi*, usando técnicas standard, de unos 25 compuestos puros aislados de especies de *Parastrephia*, *Senecio*, *Baccharis*, *Chersodoma*, etc.

La evolución del efecto tripanosomicida se realizó en las siguientes condiciones:

- Se infectó ratas de la cepa C3H con *T. cruzi* de la cepa Tulahuén.
- Después de 7 días se sangró el animal, la sangre infectada se mezcló con heparina y se diluyó con suero fetal bovino hasta obtener una densidad de tripomastigotes de 2×10^6 /ml.
- Se determinó la concentración tripanosomicida mínima por microtitulación en placas de poliestireno, comenzando con una solución de 1 mM.
- Como control negativo se usó una suspensión de parásitos en Krebs's Ringer glucosa y como control positivo una suspensión de parásitos más violeta genciana (10^{-3} M) en Krebs's Ringer glucosa.
- La aplicación se mantuvo a 4°C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se evaluó el efecto, contabilizando al microscopio (25 campos x 400) el número de tripomastigotes vivos por campo.
- Se asignó la actividad como (+++), (++) , (+) o (-) para efecto marcado, efecto moderado, efecto leve, o sin efecto; cuando se observó cero, de 1 a 5, de 6 a 10, ó de 11 a 20 tripomastigotes vivos por campo, respectivamente.

Los resultados más relevantes obtenidos hasta ahora se muestran en la tabla siguiente.

TABLA 1:
ACTIVIDAD ANTI *T. CRUZZI* DE PRODUCTOS NATURALES (0,5mM)

Compuestos	Efectos
p-cumaroiloxitremetona	+++
3-hidroxi-2,2-dimetil-6-acetilcromano	++
4-hidroxi-3-(3'-isopentil)-acetofenona	++
2,2-dimetil-6-acetilcromano	+
4-hidroxi-5-isopentil-3-hidroxiacetofenona	+
4,5-dihidroxi-3,3',6,7,8-pentametoxiflavona	++
6β,8β-dihidroxi-eremofilanólida	+
1-oxo-8H-eremofilanólida	+

El estudio de biotoxicidad de los productos naturales aislados permitió determinar el grado de toxicidad evaluando el parámetro LD₅₀, considerando que un producto no es tóxico si presenta una LD₅₀ mayor que 1000 ppm. Es necesario señalar que este bioensayo, que utiliza un pequeño crustáceo "Artemia salina", se fundamenta en el principio básico que **"TOXICIDAD NO ES OTRA COSA QUE EFECTO FARMACOLÓGICO A DOSIS ELEVADAS"**. Esto significa que un material tóxico a una dosis puede tener un efecto fisiológico importante a una dosis menor.

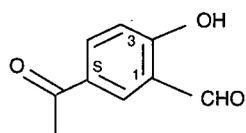
Los productos naturales de mayor toxicidad corresponden a:

- 5,4'-Dihidroxi-7,3'-dimetoxiflavona
- 5,3',4'-Trihidroxi-7-metoxiflavona
- 5,4'-Dihidroxi-3,6,7,8,3'-pentametoxiflavona
- p-Cumaroiloxitremetona
- Dihidroeuparin

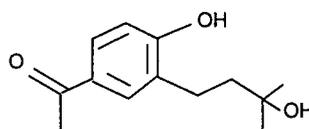
siendo dihidroeuparin, aislado de *Senecio graveolens* y *Senecio viridis*, el compuesto que muestra mayor dosis tóxica (LD₅₀ 15.3 ppm). El derivado acetilado de este producto mostró poseer una mayor LD₅₀ al bioensayo (LD₅₀ 11.13 ppm).

TABLA 2:
ACTIVIDAD BIOTÓXICA FRENTE A ARTEMIA SALINA

COMPUESTO	LD ₅₀
Dihidroeuparin	15.30
Dihidroeuparin acetilado	11.13
5,4'-Dihidroxi-7,3'-dimetoxiflavona	116.30
5,3',4'-Trihidroxi-7-metoxiflavona	486.00
p-Cumaroiloxitremetona	196.40
5,4'-Dihidroxi-3,6,7,8,3'-pentametoxiflavona	129.30

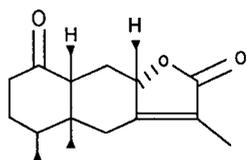


1

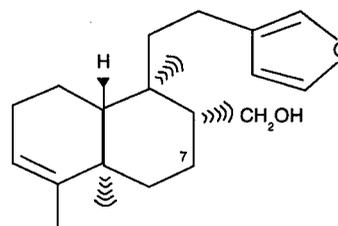


2

SENECIO GRAVEOLENS



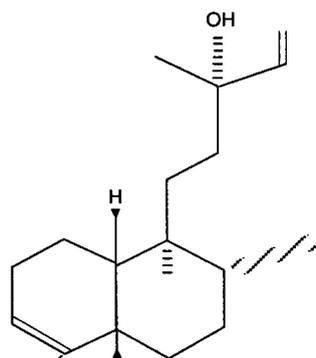
3



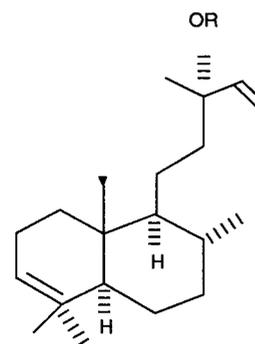
4

SENECIO ROSMARINUS

BACCHARIS BOLIVIENSIS

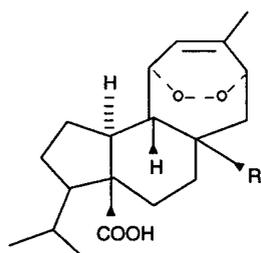


5



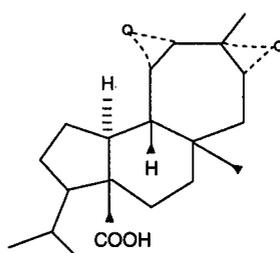
6 R= beta - xilopiranósil

HAPLOPAPPUS RIGIDUS



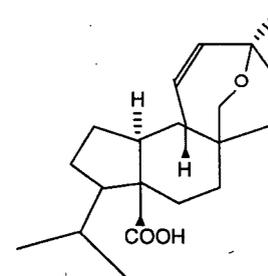
7: R = Me

9: R = CH₂OAc



8

MULINUM CRASSIFOLIUM



10

En relación al estudio biológico de los derivados de la p-hidroxiacetofenona, aislados de dos especies de *Senecio*: la 6-hidroxi-2-isopropenil-5-acetil-2,3-dihidrobenzofurano (**dihidro euparin**) y la 4-hidroxi-3-(2'-isopentenil)-acetofenona. Los resultados muestran que estos productos presentan:

- Un efecto hipotensor del orden de +/- 30% en todos los modelos biológicos utilizados, sin efectos significativos en la actividad cardíaca y respiratoria.
- Un efecto relajador de la musculatura lisa de tráquea y arteria aorta de rata, del orden del 20 al 30%. Este efecto es similar e incluso mejor que el logrado por el Salbutamol, utilizado como referencia y que se emplea para aliviar las crisis asmáticas.
- Un efecto significativo de inhibición del transporte del aminoácido L-histidina en intestino de rata.
- Un efecto diurético (natriurético y kaliurético) en los modelos biológicos usados.
- El mecanismo de acción de estos metabolitos es mediado por el sistema adrenérgico(beta)-adrenaltociclasa-AMP cíclico y es independiente del Calcio.

Los resultados obtenidos con los ensayos de los derivados de la p-hidroxiacetofenona, en diferentes modelos biológicos (anfibios, reptiles y ratas) muestran que poseen un buen efecto hipotensor, logrado a nivel vascular, actuando a nivel de la musculatura lisa de los vasos sanguíneos y que se refuerza con una acción diurética. Adicionalmente presentan un efecto relajador de la musculatura lisa de tráquea de rata, provocando broncodilatación.

Las evidencias obtenidas nos permiten augurar un buen futuro para la utilización de estos metabolitos en seres humanos que presentan patologías hipertensivas o asmáticas, ya que los ensayos realizados en los modelos biológicos muestran efectos similares o mejores (menores efectos secundarios) que las drogas utilizadas como referencia y que actualmente son ocupadas por la medicina y terapéutica.

REFERENCIAS

- Loyola, L.,A., Pedreros, S.,L. y Morales, G., 1985. p-hydroxyacetophenone derivatives from *Senecio graveolens*, Weed. Phytochemistry, 24 (7) 1600-2.
- Loyola, L.,A., Naranjo, S.J. y Morales, B.,G., 1985 a. 3,8,3', 4-tetramethoxy-5,7-dihydroxyflavone, from *Parastrephia quadrangularis*. Phytochemistry, 24 (8) 1871-2.
- Loyola, L.,A., Morales, G., Rodríguez, B., Jiménez, J., De la Torre, M., Perales, A., y Torres, M., 1990a. Mulinic and isomulinic acids rearranged diterpenoids with new carbon skeleton from *Mulinum crassifolium*. Tetrahedron, 46: 5413.
- Loyola, L.,A. Morales, G., De la Torre, M.C., Pedreros, S. y Rodríguez, B., 1990b. 17-acetoxymulinic acid, a rearranged diterpenoid from *Mulinum crassifolium*. Phytochemistry 29: 3950.
- Loyola, L.A., Morales, G., De la Torre, M.C., Pedreros, S. y Rodríguez, B., 1991. Mulinemic acid a rearranged diterpenoid from *Mulinum crassifolium*. J. of Nat. Prod., 54: 1404
- Morales, G., Bórquez, J., Mancilla, A., Pedreros, S. y Loyola, L., 1985. Constituentes of *Chersodoma jodopappa*. J. of Nat. Prod. 49 (6) 1140-1.
- Morales, G. Bórquez, R.J., Mancilla, P.A., Pedreros, T.S. y Loyola, L.,A., 1986. An eremophilanolide from *Senecio rosmarinus*, Phytochemistry. 25 (10) 2442-14.
- Morales, G., Mancilla, A., Gallardo, O., Trujillo, R. y Loyola, L.,A., 1990. Diterpenoids and flavonoids from *Baccharis boliviensis*. Bol. Soc. Chil. Quím. 35: 257.

ESTUDIO DE PLANTAS MEDICINALES, DE DISTINTAS REGIONES DE BOLIVIA, CON ACTIVIDAD ANTIPARASITARIA

ELFRIDE BALANZA, VICTORIA MUÑOZ, ALCIRA ANGELO, EMMA RUIZ, ERIC DEHARO
IBBA CP717, LA PAZ, BOLIVIA
ALAIN FOURNET, CHRISTIAN MORETTI, MICHEL SAUVAIN
ORSTOM, CP 9214, LA PAZ, BOLIVIA.

RESUMEN

En Bolivia como en el resto de las poblaciones de nuestro continente en vías de desarrollo, son numerosas las enfermedades parasitarias. Mas aún, los medios terapéuticos no son siempre satisfactorios y son inaccesibles para la mayoría de los bolivianos.

Una manera de llegar a moléculas activas y originales es la confirmación de la actividad de varios extractos de plantas utilizadas en la farmacopea tradicional de las zonas tropicales. Las fracciones activas de los metabolitos son obtenidos a través de la extracción, aislamiento y purificación.

En nuestro laboratorio desde hace un tiempo, se están desarrollando programas de estudios basados en el conocimiento etno-farmacológico que han revelado componentes potenciales, enfocados hacia las distintas parasitemias como el Paludismo, la Leishmaniasis y el mal de Chagas.

De la *Cuatresia* sp, una Solanaceae, se obtuvo el alcohol, n-hentriacontanol, con actividad antipalúdica *in vivo* para las cepas de *Plasmodium berghei* y *P. vinckel*.

De las Simarubaceae, fue extraído la cedronina, un quasinoide con amplias actividades biológicas como la antitumoral, la antiviral y sobre todo la antipalúdica con actividad *in vivo* e *in vitro*.

De *Pera benensis* se obtuvieron naftoquinonas cuyos productos activos son la plumbagina, la 3,3-biplumbagina y la 8,8-biplumbagina con actividad leishmanicida *in vivo*. Del extracto de la *Peschiera van heurkil* se obtuvieron los alcaloides dimeros como la conodurina, la gabunina y la conoduramina que muestran fuerte actividad bacteriana y leishmanicida *in vitro*.

De *Munozia maronii* se obtuvo una sesquiterpenolactona que es la dehidrozaluzanina C con actividad significativa contra la Leishmaniasis tanto *in vivo* como *in vitro* y poco significativa para *Trypanosoma cruzi*.

De *Galipea longiflora* se han obtenido varios alcaloides quinoleicos con excelente actividad leishmanisida tanto *in vivo* como *in vitro*, empleando concentraciones bajas para el tratamiento, en comparación con los fármacos antimoniales comunmente usados en la terapia de la Leishmaniasis. Por las propiedades que muestran, estos productos han sido objeto de la obtención de una patente.

ABSTRACT

As in all developing regions of our continent, in Bolivia there are many parasitic diseases and few therapeutic solutions. Not only that, but medicines are, in many cases unsatisfactory and unavailable for the majority of Bolivians.

One effective way of obtaining active and original molecules is by confirming the activity of plant extracts, from plants which are used in the traditional tropical pharmacy. Active fractions from metabolites are generated following standard procedures of extraction, isolation and identification.

Ethnopharmacological research programs have been carried out for ten years in the IBBA (Instituto Boliviano de Biología de la Altura). Important results have been achieved revealing potential components against parasitic disease such as malaria, leishmaniasis and Chagas disease.

The alcohol n-hentriacontanol with *in vivo* antimalarial activity for *Plasmodium berghei* and *Plasmodium vinckei* strains was obtained from the *Cuatresia* sp (Solanaceae).

From the Simarubaceae family, cedronine was extracted. This quasinoide demonstrated wide biological activity including antitumoral and antiviral activities, but over all it showed a remarkable *in vivo* and *in vitro* antimalarial activity.

From *Pera benensis* naphtoquinones were obtained. The active products found were plumbagine, 3,3 biplumbagine and 8,8 biplumbagine which showed an *in vivo* leishmanicidal activity.

From *Peschiera van heurkil*, dimeric alkaloids as conodurine, gabunine and conduramine were obtained. All of the alkaloids showed both strong bactericidal and *in vitro* leishmanicidal activity.

The *Munozia maronii* was also studied at the IBBA and sesquiterpene lactone was obtained as a dehidrozaluzanin C. It showed a significant activity against leishmaniasis both *in vivo* and *in vitro*.

From *Galipea longiflora* various quinoleic alkaloids were obtained. The activity of those alkaloids against leishmaniasis both *in vivo* and *in vitro*, was excellent. Treatment using low concentrations showed better results than antimonial medicines usually prescribed in the experimental leishmaniasis therapy. It is worth mentioning that a patent for these products was obtained.

INTRODUCCION.

El amplio territorio boliviano se divide geográficamente en tres zonas nítidamente diferenciadas. La primera zona esta comprendida entre la cordillera Real u Oriental y la cordillera Occidental que enmarcan al Altiplano boliviano (3.800 m s.n.m.). Esta zona está constituida por importantes cumbres nevadas que llegan a los 6000 m y representa aproximadamente el 28 % del territorio nacional con una extensión estimada de 307.000 Km².

La segunda zona geográfica corresponde a los valles interandinos de climas templados y humedad intermedia. La tercera zona esta representada por las inmensas planicies orientales que comprenden bosques y sabanas surcados por ríos caudalosos.

El territorio boliviano esta constituido en algo más del 70%, por el territorio no andino, el que paulatinamente incrementa su población debido a la migración desde los altiplanos. Estas poblaciones no escapan a las endemias parasitarias del mundo tropical, entre ellas tres grandes parasitosis: la leishmania, el paludismo y la enfermedad de chagas, que son causas muy frecuentes de trastornos en la salud y que llegan a índices preocupantes que conllevan a consecuencias sociales diversas.

Por otro lado la disposición de drogas antiparasitarias de primera línea son escasas y el acceso a ellas, son practicamente prohibitivos debido al elevado costo que significa el tratamiento, además de la toxicidad que presenta y el poco conocimiento de la existencia de estos medios terapéuticos.

Los gastos en salud de los países de Centro y Sud América no sobrepasan los 5 dólares americanos por habitante. Como consecuencia lógica las autoridades en salud, no pueden poner en marcha campañas de prevención y mucho menos de tratamiento, por lo que creemos de urgente necesidad, encontrar nuevas formas terapéuticas. La búsqueda de substancias naturales activas y originales, es una forma alternativa de sustitución; estas substancias son seleccionadas de plantas usadas en la medicina tradicional de las zonas tropicales, donde los pueblos primitivos han adquirido conocimientos muy profundos sobre las propiedades medicinales y técnicas de uso de una gran variedad de plantas pertenecientes al medio ambiente.

Estos conocimientos en América del Sur, fueron transmitidos por los aborígenes, agrupados en el seno de diversas tareas, por las misiones y viajeros españoles. Sin embargo, este tipo de información debe ser considerada con moderada precaución, pues la descripción de plantas y patologías que tienen que ser tratadas, son a menudo incompletas o falsas. Por lo mismo, el estudio de plantas medicinales no pueden estar separadas de estudios minuciosos etnobotánicos actualizados incluyendo las prácticas médico religiosas.

Estamos conscientes del peligro inminente de la lenta destrucción de la biosfera, una de las partes más afectadas es la que corresponde a los organismos vegetales. La devastación por parte del hombre y la consecuente desaparición de los bosques, especialmente los bosques pluviales, que son los más ricos desde el punto de vista de la biodiversidad; por lo tanto, la preservación del medio ambiente es prioritaria. Sin embargo, evitar usufructo de los recursos naturales, no guarda relación con las crecientes necesidades generadas por la explosión demográfica y sus consecuencias alimentarias y de salud.

Bolivia presenta una flora cuya endemidad es una de las mayores del mundo (6) 6.000 especies vegetales por 10.000 Km², pero no sólo es rica en flora nativa si no también por la existencia de etnias, las que son poseedoras de un conocimiento original del medio natural. Estos conocimientos se ven amenazados por los permanentes cambios que sufren todas estas zonas, debido a la acción de cambios ecológicos, humanos y también por fenómenos de aculturización de las sociedades indígenas.

Del conjunto de estas aseveraciones, nació la necesidad de formar un grupo multidisciplinario de investigadores, que ya se encuentran trabajando por una década en el estudio de plantas, estando a la fecha lo suficientemente equipados como para efectuar proyectos ambiciosos. El objetivo primordial de este grupo es aprovechar al máximo el conjunto de datos recabados, bajo programas de estudios basados sobre conocimientos étno-farmacológicos, para evidenciar la actividad de los componentes potencialmente activos.

Es en este sentido, que las investigaciones realizadas, comienzan mediante los estudios de los recursos naturales utilizados por las diferentes etnias establecidas en las distintas regiones de nuestro país.

ETNIAS Y SU LOCALIZACION TERRITORIAL

Los grupos étnicos con los que se tienen relaciones son los Chacobos, Alteños, Mosekene y Chimanes.

Los Chacobos estan localizados en el departamento del Beni, en la provincia Mamore, en la región del Alto Ivon; esta región se caracteriza por su clima húmedo y caliente, la precipitación media anual es de 1656 mm, la temperatura media es de 26 - 27° C, la época de lluvia corresponde a los meses de diciembre a mayo y la época seca corresponde a los meses de junio a octubre (1,11).

Los grupos étnicos de los Mosekenes y de los Chimanes, se encuentran asentados en diferentes localidades de la región subtropical del Norte del departamento de La Paz y el Beni. Se caracteriza por ser una zona subtropical en estado primario (11),

bosques muy húmedos, la precipitación excede los 2000 a 2100 mm, también existen bosques subtropicales, donde la precipitación no excede los 1250 mm. La biotemperatura media anual varía entre 23 a 24°C. Los Alteños, se encuentran localizados en la provincia de Mizque del departamento de Cochabamba cuya temperatura media es de 18.7°C y la precipitación pluvial de 487 mm. Esta región se caracteriza por sus montes espinosos templados, con vegetación xerofítica. La fauna esta constituida por especies endémicas, que se encuentran en peligro de extinción (7,11).

LEISHMANIASIS

Es una infección parasitaria que se inicia por la inoculación de protozoarios del género *Leishmania*, transmitido a través de la picadura del mosquito del género *Phlebotomus*.

Varias especies de *Leishmania* pueden ser desarrolladas en cultivos *in vitro*, bajo las formas de amastigote y promastigote e *in vivo* por infección de animales con cepas diferentes de leishmania bajo la forma de amastigotes en ratones y hamster.

Cada especie presenta diferente sintomatología clínica; desde la forma cutánea que es la más común, caracterizada por una pápula eritematosa; la forma muco-cutánea que empieza como una simple úlcera cutánea, para luego de un período de meses o años, la lesión evoluciona a nivel de mucosa, produciendo la destrucción de los tejidos, especialmente de la nariz y la boca; y finalmente la Leishmaniasis Visceral, que incluye fiebre, indisposiciones y una hepatoesplenomegalia muy importante, llevando a una super infección y posteriormente la muerte.

ENFERMEDAD DE CHAGAS (Tripanozomiasis americana)

El chagas es transmitido por un protozoario del género *Trypanozoma*, mediante la defecación de un insecto *Triatoma infestans*, o más comunmente llamado Vinchuca, la fase aguda de la enfermedad se manifiesta por tres signos clínicos, la hipertemia, hipoesplenomegalia y adenopatias asociadas con edemas palpebral. La forma crónica aparece tardiamente y se caracteriza por disturbios de órganos huecos principalmente corazón, esófago e intestino grueso. La localización parasitaria generalmente es única, y es poco frecuente encontrar pacientes con cardiopatía y megaesófago a la vez, esto puede ser atribuido a una especificidad de cepa (3).

PALUDISMO

El paludismo es una eritrocitopía, transmitida por un mosquito del género *Anopheles* mediante la inoculación de un hematozoario del género *Plasmodium*. La sintomatología asocia estados febriles, y el cuadro clínico puede complicarse a partir de una encefalitis febril aguda que tiene consecuencias graves. Esta parasitosis, está entre las de primordial investigación, según la OMS existen 110 millones de casos clínicos por año. La mortalidad esta evaluada y probablemente sub estimada en 2 millones, de los cuales más de la mitad son niños (10).

En el afán de combatir cada una de estas parasitemias mediante la quimioterapia, vemos que los medios disponibles son pocos, en algunos casos ineficientes y en otros presentan una alta toxicidad, produciendo efectos colaterales como infecciones renales, hepáticas, neurológicas y hematológicas (glucantime y pentostan). Del mismo modo las sales de la Pentamidina (Lomidina y Pentacarinat) pueden producir síncope cardíacos, epilepsias e inducción de la diabetes. El alopurinol, una droga común para el tratamiento de la artritis, está siendo usada como suplemento de las sales de antimonio en cuatro centros; en el Perú, Venezuela, Colombia y Bolivia, usando el protocolo común.

En lo que concierne al tratamiento de la enfermedad de Chagas, se limita al Nifortimox (Lampid) y el Benzonidazol (Radonil), de muy elevada toxicidad. Las cepas de los parásitos son inconstantemente sensibles, además que la actividad de las drogas se revela en el curso de la fase aguda y es prácticamente nula en la fase del estado crónico.

En cuanto a la quimioterapia del paludismo, se considera que debe ser constantemente estudiada, debido a la permanente mutación que sufre este parásito frente a los diferentes farmacos antimaláricos.

INVESTIGACION SOBRE LA OBTENCION DE MOLECULAS ACTIVAS DE PLANTAS BOLIVIANAS

El interés por investigar nuevas moléculas se encuentran en pleno avance, de esta manera ciertas substancias naturales recientemente puestas en evidencia muestran que son eficaces tanto en pruebas *in vivo* como *in vitro*.

CUATRESIA SP

De una solanacea, de la región oriental de Bolivia, se obtuvo el alcohol n-hentriacontanol con actividad antipalúdica *in vivo*. Para las cepas de *Plasmodium berghei* y *P. vinckey*, el alcohol fue probado a una concentración de 50 mg/kg, determinando una inhibición del 94%. Se utilizó como control la cloroquina (2).

PERA BENENSIS

Buscando nuevas formas activas, se ha logrado la identificación de un árbol llamado por los indios Chimanes **Apaiñiki**, usado para el tratamiento de la leishmania e identificado como *Pera benesis* una Euphorbiaceae; mediante pruebas preliminares se obtuvieron extractos de quinonas de las cortezas del tallo y raíces, desplegando una actividad *in vitro* a una concentración de 10 °g/ml contra las tres formas de promastigotes de tres especies de Leishmania: *L. brasiliensis*, *L. amazoniensis* y *L. donovani* y otras tres cepas de *Trypanosoma cruzi*. Los componentes activos de la corteza del tronco han sido identificados por bioensayos, lográndose el aislamiento de tres componentes, la plumbagina, la 3,3 biplumbagina y la 8,8 biplumbagina, que son componentes muy potentes con una IC90 de 5 °g/ml en las tres especies de leishmania. Estos estudios fueron confirmados *in vivo* en formas intracelulares en amastigotes con la plumbagina 1, inhibiendo 16,5% a una concentración de 10 °g/ml.

La plumbagina presento una IC90 a 5°g/ml. en seis cepas de la *T. cruzi* en, la forma epimastigote, en cambio la 3,3 y 8,8 biplumbagina, fueron debilmente activos contra el mismo parásito (5).

PESCHIERA VAN HEURKII

Es un arbusto abundante en las zonas del bosque húmedo tropical como la región del Chapare en el departamento de Cochabamba, (fueron usadas hojas y cortezas del árbol), del que se aislaron 20 alcaloides dimeros, de los cuales tres son los que presentan actividad; la conodurina, la gabunina y la conoduramina. La n-dimetil-conodurina (gabunina), mostró mayor actividad contra la *Leishmania braziliensis*, a una concentración de 10°g/ml. La conodurina 1 y 3, mostraron actividad moderada a concentraciones de 100 y 25 °g/ml respectivamente. De la misma manera la conodurina 1 y conodurina 3, mostraron una actividad bactericida para microorganismos gram positivo y gram negativo (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* y *B. subtilis*) (8).

MUNOZIA MARONII

En la búsqueda permanente de componentes activos contra las parasitemias, se ha investigado las hojas de *Munozia maronii* una Asteraceae, planta herbácea abundante que crece a altitudes de 1500 a 3000 m s.n.m., en las regiones sub-tropicales andinas, esta planta no es conocida en la medicina tradicional. En un muestreo del extracto de esta hoja, mostraron actividad *in vitro* a concentraciones de 25 °g/ml en tres especies de *Leishmania*, del extracto etéreo mediante eluciones cromatográficas se obtuvo una sesquiterpen lactona, que es la dehidrozaluzanin C, aislada por primera vez como un producto natural, y mostró significativa actividad en la forma promastigote. El IC90 para 10 cepas fue de 5 °g/ml., para la especie *Leishmania panamensis* y *L. donovani* fue de 50 y 25 °g/ml, respectivamente.

El efecto *in vitro* del dehidrozaluzanin C, se probó en 15 cepas de *Trypanosoma cruzi*; después de 24 horas en contacto con la droga, muestra actividad inhibitoria en todas las cepas, el IC90 varia completamente de 5 a 50 °g/ml. Finalmente después de 72 horas de contacto con el mismo compuesto, fueron inhibitoria una concentración de 2,5 °g/ml, el Nifortimox y la Benzonidasol no mostraron actividad inhibitoria contra las formas de epimastigote de *Trypanosoma cruzi* por debajo de 25 °g/ml.

Este estudio demuestra que la eficacia del uso de estas drogas contra los parásitos no es siempre evidente, por lo que es difícil determinar la actividad de las drogas ya sea *in vitro* como *in vivo*. La actividad *in vitro* de la dehidrozaluzanin C en la leishmaniasis y la tripanozomiasis, indican que su eficacia va acompañada de una alta toxicidad y el mecanismo de acción es aún desconocido (9).

GALIPEA LONGIFLORA

Es un árbol de la familia Rutaceas, propio de las tierras bajas húmedas y de las zonas sub-andina de Bolivia, del material vegetal se obtuvieron doce alcaloides quinoleicos activos sustituidos, los cuales fueron identificados por espectroscopía. El objeto de este estudio fue la evaluación y demostración de este alcaloide en ratones BALB/c infectados con cepas de leishmania cutanea, la *L. amazoniensis* con diferentes grados de infectividad y una cepa virulenta de *L. venezuelensis*.

La infección en las patas de los ratones ha sido usada como modelo de experimentación y la droga de referencia es una sal de Antimonio, el Glucantime. La evaluación preliminar toxicológica de los alcaloides quinoleicos dados a los ratones, indicaron que la droga tiene índices terapéuticos razonables, con una dosis letal de 50% mayor de la dosis activa. No existen signos aparentes de toxicidad de la droga, no se observa en ninguno pérdida de peso, ni caída de pelo, sólo un efecto inflamatorio cerca de la zona de administración del alcaloide.

Los alcaloides con excelente actividad leishmanicida tanto *in vivo* como *in vitro*, emplean concentraciones bajas para el tratamiento, en comparación con las drogas de referencia (4).

CONCLUSION

El interés de investigar nuevas moléculas activas leishmanicidas, anti-maláricas y anti-tripanosómicas están en pleno progreso, de esta manera ciertas substancias naturales recientemente están siendo puestas en evidencia. Cuando se prueban plantas

de Etnias instaladas desde hace mucho tiempo con conocimientos muy profundos sobre las propiedades medicinales, se encuentran buenos resultados, particularmente podemos mencionar como ejemplo a la planta *Galipea longiflora* usada por el grupo étnico Chimanes para el tratamiento de la leishmaniasis cutánea. Las posteriores investigaciones realizadas sobre esta planta, confirman sus excelentes propiedades curativas; este hecho nos incentiva a un esfuerzo mayor que debe proseguir en el propósito de aislar nuevas moléculas activas que podrían servir de modelo a la síntesis eventual de nuevos medicamentos. La medicina moderna valoriza el precioso capital del saber acumulado por los grupos étnicos que habitan las regiones tropicales, en la búsqueda de conocimientos de nuevas plantas activas y su tratamiento para las endemias localizadas en dichas regiones.

Consecuentemente, el esfuerzo debe proseguir con el propósito de aislar sustancias activas para coadyuvar en el tratamiento de muchas enfermedades que son causa de mortalidad en América y particularmente en nuestro país.

REFERENCIAS

- 1.- Bergeron, S., 1992. Approche préliminaire de la connaissance du système de la classification botanique Chacobo. Rapport Annuel.
- 2.- Deharo, E., Sauvain, M., Moretti, C., Richard, B., Ruíz, E., y Massiot, G., 1992. Activité Antipaludique du n entriacontanol isolé de *Cuatresia* sp (Solanaceae). Ann. Parasitol. Hum. Comp., Juillet, p. 126-127.
- 3.- Fernández, T.E., 1990. Texto de Medicina Tropical. Ecuador: ed. Universidad de Guayaquil. p. 112-144.
- 4.- Fornet, A., 1993. 2-Substituted quinoline alkaloids as potential antileishmanial drugs. Antimicrobial Agents and Chemotherapy Apr, p. 859-863.
- 5.- Fornet, A., Angelo, A., Muñoz, V., Fracis, R., Joquemiller, y R. Cave, A., 1992. Biological and Chemical studies of *Pera Benensis*, a Bolivian plant used in folk medicine as a treatment of cutaneous Leishmaniasis. Journal of Ethnopharmacology, p.159164.
- 6.- Leveque, F. y Glachant, M., 1992. Diversité génétique: La gestion mondiale des ressources vivantes. La recherche. 23, p.114-123.
- 7.- Morales De Cecil, B., 1990. Bolivia medio ambiente y Ecología aplicada. Instituto de Ecología Universidad Mayor de San Andrés.
- 8.- Muñoz, V., Moretti, C., Sauvain, M., Caron, C., Porzel, C., Massiot, G., Richard, B., y Limen Oliver, L., 1993. Isolation of bis-indole alkaloids with antileishmanian and antibacterial activities from *Peschiera van Heurkii*. Plant medical Jul.
- 9.- Muñoz, V. y Fornet, A., 1993. Antiprotozoal activity of Dehidrozaluzanin C, Sesquiterpene Lactone isolated from *Munnozia Maronii* (Asteraceae). Phitotherapy Research, Vol 7, p. 111 - 115.
- 10.- OMS, 1992. Development of Quinghaosu and its Derivatives as Antimalarial Drugs. Rapport d'experts OMS, ref. TDR/Program report.
- 11.- Unzueta, O. y Holdridge, L. R., 1975, Mapa Ecológico de Bolivia. M.A.C.A. La Paz.

LA IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES BIOLÓGICOS EN LA RECONSTRUCCIÓN DE PALEOAMBIENTE: El caso de la Llareta y la Queñoa

ELIANA BELMONTE

DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA Y MUSEOLOGIA, FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES,
ADMINISTRATIVAS Y ECONOMICAS, UNIVERSIDAD DE TARAPACA, ARICA.

RESUMEN

Se analiza la importancia de los rasgos morfológicos de la epidermis foliar y del tejido conductor de tallos y raíces en la identificación de fragmentos vegetales rescatados de contexto arqueológico.

Si el estudio etnobotánico considera estos rasgos morfológicos como indicadores biológicos válidos, se puede contribuir a la comprensión de procesos culturales no totalmente entendidos, tal como el desplazamiento humano entre Altiplano y áreas costeras que han caracterizado a las poblaciones que habitaron los diferentes pisos altitudinales del extremo norte de Chile.

La multiplicidad de usos reconocidos desde tiempos prehispánicos en especies de larga vida propias del Altiplano, como la **Llareta** (*Azorella compacta*, Umbelliferae; combustible y medicinal) y la **Queñoa** (*Polylepis tarapacana*, Rosaceae; material de construcción, combustible y vestimenta), las convierte en indicadores etnobiológicos relevantes si se recuperan de niveles altitudinales distintos del lugar de donde son originarias, en contexto arqueológico.

ABSTRACT

The importance of the epidermic and vascular tissues in the identification of plant remains recovered from archeological context is analyzed.

If these features are used as biological indicators, ethnobotanical studies may help in the study of cultural processes not fully understood, as human movements between different altitudinal levels: Altiplano, precordillera and the coastal area in the northern part of Chile.

Llareta (*Azorella compacta*, Umbelliferae) and **Queñoa** (*Polylepis tarapacana*, Rosaceae) are two wild species whose distribution is limited to the Altiplano, over 4,000 m a.s.l. Since prehispanic periods they have had recognized multiple uses such as fuel and building material, respectively. Thus, it is important to identify them in an archeological context as they are recovered from different ecological floors other than their natural habitat.

LA RECONSTRUCCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Reconstruir el entorno ambiental de las sociedades que nos precedieron y su interrelación con ellas es un proceso que requiere de elementos que provengan de múltiples enfoques (Hastorf y Popper, 1988). En este proceso, variada es la naturaleza de los indicadores utilizados hasta la fecha, así como la fuente de obtención de datos; de allí que sean múltiples también los resultados obtenidos. Sin embargo, aún no han sido incorporados algunos indicadores que provienen del ámbito biológico como aquellos que toman en consideración los rasgos morfológicos del tejido vegetal, como parámetros válidos (Belmonte *et al.*, 1988; 1993).

En los últimos 10.000 años se han sucedido diversas y complejas tradiciones culturales en el norte de Chile. Durante este tiempo, el hombre habitó e hizo uso simultáneo de diferentes ambientes entre el Altiplano y la costa, en una sucesión entre una economía simple de caza-recolección y el sedentarismo que derivó en la urbanización y el desarrollo de sociedades más estables. Todo lo anterior, basado en la comprensión detallada que el hombre tuvo del ambiente y en el desarrollo de estrategias particulares que permitió la adaptación a ambientes estresantes (Dauelsberg, 1959; Rivera, 1991; Santoro y Núñez, 1987).

La variada documentación acerca del desplazamiento humano entre las tierras altas y bajas en el área centro-sur andina, se basan en datos antropológicos, arqueológicos, biológicos, geológicos, etnohistóricos, etc. (Arévalo, 1993; Masuda, 1980; Murra, 1975; Núñez, 1976, 1987; Pease, 1980; Rivera, 1975; Rivera y Rothhammer, 1986; Santoro, 1993; Schiappacasse y Niemeyer, 1975). Aún así, quedan aspectos prioritarios por resolver, como la antigüedad del patrón de complementariedad económica puna-costa y su proceso de desarrollo (Mujica *et al.*, 1983). Tampoco se conoce la forma del desplazamiento ni cómo se realizó la comunicación entre los diferentes pisos altitudinales a lo largo del tiempo. Este es un campo interesante de estudio debido a que, si bien se han planteado diversas hipótesis que tienden a explicar su funcionamiento (Mujica *et al.*, 1983; Murra, 1975; Schiappacasse y Niemeyer, 1993), aún hay fuentes de información no ampliamente utilizadas, como el material carbonizado y otros restos vegetales asociados a fogones de sitios arqueológicos (Wheeler *et al.*, 1986; Hastorf y Popper, 1988; Pearsall, 1989).

La naturaleza de los indicadores utilizados en el estudio del desplazamiento humano es diversa y está en consonancia íntima con la problemática en la que está inserta; de allí sus limitaciones. Muchos de los indicadores culturales utilizados podrían ser considerados más difusos o indirectos si los contrastamos con los indicadores biológicos, uno de los cuales podría ser aquellos basados en la morfología vegetal. En este último caso, debido a que los rasgos morfológicos considerados más estables de las especies se pueden medir y cuantificar, la identificación taxonómica que se logra es fidedigna, especialmente si se trabaja con material arqueológico fragmentado (Dilcher, 1974).

En contraste y a modo de ejemplo, el indicador cultural utilizado para verificar que Tiwanaku fue un período caracterizado por

sociedades colonizadoras de enclaves y no conquistadora de grandes territorios, se basa en el carácter de los asentamientos Tiwanaku. Otra de las situaciones en las que se ha aplicado indicadores culturales fue al interpretar la interrelación entre diferentes pisos altitudinales en la área centro-sur andina (Murra, 1975). Este autor plantea la existencia de un «archipiélago vertical» sobre la base de colonias ubicadas en las tierras bajas a lo largo de un gradiente de oriente a occidente y que se relacionan con un área nuclear (circum-Titicaca). La red interconectada que se establece, es expresión de la complementariedad ecológica o control vertical entre pisos, también llamado «verticalidad» por Mujica *et al.* (1983). Los indicadores culturales que sustentarían este planteamiento se relacionan con acceso a bienes producidos, o presencia de material artístico-religioso manufacturado en un determinado piso.

En otro sentido, Santoro (1993) define patrones de asentamiento en sociedades arcaicas con un enfoque que trasciende el modelo clásico, integrando aspectos sociales y tecnológicos para explicar la estructuración y organización del patrón de asentamiento. Aunque la idea de colonias es motivo de debate a nivel arqueológico y aún quedan aspectos prioritarios por resolver, como la antigüedad del patrón de complementariedad económica puna-costa y su proceso de desarrollo debido, justamente, a la naturaleza de los indicadores utilizados, la idea central de desplazamiento humano sigue vigente.

Otros indicadores culturales, como los geoglifos y los petroglifos, contribuyen a evidenciar y comprender la interrelación entre pisos altitudinales en relación al desplazamiento caravanero. El desplazamiento de caravanas de hombres y llamas entre distintos ecosistemas del perfil costa-altiplano habría mantenido una red de tráfico interregional, estimulado por las producciones especializadas y que se reflejan en estas rutas que contactaban las tierras altas con el litoral (Briones y Chacama, 1987; Núñez, 1976). A nivel costero, para entender la estrategia de pesca dentro de la adaptación a la vida marítima, el indicador establecido es el tipo de anzuelo utilizado: de cactus o de concha (Dauelsberg, 1972; Masuda, 1980; Murra, 1975; Schiappacasse y Niemeyer, 1975).

En la medida en que estos indicadores culturales ayuden a responder una parte de los problemas planteados, mayor necesidad habrá de ensayar otros indicadores más directos, como podrían ser los indicadores biológicos. De esta forma se complementan los enfoques provenientes de un amplio espectro de información. Por todo lo anterior, constatar la efectividad de nuevos indicadores biológicos, abre grandes expectativas para la interpretación de datos y en particular, si se aplican en la comprensión de una problemática pendiente, como es el desplazamiento humano.

Un indicador biológico de interés taxonómico es aquel basado en la morfología vegetal, particularmente del tejido epidérmico. Estudiando la relación entre el número y tipo de células estomáticas y células ordinarias del tejido epidérmico, por unidad de área, se obtiene el patrón estomático, que se utiliza fundamentalmente cuando se trabaja con epidermis foliar. Junto con aquellas estructuras, también es importante considerar número y tipo de prolongaciones o tricomas epidérmicos, la disposición de las células en el tejido, así como el espesor, engrosamiento y tipo de pared celular. Establecer este patrón obliga a trabajar con microscopía fotónica a fin de rescatar detalles morfológicos y estructurales (Dilcher, 1974; Korschgen, 1980; Metcalfe, 1950).

En general, la estructura, composición y disposición de las células en el tejido vegetal se conservan en el tiempo, lo que se ha ratificado con los estudios histológicos tendientes a caracterizar e identificar fragmentos de hojas de coca y otras especies vegetales, recuperadas de bolsas de ajuar funerario de contexto arqueológico (Molina y Torres, 1989; Molina *et al.*, Ms.). Basado en el mismo principio, se han obtenido buenos resultados al trabajar con fragmentos vegetales contenidos en fecas de camélidos recuperados de sitios arqueológicos del norte de Chile (Belmonte *et al.*, 1988; Belmonte *et al.*, 1993).

A nivel foliar, otro patrón interesante de interés taxonómico es el de venación, que requiere de una magnificación mucho menor para su estudio, debido a que la tinción de safranina utilizada, tiñe adecuadamente toda la nervadura (venas primarias, secundarias y terciarias). De esta forma, se puede identificar con gran precisión, restos o fragmentos arqueológicos de origen foliar (Dilcher, 1974; Molina y Torres, 1989).

El análisis de los restos orgánicos que dejaron los grupos humanos que se movilizaron, cualquiera haya sido la modalidad de desplazamiento, sea traslado vertical o traslado estacional, da evidencia de un uso efectivo de un recurso determinado, previa selección y reconocimiento de sus beneficios (bondades). Dada la multiplicidad y especificidad de usos descritos desde tiempos prehispánicos para la Llareta (*Azorella compacta*) y la Queñoa (*Polylepis tarapacana*) (Castro *et al.*, 1982; Girault, 1987), podría esperarse que ambas especies, por ser formas de larga vida cuyo rango de distribución está confinado a un piso altitudinal determinado y que caracterizan la vegetación sobre los 4.000 m (Arroyo *et al.*, 1982; Villagrán *et al.*, 1982), hayan sido trasladadas por el hombre, por sus propiedades excepcionales como combustible por ejemplo. De haber sido así y siguiendo la metodología señalada por Core *et al.* (1979); Wheeler *et al.* (1986) y Pearsall (1989), pueden ser recuperadas de fogones, como material carbonizado.

Los fragmentos carbonizados son trozos fundamentalmente de tejido conductor de las plantas y es por ello que la identificación taxonómica del material de contexto arqueológico esté asegurada, debido a la estabilidad de caracteres de las células que componen este tejido y a la distribución espacial en el tejido mismo. Aspectos tales como longitud y diámetro de las células conductoras, espesor de la pared, tipos de perforaciones, presencia de vasos resinosos, tipo de rayos parenquimáticos, son

rasgos que, al ser comparados con material de referencia, permiten la identificación (Core *et al.*, 1979).

Aunque la idea de trasladar especies a distancia sobre una base económica no tiene mucha aceptación hoy en día, recurrir a las notas documentadas sobre la *Llareta*, ayuda a valorar las características únicas de esta especie. Girault (1987) ha recogido la siguiente información en relación a los Kallawayas, famosos médicos andinos itinerantes de los Andes, quienes han mantenido hasta hoy día su cultura y comunidad altamente integrados, debido a la situación aislada de su territorio:

«... es muy resinosa y de ella se sirven en muchas partes los mineros para encender hornos y quemar metales de plata; echa de sí una resina en su superficie o costra en tiempo de secas o soles ardientes; es de tal suerte esta resina que donde quiera que se pegue como la dejen por algunos días hace ampollas, escoriaciones, levanta sarpullidos y gran comezón...»

Aún más, y en relación a los usos descritos por los habitantes de los Andes de Arica, Castro *et al.* (1982) recogieron la siguiente información:

«... indudablemente esta especie es distinguida en la zona como el combustible de mejor calidad. La especie también es notable por sus propiedades medicinales...» (Castro *et al.*, 1982).

En cuanto a la *Queñoa* (*Queuña*, *Keuña*, Girault, 1987), por ser el único recurso leñoso del Altiplano, también se podría pensar en un traslado antrópico, con el propósito de ser utilizado, entre otros, como combustible. También se le asigna importancia como material de construcción o en artesanía (Castro *et al.*, 1982), así como para fortificar el corazón... «Y aunque hoy, por las labores tan seguidas que se traen en el cerro, no se halla rastro que hubiese tenido arboleda, cuando lo descubrieron le hallaron muy poblado de unos árboles que llaman *quinoa*, y de su madera se edificaron las primeras casas de este asiento»... «Un árbol grande, muy bueno para leña y carbón...» La resina que se desprende del tronco o de las ramas se mastica tal cual para fortificar el corazón» (Girault, 1987).

Con lo planteado anteriormente y en relación a *Polylepis*, es más débil sostener su efectividad como indicador de desplazamiento humano entre pisos altitudinales. Esto, debido a que en el norte de Chile, dos son las especies presentes, *P. besseri* y *P. tarapacana*; la primera presente en precordillera y la segunda, en el Altiplano. Aunque ambas especies no comparten distribución altitudinal (Arroyo *et al.*, 1982; Belmonte y Moscoso, 1975; Villagrán *et al.*, 1982) y algunos rasgos foliares las distinguen, difícilmente pueden ser diferenciadas a nivel de fragmento de contexto arqueológico. Muchos rasgos morfológicos epidérmicos y vasculares son compartidos a nivel de género y no son especie-específicos (Simpson, 1979). Esto puede conducir a error de interpretación debido a que *P. besseri* habita el piso puneño (Villagrán *et al.*, 1982) y no existen zonas de sobreposición con *P. tarapacana*, árbol característico de la vegetación andina, sobre los 4.000 m.

Si el hombre se desplazaba entre pisos altitudinales, ¿qué elementos llevaba consigo? Pensar en la posibilidad de trasladar trozos de *Llareta* no resulta extremadamente audaz si se piensa en los altos rendimientos calóricos de su combustión, más aún, si contaban con recuas de animales para estos efectos. Por otra parte, y apoyando la idea de movimiento humano, están las reales necesidades de combustibles efectivos y de altos rendimientos calóricos en áreas donde se trabajaron los metales (Girault, 1987; Núñez, 1987; L. Alvarez, com. pers.), situación que apoya la idea de traslado de recursos vegetales entre pisos altitudinales. Por último, utilizar *Llareta* es reconocer en ella sus propiedades combustibles particulares e implica discriminarla frente a otras especies que también cumplen esa función, si bien no alcanzan los niveles calóricos de esta planta endémica, propia del piso altoandino.

En conclusión, sugiero que la *Llareta* y la *Queñoa* son buenos indicadores etnobotánicos para estudios de reconstrucción de paleoambientes, porque si son identificados de entre el material carbonizado, sea de fogones o de otras áreas de un sitio arqueológico ubicado en un piso altitudinal, diferente del de su origen, ayudaría a entender otros aspectos del desplazamiento que hizo el hombre entre el Altiplano y las tierras bajas.

REFERENCIAS

- Arévalo, P., 1993. Valle de Camarones: Fronteras sur en la percepción de un espacio funcional andino. *Revista Frontera* 12: 109-119.
- Arroyo, M.T.K.C. Villagrán, C. Marticorena y J. Armesto, 1982. Flora y relaciones biogeográficas en los Andes del norte de Chile (1819°S). En: A. Veloso y E. Bustos (eds.) *El Hombre y los Ecosistemas de Montaña*. MAB-Unesco, Montevideo.
- Belmonte, E y D. Moscoso, 1985. Patrones fenológicos de 81 especies de precordillera y Altiplano de la I Región, 18-19°S. *GEMA* 2: 46-72.
- Belmonte, E; E. Rosello y N. Rojas, 1988. Análisis de restos vegetales de coprolitos de camélidos de la desembocadura del río Camarones. *Chungará* 20: 47-62.
- Belmonte, E; T. Torres y Y. Molina, 1993. Análisis de fragmentos vegetales del asentamiento de Acha-2. En: Muñoz, Arriaza y Aufderheide (eds.). *Acha-2 y los Orígenes del Poblamiento Humano en Arica*. Ediciones Universidad de Tarapacá, Arica.

- Briones, L. y J. Chacama, 1987. Arte rupestre de Arikuida: Análisis descriptivo de un sitio con geoglifos y su vinculación con la prehistoria regional. *Chungará* 18: 15-66.
- Castro, M., C. Villagrán y M.K. Arroyo, 1982. Estudio etnobotánico en la precordillera y altiplano de los Andes del norte de Chile (1819°S). En: A. Veloso y E. Bustos (eds.) *El Hombre y los Ecosistemas de Montaña*. Volumen II. MAB-Unesco, Montevideo.
- Core, H., W. Coté y A. Day, 1979. *Wood. Structure and Identification*. Syracuse Wood Science Series, 6. Syracuse University Press, USA.
- Dauelsberg, P., 1959. Reconocimiento arqueológico del valle de Camarones. *Boletín del Museo Regional Arica* 2.
- Dauelsberg, P., 1972. Anzuelos confeccionados en huesos y espinas de cactáceas. *Revista Norte* 2 (1), Universidad del Norte.
- Dilcher, D., 1974. Approaches to the identification of Angiosperms leaf remains. *The Botanical Review* 40: 1-157.
- Girault, L., 1987. Kallawayas. Curanderos Itinerantes de los Andes. *Investigaciones sobre prácticas medicinales y mágicas*. Ed. Quipus, La Paz.
- Hastorf, C. y V. Popper. 1988. Current Paleoethnobotany. Analytical Methods and Cultural Interpretations of Archaeological Plant Remains. C. Hastorf y V. Popper (eds.). The University of Chicago Press, London.
- Korschgen, L., 1980. Histological Characteristics of Plant Leaf Epidermis and Related Structures as an Aid in Food Habits Studies. *Grasses and Sedges*. Missouri Department of Conservation, Missouri, USA.
- Masuda, S., 1980. Interregional relationships in southern Peru: maritime activities of highlanders in the three southern Departments of Arequipa, Moquegua, Tacna. *Bulletin of the National Museum of Ethnology* 5:1-43. Tokyo.
- Metcalf, C., 1950. *Anatomy of the Dicotyledons*. Oxford at the Clarendon Press.
- Molina, Y. y T. Torres, 1989. Aplicación del Patrón Estomático y del Patrón de Venación en la Identificación de Muestras de *Erythroxylum* spp. de Contexto Arqueológico. Tesis de grado. Universidad de Tarapacá.
- Molina, Y., T. Torres; E. Belmonte y C. Santoro, Ms. Uso y posible cultivo de Coca (*Erythroxylum* spp.) en épocas prehispánicas en los valles de Arica. *Chungará* 23 (en prensa).
- Mujica, E. M., Rivera y Th. Lynch, 1983. Proyecto de estudio sobre la complementariedad económica Tiwanaku en los valles occidentales del centro-sur andino. *Chungará* 11: 85- 110.
- Murra, J., 1975. El Control Vertical de un Máximo de Pisos Ecológicos en la Economía de las Sociedades Andinas. En: J. Murra (ed.). *Formaciones Económicas y Políticas del Mundo Andino*. Instituto Estudios Peruanos, Lima.
- Núñez, L., 1976. Geoglifos y Tráfico de Caravanas en el Desierto Chileno. Homenaje al Dr. Gustavo Le Paige, SJ., Universidad del Norte, Chile.
- Núñez, L., 1987. Tráfico de Metales en el Area Centro-Sur Andina: Factos y Expectativas. *Cuadernos Instituto Nacional de Antropología* 12, San Pedro de Atacama.
- Pearsall, D., 1989. *Paleoethnobotany. A Handbook of Procedures*, Academic Press, New York.
- Pease, G., 1980. Las Relaciones entre las Tierras Altas y la Costa del Sur del Perú: Fuentes Documentales. *Bulletin of the National Museum of Ethnology* 5: 301. Tokyo.
- Rivera, M., 1975. Una hipótesis sobre movimientos poblacionales altiplánicos y transaltiplánicos a las costas del norte de Chile. *Chungara* 5: 7-31.
- Rivera, M., 1991. The prehistory of northern Chile: a synthesis. *Journal of World Prehistory* 5: 1-47.
- Rivera, M. y F. Rothhammer, 1986. Evolución biológica y cultural de poblaciones Chinchorro: nuevos elementos para la hipótesis de contactos transaltiplánicos Cuenca Amazonas-Costa Pacífico. *Chungará* 16-17: 295-306.
- Santoro, C., 1993. Complementariedad ecológica en las sociedades arcaicas del área centro sur Andina. En: Muñoz, Arriaza y Aufderheide (eds.). *Achs-2 y los Orígenes del Poblamiento Humano en Arica*. Ediciones Universidad de Tarapacá, Arica.

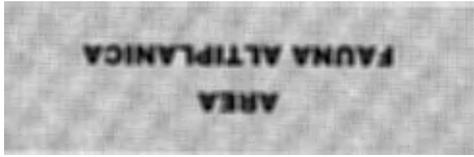
Santoro, C. y L. Núñez, 1987. Hunters of the dry puna and salt puna in northern Chile. *Andean Past* 1: 57-109.

Schiappacasse, V. y H. Niemeyer. 1975. Apuntes para el estudio de la transhumancia en el valle de Camarones, (Prov. de Tarapacá, Chile). *Estudios Atacameños* 3: 53-57.

Simpson, B., 1979. A Revision of the Genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). Smithsonian Institution Press, Washington.

Villagrán, C., M.T.K. Arroyo y J. Armesto. 1982 . La vegetación de un transecto altitudinal en los Andes del norte de Chile (18.19°S). En: A. Veloso y E. Bustos (eds.) *El Hombre y los Ecosistemas de Montaña*. MAB-Unesco, Montevideo.

Wheeler, E., R. Pearson; A. La Pasha; T. Zack; W. Hatley, 1986. *Computer-Aided Wood Identification. Reference Manual*. North Carolina State University, USA.



LA FAUNA ALTIPLANICA

LUIS ALBERTO RAGGI SAINI, M.V; D.M.V.

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS,
UNIVERSIDAD DE CHILE

RESUMEN

El Altiplano de la I Región de Chile, mantiene un conjunto de especies animales de características únicas, especialmente adaptadas a las extremas condiciones ambientales y de altura. Estos grupos representan especies de singular interés, siendo el Altiplano un laboratorio natural, catalogado como Reserva de la Biosfera y un ecosistema de gran valor como reserva biológica.

ABSTRACT

The Chilean Andean high plateau maintains a group of animal species with very particular characteristics, specially adapted to survive under extreme climatic and nutritional conditions. This species are of special interest, being the high lands a natural laboratory, with a great biological value.

LA FAUNA ALTIPLANICA

Se define a la fauna de los Andes como escasa, sobre todo cuando se la compara con la de las grandes cuencas que se extienden a sus pies. Tal pobreza faunística viene determinada por las dificultades que plantea la vida en las grandes alturas, dificultades que sólo ha podido superar un número relativamente reducido de especies. A la escasez de alimento, que ya de por sí constituye una limitante para el número de animales que pueden habitar una zona, se unen las grandes variaciones térmicas diarias, con temperaturas nocturnas que descienden hasta los 20 grados centígrados bajo cero. Además, a medida que se asciende, el aire se hace mucho más seco y las radiaciones solares más intensas, por lo que los habitantes de altura deben ser capaces de resistir la desecación y la fuerte insolación. Como si lo anterior no fuese ya una fuerte limitante hay que agregar el hecho de que en las capas más altas de la atmósfera hay una menor cantidad de oxígeno, de forma que un animal no adaptado a estas condiciones se encuentra frente a un desequilibrio fisiológico difícil de enfrentar. En general, las especies adaptadas a la vida en las grandes alturas disponen de una gran cantidad de mecanismos homeostáticos que permiten su vida en este ambiente en extremo desfavorable.

Las dificultades anteriormente señaladas son la principal causa de que el número de especies altoandinas sea relativamente reducido, pero esta condición, sumada a su asombrosa adaptación, las hace particularmente interesantes y muy importantes desde el punto de vista de la biodiversidad.

Para los anfibios, que no disponen de un eficaz sistema regulador de la temperatura corporal y cuya piel no los protege contra la desecación, los dos problemas básicos que han debido superar para colonizar los Andes son la sequedad ambiental y las bajas temperaturas nocturnas. Para ello, algunas especies han adquirido una piel muy resistente que limita la pérdida de agua, aunque la mayoría han optado, por una solución más fácil, consistente en abandonar sus hábitos parcialmente terrestres y desenvolver toda su vida en el medio acuático, donde la humedad es permanente y los cambios térmicos menos acusados.

Los reptiles sí disponen de una piel capaz de impedir la deshidratación en una atmósfera seca, por lo que la escasa humedad de las grandes alturas no constituye un factor limitante para ellos. Sin embargo, les falta, como a los anfibios, la homeotermia o capacidad de mantener constante la temperatura de su cuerpo. El principal problema para los escasísimos reptiles andinos es el de las bajas temperaturas, por ello habitan solamente en aquellas laderas más soleadas, lo que les permite, junto a otras adaptaciones fisiológicas, liberarse del sopor y torpeza que les impone el frío.

Para las aves las bajas temperaturas son menos importantes que para los anfibios y reptiles, y el problema básico lo constituye la escasez de alimento y de lugares adecuados para nidificar, esto último lo solucionan adaptando su vida al suelo o a las rocas. El problema de la alimentación lo solucionan adoptando hábitos alimentarios específicos a las condiciones de altura, además disminuyen considerablemente su gasto de energía, evitando las horas de mayor frío y aprovechando corrientes de aire para el vuelo por lo que generalmente utilizan el planeo.

Los mamíferos andinos no son muy numerosos en especies, pero como en el caso de los anfibios, reptiles y las aves, existen muchos endemismos. Los herbívoros más abundantes son, como en todas partes, los roedores. Entre los grandes herbívoros los cérvidos están representados por los huemules (*Hippocamelus antisensis*), aunque sin dudas los ungulados más típicos de las alturas andinas son el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*). Estas dos especies, guanaco y vicuña, son miembros de la misma familia que los camellos, al igual que la llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Lama pacos*), también andinos, pero que sólo se conocen en estado doméstico.

En el capítulo de los mamíferos predadores hay que incluir en primer lugar al puma (*Felis concolor*), cuyas huellas han sido

encontradas hasta los cinco mil seiscientos metros de altura.

La extraordinaria complejidad de los Andes da lugar a la formación de numerosas depresiones cuyo fondo está ocupado por lagos y lagunas. En ellas reinan condiciones muy distintas de las generales en la gran cordillera y constituyen verdaderas islas ecológicas, con una fauna y una flora peculiares y sin igual en el mundo. Algunas de estas masas de agua son verdaderos mares interiores suspendidos a casi cuatro mil metros sobre el nivel del mar, como el lago Titicaca, entre Perú y Bolivia. Otros son lagos más pequeños que, sin embargo poseen un interés extraordinario por ser el último refugio de alguna especie en particular, como el lago Chungará.

Algunas de las lagunas poco profundas de los Andes tienen un gran concentración de sales. Esta característica las hace poco apropiadas para la gran mayoría de las aves, aunque para algunas altamente especializadas, como los flamencos, resultan muy favorables. De las seis especies vivientes de flamencos, tres habitan en el entorno conformado por el Lago Chungará, las lagunas Cotacotani y el Salar de Surire, son el flamenco Chileno (*Phoenicopterus chilensis*), el flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*) y el flamenco de James (*Phoenicoparrus jamesi*). La primera es considerada por algunos autores como una especie de flamenco rosa, de amplia distribución, y la tercera es el más escaso de los flamencos del mundo. Tanto es así, que entre los años 1924 y 1957 se creyó que el flamenco de James se había extinguido. En enero de 1957 se redescubrió la especie, por naturalistas chilenos, en la laguna colorada, en Bolivia, donde tiene su asiento la única colonia de cría conocida.

En relación a los camélidos sudamericanos, se sabe que su relación con el hombre se remonta al menos hace 6.000 años, pues en yacimientos prehistóricos fechados entonces aparecen ya numerosos huesos de llama y de guanaco. De los cuatro camélidos que hoy pueblan Sudamérica, dos especies son domésticas y otras dos son silvestres. Por extraño que pueda parecer en un grupo de animales que lleva milenios domesticado, no es mucho lo que se sabe del comportamiento de los camélidos americanos, y sólo últimamente se empieza a insistir en el estudio de estos animales.

En general, los camélidos sudamericanos son fuente de fibra, carne y trabajo en los ambientes adversos que caracterizan écosistema altoandino de la Puna de Argentina, Bolivia, Chile y Perú. La mayoría de estos recursos están en manos de las comunidades campesinas que representan una población numerosa y necesitada de atención y desarrollo económico, para ellos los camélidos son una opción de primer orden.

En Chile existen actualmente las cuatro especies de camélidos sudamericanos: vicuña, guanaco, alpaca y llama. De ellas, sólo la llama y la alpaca son domésticos y constituyen la principal fuente de ingresos del pueblo Aymara, través de la venta de fibra y carne.

La alpaca tiene una población aproximada de 34.316 animales y la llama 72.665 animales, distribuidos a lo largo del territorio nacional. De esta masa total, más del 95% se encuentra en el Altiplano de la I Región, sin embargo existen evidencias que durante el imperio incaico se criaban en zonas más bajas, distribuyéndose hasta Chiloé por el Sur.

La política del actual Gobierno, pretende reforzar e impulsar el desarrollo sustentable del habitante del medio rural, respetando, tanto las restricciones propias del ambiente como las tradiciones y costumbres de sus habitantes.

Generalmente, las prácticas de producción tradicionales de un grupo humano son el resultado de la observación y del conocimiento del medio y de los recursos disponibles. Por esto, cualquier plan que se proponga sobre la ganadería como una estrategia para mejorar el estándar de vida de la población, debe estar acompañado de un conocimiento cabal del medio y de los sistemas ganaderos en uso. El sistema ganadero que se desarrolla en el ambiente altoandino tiene características propias diferentes a otros sistemas ganaderos del país.

Las condiciones del ambiente de los bofedales altiplánicos y estepa altoandina, hacen que este ecosistema sea calificado como frágil, por lo tanto, cualquier modificación que se proponga para el mejoramiento ganadero corre el riesgo de desarmonizar el sistema y conducirlo al fracaso, con el consiguiente daño para la fauna y la población del lugar. Por otra parte la ganadería en el Altiplano adolece de técnicas adecuadas de manejo y nutrición, lo que se traduce en baja productividad, baja fertilidad, alta mortalidad embrionaria, alta mortalidad de crías y animales adultos, escasos rendimientos económicos, incorporación de animales no tradicionales y finalmente deterioro progresivo de la calidad de vida y del medioambiente.

Lo anterior plantea que la falta de conocimiento científico y técnico sobre el ambiente, sobre el manejo de camélidos sudamericanos domésticos y silvestres y de la capacidad de la pradera natural, está generando ya un problema de deterioro ambiental.

Las especiales características fisiológicas de estos animales permite su crianza y explotación en medioambientes extremadamente extremos desde el punto de vista climático y nutricional, dicho en otra forma, prácticamente no existen otras especies de animales domésticos que puedan sobrevivir, producir y reproducirse eficientemente en las grandes alturas.

En la zona altiplánica, cubriendo 138.000 hectáreas de la cordillera de los Andes, junto al límite con la república de Bolivia, se extiende el Parque Nacional más alto del mundo, entre los 3500 y los 6300 metros sobre el nivel del mar. Se llama Parque

Nacional Lauca. Encima de la planicie cubierta de pastos duros que amarillean en otoño, sobresalen los conos de diversos volcanes que a sus faldas presentan espejos de agua y lagos donde se desenvuelve una intensa vida animal.

Con variantes climáticas y de altura cada vez más pronunciadas, el paisaje se prolonga y renueva por más de mil kilómetros, desde aquella zona donde Chile se junta con Perú y Bolivia hasta Copiapó, en la Región de Atacama.

Otro inmenso Parque, el Isluga, se extiende por otras 174.744 hectáreas a unos veinte kilómetros de la parte más meridional del Lauca. En ambos el paisaje es similar y las especies son casi las mismas, sobresaliendo en este último la gran riqueza de la cultura y tradiciones que se conservan en el poblado que dio nombre al parque, justo en la falda del famoso volcán Isluga.

En estos ambientes viven millares de animales de muy diversas especies. Para la región de Tarapacá se describen 7 variedades de anfibios; 17 de reptiles; 237 de aves y 67 de mamíferos, resultando evidente la cantidad de animales que habita la región.

Esta región posee características geoclimáticas extremas, en la que las condiciones de vida se han acomodado a un clima muy duro, con cambios próximos a los 30 grados de temperatura entre la máxima y la mínima y con temperaturas que aún en verano, por las noches alcanzan hasta 6 grados centígrados bajo cero.

Para el observador común, recorrer este ecosistema es un incansable y constante encuentro con cientos de interesantes especies, a veces en notables cantidades de ejemplares. No se crea sin embargo, que existe una densidad muy alta de vida silvestre en cuanto a número de individuos. Es necesario recordar que el área es desértica.

Puede decirse con propiedad que, Chile es una «Isla» con respecto al subcontinente sudamericano, ya que el desierto nortino, la cordillera de los Andes, el océano Pacífico y la Antártica, forman «barreras» naturales a los desplazamientos, migraciones o colonización de especies animales y vegetales.

La I Región de Tarapacá, que tiene una extensión de 5.807.207 hás (el 7.7% de la superficie continental de Chile), posee características singulares y relevantes en su flora y su fauna, que le permite destacar con respecto al resto del país.

Esta región se ubica en el extremo norte de la «Isla», por lo cual se concentran en ella muchas especies que habitan en Sudamérica con amplios rangos de distribución, pero no en el resto de Chile debido a las barreras que presenta. Por ello, al revisar la distribución de los vegetales y animales podrá notarse que un número significativo de ellos es exclusivo de la región. También es posible encontrar otros que se distribuyen en todo el país o en sectores definidos del mismo. Para clarificar esta situación, se pueden tomar como ejemplo las aves, las cuales gracias a la movilidad sirven perfectamente para la explicación. Se nota claramente que aquellas que habitan la costa y las aguas continentales no son exclusivas de la región, es más, muchas de ellas habitan hasta la Antártica o la XII Región, ya que su hábitat forma un corredor uniforme a lo largo de todo Chile.

Otro de estos corredores se verifica en la zona altoandina, la cual termina en la III Región. Es así como aves especializadas de la Puna se distribuyen uniformemente a través del Norte Grande. Otro grupo menos especializado, el que se podría denominar como aves de montaña, vive tanto en la Puna como en la alta cordillera que llega hasta la región Metropolitana, VII Región o aún más al sur.

Existen aves insectívoras, granívoras y omnívoras que necesariamente utilizan los valles como hogar, por lo cual el desierto interior les constituye una barrera difícil de salvar, más aún cuando no poseen hábitos migratorios. Estas son las aves que generalmente sólo habitan la I Región de Chile, abarcando su distribución general las naciones de Bolivia y Perú.

La alta variedad de ellas sitúa a Tarapacá como la Región de Chile que cuenta con el mayor número de especies de avifauna, siendo considerada como una zona relevante desde el punto de vista de la biodiversidad.

El parque Nacional Lauca es de muy reciente existencia, pues fue creado en el año 1970, teniendo desde esa fecha una evolución sostenida. En 1974 se establecen los primeros controles para la protección de sus recursos, elaborándose en 1978 el primer plan de manejo y desarrollo. Paralelamente, se implementó dentro de sus territorios, el Programa de Conservación de la Vicuña, lográndose rescatar a la especie de su casi total extinción.

El sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas en Chile, reconoce a este Parque Nacional como una de sus unidades prioritarias dentro del contexto de desarrollo de un sistema bien representado biogeográficamente. La razón se encuentra en la valiosa mezcla de recursos culturales y naturales, los que ubicados en el medio andino, adquieren un valor nacional que debe conservarse para que futuras generaciones dispongan de lo que hoy se percibe como valioso y que debe heredarse con la mínima alteración.

La característica del parque Nacional Lauca, de proteger valores únicos, ha motivado que fuera declarado parte integrante de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, lo que no sólo significa un importante reconocimiento internacional, sino que una responsabilidad que impulsa a mejorar las técnicas que permitan su protección. Esto, sumado a que su superficie original fue modificada para dar paso a una mejor representación de categorías de manejo.

Al iniciarse los trabajos de planificación del Lauca, se fijó como objetivos del parque la conservación de recursos biológicos de altura únicos en Chile. Ahora, sin embargo, los objetivos de conservación, que aún se mantienen, tienen como fin ineludible el garantizar la sobrevivencia de la cultura Aymara y de aquellas especies que se presentan en peligro de extinción o vulnerables.

Entre las variedades de animales altoandinos en peligro de extinción figuran las siguientes:

Suri o Ñandú	(<i>Pterocnemia pennata</i>)
Pato Cortacorrientes	(<i>Merganetta armata</i>)
Guanaco	(<i>Lama guanicoe</i>)
Gato Colocolo	(<i>Felis colocolo</i>)
Puma	(<i>Felis concolor</i>)

Entre las especies altoandinas vulnerables figuran las siguientes:

Flamenco Chileno	(<i>Phoenicopterus chilensis</i>)
Parina Grande	(<i>Phoenicoparrus andinus</i>)
Parina Chica	(<i>Phoenicoparrus jamesi</i>)
Tagua Gigante	(<i>Fulica gigantea</i>)
Pato Puna	(<i>Anas puna</i>)
Vicuña	(<i>Vicugna vicugna</i>)
Taruca o Huemul del Norte	(<i>Hippocamelus antisensis</i>)

FAUNA DE VERTEBRADOS DEL ALTIPLANO: UN ANALISIS COMPARATIVO EN EL EXTREMO NORTE DE CHILE

PEDRO E. CATTAN, MV. DRSC

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS ANIMALES.
Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile.

RESUMEN

La I Región de Chile, presenta distintos mesohabitats que contienen una variada fauna de vertebrados. El análisis de esta fauna demostró que el 40% de ella está representada en el Altiplano, el cual presenta comparativamente la mayor riqueza específica. Destacan aquí, los ambientes de lagunas por su alta diversidad, a pesar de su pequeño tamaño. Al considerar las áreas efectivamente ocupadas se encontró una relación significativa entre número de especies y tamaño del área. La elevada proporción de especies características (muy frecuentes) determina la importancia de esta Región para la biodiversidad del país. **Palabras Claves:** Biodiversidad, Mesohabitat, I Región, Chile

ABSTRACT

Several mesohabitat are distinguishable in the I Region of Chile. All of them exhibit a vertebrate fauna mostly composed by bird species. In the Andean high plateau inhabits 40 per cent of that fauna, making this mesohabitat the richest in species diversity. Within the plateau some particular environments such as lakes are remarkable due to the high species richness notwithstanding the small size of the area. A statistically significant regression was found between number of species and area, when considering the real size of the area occupied by the fauna. The high proportion of species named «characteristics» makes the se mesohabitats very important to the biodiversity of the country. **Key words:** Biodiversity, Mesohabitat, Northernmost Chile.

El Altiplano chileno es una meseta que se ubica aproximadamente entre los 17° 30' y 23° 00' Lat S y los 68° 30' Long O a una altitud media de 4.000 m s.n.m. (ver De Carolis 1987 para la caracterización climática y vegetacional). Las condiciones climáticas y del suelo del sector hacen que sus ecosistemas sean calificados como frágiles determinando la existencia de una fauna especialmente adaptada a la vida en altura. Sin embargo, esta fauna es muy variada, particularmente en las aves, las que alcanzan en la I Región la mayor diversidad del país. Esta región tiene especial importancia porque constituye la parte más septentrional de una «isla», considerando a Chile como tal, desde el punto de vista biogeográfico. Por esta razón es posible encontrar en la región diversas especies que habitan otros macrohabitats sudamericanos, pero que por las barreras geográficas (desierto, cordillera) no se internan en el territorio. Esto probablemente ha provocado altos niveles de endemismo en la biota terrestre del país (Simonetti *et al.*, 1992). Sin embargo, la tasa de endemismo también parece ser alta en el extremo norte del país (Glade & Núñez, 1983). Un gran número de 713 taxa son exclusivos de la región al menos en los lugares donde no existen corredores definidos. Se pueden identificar dos de estos elementos geográficos a este nivel: 1) el litoral uniforme que recorre todo Chile continental y 2) la zona altoandina que alcanza aproximadamente hasta los 27° 30' lat. S (III Región) de la cual forma parte el Altiplano propiamente tal. En este corredor se distribuye una fauna especializada donde también es posible encontrar endemismos, en particular en aquella asociada a pequeños habitats islas (lagunas o salares). Puesto que los estudios sobre endemismos en Chile, son escasos (Simonetti *et al.*, op cit.), no es posible referirse a ellos en propiedad. Sin embargo, dada la mayor frecuencia y abundancia determinadas especies en particulares habitats es posible hacer una distinción con ellas, considerándolas como especies características de estos lugares.

Por otra parte, en la I Región se encuentran varias regiones ecológicas. Según Di Castri (1968), están representadas en el extremo norte: la región desértica litoral, la desértica interior, la tropical marginal y la tropical de altura. Gajardo (1992) distingue 11 formaciones que podrían ser consideradas como habitats diferentes. Glade y Núñez (op cit.) han resumido los antecedentes de flora y fauna de acuerdo a seis regiones ecológicas, las cuales pueden analogarse con las de Di Castri (op cit.) si se descarta la región «mar abierto» y se agrupan en una sola, las regiones «litoral» y «cordillera costera».

Con estos antecedentes, se intenta en el presente trabajo hacer una comparación de la biodiversidad de vertebrados entre el Altiplano y el resto de los habitats del extremo norte. Si consideramos su extensión, debería mostrar la mayor riqueza específica, pero por su condición de corredor, el número de especies características de él será menor comparativamente con otros habitats que denoten una más clara calidad isleña.

Se utilizó el resumen de fauna de la I Región preparado por Glade y Núñez (1983), conservando su particular clasificación de ecosistemas, puesto que al no entregar antecedentes de la metodología para clasificar los ambientes, sólo algunos de estos pueden ser homologables con los de otras proposiciones. Se consideraron cuatro mesohabitats: 1) el Altiplano con una extensión útil para el trabajo con la fauna de 1760 km² que incluyen el bofedal (730 km²) y el resto de habitats (1030 km²); 2) la precordillera, en particular las quebradas y zonas de cultivos con una superficie estimada en 420 km²; 3) el desierto interior, sólo con los valles transversales y una superficie de 960 km² y 4) la franja costera con 680 km². Las especies características fueron aquellas que aparecían consignadas para un solo mesohabitat y no figuraban más allá de la III Región del país. En este tipo de análisis existen numerosas fuentes de error: la distribución real más amplia de un taxón pocas veces está bien conocida. El usar grandes extensiones de terreno como habitats globales, tiende a corregir esto (Mares 1992). Los problemas taxonómicos

influyen el análisis en el nivel más fino, pero, al nivel grueso de este trabajo se espera que su influencia sea mínima.

Del total de 277 especies consignadas para los hábitats terrestres de la I Región 112 (40,4 %) habitan el Altiplano. Si consideramos que las características son 73, entonces sólo el 34,8 % de sus especies se encuentran en otros hábitats o regiones del país. Al comparar las especies características del Altiplano con las características del resto de los hábitats se encuentra que sólo hay 1,2 veces más especies características en los otros lugares de la región (Tabla 1). Resaltan los reptiles, que no comparten ningún taxon con otros hábitats.

TABLA 1.

DIVERSIDAD TAXONOMICA COMPARADA ENTRE ALTIPLANO Y EL RESTO DE LAS ZONAS ECOLOGICAS, I REGIÓN.

Categoría Taxonómica	Taxa por mesohabitat (N)			especies compartidas
		Altiplano	otros habitats	
Aves	géneros	50	104	
	especies	84	132	
	spp caract.	52	66	38
Anfibios	géneros	3	2	
	especies	5	2	
	spp caract.	4	2	20
Reptiles	géneros	2	8	
	especies	3	11	
	spp caract.	3	10	0
Mamíferos	géneros	15	19	
	especies	20	20	
	spp caract.	14	10	30
Total	géneros	70	133	
	especies	112	165	
	spp caract.	73	88	34,8

El análisis de los cuatro mesohabitats por separado revela que el Altiplano posee mayor riqueza específica en todos los grandes taxa, aún cuando la relación número de especies características/total de especies, es mayor para el mesohabitat de desierto = 0,74 (60/81) que para el Altiplano = 0,65 (73/112) (Tabla 2). Como se esperaba, esta relación es comparativamente baja para el sector litoral = 0,20 (12/60) por su carácter de corredor. También en este caso, la relación especie/género se acerca a la unidad en el habitat de desierto, 1,05 (81/77) lo que implica una concentración de géneros monoespecíficos y una tendencia fuerte al endemismo. Curiosamente, el valor de la relación fue casi el mismo, para el Altiplano como para el litoral 11,60 (112/70) y 1,62 (60/37), respectivamente.

TABLA 2.

DIVERSIDAD TAXONOMICA POR REGIÓN ECOLOGICA, I REGIÓN

Categoría Taxonómica	Taxa por mesohabitat (N)				
	Altiplano	Precordillera	Desierto	Litoral	
Aves	especies	84	16	61	55
	spp caract.	52	12	44	10
Anfibios	especies	5	1	1	0
	spp caract.	4	1	1	0
Reptiles	especies	3	2	8	1
	spp caract.	3	1	8	1
Mamíferos	especies	20	5	11	4
	spp caract.	14	2	7	1
Total	géneros	70	21	77	37
	especies	112	24	81	60
	spp caract.	73	16	60	12

Al tomar en forma separada los ambientes del Altiplano, destacan algunos hechos. En primer término aparece el bofedal en segundo lugar en cuanto a riqueza específica, superado por el ambiente «planicie» que corresponde principalmente a sectores amplios de pajonal, superiores en área al bofedal. También se destaca la alta diversidad de los lagos y lagunas (21 especies), a pesar de su muy pequeña extensión (es el hábitat más pequeño de los considerados). En tercer lugar resalta la baja diversidad de los salares. Sólo tres especies se consignan en el hábitat, el cual, si se exceptúa el desierto propiamente tal, es el más pobre en términos de biodiversidad (Tabla 3).

TABLA 3.
DIVERSIDAD TAXONÓMICA EN EL ALTIPLANO, I REGIÓN.

Categoría Taxonómica		Taxa por ambiente (N)				
		Bofedal	Laguna	Salar	Roquerío	Planicie
Aves	especies	26	21	3	4	30
	spp caract.	19	11	2	0	20
Anfibios	especies	5	0	0	0	0
	spp caract.	4	0	0	0	0
Reptiles	especies	0	0	0	0	3
	spp caract.	0	0	0	0	3
Mamíferos	especies	5	0	0	7	8
	spp caract.	3	0	0	5	6
Total	géneros	21	15	2	9	27
	especies	36	21	3	11	41
	spp caract.	26	11	2	5	29

Aún cuando los hábitats difieren mucho en tamaño geográficamente (ej. desierto interior vs lagunas), la realidad es diferente al considerarlos en función de los lugares que ofrecen alternativas para el desarrollo de vida. Tomando entonces las dimensiones señaladas anteriormente se realizaron regresiones del número de especies, especies características y géneros sobre el área determinada como efectiva en cada hábitat. El modelo de mejor ajuste fue el lineal y sólo se encontró una relación estadísticamente significativa entre el número de especies total y el área ($r=0,91$; $R^2=84\%$; $P=0,028$) (Figura 1). Las otras no fueron significativas aún cuando el valor de r fue alto para ambas (especies características: $r = 0,84$; $R^2 = 71 \%$; $P = 0,07$; géneros: $r = 0,75$; $R^2 = 57,4\%$; $P = 0,13$).

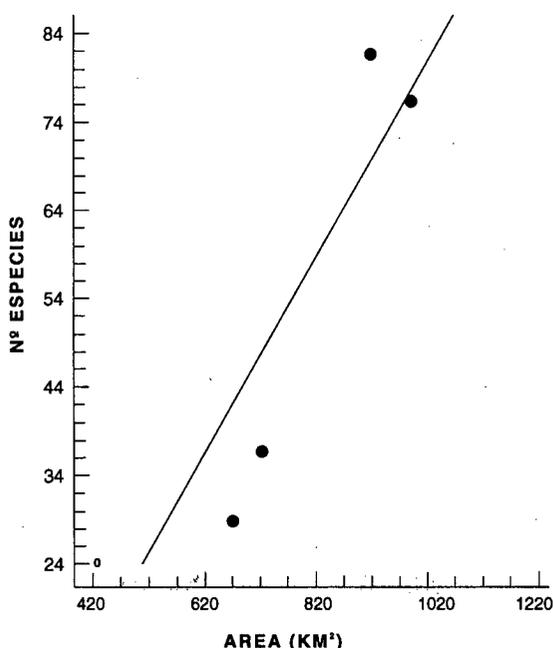


Figura 1. Regresión del número de especies sobre el tamaño de los mesohabitats de la I Región. $Y = -29 + 0,10X$

De los datos presentados destacan los siguientes hechos: la I Región de Chile presenta sin dudas la avifauna más diversa del país (216 especies de aves «terrestres» de 436 descritas para el país). También su fauna de vertebrados muestra un menor nivel de daño: de los 722 taxa de vertebrados descritos en Chile (Simonett *et al.*, 1992) 243 presentan problemas de conservación en Chile (Glade, 1988) lo que alcanza al 33,6%; comparativamente, en la I Región el valor es de sólo un 19,6% (55 taxa de 280), sin considerar los peces continentales. Este antecedente debe ser considerado para los planes de conservación de biodiversidad a nivel nacional. Al respecto, cuatro de las 11 formaciones ecológicas descritas por Gajardo (op. cit.) presentes en la Región, no están representadas en el Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas, lo que puede ser grave para la mantención de la diversidad faunística de la zona. En cuanto al Altiplano, este presenta la mayor riqueza específica y comparte en promedio el 34% de sus especies con otros hábitats del país, lo que lo transforma en un lugar de particular interés biológico, en particular por las especiales condiciones de adaptación que impone a las distintas formas de vida (Raggi, 1993, in litt.). Resaltan dentro de esta región ecológica, los lagos y lagunas, responsables del mayor número de especies características.

No se dispone de datos suficientes sobre las densidades de la fauna de la I Región como para incorporar este elemento en un análisis más completo. Este antecedente cobra particular importancia al momento de considerar la diversidad por comunidades y también las eventuales declinaciones de algunas poblaciones las que pueden llegar al estado de «ecológicamente extinguidas» (Conner, 1988). Cifras recientes muestran enormes diferencias entre las abundancias de algunas especies de aves. Estas cifras son indicadoras de las especies de mayor interés conservacionista. Así en los extremos, en 1990 en el lago Chungará se contabilizaban 8.940 Taguas gigantes (*Fulica gigantea*) por una parte y sólo seis Caitis (*Recurvirostra andina*). En Surire en fecha similar se anotaban 5.892 flamencos chilenos (*Phoenicopterus chilensis*) contra 318 ejemplares de Parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*). En cuanto a mamíferos, los datos sobre algunas poblaciones demuestran una declinación leve en el período 1990 - 1992, lo que debe ser investigado (CONAF, I Región, datos no publicados).

El Altiplano es una extensa meseta de los Andes que forma parte del más extenso macrohábitat «Secano» (drylands) establecido por Mares (1992) para Sudamérica y de la misma manera como este autor clama una mayor atención para las tierras secas del continente, es necesario insistir en la rica biodiversidad que se sostiene en este mesohábitat, para asegurar su mantención futura.

AGRADECIMIENTOS

A CONAF I Región, por facilitar datos no publicados sobre censos de fauna en distintos ambientes de la zona. A. Raggi gentilmente entregó bibliografía particular.

REFERENCIAS

CORPORACION NACIONAL FORESTAL 1993. Censos de fauna de la I Región, In litteris.

Conner, R.M., 1988. Wildlife populations: minimally viable or ecologically functional? Wildlife Society Bulletin 13: 80-84.

De Carolis, G., 1987. Descripción del sistema ganadero y hábitos alimentarios de camélidos domésticos y ovinos en el bofedal de Parinacota. Tesis Ing. Agr., Univ. Chile, 261 pp.

Di Castri, F., 1968. Esquisse écologique du Chili. En: Delamare C. y Rappoport E. (eds) Biologie de L' Amérique Australe. Editions CNRS. París 4: 6-52.

Gajardo, R., 1992. La vegetación natural de Chile: proposición de un sistema de clasificación y representación de la distribución geográfica. Depto. de Silvicultura. Univ. Chile, 52 pp.

Glade, A., 1988 (ed.). Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile. Corporación Nacional Forestal, 65 pp.

Glade, A. & Núñez, E., 1983. Resumen de antecedentes de flora y fauna en la I Región de Tarapacá. Corporación Nacional Forestal, I Región, 44 pp.

Mares, M., 1992. Neotropical mammals and the myth of amazonian biodiversity. Science 255: 976-979.

Raggi, L.A., 1993. Fauna altioplánica. In litteris.

Simonetti, J. A., Arroyo, M.T.K., Spotorno, A. E., Lozadae., Weberc., Cornejo L.E., Solervicens, J. & Fuentes, E., 1992. Hacia el conocimiento de la diversidad biológica en Chile. En: Halffter., (ed) La diversidad biológica de Iberoamérica. CYTED-D. Acta Zoológica Mexicana. Vol. Esp.: 253-270.

PRINCIPALES PROBLEMAS DE LAS AVES ACUATICAS EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

ELIANA FLORES

CASILLA 499, LA PAZ, BOLIVIA

RESUMEN

La destrucción de los humedales y la contaminación de las aguas por desechos mineros, urbanos e industriales que se vierten sin tratamiento, ni control está afectando negativamente a las poblaciones de aves acuáticas en el Altiplano boliviano, principalmente en el lago Poopó, laguna Uru Uru y río Desaguadero. En ambos casos los problemas son causados por el Hombre, pero es probable que estos problemas están siendo acentuados por una prolongada sequía.

Las Reservas de Fauna de Ulla y Eduardo Avaroa, una vez que estén implementadas, serán de importancia para proteger humedales altoandinos, especies acuáticas y migratorias. Queda por establecer una área de protección para *Rollandia micropterum* en la parte boliviana del Lago Titicaca y la realización de estudios en toda su cuenca para conocer su estado de conservación y tomar medidas para su restauración.

Términos Claves: Conservación, desechos tóxicos, lagunas andinas, aves acuáticas.

ABSTRACT

Polution and habitat alteration are the most important problems for bolivian altiplanic wetlands and waterfowl. Both cases are man-made problems but drought is getting worse this problem. The Poopo Lake is the most polluted by toxic waste from the mines. No studies were found to asses its status of conservation but fishery almost disappeared.

Two protected areas will provide efective protection for wetlands and waterfowl, the Ulla Ulla and Eduardo Avaroa Reserves that will be implemented soon. There are no protected areas in the bolivian side of the Titicaca Lake, it became priority to provide protection for the short-winged grebe (*Rollandia micropterum*) an endemic species of this basin. As soon as possible, the stauts of conservation of the Titicaca basin, that include the Desaguadero River and the Lakes Poopo y Uru Uru, should be assessed and restoration measures should be taken.

Key Words: Conservation, toxic waste, altiplanic wetlands, waterfowl

INTRODUCCION

La contaminación de las aguas y el deterioro de los humedales son los principales problemas para la conservación de las aves acuáticas. La contaminación de las aguas por desechos mineros, urbanos e industriales que se vierten sin ningún tratamiento, ni control está afectando negativamente a las poblaciones de aves acuáticas en el Altiplano boliviano. De la misma forma, el deterioro de los ambientes acuáticos por drenaje o la destrucción de la vegetación adyacente es otro gran problema para la gran diversidad biológica de los humedales altoandinos. En ambos casos los problemas son causados por el hombre, pero es probable que estos problemas están siendo acentuados por una prolongada sequía (Lorini y Liberman, 1983)

Ultimamente se ha denunciado en la ciudad de Oruro, situada en el Altiplano central muy cerca del lago Poopó, la aparición de malformaciones congénitas en recién nacidos que son hijos de obreros de las fundiciones mineras y empleados municipales que trabajan en contacto con la basura. El Dr. Germán Revollo del Servicio de Neonatología del Hospital de Gineco-Obstetricia de la Caja Nacional de Salud, ha realizado un estudio en el que presenta varios casos de malformaciones, entre estas los fetos acéfalos que nacen muertos (PRESENCIA, 1993). Aunque no ha sido comprobado es muy posible que estas anomalías se deben a la contaminación de las aguas por plomo. Si los casos de malformaciones por contaminación de las aguas son tan graves en seres humanos; cuáles serán los efectos sobre la fauna y la vegetación. Hasta ahora se ha estudiado muy poco y sólo lo que se refiere a la ictiofauna. No existen inventarios con colecciones de referencia para la ciudad de Oruro y sus alrededores incluyendo el río Desaguadero, el lago Uru-Uru, y el lago Poopo. Por estos motivos, se hace necesario establecer el estado actual de estos ambientes acuáticos mediante un relevamiento de la vegetación asociada y de la fauna de vertebrados relacionados con los humedales.

CONSERVACION DE LOS HUMEDALES Y LAS AVES ACUATICAS

Este artículo identifica los problemas para la conservación de los humedales y las especies de aves amenazadas; está basado en recopilación de información publicada y en observaciones personales de la avifauna del Altiplano boliviano. Se presenta en forma breve algunas alternativas para mitigar los impactos negativos en la conservación de las aves acuáticas.

Area de estudio

El Altiplano boliviano es una extensa meseta que se extiende sobre 2.000 km de largo y 200 km de ancho y cuya altitud varía entre los 3.700 m s.n.m. hasta 4.600 m (Lavenu, 1991). Esta meseta se encuentra entre dos ramales de la cordillera de los Andes, la cordillera Oriental o Volcánica que sirve de frontera natural con la República de Chile y la cordillera Real u Occidental donde se encuentran los principales yacimientos mineros del país. En esta planicie, los lagos Titicaca, Uru Uru y Poopó unidos

por el río Desaguadero forman la cuenca cerrada o lacustre. Hacia el norte existen algunos ríos de deshielo que desaguan en el lago Titicaca y centerares de lagunas glaciares en la cordillera Real. Hacia el sur del Altiplano se encuentran los salares, siendo el Salar de Uyuni, el más extenso del continente con 28.000 Km² y un potencial enorme en minerales de Litio, Boro y otros elementos valiosos; los salares de Coipasa, Empexa y aquellos de los Lípez localizados en el extremo sur de país, son menos extensos, pero muy importantes para la avifauna; en particular, estos últimos como sitio de nidificación de los flamencos.

La Avifauna del altiplano boliviano

En la región altiplánica se han registrado 126 especies de aves, con sólo tres endemismos (Remsen y Traylor, 1989); existen 60 aves entre especies estrictamente acuáticas y aquellas que dependen de los humedales.

Altiplano Norte. En la Reserva Nacional de Ulla Ulla se han registrado 77 especies de aves (Serrano y Cabot, 1982) de las cuales 42 se encuentran en las lagunas o en los bofedales siendo más numerosas en verano, posteriormente se reportaron un total de 85 especies (Cabot, 1990); en la misma área Rivera y Hanagarth (1982) registran 41 especies, de las cuales el 60 % depende de los ambientes acuáticos, sean ríos, lagunas o bofedales.

Altiplano Central. En el lago Titicaca, Dejoux (1991) ha registrado 49 especies de las cuales 30 están estrechamente ligadas al lago, sin embargo, este estudio no es exhaustivo. Se cuenta con algunos registros de especies para varias localidades en los Depto. de La Paz y Oruro (Cabot y Serrano, 1986, 1988; Parker y Rowlett, 1984), pero con la excepción del estudio de Rocha y Peñaranda (MS 1993) para Huaraco y un trabajo sobre conservación de flamencos (Campos, 1987) no hay inventarios de flora y fauna para el río Desaguadero, los lagos Uru Uru, Poopó y Coipasa.

Altiplano Sur. El conocimiento de la avifauna del Altiplano sur se refiere a la Reserva Andina de Fauna Eduardo Avaroa (REA) localizada en la Prov. Sur Lipez del Dpto. de Potosí, donde se han registrado inicialmente 46 especies (Cabot y Serrano, 1982) y posteriormente 61 especies que en su mayoría se aglomeran en los ambientes acuáticos (Rocha, 1990). El inventario de las lagunas salinas de la REA (Flores, 1986) destaca la laguna Colorada porque es el sitio de nidificación más importante para *Phoenicoparrus jamesi*, el flamenco más raro del mundo y el único lugar donde nidifican tres especies de flamencos (Flores, 1986; Hurlbert y Flores, 1988). Se ha estudiado la ecología, abundancia y distribución de los flamencos (Hurlbert, 1978, 1981, 1982; Hurlbert y Keith, 1979) y recientemente se ha realizado el Diagnóstico del estado de los Recursos Naturales en la región de La REA (IE-MNHN-CEEDI, 1990) y el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada (CEEDI-LIDEMA, 1989).

Los estudios antes mencionados coinciden en que las aves acuáticas son un importante componente de la comunidad aviar y que los humedales son de gran importancia para su supervivencia, no sólo para especies residentes sino también para especies migratorias (Serrano y Cabot, 1982; Hurlbert *et al.*, 1984).

Según Remsen and Traylor (1989) en el Altiplano boliviano existen tres especies endémicas: el zambullidor no volador (*Rollandia micropterum*) restringida a la cuenca cerrada del lago Titicaca, la choca gigante (*Fulica gigantea*) habitante de las lagunas glaciares del Altiplano norte, y el minerito de la puna (*Geositta punensis*), una especie terrícola. No se conoce el estado actual de sus poblaciones pero es probable que el zambullidor no volador este siendo afectado por la contaminación del lago Poopo, mientras que la choca gigante está protegida en la Reserva de Ulla Ulla y el minerito de la Puna en la REA. Otras especies aunque no son exclusivas de Bolivia son endémicas de la región como la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*), la parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), y la choca cornuda (*Fulica cornuta*) cuya protección estaría asegurada si no fuera por el problema para el medio ambiente del proyecto de utilización geotérmica que será detallado posteriormente.

Los humedales del Altiplano boliviano.

Para la conservación de los humedales del Altiplano boliviano se debe tomar en cuenta no solamente los aspectos legales de la protección, sino también, se debe establecer medidas de control ambiental en las ciudades y en las instalaciones minero-industriales que estarían degradando la calidad del agua. Por consiguiente, los humedales prioritarios para su conservación son aquellos que están bajo la directa amenaza de actividades humanas, que debido a la utilización de sus aguas en forma masiva pueden estar sujetos a desecación o drenaje y también aquellos humedales cuya modificación constituye una importante alteración del habitat. Con estos criterios se han identificado los siguientes ambientes acuáticos que requieren acciones inmediatas:

La laguna Colorada. La laguna Colorada que se encuentra en la Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Avaroa (REA); esta laguna ha sido declarada el primer sitio Ramsar en Bolivia porque constituye un humedal único en el mundo debido a sus particulares características físico-químicas, biológicas y ecológicas. La conservación de la laguna Colorada y sus alrededores están bajo la amenaza del proyecto de utilización geotérmica para la producción de energía eléctrica, este proyecto ha sido declarado de prioridad e interés nacional mediante la Ley N° 793 del 19 de febrero de 1986.

El Estudio de Impacto Ambiental determinó, entre otras cosas, que el vapor fuera reinyectado para alimentar los acuíferos y que se tratara las sales tóxicas de Arsénico y otros minerales para que no se acumulen en el suelo y se expandan con el viento

afectando grandes extensiones. Se espera que las medidas de prevención y mitigación del impacto sean tomadas cuando se coloquen las turbinas y se comience a producir energía eléctrica.

La Reserva Eduardo Avaroa no ha sido implementada todavía, no cuenta con un plan de manejo que asegure la adecuada protección de las lagunas y de las especies de flora y fauna endémica, sino también que determine las zonas de uso en el área. Por estos motivos se hace necesario la elaboración de un plan de manejo que contemple la investigación, el turismo, el monitoreo ambiental, pero en particular los aspectos de mitigación y control del impacto ambiental del proyecto geotérmico. La Reserva puede ser un importante centro de investigación y monitoreo ambiental de humedales salinos altoandinos debido a su ubicación geográfica entre la frontera con tres países: Bolivia, Chile y Argentina, así como, debido al conjunto tan diverso de lagunas salinas, a la flora y fauna asociada a éstos humedales y a los semidesiertos, sin embargo, la inaccesibilidad del área, la escasez de población y el clima extremadamente frío constituyen factores negativos para la permanencia de personal durante todo el año.

El Salar de Uyuni. El salar de Uyuni está amenazado por los planes y proyectos para la explotación del Litio en la desembocadura del Río Grande de Lipez, donde se encuentra la colonia de nidificación de flamencos más grande de todo el Salar, se hace necesario un Estudio de Impacto Ambiental antes de la fase de inversión que determine los efectos negativos en el habitat de los flamencos y además una zonificación del área que compatibilice las modalidades de uso del suelo: explotación de Litio, extracción de sal, turismo, conservación de flora y fauna, protección del paisaje, y usos tradicionales.

El Lago Poopo. El Lago Poopo está siendo afectado desde la época de la colonia por las aguas que, desde los ingenios mineros de unas 120 minas, vienen cargadas de metales pesados tóxicos (plomo en altísima concentración, plata, cobre, cadmio y otros), se estima que la producción pesquera ha disminuido en un 78.5% llegando virtualmente a desaparecer en 1993, motivo por el cual los pescadores indígenas aymaras y Uro Muratos han pedido que se vede la pesca (La Razón, 1993). El impacto real sobre la flora y la ornitofauna del lago es desconocido, pero ya se dejan sentir los efectos indirectos por los pobladores del área aledaña al lago y se ha denunciado que se están cazando parinas para substituir la pesca (La Razón 1993). Rocha y Peñaranda (1993) encontraron un individuo juvenil de *Nycticorax nycticorax* muerto sin causa aparente en Huaraco, es probable que la causa de su muerte sea debida a la ingestión de peces contaminados. Sin embargo, la causa de la muerte de los especímenes de *Bubulcus ibis* y *Egretta thula* encontrados muertos en el Altiplano sur (Rocha, 1990), puede ser las extremas condiciones climáticas que no corresponden con su rango de distribución. Así mismo, la causa de una gran mortalidad de flamencos juveniles en la laguna Colorada en 1986 pudo deberse a factores climáticos, cuando algunos lugares de alimentación permanecieron congelados limitando así, en el tiempo de forrajeo de las parinas (Hurlbert y Flores, 1988b).

El Lago Titicaca. El lago Titicaca es el humedal más importante del Altiplano boliviano debido a sus características geológicas e hidrológicas (Lavenu, 1991) y sobre todo por su alto endemismo en ictiofauna (Lauzanne, 1991), sus extraordinarios batracios gigantes (Vellard, 1991) y el zambullidor no volador; y teniendo en cuenta la importancia de sus ruinas arqueológicas acuáticas (Carlos Ponce Sanjines, com. pers.) y su valor paisajístico merece un esfuerzo coordinado entre Perú y Bolivia para su conservación, sin embargo, no existe ningún área protegida en la parte boliviana del lago, ni siquiera una área sujeta a manejo; aunque no todas las actividades humanas impactan negativamente en él, como es el caso de la recuperación de los camellones para cultivos (Osvaldo Rivera, com. pers.), sería deseable establecer una zona de protección efectiva de las especies endémicas.

CONCLUSIONES

Los problemas causados a los humedales y a la avifauna probablemente son irreversibles en el Lago Poopó, por lo tanto, se deben realizar estudios para su mejor conocimiento y restauración. Aún estamos a tiempo para proteger efectivamente la avifauna acuática en las Reservas de Ulla Ulla al norte del Altiplano boliviano y en la Reserva Eduardo Avaroa al Sur, una vez que las medidas propuestas para la mitigación de impacto del Proyecto Geotérmico sean efectivas. Siendo el lago Titicaca el humedal más importante de la región, se recomienda no solamente el establecimiento de un área protegida sino también una campaña de educación ambiental en la población local que incluya medidas de control para hacer un uso sostenible de los recursos del lago. El lago Poopo y el Salar de Uyuni requieren de estudios para establecer su estado actual de conservación, y como además existen proyectos para la explotación petrolífera y minera en sus zonas de influencia, se deben realizar los estudios de impacto ambiental antes de la fase de inversión de los proyectos extractivistas.

REFERENCIAS.

- Cabot, J., 1990. Dinámica anual de la avifauna en cinco habitats del Altiplano Norte de Bolivia. Tesis Doctoral: 301.
- Cabot, J. y P. Serrano, 1988. Ditrributional data on some non-passerine species in Bolivia. Bull. Brit. Om. Cl. 108 (4): 187-193.
- Cabot, J. y P. Serrano, 1986. Data on the distribution of some species of raptors in Bolivia. Bull. Brit. Orn. Cl. 106 (4): 170-173.
- Cabot, J. y P. Serrano, 1982: La comunidad de aves de la Reserva de Fauna altoandina Eudrado Avaroa 40-59 pp. En: Alzerreca, H. (ed.) 1982. Vegetación y Fauna de la Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Avaroa, Prov. Sud Lipez, Potosí-Bolivia. EE:48.

- Campos, L. C., 1987. Distribution, human impact, and conservation of flamingos in the high Andes of Bolivia. Ms Arts Thesis: 128 p.
- CEEDI-LIDEMA, 1989. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada. La Paz: 141p.
- Dejoux, C., 1991. La Avifauna del lago Titicaca. En: Dejoux, C. y A. Iltis. (Eds). El Lago Titicaca Síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: ORSTOM/ HISBOL: 465-476
- Flores, E., 1986a. Bolivia. En: Scott, D. y M. Carbonell (Compiladores) Inventario de Humedales de la Región Neotropical. IWRB Slimbridge y IUCN Cambridge: 63-111.
- Flores, E., 1986b. La Laguna Colorada. El Volante Migratoria 6: 12-14.
- La Razón, 1993. Más de 120 minas echan sus desechos en el lago Poopó. 11 de julio de 1993.
- Lavenu, A., 1991. Formación geológica y evolución del Lago Titicaca. En: Dejoux, C., y A. Iltis. (Eds). El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: ORSTOM/HISBOL: 19- 27
- Lauzanne, L., 1991. Especies Nativas: Los Orestias. En: Dejoux, C., y A. Iltis. (Eds). El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: ORSTOM, HISBOL: 409- 421.
- Lorini, J. y M. Liberman, 1983. El clima de la Prov. Aroma del Dpto. La Paz, Bolivia. Ecología en Bolivia 4: 19-29.
- Hurlbert, S., 1978. Results of five flamingo censuses conducted between November 1975 and December 1977. Andean lakes and Flamingo Investigations. Technical report N° 1.
- Hurlbert, S., 1981. Results of three flamingo censuses conducted between December 1978 and July 1980. Andean lakes and Flamingo Investigations . Technical report N° 2.
- Hurlbert, S., 1982. Limnological studies of flamingo diets and distribution. Reprinted from National Geographic Society Research Reports, Vol. 14:331-356.
- Hurlbert, S. y E. Flores, 1988a. Abundancia, Nidificación y Conservación de flamencos en la laguna Colorada En: Primer Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos.
- Hurlbert, S. y E. Flores, 1988b. Causas de la alta mortalidad de flamencos en 1986-87 en la laguna Colorada. En: Primer Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos.
- Hurlbert, S; M. Lopez y J. Keith, 1984. Wilson's phalarope in the Central Andes and its interaccion with the chilean flamingo. Revista Chilena de Historia Natural 57: 47-57.
- IE-MNHN -CEEDI, 1990. Diagnóstico del estado actual de los recursos naturales de la región de la Reserva Nacional de Fauna Andina.
- Eduardo Avaroa. LIDEMA, La Paz, 284p.
- Parker, T. A. III y R. A. Rowlett, 1984 Some noteworthy records for birds from Bolivia. Bull. Brit. Orn. Cl. 104:110-113.
- PRESENCIA, 1993. Potencias mundiales deben solucionar el problema ecológico, 12 de junio de 1993.
- Remsen, J.V. jr. y M. A. Traylor, 1989. An Annotated List of the Birds of Bolivia. Vermillon South Dakota. Buteo Books, 79 p.
- Ribera, M, O. y W. Hanagarth, 1982. Aves de la región altoandina de la Reserva Nacional de Ulla Ulla. Ecología en Bolivia, N° 1:35-45
- Serrano, P. y J. Cabot, 1982. Las Aves de la reserva nacional de Ulla-ulla, con comentarios sobre la abundancia y distribución de las especies. La Paz: MACA; MICT; INFOL Serie EE: 42. 16p.
- Serrano, P. y J. Cabot, 1988. Nuevas adiciones a la avifauna de la Reserva Altoandina de Ulla Ulla. Mus, Nac. Hist. Nat. (Bolivia), Comunicación N° 6: 14-16.
- Vellard, J., 1991. Los Batracios en el lago Titicaca. 453- 462. En: Dejoux, C., y A. Iltis. (Eds). El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM, HISBOL. La Paz.

EVOLUCION Y DESARROLLO DE LA GANADERIA CAMELIDA EN EL ALTIPLANO DE LATINOAMERICA

JULIO SUMAR KALINOWSKI

Facultad de Medicina Veterinaria y Estación de Altura de «La Raya»,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

RESUMEN

El presente artículo corresponde a una reseña histórica de la evolución y desarrollo de la ganadería camélida en el Altiplano de latinoamerica, desde la época pre-hispánica, durante la invasión europea y la época colonial virreinal, hasta el redescubrimiento de la alpaca y la industrialización de sus productos en la época republicana.

ABSTRACT

The present article is a historical review of the evolution and development of the South American Camelids in andean high plateau of Latin America, from the pre-hispanic times, the european colonization and the Virreynal regime, till the rediscovery of the alpaca and the industrial use of their products during the republic.

INTRODUCCION

La mayor población que dió origen a los Indios Americanos, debe haber venido de Siberia, y su ingreso a través del Estrecho de Behring ocurrió probablemente 40.000 - 30.000 años AC, y ya por los 12.000 - 10.000 AC muchas poblaciones, con una diversidad tecnológica alta, estuvieron ya diseminadas en el sub-continente Sudamericano (Salzano y Calleagari-Jacques, 1988). Varias investigaciones arqueológicas, señalan con certeza, que los camélidos sudamericanos viven en su actual hábitat, hace por lo menos unos 10.000 años; los restos óseos y las pinturas rupestres de camélidos encontrados en la cueva de Lauricocha (Junín, Perú), a 4.000 m s.n.m., están datados entre 10.000 y 8.000 A.C. Los grabados en la cueva de Toquepala (Tacna, Perú), indican que los camélidos ya eran objeto de caza por el hombre hace más de 9.500 años (Wing, 1975; Wing, 1977; Kent, 1988).

Evidencias paleontológicas indican el origen norteamericano de los camélidos, que probablemente migraron a Sudamérica, hace aproximadamente 3 millones de años (Webb, 1978). En cuanto a la domesticación, Wing (1977) resumió la evidencia zooarqueológica de que ya por los 5.000 años A.C, se encontraban camélidos domesticados en los valles serranos de Ayacucho y Lauricocha (Perú). Así mismo, la mayor concentración en la utilización prehistórica de camélidos y su intensificación temprana se produce en la Puna, no en los valles de la sierra o de la costa. El centro o centros precisos de domesticación no han sido plenamente identificados aún. Latcham (1922) ha sugerido que la evidencia de la domesticación de camélidos se puede encontrar en el Altiplano peruano-boliviano y Wing (1977) también sugiere que se hagan más trabajos en el área del lago Titicaca, que hasta la fecha no se han desarrollado sistemáticamente.

LOS CAMELIDOS EN LA EPOCA PRE-HISPANICA

Uno de los documentos más importantes para reconstruir y entender algunas de las características de la crianza de alpacas y llamas, es el libro «La Organización Económica del Estado Inca» de John V. Murra (1978, 1978a), donde en sendos capítulos se describen los rebaños y los tejidos hechos con fibra de camélidos. Este documento se basa en escritos etnohistóricos de las épocas de la conquista y colonial; sin embargo, mucho antes del establecimiento del Imperio Incaico, numerosas y diversas culturas asentadas a lo largo de la cordillera de los Andes, incluyendo su vertiente occidental hasta la costa del Pacífico, dependieron, en una u otra forma de los Camélidos domésticos y silvestres, dándoles riqueza y posición social, proveyéndoles de bienes y servicios, que incluían sacrificios religiosos, transporte, medicina y cuestiones de augurio. La arqueozoología de Sudamérica nos indica, por ejemplo, que las llamas fueron criadas y utilizadas intensamente por varias culturas de la costa del Pacífico, que se desarrollaron en el Horizonte Temprano (400 - 1.400 AC) y en el Horizonte Medio (550 - 900 DC) (Shimada y Shimada, 1985; Guerrero, 1986).

Fué durante la vigencia del Imperio Inca, que los camélidos llegaron a su máxima expansión y desarrollo, siendo considerados técnicamente de propiedad del Inca, así como pertenecientes a los Centros Religiosos, y en algunos casos de propiedad de las comunidades e individuos. Tal como lo dijo el todopoderoso Virrey don Francisco de Toledo (Acosta, Joseph de., [1590] 1962) quién después de recorrer el vasto territorio del agonizante Imperio de los Incas, con la misión especial del rey de España, de sentar las bases de toda la futura organización económica y social de la colonia, «(...) que dos cosas tenía de sustancia y riqueza el Piru (sic), que era el maíz y el ganado de la tierra». Al hablar del «ganado de la tierra» se refería a las alpacas y llamas, nombradas así para distinguirlos de los animales propios del Viejo Mundo.

Teniendo en cuenta que en todo el territorio del Tahuantinsuyu, sólo existían la llama y la alpaca como animales domésticos mayores, y que éstos tenían solamente a los camélidos silvestres y algunos géneros de venados como competidores herbívoros, se considera que el número de alpacas y llamas, fué muy grande. Todos los testigos de la invasión Europea, hablan de lo

numerosos que eran los camélidos en aquella época, aunque no siempre distinguieron claramente entre las especies domésticas y silvestres. El Cronista contador Agustín de Zárate ([1555] 1947), de quién se dice que fué un historiador profesional, por su objetividad, imparcialidad y a veces excesiva fidelidad, refiriéndose al número de camélidos escribió lo siguiente:

«(...) en este reino del Peru, habia suma grandisima de ganado domestico, y bravo, urcos, carneros y pacos, vicunas y ovejas, llamas de tanta manera que asi poblado como lo que no era andaban llenos de grandes manadas, porque por todas partes habia y hay exelentes pastos para que bien pudiese criar, y es de saber que aunque habia tanta cantidad, era mandado por los reyes, que son graves penas ninguno osase matar ni comer hembra ninguna y si lo quebrantaban, luego eran castigados».

El historiador boliviano Jesús Lara (1966) ensaya una aproximación del número de camélidos existentes en el Tahuantinsuyu, partiendo del número de animales sacrificados en las fiestas religiosas, llegando a estimar en 23 millones de llamas y 7 millones de alpacas.

El ganado que pertenecía a la Religión se mantenía aparte de los demás, en campos de pastoreo especiales, como también aquellos del Inca, no permitiéndose que se entremezclasen. Al respecto nos dice el Cronista Bernabé Cobo ([1653] 1956):

«(...) La misma division tenía hecha el Inca de todo el ganado manso, que de las tierras, aplicando una parte a la Religión, a si otra y a la comunidad otra y no solo dividió y separo cada una destas partes sino también las dehesas y pastos en que se apacentasen, de modo que anduviesen en dehesas distintas sin que se pudiese mezclar; las cuales dividió e hizo amojonar en cada provincia. Las dehesas de la Religión y del Inca se llamaban Moyas de la Religión y Moyas del Inca.»

El ganado era enviado a los mejores pastos bajo el cuidado de pastores especialmente seleccionados llamados «**michic**», que tenían varios ayudantes. El pastor en jefe, o mayordomo del distrito era denominado «**llama-camayoc**», y el oficial de aparto o división «**phattachiri**»; tenían personal práctico en amansar las llamas para la carga, a quienes llamaban «**yachachiri**». En la vecindad de las aldeas, se construían grandes corrales «**huyhua o llamacancha**» para encerrar a los animales de trabajo, y a los corrales de aparto se les demoninaba «**cachicallanca**». Los animales después de la aparta, eran marcados y señalados según sus dueños o representantes de éstos. Se perforaba una o ambas orejas y por las heridas se pasaban hilos de lana de diferentes colores, con o sin borlillas. Esta operación llamada «**chimpuni**» se hacia delante del «**phattachiri**» y se castigaba con la muerte a la persona, cualquiera, sindicada de cambiar o destruir la señal. Esta operación de marcación o señalamiento se efectuaba en el mes de **Ccoya Raymi** (Setiembre 22 a Octubre 22). En algunos ceramios Mochicas que representan a las llamas, se puede observar unas muescas triangulares en las orejas de los animales, muy similares a las que se usan actualmente para numerar e identificar a los animales.

Los incas dividían a los animales en rebaños de alpacas y llamas, y a su vez eran divididos en rebaños de hembras con cría, hembras jóvenes y de machos, poniendo especial cuidado en seleccionar animales por sus diversos colores. Cuando en un grupo de color determinado, nacía un animal de otro color, éste, al llegar a la edad del destete, se cambiaba al grupo a que correspondía por su color, teniendo los incas especial cuidado de seleccionar para la reproducción, los machos que demostraban tener más desarrollada esta facultad. Los incas destinaban para la reproducción un macho por veinte a veinticinco hembras (Latham, 1922). La clasificación de los animales por el color de su lana tenía objetivos utilitarios; si los colores en una manada eran diversos, implicaba mucho trabajo apartar y matizar los diversos vellones al quererlos utilizar. La lana de los rebaños estatales se acumulaba en depósitos y se distribuía a los campesinos, que debían hilarla y tejerla para ellos mismos y para el estado; otro uso de los animales estatales era su sacrificio en ceremonias auspiciadas por el Inca, aunque por lo común los animales inmolados eran proporcionados por los rebaños de la Iglesia (Murra, 1978).

En cuanto al manejo de las pasturas, ponían especial énfasis en el riego, especialmente en los años poco lluviosos o de sequía. Al respecto Garcilaso de la Vega ([1609] 1976), nos dice:

«(...) Tambien abrian acequias para regar las Dehesas quando el otoño detenia sus aguas; que también querian asegurar los pastos, como los sembrados, porque tuvieron infinitos ganados. Estas Acequias para las Dehesas se perdieron, luego que los españoles entraron en la Tierra, pero viven oy rastros dellas».

En cuanto a enfermedades, una era especialmente muy maligna, la sarna o «**carachi**». Los incas adoptaron medidas radicales para extirpar esta enfermedad; al aparecer los primeros síntomas de la enfermedad, el animal o animales enfermos, eran enterrados vivos en hoyos cavados para este propósito a bastante hondura. El ganado sano se traladaba inmediatamente a otra localidad y todo el pasto del lugar infestado, era quemado.

La alpaca, como animal especializado en la producción de finísima fibra, se desarrolló principalmente en la zona de la meseta del Collao (territorios de Bolivia, norte de Chile, y Perú). Desde el momento en que el mayor número de alpacas pertenecían al estado, la fibra cosechada de las esquilas era guardada en grandes almacenes o depósitos, de donde se distribuía a todas las familias, las que tenían la obligación de tejer sus propias ropas, y otras destinadas al estado (como tributo), mediante tejedores especializados, que fueron los «**cumbl camayoc**» y las «**acillas**», que hilaban y tejían a tiempo completo para el estado. Toda esta inmensa producción textil, era guardada en depósitos especialmente contruídos para ello, y que se encontraban repartidos en todo el Tahuantinsuyu, asombrando a los conquistadores por su número y tamaño. Entre los testigos oculares figura Jeréz

o Xeres ([1534] 1947), secretario de Pizarro, quien escribió que:

«(...) en Cajamarca había casas llenas de ropa liada en fardos arrimados hasta los techos, que los cristianos tomaron las que quisieron y todavía quedaron las casas tan llenas que parecía no haber hecho falta la que fue tomada»

Otro Cronista que participó en la conquista, Pedro Pizarro ([1571] 1965), escribió 40 años más tarde:

«(...) no podre decir los depositos vide de ropas y de todos generos.... y vestidos que en estos reynos se hacian y usaban que faltaba tiempo para vello y entendimiento para comprender tanta cosa».

Ahora bien, ¿con qué propósito los incas tenían almacenada tanta cantidad de ropa? La respuesta está en la práctica de la «**reciprocidad**» y el «**intercambio**» en el mundo Andino. Al referirnos al Tahuantinsuyo, y hablar del sistema económico que lo sustentó, debemos tomar en consideración que los incas carecieron del uso del dinero, que el trueque representaba su mercado, y que la riqueza se apoyó en la posesión de varios recursos con los que pudieron dominar y controlar aspectos económicos y políticos. Según Rostworowski (1988), los incas tuvieron acceso a tres fuentes de ingreso: la fuerza de trabajo, la posesión de tierras y la ganadería estatal. El resultado del control de estos recursos, se manifestó en bienes acumulados en depósitos (de alimentos, ropa, armas, etc.) y que les permitió controlar lo que se llama «**Reciprocidad**», que no es otra cosa que la clave de todo el sistema organizativo andino, y que posibilitó no sólo la expansión territorial, sino, el mantenimiento del engranaje del régimen.

Todos los habitantes del Tahuantinsuyo, desde el más humilde campesino que cumplía con la prestación de servicios a su curaca, hasta el príncipe más soberbio, recibían, y con ello se consideraban «bien pagados», tanto telas como vestiduras (Murra, 1978a). El reparto y distribución de tejidos (así como de alimentos y otros bienes), era parte de una política redistributiva mediante donaciones a los diversos señores étnicos, a los jefes militares, a las huacas, etc. En general, todo el que tributaba u ofrendaba algo, recibía algo a cambio, según su posición social, pero que siempre incluía algún tejido. Cuando las poblaciones conquistadas ofrecían donativos a los generales cusqueños, tenían que necesariamente contener tejidos; así, cuando fueron vencidos los chimúes, mandaron a sus vencedores «**tejidos, conchas de mar y veinte doncellas**» (en ese orden estricto).

Con la lana de la alpaca y llama (técnicamente se les conoce como fibra) se hizo una gran variedad de textiles. Los «**cumbis**» eran telas finas confeccionadas en telares grandes y verticales, y los «**ahuasca**», telas domésticas de cualquier color, toscas y gruesas. A pocos años de la invasión española, la calidad y belleza de estas telas, hizo que se las comparara ventajosamente con las europeas. Según el Cronista Bernabé Cobo:

«(...) era cosa de espanto ver su hechura sin parecer hilo alguno».

Los cumbi camayoc confeccionaban tejidos asombrosamente suaves como la seda, magistralmente teñidos de colores vivos y muchas veces con trama de algodón, adornados con plumas, cuentas de conchas marinas y hebras de oro y plata. Un privilegio real o de la corte, fué el uso de telas confeccionadas con lana de vicuña, considerada entre las más finas del mundo; para ello, solo el Inca ordenaba los llamados «**Chacos**» o cacerías reales, donde se las atrapaban vivas para esquilirlas, soltándolas luego a su medio natural (Sumar, 1992a).

Igualmente las llamas eran objeto de una crianza y selección especializada, ya que debían servir como animales de carga, y eventualmente productores de carne. La llama servía para el transporte de diversos alimentos, leña, sal, minerales, etc., e inclusive personas con impedimentos físicos (cojos, jorobados). La llama fue el elemento integrador de la economía a lo largo y ancho del Tahuantinsuyo, y sirvió al igual que el caballo en Europa, a la conquista y consolidación del más grande imperio de América (Sumar, 1977).

Los camélidos contribuían también con otros múltiples usos, como los cueros que ablandados con la grasa de llama, se hacían las ojotas; asimismo, las **tajllas** estaban ligadas con correas de cuero de llama. Los huesos servían para fabricar instrumentos para los telares, y el estiércol seco, **takia**, sirvió para fundir metales, por la gran temperatura que produce al paso forzado del aire, así como combustible en las cocinas, especialmente en las punas, donde no existe ningún tipo de árboles y el carbón de hulla era desconocido. Hay también información que el estiércol sirvió de fertilizante para el cultivo de la papa amarga, la quinua, cañigua, etc.

LOS CAMELIDOS EN LA EPOCA DE LA INVASION EUROPEA

Es posible que el primer Camélido andino en ser visto por los europeos, fué el guanaco (*Lama guanicoe*), en ocasión del descubrimiento del Estrecho de Magallanes en 1520, pués en el diario de esa expedición y refiriéndose a los primeros indios patagones vistos por ellos, se dice lo siguiente: «iban vestidos de cueros de antas, pero son (sic) como camellos sin comba».

Sin embargo, parece ser que el conquistador don Francisco Pizarro y sus huestes, al llegar por primera vez a las costas peruanas, específicamente a Tumbes, entre los años de 1527 y 1529, vieron por primera vez a las llamas, según relato del Cronista Miguel de Estete ([1533]1947):

«(...)En este pueblo comenzaron a ver las ovejas que hay en aquellas tierras y de ellas metieron algunas en el navio que los indios le dieron de su voluntad...con mucha alegría el dicho Capitán Pizarro con su gente se volvió a Panamá a dar la nueva nueva de lo que habían visto...»

Es el año de 1532, indiscutiblemente, cuando Pizarro y su tropa desembarcan en Tumbes y fundan la primera ciudad española en el Perú (San Miguel de Piura), y luego marchan a Cajamarca, es que tuvieron un mayor contacto con estos animales desconocidos hasta entonces para ellos. Cuentan los Cronistas que Atahualpa, enterado de la marcha de los españoles hacia Cajamarca, les envía de presente un número de llamas. Y es después en el campamento de Atahualpa, que los europeos tuvieron la oportunidad de ver miles de estos animales, tal como nos cuenta el Cronista Francisco de Xerez, al describir el saqueo al campamento del Inca:

«(...)El Gobernador mando que soltasen todas las ovejas, porque era mucha cantidad y embarazaban el real, y que los cristianos matasen todos los dias cuantas hobiesen menester.»

Al estudiar los diversos documentos escritos por los Cronistas, encontramos que éstos hacen muy raramente la distinción entre las cuatro especies domésticas y silvestres de camélidos sudamericanos. Siendo soldados la mayoría de los Cronistas y estar involucrados en las guerras, vieron a los camélidos como alimento, dando muy buena cuenta de ellos. Esto dificulta en cierta medida, una mejor interpretación de la situación de la crianza en esa época (Sumar, 1992).

Mientras acompañaba a Hernando Pizarro a Pachacamac, en el primer año de la invasión, Estete observó que algunas de las «ovejas» eran de pequeña estatura y tenían lana muy fina. Esta parecería ser la primera mención de las alpacas.

Debido al derrumbamiento y quiebra del orden político, social y económico en el Tahuantinsuyu por efecto de la conquista, el número de camélidos domésticos declinó notablemente. Durante las guerras de conquista y la guerras civiles entre españoles, todos los bandos, tirios y troyanos, sacrificaron indiscriminadamente cientos de miles de llamas y alpacas, para su abastecimiento de carne y otros usos. El Príncipe de los Cronistas, Pedro Cieza de León ([1553] 1967), refiriéndose a estas matanzas nos dice:

«(...) Dios, nuestro sumo bien, crió en estas partes tanta cantidad del ganado que nosotros llamamos ovejas, que si los españoles con las guerras no dieran tanta priesa a lo apocar, no había cuanto ni suma lo mucho que por todas partes había.»

En la relación de Francisco de Xerez, considerada cronológicamente como la primera crónica sobre la conquista del Perú, se comenta el mismo hecho diciendo:

«(...) En toda esta tierra hay mucho ganado de ovejas. Entre los españoles que con el Gobernador estan se matan cada día ciento y cincuenta, y parece que ninguna falta hace ni harían en este valle [Chincha] aunque estuviesen (sic) un año en el».

Sabemos también por varios cronistas de los refinados gustos de los españoles, al consumir solamente la carne de animales tiernos o «corderos de la tierra». Otros aun más exquisitos solo gustaban de los tuétanos, y así nos los dice el Cronista Cristóbal de Molina, el chileno ([1533] 1968):

«(...) Asimismo, como cada español cargo de tan gran cantidad de gente de servicio, para que comiezen, era menester no guardar orden en los ganados, y así lo hacian en tanto grado que acontecio muchas veces algunos españoles, para solamente sacar los tuetanos, matar diez o doce ovejas».

También los europeos apreciaban considerablemente las piedras bezoares que se hallaban en el estómago e intestinos de los camélidos, y sacrificaban gran número de ellos, para extraerlos y usarlos en sus prácticas médicas y contravenenos. Constantemente, los galeones españoles, en sus partes de carga, reportaban cientos de arrobas de estas piedras bezoares (Sumar, 1992). A todo esto habría que añadir que, como consecuencia del descuido de la crianza de estos animales, se propagó una gran epidemia de «**karacha o carachi**» que es la sarna sarcóptica, de la cual nos dice Garcilaso de la Vega, en sus Comentarios reales de los Incas:

«(...) En el tiempo del Visorrey Blasco Núñez de Vela, año de mil i quinientos i cuarenta i cuatro i cuarenta i cinco, entre otras plagas que entonces hubo en el Perú, remanecio en este ganado la que los indios llaman karache, que es sarna, fue cruelisima enfermedad, hasta entonces nunca vista (...). Fue mal muy contagioso; despacho, con grandisimo asombro y horror de indios y españoles las dos tercias partes del ganado mayor y menor, a paco y huanacu. Dellas se les pego al ganado bravo, llamado huanacu y vicuna, pero no se mostró tan cruel con ellos por la región más fría en la que andan, y porque no andan tan juntos como el ganado manso».

Finalmente, la introducción al Tahuantinsuyu de los animales domésticos europeos (equinos, vacunos, cerdos y ovinos), desplazó a los camélidos, a los lugares más marginales de pastoreo, como son las altas punas de los Andes. Como lo señala Flores Ochoa (1982), la distribución espacial de alpacas y llamas en pisos ecológicos considerados marginales e inapropiados para otro tipo de animales domésticos, es el resultado de la política de dominación y de la cultura de la conquista española.

LOS CAMELIDOS EN LA EPOCA COLONIAL-VIRREINAL

Muy poca es la información que disponemos sobre crianza de camélidos en esta época de dominio español, que duró casi tres siglos; recientemente los archivos y bibliotecas nacionales y extranjeras, están siendo objeto de escrutinio para desentrañar esta época que nos tocó vivir.

Lo cierto es que la cultura de dominación española se impuso en todas las actividades de los pobladores nativos, entre las que se cuenta la ganadería; con el correr de los años se fueron introduciendo más especies y razas de animales domésticos, al mismo tiempo que se fué relegando a las zonas más remotas y marginales de pastoreo, a los camélidos y sus pastores, zonas que eran consideradas inhabitables para el hombre y los animales, quedando en manos de las etnias indígenas, predecesoras de las actuales comunidades campesinas. Otra forma de imposición económica, fué la presión ejercida sobre los dueños de rebaños, para que se deshagan como puedan o vendan los «carneros de la Tierra y compren de los españoles, las ovejas de Castilla».

Incluso, la Iglesia durante este período, directamente interesada en recabar diezmos de la producción agrícola que cosechaba productos originarios de España, que eran los únicos a los que gravaba este impuesto, prohibió el consumo de carne de camélidos y de cultivos andinos a fin de reforzar la introducción de productos exóticos provenientes de Europa (Velarde, 1992). Comunidades eminentemente alpaqueras como los Lupakas, vieron decrecer sus hatos en forma deliberada, por ventas que hacían a los mineros de Potosí o a los frailes, tal como lo dice Pedro Gutiérrez Flores ([1572] 1970) en su «Relato de la Visita Secreta en la Provincia de Chucuito»:

«(...) se quejaron que a como lo avian combenido tan barato valiendo el precio que tienen...en lo cual han sido muy dannificados los indios deste pueblo de más de que el ganado de la comunidad se lo vendió al dicho Agustín a precios bajos y no al que valia en aquel tiempo que es el que tienen declarado mayormente que todo el ganado que les vendió fue escogido y por mejor que tenían».

A partir de éste período se inicia una fuerte asociación entre pastores y ganado, iniciándose la creación de mitos y rituales en torno a la vivencia y crianza de estas especies. En la mayoría de los casos, los camélidos llegan a constituir el único sustento económico de las poblaciones campesinas de altura.

Las primeras ovejas de Castilla, denominadas así para diferenciarlas de las llamadas «ovejas de la Tierra», fueron traídas al Perú en 1536. En 1556 se vendían ya en las plazas del Cusco ovejas a 40 pesos la cabeza, y a 50 las escogidas. Conforme se reproducían, el precio de las mismas fué bajando. En 1590 las ovejas en pié valían 8 reales y 10 las selectas. Lo importante de este hecho es que la lana de oveja era «tanta que casi no tenía precio, que valía 3 a 4 reales la arroba». Se demuestra así el rápido crecimiento de la masa ganadera ovina, en detrimento de los camélidos (Garcilaso Inca de la Vega, [1609] 1976).

La burocracia colonial articuló la mayor parte de los modos de producción que permitieron aumentar los caudales de los reyes de España. Los Obrajes que fueron impuestos por los españoles en todas sus colonias del continente Americano, procesaron preferentemente la lana de ovino, y marginalmente se ocuparon de la fibra de los camélidos; el procesamiento de la mayor parte de la fibra producida por los cada vez menos numerosos camélidos, fueron procesados textilmente por los mismos indios, para su vestimenta, abrigo, costales, sacos, sogas, alforjas, etc.

En cambio los europeos no españoles mostraron otra actitud hacia los camélidos; así, Buffón (1789), el naturalista francés, escribió de ellos lo siguiente:

«(...) Es muy notable que siendo doméstica en el Perú, en México y en Chile, el Llama y el Alpaca, como son los caballos en Europa, o los Camellos en Arabia, apenas los conozcamos, y que después de más de dos siglos que los españoles reinan en aquellas vastas regiones, ninguno de sus autores no hayan dado una historia individual ni una descripción exacta de estos animales, que sirven diariamente, pues aunque según dicen, no se les puede transportar a Europa ni aun hacerlos de las montañas sin perderlos, o al menos de verlos padecer dentro de breve espacio, habiendo literatos en Quito, Lima y otras muchas ciudades, hubieran podido dibujarlos, descubrirlos, diseccionarlos».

En el mismo texto de Buffón se hace referencias a que el Rey Católico mandó llevar vicuñas a España con el fin de que se propaguen, pero que ninguna sobrevivió al clima europeo; dice textualmente:

«(...) La grande utilidad que se saca de su lana (Vicuñas domésticas o alpacas) hizo que los españoles procurasen naturalizarlas en Europa, a cuyo fin transportaron a algunas a España para hacerlas poblar; pero aquel clima las probó tal mal que murieron todas (...) Insisto sobre el asunto, porque imagino que estos animales serían una exelente adquisición para la Europa, y producirían más utilidades reales y efectivas que todo el metal del Nuevo Mundo, el cual no ha servido sino de cargarnos con un peso inutil, pues en otro tiempo se nos daba por un grano de oro o de plata lo que hoy nos cuesta un onza de estos mismos metales». Continúa diciendo:

«(...)De esta lana de Vicuña se hacen exelentes guantes y medias y también mantas y tapices de gran precio, siendo esta lana

tan cara como la seda, de suerte que este sólo género forma una rama en el comercio de las Indias Españolas, pues ni el Castor de Canadá, ni la Cabra de Siria, ni la oveja de Calmiquia, dan un pelo tan bello y precioso».

El relato continúa indicando que desde los años 1568-1569 tenían en España fábricas de paños de vicuña, de los cuales había abundancia y exedían en finura, suavidad y duración a los mejores que se hacían en Europa, y aun a los que en fábricas extranjeras se hacían con la misma lana de vicuña, porque estas se mezclaban con algodón y lana refina, lo que no se hacía en la fábrica de Guadalajara.

El sur andino en el siglo XVIII, se articulaba en base a la producción minera del alto Perú, Arequipa, Cusco, Potosí y el norte de Argentina se integraban como unidad comercial, intercambiando varios productos como panes de azúcar, aguardiente, tejidos de los Obrajes, vellones de fibra de alpaca y llama, etc. Con la decadencia de la minería éste circuito empieza a degradarse y colapsa definitivamente con la formación de las nuevas repúblicas emergentes de las guerras de independencia de España. En casi trescientos años de coloniaje decayó no sólo la agricultura, sino que para evitar la competencia y por política de sobreprotección a la producción lanar ovina se menoscabó, hasta casi desaparecer, la floreciente actividad del pastoreo aborígen y su textilera.

Al término del Virreynato e inicios de la República, quedaban en el territorio peruano solamente 440.000 alpacas y algo más de 1 millón de llamas (Sumar, 1992).

EL REDESCUBRIMIENTO DE LA ALPACA Y LA INDUSTRIALIZACION EN LA EPOCA REPUBLICANA

Durante la revolución industrial de Inglaterra y a pocos años de la independencia de España, se envían los primeros embarques de fibra de alpaca y llama a nuevos mercados, especialmente ingleses y se inicia una espectacular demanda por ésta materia prima, por lo que el sur peruano y Bolivia se articulan en el mercado internacional.

El milagro se inicia en Bradford, Inglaterra, con un modesto fabricante de telas llamado Titus Salt (Bentley, 1988). Este, nacido de una familia de agricultores en 1803, se unió a su padre quién dejó la tierra y se dedicó a la clasificación de lanas en la ciudad de Picadilly, Bradford en 1822. El éxito de Titus Salt se debió a las innovaciones que introdujo en el uso de nuevas y raras fibras en la manufactura de telas de lana peinada, especialmente alpaca y mohair. En 1836, encontró algunos fardos sucios de lana de alpaca, que habían sido olvidados en un rincón oscuro de un almacén de Liverpool. Al tiempo que sus dedos se deslizaban por una mecha de esas fibras, supo inmediatamente que estaba frente a una fibra de gran potencial y compró el lote a 8 d. la libra.

Viendo que las fibras sucias y desaliñadas, después de ser batidas, limpiadas y peinadas, podían ser transformadas en telas de lujo de la más alta calidad, en el período de tres años, la importación de lana de alpaca subió a la cantidad de dos millones de libras, a un precio de 2/6d la libra. En los años siguientes, su fábrica produjo millones de yardas de las telas más finas de alpaca del mundo. Para el año de 1850, la reputación de Titus Salt, como fabricante de telas finas, en su fábrica de Bradford, no tenía rival en Europa y América. En 1869, fué nombrado Barón de Inglaterra. La Tabla 1, nos muestra la exportación de fibra a Inglaterra, debido al descubrimiento de las cualidades textiles de la tibra de alpaca y de su uso.

TABLA 1.
EXPORTACIÓN DE FIBRA A INGLATERRA (MILES DE LIBRAS)

Año	Fibra
1835	184,40
1839	1.458,16
1840	1.650,00
1855	1.446,70
1857	2.359,01
1858	2.688,13
1873	4.024,68
1874	4.619,78
1926	5.385,60
1927	6.273,96
1973	6.435,88

Fuente: Sumar, J. (1986)

Esta circunstancia especial de la gran demanda de fibra de alpaca por la industria inglesa, da inicio a un nuevo período en la explotación y crianza de camélidos; se forman las primeras explotaciones comerciales, se consolidan los grupos compradores-exportadores en Arequipa y se liga a los mercados la producción de las economías campesinas de los pastores de altura. Desde esa época se desligan el proceso de producción de la comercialización e industrialización, siendo considerada como

una actividad extractiva por los comerciantes y procesadores de fibra.

En la segunda década del siglo XIX ya se puede apreciar en la ciudad de Arequipa muchas empresas comercializadoras extranjeras especialmente inglesas y francesas. En 1824, se designa al primer cónsul británico en Arequipa. En el período que va de 1830 a 1870 aparecen filiales de empresas extranjeras, así como empresas independientes de inmigrantes extranjeros, incrementándose el número de casas comerciales en el período 1870-1900 (Flores-Galindo, 1977).

La industria textil en el Perú, se inicia en 1859, al instalarse la fábrica de Lucre en el Cusco (de Romaña, 1993). Posteriormente, aunque sin mucho éxito otras fábricas del Cusco, inician con la textilería de alpacas, tales como Marangani y Urcos. Es a partir de la década del 70, cuando el gobierno otorga incentivos a la industria textil de Arequipa, que se instalan fábricas modernas y se inicia la exportación de tops e hilados. Las industrias peruanas han progresado y han desarrollado notablemente, exportando tejidos de punto y tejidos planos, de excelente calidad que satisfacen el mercado internacional.

Desde el año 1800 a la fecha, existen dos modalidades de comercialización de la fibra de alpaca, que consistían en las Ferias Anuales y Ferias Semanales. La primeras, llegaron a constituir factores importantes para el intercambio comercial, pues se compraban grandes lotes, ofertados por las haciendas ganaderas, directamente a los representantes de los grandes comerciantes con sede en Arequipa; era la llamada «fibra de finca», con predominancia hasta un 85% de fibra de color blanco. En cambio en las Ferias Semanales aunque ocupaban un lugar secundario, se ofertaba en pequeños lotes, la producción de los miles de pequeños campesinos, equivalente al 80% de la producción nacional; a esta fibra se le llamada «de colecta», donde intervienen una serie de agentes intermediarios, que a su vez ofertaban variados productos regionales de origen urbano. La modalidad de acopio en el caso de la fibra de llama es de «colecta», pues dicho animal es criado en casi el 100% por las comunidades campesinas. Con la construcción del ferrocarril del sur, se establecen sucursales en los principales centros poblados que se ubican en su recorrido. Esta forma de comercialización con algunas variaciones, se mantiene en la actualidad. Todavía se lleva a cabo la Feria de Macusani (Puno, Perú), que se celebra el 8 de diciembre y en donde tradicionalmente se fija el precio de la fibra para la próxima campaña. La producción estimada de fibra de alpaca y llama para 1990, es de 3.100 TM y 303 TM respectivamente. A partir de 1985 ya no se exporta fibra en bruto, por lo que los hilados han pasado a constituir el 37,67% de las exportaciones, los tejidos el 8,75% y los semi-procesados el 53,58% del total de fibra de alpaca y llama exportada (FIDA, 1990).

El mismo sistema de comercialización existe en Bolivia; según la JUNAC (citado por Rodríguez (1991), la fibra de alpaca (204 TM en 1988) tienen el siguiente destino: 11% a uso doméstico, 1,3% a rescatistas extranjeros, 45,5% a los artesanos y 42,2% al INFOL y otras industrias. La de la llama (445 TM para 1988) tiene el siguiente destino: 64,4% al uso doméstico, 15,4% a rescatadores extranjeros, 6,9% a artesanos y 13,3% a INFOL y otras industrias. Las empresas más importantes que procesan fibra de camélidos en Bolivia, son: la Hilandería de Pulacayo, dependiente de la Corporación de desarrollo de Potosí, FOTRAMA y la Industrias Textiles Forno.

En el caso de Chile, donde su masa ganadera de alpacas y llamas se encuentra concentrada en la zona altiplánica de la I Región, con población humana de origen aymara, su pequeña producción de fibra (9 TM de alpaca y 11 TM de llama) era en el pasado, orientada a países vecinos, y una muy pequeña parte de la producción se utilizaba por la artesanía local. Al crecer el interés en los camélidos, por acción del gobierno y algunas ONG's, en los últimos 12 años, la producción se orienta en su casi totalidad a una creciente y próspera industria artesanal semi-industrial, localizada en Arica (Bonacic *et al.*, 1991). En Argentina, los volúmenes de exportación de fibra de camélidos, fluctúa entre 20 y 150 TM (Frank, 1991).

Adicionalmente, otro producto importante de los camélidos domésticos lo constituye la carne; de ella se sabe de sus características nutritivas similares a otras carnes rojas, con la ventaja de sus bajos niveles de grasa y por ende de colesterol. La alpaca y llama, son especies muy aptas para la producción de carne en términos de rendimiento de carcasa (52-59%) y conversión de pastos. Según los últimos estudios, el factor de conversión a Unidades Ovino en términos de requerimientos de pasturas es de 1,0 en alpacas y de 1,5 en llamas, mientras que la relación de peso vivo es dos a tres veces más alta (San Martín y Bryant, 1987). Sin embargo, respecto a otras carnes rojas, la carne de camélidos tiene poca capacidad competitiva en el mercado, por los distorsionados hábitos de consumo de los países andinos; su precio es inferior en un 30-50% al precio de la del ovino, por lo que es consumida solamente por la población de más bajos ingresos. Una excepción la constituye el norte de Chile, donde viene desarrollándose un mercado preferencial y creciente para estas carnes.

Otra modalidad en el consumo de la carne de camélidos domésticos, es el «charqui», que desde muy antiguo fué la forma de transportar y conservar la carne por largo tiempo, teniendo más aceptación que la carne fresca, entre las poblaciones rurales y ciudades. En el Perú y Bolivia, una buena parte de la producción de carne de camélidos, es transformada en charqui.

En referencia a la evolución del número de camélidos domésticos en América Latina, después de haber llegado a su máxima expansión y desarrollo durante la vigencia del Imperio Inca, las poblaciones de éstos animales declinaron, hasta llegar a menos de 500.000 alpacas y 1 millón de llamas en el Perú, y poblaciones aun más bajas en Bolivia, Chile y Argentina, habiendo desaparecido del Ecuador. Es posible que en las primeras décadas del siglo XIX, con la exportación de fibra al mercado internacional, se haya incrementado esta población, aunque variando cíclicamente, de acuerdo a los precios también cíclicos y especulativos de las fibras de alpacas y llamas.

La Tabla 2 nos muestra la población actual de camélidos domésticos (alpaca y llama), en los países latinoamericanos.

TABLA 2.
POBLACION DE ALPACAS Y LLAMA EN LOS PAISES LATINOAMERICANOS

PAIS	ALPACAS	LLAMAS	TOTAL
ARGENTINA	5.000	150.000	150.000
BOLIVIA	324.336	2.022.569	2.346.905
CHILE	30.657	66.383	97.040
PERU	2.687.363	1.070.541	3.757.904
TOTAL:	3.047.356	3.309.493	6.356.849

Fuente: TEA 1991; Ministerio de Agricultura del Perú, Of. de Estadística Agraria, 1991; Frank, 1992; Rodríguez, 1992.

Del total de alpacas y llamas existentes en el mundo, el 59,1% corresponde al Perú, el 37,0% a Bolivia, el 2,4% a la Argentina, y el 1,5% a Chile. Sabemos que existen poblaciones en USA, Nueva Zelanda, Australia, Inglaterra, Canadá, etc., pero son poblaciones cuyo número no es significativo. Un dato importante, es que el Perú posee el 88,2% de las alpacas del mundo.

Los rebaños de alpacas y llamas en las áreas mayores de pastoreo, en los países andinos, parecen haber alcanzado un equilibrio natural con su ambiente, en competencia con otros animales domésticos y el hombre. Creo que la mayoría de las regiones están o han sobrepasado el límite de su capacidad de carga. En Chile la población está creciendo, por el interés puesto en la crianza de éstos animales y por la transferencia de rebaños a otras zonas de crianza como a la zona central y sur (Bonacic *et al.*, 1991). En Bolivia, se espera que en los próximos cinco años la población se incremente en una tasa aproximada de 1,5%, siempre y cuando las condiciones climáticas sean favorables (Rodríguez, 1991). En el Perú, la población se mantiene sin un crecimiento vegetativo considerable, y en cambio se están abriendo nuevas zonas de crianza en las sierras del norte y centro. En la Argentina, se avizoran perspectivas muy favorables para los camélidos, pasando por dos vías diferentes: la cría en áreas extrapuneñas y la evolución de la actividad tradicional (Frank, 1991). El Ecuador ha iniciado una política de rescate de las pocas poblaciones de llamas y alpacas declaradas en vías de extinción, e importación de alpacas de Chile y Perú (Vasco, 1991).

Aquí es pertinente referirnos a la introducción de camélidos a otras regiones, fuera de los Andes sudamericanos. Sin embargo me referiré primero a un pequeño ensayo escrito por William Walton en 1811 y editado en 1818; el autor describe las cuatro especies de camélidos, con muy interesantes datos históricos. Concluye hablando de la domesticación de la vicuña y sus cruzamientos con los «otros carneros peruanos», y del mejoramiento que se podría hacer en Inglaterra de los ovinos Merino y South-Down, cruzándolos con alpacas y vicuñas.

En 1858, Charles Ledger desembarcó en Sidney, Australia, alrededor de 274 animales, entre alpacas y llamas, que salieron del Perú y Bolivia, por el puerto la Caldera de Chile (Vietmayer, 1979). Ruíz de Lavison (1863), hace un recuento de las introducciones de alpacas y llamas a Europa a mediados del siglo XIX, y la presencia por lo menos de éstos animales en los jardines zoológicos de Madrid, Londres, Bruselas, Colonia, Frankfurt, Florencia, Amberes, París, etc. Uno de los más importantes embarques, organizado por Eugene Rohen, con 108 alpacas, 10 llamas y 1 vicuña, llegó a Francia, con solo 72 animales. Otro embarque salió del Puerto de Guayaquil, Ecuador, en 1863, como regalo del Presidente de ese país García Moreno, a Francia, arribando 47 llamas. En 1867, el peruano Alviña, introdujo desde Bolivia, alpacas y llamas a Montevideo, Río de La Plata y a Río de Janeiro (Alviña, 1872). Se intentó también la introducción a Inglaterra, Alemania, Estados Unidos y Cuba. Por diversas razones, la cría de estos animales no prosperó más allá de algunos ejemplares en zoológicos, parques de aclimatación y jardines.

Introducciones en el presente siglo han sido más exitosas, como la introducción a Estados Unidos de Norteamérica por el año de 1930, aunque en número muy reducido. A partir de 1979, Chile, país libre de la Fiebre Aftosa, exportó animales a USA, España, Israel, Irak, Brasil, Nueva Zelanda, Francia, Australia, Ecuador y Canadá.

La apertura de un mercado para la fibra de la alpaca y la instalación del ferrocarril Mollendo-Arequipa-Puno-Cusco (1868-1908), que tiene un efecto capital en el desarrollo de la ganadería del Altiplano peruano y boliviano, determinan que también la alpaca sea explotada en forma comercial, bajo el sistema de crianza extensiva, en grandes extensiones de pasturas llamadas «Haciendas», racionalizando la crianza, aunque con tecnología aplicada a el manejo de ovinos (de Romaña, 1993). En 1920, la compañía ferroacarrilera, gestiona la venida del veterinario escosés, Coronel Robert Stordy, para que realice investigaciones sobre las limitaciones al desarrollo de la ganadería ovina y de alpacas; para ello, el gobierno peruano, crea la «Granja Modelo de Chuquibambilla, en Ayaviri, Puno. Sin embargo, fué Harry Preston, quién en ese entonces contribuyó científicamente al conocimiento de las enfermedades de las alpacas. En 1932 se gradúa en Alfor, Francia, Alberto León Fontenoy, con una exelente tesis sobre «Les Auchenides», siendo luego profesor de las Universidades de San Marcos y La Molina.

Por la misma época, L. Maccagno, publica «Los Auquénidos Peruanos». El 23 de Junio de 1950, se crea la Granja Modelo de Auquénidos de «La Raya», donde se realizó la más importante contribución al conocimiento científico y tecnológico de la alpaca y llama, así como los primeros trabajos en vicuñas. En La Raya trabajaron y produjeron interesantes publicaciones: L.A. Calderón, Z.R. Gallegos, P.J. Gallegos, José Toledo, Manuel Moro, Mauricio San Martín, A. Vallenás, E. De La Vega, S. Fernández-Baca, etc. En Bolivia se distingue Armando Cardoso, con la publicación de su libro «Auquénidos en 1954». En la Argentina, Elías Romero, publica su libro en 1927 y posteriormente, Pablo Link (1941) escribe sobre las fibras de los camélidos.

Las entidades que han venido desarrollando consistentemente trabajos de investigación y generación tecnológica en camélidos domésticos en el Perú, incluyen al IVITA de La Raya, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, La Universidad Agraria «La Molina», la Universidad San Antonio Abad del Cusco, y el INIAA; además de ellas, existen un multivariado conjunto de ONG's, que por su origen y orientación diversa plantea un panorama bastante heterogéneo de efectos muy diluïdos y microlocalizados.

En Bolivia, destacan el Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA), con su estación experimental de «Patacamaya» y otras como Ulla-Ulla, Tomave, Cosapa y Belén; el Instituto de Fomento Lanero (INFOL), y las Corporaciones Regionales de Desarrollo, en especial CORDEOR, así como organizaciones campesinas (AIGACM) y ONG's. En Chile destacan la Universidad de Chile, la Universidad de Tarapacá en Arica, la Universidad de Valdivia, el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), la Corporación Nacional Forestal (CONAF), estas últimas tres, dependencias del Ministerio de Agricultura, así como la Asociación de Criadores de Alpacas y Llamas, y algunas ONG' en la que destaca el Taller de Estudios Aymara, TEA, con su ámbito de acción en la I Región.

En la Argentina, importante labor cumplió el Campo Experimental de Abrapampa (Jujuy) del INTA; figuran también la Dirección Nacional de Fauna (DNF), algunas Universidades como la Universidad Católica de Córdoba y el CONICET, así como la ONG, Fundación Camélidos Sudamericanos (FOCASUD), que poseen programas de desarrollo, fomento e investigación en camélidos (Frank, 1991).

Finalmente, la crianza de camélidos sudamericanos domésticos, se caracteriza por niveles bajos de producción y productividad. Sin embargo, esto no es tan grave si se considera las fuertes limitaciones del medio ambiente en que se realiza este tipo de producción; tales son las grandes distancias, las bajas temperaturas, la baja tensión de oxígeno, la sequía, la ausencia de servicios, etc. Los principales factores limitantes en la producción de camélidos, son la disponibilidad de alimentos, la condición sanitaria, y la capacidad genética de los animales, afectada por problemas de consanguinidad. En cuanto a la comercialización de los productos de la alpaca y llama, la intermediación es mencionada como una de los problemas más importantes, que es un sistema obsoleto, debiendo buscarse nuevos mecanismos de comercialización. Si a lo anterior agregamos el limitado volumen de oferta de los productores y la estacionalidad de la oferta de la fibra, podemos entender que al capital comercial no le interesa invertir en la actividad productiva de la alpaca, limitándose únicamente a una labor netamente extractiva, puesto que así obvia los costos de producción de la fibra.

Los exedentes obtenidos en el proceso de comercialización no son revertidos en la mejora de la producción de la alpaca, sino en otros sectores productivos, exigiendo al Estado que se preocupe de mejorar la enseñanza y tecnificación de la producción de la alpaca. El sector comercial e industrial de la alpaca, no ha contribuido en absoluto en el mejoramiento de la crianza, y más aun no se considera que tengan responsabilidad frente a esta problemática (Velarde, 1991).

Asimismo, con la preocupación mundial sobre la degradación ambiental y la agricultura no-sustentable, es tiempo de evaluar el rol de las alpacas y llamas, en los ecosistemas frágiles de las grandes alturas. Los camélidos son probablemente el ganado rumiante más apto ecológicamente. La historia de una constante hostilidad y negligencia hacia éstos animales, ha significado que nunca alcancen su gran potencial inherente, ni tengan el status global de otros ruminantes, como el ovino y las cabras.

REFERENCIAS

- Acosta, Joseph de (1590) 1962. Historia Natural y Moral de las Indias. Fondo de Cultura Económica, México.
- Alviña, Miguel, 1872. Alpacas, su cultivo, como elemento Principal de riqueza de la República de Bolivia, y su Aclimatación en otros países, Buenos Aires, 63 pp.
- Bentley, P., 1988. Sir Titus Salt of Saltaire. Camelids Chronicle, September 1988, Sky House, Newby, Penrith, Cumbria CA 10 SED, England, pp., 11.
- Bonacic, C., Castellano, G., González, G., Tapia, F. & Alfaro, L. 1991. Enfoque Global de la Situación y Perspectivas de la Producción y Conservación de los Camélidos Sudamericanos en Chile. In: Informe de la Mesa Redonda sobre Camélidos Sudamericanos. Lima Perú, 24-26 de Setiembre. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, pp., 41-50.
- Buffon, Conde de, 1789. Historia Natural, General y Particular, Escrita en Francés por el (...). Traducción al español por D.

Joseph Calvijo y Faxardo, Tomo VIII, Madrid.

Cieza De León, Pedro, (1553) 1967. El Señorío de los Incas. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.

Cobo, Bernabe, (1653) 1956. Historia del Nuevo Mundo. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid.

De Romaña, M., 1993. Datos históricos de la crianza de alpacas y conquista del mercado mundial (En prensa).

Estete, Miguel de, (1533) 1947. La relación del viaje que hizo el señor capitán Hemando Pizarro [...], en Xeres (1947).

Fida, 1990. Proyecto Regional de Desarrollo de Camélidos Sudamericanos (Argentina Bolivia, Chile, Ecuador y Perú). Informe de Identificación. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Informe N°0258-BO.

Flores-Galindo, A., 1977. Arequipa y el sur andino. Siglos XVIII-XX. Lima, Ed. Horizonte. 194 pp.

Flores-Ochoa, J., 1982. Causas que originaron la actual distribución espacial de las alpacas y llamas. Serie Ethnological Studies, 10.

Frank, E., 1991. Los Camélidos Sudamericanos en Argentina. Estado Actual, Acciones de Fomento y Desarrollo y Perspectivas Futuras. In: Informe de la Mesa Redonda sobre Camélidos Sudamericanos. Lima, Perú, 24-26 de Setiembre. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, pp. 17-29.

Garcilaso Inca De La Vega, (1609) 1976. Comentarios Reales de los Incas. Caracas, Biblioteca Ayacucho: 2 vol.

Guerrero, L., 1986. Los camélidos sudamericanos y su significado para el hombre de la Puna. Diálogo Andino N°5:7-90. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Gutierrez Flores, Pedro., (1572) 1970. Resultado de la Visita Secreta lega que hicieron en la provincia de Chucuito. Historia y Cultura N°4:5-48, Lima

Kent, J., 1988. El Sur más Antiguo: Revisión de la Domesticación de Camélidos Andinos. In: J.Flores-Ochoa (ed), Llamichos y Paqocheros. Pastores de Llamas y Alpacas. Centro de Estudios Andinos: 23-35.

Lara, J., 1966. El Tahuantinsuyu. Cochabamba Ed. Los Amigos del Libro. Enciclopedia Boliviana.

Latcham, R.E., 1922. Los Animales Domésticos de la América Precolombina. Publicaciones del Museo de Etnología y Antropología de Chile. Tomo III, 1:199.

León, A., 1937. Les Auchenides. Notes phylogéniques et zoologiques. Pafis, Vigot Frères.

Link, P., 1941. Alpaca llama, vicuña y guanaco. Imp. Ferrari Hnos, Buenos Aires. 45 p.

Molina, Cristobal de, (El Chileno). (.¿1533?) 1968. Relación de las muchas cosas acaecidas en el Perú [...] en la conquista y población [...]. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid.

Murra, J., 1978. Rebaños. In: La Organización Económica del Estado Inca. Siglo XXI Ed. pp. 82-104.

Murra, J., 1978 a. Los Tejidos. In: La Organización Económica del Estado Inca. Siglo XXI. América Nuestra (Ed), México. pp. 107-132.

Pizarro, Pedro, (1571) 1965. Relación del descubrimiento y conquista de los reinos del Perú. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid.

Rodríguez, T., 1991. Situación y Perspectivas de la Producción y Conservación de los Camélidos Sudamericanos en Bolivia. In: Informe de la Mesa Redonda sobre Camélidos Sudamericanos. Lima Perú, 24-26 de Setiembre. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, pp. 29-40.

Romero, E., 1927. Llamas y alpacas, vicuñas y guanacos. Imp.Gurflukel, Buenos Aires, 208 p.

Rostworowski De Diez Canseco, M., 1988. Historia del Tahuantinsuyu. Instituto de Estudios Peruanos, pp. 235-260

Rufz La Visión, M., 1864. Note sur les differents tentatives d'introduction et d'acclimation des lamas et alpacas qui ont eu lieu en europe. Société Imperiale Zoologique D'Acclimatation, De L'Acclimation des lamas et alpacas en Europe. Paris, pp. 327.337.

- Salzano, F.M. & Callegari-Jacques, S. M., 1988. South American Indians. A case study in Evolution. Clarendon Press, Oxford. pp. 1-26
- San Martín, F. & Bryant, F.C., 1987. Nutrición de los Camélidos Sudamericanos. Estado de nuestro conocimiento. Artículo Técnico T-9-505. College of Agricultural Sciences. Texas Tech. University.
- Shimada, M. & Shimada, I., 1985. Prehistoric llama breeding on the North Coast of Perú. *American Antiquity*. 50:3-26.
- Sumar, J., 1977. Algunos Indices de Productividad en la Llama. Anales de la Primera Reunión de la Peruana de Producción Animal (APPA) y I Simposio sobre Producción de Leche en el Perú, pp. 31-32
- Sumar, J., 1986. Proyecto de Desarrollo de la Crianza de Alpacas y Llamas. Plan de Operación de Operaciones. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA). Ministerio de Agricultura. Perú, 32 pp.
- Sumar, J., 1992. Los Camélidos Domésticos en el Perú. *Boletín de Lima*, Nº 79, pp. 81-95.
- Sumar, J., 1992. La Alpaca y los Tejidos de Camélidos de Ayer y Hoy. *Textiles Peruanos* Nº 4:30-32.
- Tea, 1991. Situación de la Ganadera Camélida en Chile. Taller de Estudios Aymara, Arica, Chile.
- Vasco, G. 1991. Situación y perspectivas de la Producción y Conservación de los Camélidos Sudamericanos en Ecuador; In: Informe de la Mesa Redonda sobre Camélidos Sudamericanos. Lima, Perú, 24-26 de Septiembre. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Velarde, R., 1992 Eficiencia y Factores limitantes del actual sistema de comercialización de fibra de alpaca. In: La Alpaca, Ventaja Comparativa Peruana. Retos y Oportunidades. Fundación para el Desarrollo del Agro. Lima, Perú, pp.105-116.
- Vietmayer, N, D., 1979. Visionary Adventurer Ruined by Bureaucracy. (History). *The Bulletin*, January 16
- Xeres, Francisco De, (1534) DE 1947. Verdadera relación de la conquista del Perú. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid.
- Zarate, Agustín De, (1555) 1947, Historia del descubrimiento y conquista [...]. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid.
- Walton, William, 1818. An Historical and Descriptive Account of the Peruvian Sheep, Called Carneros de la Tierra; And of the Experiments Made by the Spaniards to Improve the Respective Breeds. To which is added, An Account of a successful Attempt to domesticate the Vicuna in England, and a Recommendation of this Species to cross with our native Flocks. J. Booth (ed), Duke-Street, Portland-Place. London.
- Webb, S.D., 1978. A history of Savanna Vertebrates in the New World: Part II. South America and the Great Interchange. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 9:393-426.
- Wing, E., 1975. Hunting and Herding in the Peruvian Andes. In: A.T. Clason (Ed), North Holland Publishing Company, Amsterdam and Oxford, pp. 302-308.
- Wing, E., 1977. Animal Domestication in the Andes. In: C.A.Reed (ed), Mouton Publishers, The Hague, pp. 837-859.
- Wing, E., 1983. Domestication and Use of Animals in the Americas. In: L.Peel and D.E. Tribe, *World Animal Science, A: basic Information* Nº 1, Elsevier, Amsterdam, pp. 21-39.

CARACTERISTICAS FISIOLÓGICAS Y PRODUCTIVAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS DOMESTICOS

LUIS ALBERTO RAGGI SAINI. M.V; D.M.V.

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS, UNIVERSIDAD DE CHILE.

RESUMEN

Los camélidos sudamericanos domésticos, llama y alpaca, representan la principal fuente de sustento de los habitantes del Altiplano. Las características anatómicas y fisiológicas de estos animales les permiten sobrevivir y producir en condiciones ambientales extremas ya que se encuentran adaptados para enfrentar las bajas temperaturas, la menor presión parcial de oxígeno y la baja calidad nutricional de los pastos altoandinos.

ABSTRACT

The domestic South American camelids, llama and alpaca, represents the most important source of food and dress for the people of the andean high plateau. The anatomical and physiological characteristics of these animals allows them to survive in the extreme conditions of low temperature, hypoxia and nutritional low quality vegetation of the south american highlands.

INTRODUCCION

El crecimiento poblacional representa uno de los mayores desafíos para el desarrollo del ser humano. La explosión demográfica ha transformado a la alimentación, en particular la humana, en uno de los puntos cruciales, principalmente en lo que se refiere a la obtención de proteína. Por otra parte y como consecuencia del crecimiento de las ciudades producto de las migraciones desde el sector rural, es que el recurso agropecuario se ha visto disminuido en espacio y mano de obra, constituyéndose hoy en día, el tema de la protección del medioambiente y el impacto ambiental en aspectos que involucran a todas las actividades del hombre.

Por las razones anteriormente expuestas es que se deben aumentar los horizontes de la explotación animal para nuestro beneficio. Además, se debe orientar esta explotación hacia animales que no compitan con la especie humana en la obtención de sus recursos nutricionales. Son los rumiantes los que cumplen en mejor forma el requisito de ser «no competitivos», ya que utilizan un recurso primario vegetal y que en algunas especies de rumiantes es marginal, para convertir estos alimentos en proteína de buena calidad a través de la carne y leche entregando, además, lana, fibra, cuero y estiércol.

Los Camélidos Sudamericanos (CSA) han cumplido y cumplen en la actualidad, un papel importante en la economía de un vasto sector de la población que habita los Andes Altos. El estudio de su biología y el desarrollo de su crianza, han dependido exclusivamente del esfuerzo de un pequeño grupo de investigadores del área Andina (Argentina, Bolivia, Chile y Perú), con muy poca atención del entorno humano de sus respectivos países. Así mismo, el hecho de su relativo aislamiento y su poca dispersión hacia otras zonas del mundo, ha mantenido a estos animales fuera de los alcances de un escrutinio e interés científico internacional; aunque hoy en día, el mundo exterior a los Andes va mostrando un creciente interés por los CSA. La falta de conocimiento de estos animales, ha tenido pobres resultados tecnológicos y económicos, y por ello no han podido demostrar su gran potencial como fuente de sustento de grandes masas de población, quedando relegada su utilidad al poblador altiplánico, hecho que además los ha situado muy por debajo del status global a que han llegado otros rumiantes, como los bovinos, ovinos y aún los caprinos. Se debe también tener en cuenta, que la crianza animal no sólo debe ser económicamente rentable, sino, ecológicamente viable, por lo que los CSA encuadran perfectamente en lo que se ha llamado «super especies», con cualidades muy interesantes: ecológicas y económicas.

Existen actualmente cuatro especies de CSA, dos de las cuales son silvestres (Guanaco y Vicuña) y dos son domésticas (Alpaca y Llama). Chile cuenta con las cuatro especies distribuidas de diferente forma en su territorio continental. El mayor volumen de investigaciones se ha llevado a cabo en alpacas, existiendo menos información sobre la llama y la vicuña y prácticamente nada en la especie guanaco.

Desde el punto de vista pecuario centraremos la información en los camélidos sudamericanos domésticos alpaca y llama, ya que las especies silvestres vicuña y guanaco se encuentran protegidas, no existiendo actualmente la posibilidad de una explotación privada de este recurso, hecho que no implica que el estado vislumbre posibilidades de explotación futura.

CARACTERISTICAS FISIOLÓGICAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS DOMESTICOS

Los Camélidos Sudamericanos presentan una serie de características biológicas, que los diferencian del resto de los mamíferos, las que les permiten adaptarse a ecosistemas áridos y a la altura. De este modo, Vallenas (1970) afirma que la fisiología cardiovascular y respiratoria presenta condiciones propias, que han permitido a estos animales enfrentar las situaciones extremas que el medio les impone, compensando eficazmente la hipoxia a la que están sometidos. Urquieta y Martínez (1992) señalan que los Camélidos, mantenidos en la altura, tienen el mismo gasto cardíaco que los animales ubicados a nivel del mar, sin

embargo su frecuencia cardíaca es menor; disponiendo además de una gran superficie de intercambio y transporte de gases, lo que facilita la disponibilidad de oxígeno tisular. Por otra parte, los camélidos poseen glóbulos rojos elípticos y de pequeño tamaño y no circulares como los demás mamíferos, presentando un elevado recuento de células rojas totales con una vida media de 60 días, es decir, la mitad del tiempo estimado para el glóbulo rojo humano.

Otra característica fisiológica que presentan los camélidos, es su mecanismo de regulación térmica, que les permite mantener su temperatura corporal en un rango de variación más amplio que el de otras especies (De Carolis, 1987). A nivel del Altiplano, la respuesta termorreguladora se relaciona fundamentalmente con una condición de frío, dadas las bajas temperaturas y presencia de vientos imperantes en la zona. Gran parte de la resistencia a estas condiciones externas son producto de la presencia de una cubierta de fibra que los aísla del medio ambiente, la que se combina con actitudes conductuales o de manejo, que determinan que los animales en forma natural busquen zonas protegidas y permanezcan agrupados durante la noche (Crossley, 1989). En relación a la respuesta al calor se sabe que estos animales presentan una alta eficiencia en los mecanismos economizadores de agua.

Un aspecto fisiológico muy relevante de los camélidos sudamericanos, que los diferencia de los otros rumiantes y los hace aptos para habitar ecosistemas áridos, es la eficiencia de su sistema digestivo. Sus características digestivas los convierten en las especies mejor adaptadas para aprovechar la vegetación escasa y fibrosa de los ecosistemas de montaña. Lo anterior se debe a la selectividad que estos animales realizan en la pradera; al mayor tiempo de retención de los alimentos en el tracto digestivo; a la mayor frecuencia de contracciones estomacales y ciclos de rumia cortos; a la amplia relación flujo salival y tamaño estomacal y a la presencia de sacos glandulares en el estómago (Flórez, 1973).

Además de una anatomía y fisiología digestiva diferente a la del resto de los rumiantes, los Camélidos Sudamericanos tienen un patrón de comportamiento de pastoreo diferente, que los hace aptos en ecosistemas con praderas degradadas. Entre las principales características relacionadas con el pastoreo, se encuentran la pequeñez de las patas, con una almohadilla plantar que sostiene en forma balanceada un cuerpo ágil y liviano, lo que disminuye el deterioro de la pradera por pisoteo. Por otra parte al realizar la prehensión de pastos no lo hacen jalando o arrancando como otros rumiantes, sino que llevan a cabo un corte que conserva mejor el estrato herbáceo (Bustynza, 1986).

En relación a las características reproductivas más relevantes, se puede señalar que las pariciones son exclusivamente diurnas, con el objeto de asegurar una adecuada temperatura ambiental al recién nacido, además presentan una gestación prolongada y de una sola cría, lo que permite el nacimiento de individuos bien desarrollados (Fernández-Baca, 1971). Las características anteriormente señaladas, representan importantes adaptaciones al medio extremo del Altiplano.

Un antecedente importante de destacar es que todos los Camélidos Sudamericanos poseen el mismo número de cromosomas ($2N = 74$), característica que está muy relacionada con la capacidad de cruza fértiles entre especies (Bustynza, 1984). Por otro lado, no existe dimorfismo sexual en los miembros de esta familia.

CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS DOMESTICOS

La crianza de Camélidos Sudamericanos domésticos, es decir, la llama y la alpaca, constituye una actividad económica de gran importancia para un vasto sector de la región altoandina de Bolivia y Perú, principalmente, y en menor grado, de Argentina, Chile y Ecuador.

La explotación de los Camélidos se lleva a cabo siguiendo sistemas tradicionales, no siempre eficaces, lo que impide alcanzar su verdadero potencial genético. De este modo, Raggi (1992) señala índices productivos bastante bajos, tales como: 45 % de natalidad; 30 % de mortalidad de las crías en año lluvioso y 16 % en año seco; 10% de mortalidad en adultos; peso vivo promedio de 50 kg; rendimiento de la carcaza 54 % y peso de vellón a la esquila 1,6 kg.

Los principales productos que se comercializan, derivados de estas especies domésticas son: la fibra, la carne, los cueros y las pieles sobre todo de nonatos. En el caso de la llama por su mayor tamaño y fortaleza, también se utiliza como animal de carga, cumpliendo un papel importante en el transporte en aquellas áreas rurales carentes de vías de comunicación.

La fibra posee características singulares, principalmente en el caso de la alpaca, que permite que ésta tenga una cotización alta en el mercado internacional convirtiéndola en el producto de principal importancia. Algunas de estas características son: una gran finura con un rango de 20 a 43 micras; una resistencia hasta 3 veces superior a la lana de oveja, suavidad al tacto, gran poder aislante y una amplia versatilidad textil (FIDA, 1990).

La carne es otro de los productos que se obtiene de los Camélidos domésticos. La llama y la alpaca son muy aptas para la producción de carne en términos de conversión de pastos. Sin embargo, ésta tiene poca capacidad competitiva en el mercado respecto a otras carnes rojas, por el hábito de consumo que existe en los países andinos. Así, los precios son un 30 % a un 50 % inferiores al precio de la carne de ovino. Esto nos indica la necesidad de llevar a cabo estudios sobre las características nutritivas del producto, así como del desarrollo de tecnologías mejoradas para la obtención, procesamiento, conservación y comercialización. La carne también se comercializa seca (charqui), modalidad campesino - artesanal de procesarla, lo que

permite guardarla por más tiempo y comercializarla en otras zonas y momentos más oportunos. En los últimos años se ha experimentado el procesamiento de charqui mediante una tecnología campesina mejorada, que se ha comercializado en los centros mineros y en los barrios de inmigrantes de las grandes ciudades (FIDA, 1990).

Los cueros y las pieles se comercializan en forma fresca o salada. El mejor mercado es el de las crías abortadas y las muertas alrededor del parto siendo muy apreciadas en el mercado internacional. El proceso al que están sometidas las pieles depende de la calidad de la materia prima y de la curtiembre. Artesanalmente se confeccionan juguetes, gorros, zapatillas, cojines y tapices. Las pieles de mejor calidad se usan para prendas de vestir, colchas y cameros o sobrecamas (FIDA, 1990).

Por último no queda más que destacar la importancia de los camélidos para el mundo andino, considerando que existen en forma natural sólo en esta zona de Sudamérica, constituyéndose en un depósito de biodiversidad. Además, los camélidos domésticos representan un recurso pecuario insustituible para los habitantes del Altiplano y potencialmente representan, con una adecuada explotación, fuentes de divisas por los altos precios que los animales y sus productos alcanzan en el mercado internacional.

REFERENCIAS

- Bustinza, V., 1984. La potencialidad de los camélidos domesticados para el desarrollo andino. In: I Seminario Internacional de Camélidos Sudamericanos Domésticos. Trabajos y Resúmenes. Universidad de Tarapacá, Instituto de Agronomía, Arica, Chile, p. 197-199.
- Cardoso, A., 1954. Los Auquénidos. La Paz, Editorial Centenario.
- Crossley, J., 1989. Termorregulación en Camélidos sudamericanos en condiciones altiplánicas. In: Tópicos sobre biología y manejo de camélidos sudamericanos. Santiago, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Escuela Post - grado, Universidad de Chile, p. 14 - 29.
- De Carolis, G., 1987. Descripción del sistema ganadero y hábitos alimentarios de camélidos domésticos y ovinos en el bofedal de Parinacota. Tesis Ingeniero Agrónomo, Santiago. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestal, Universidad de Chile, 261 p.
- Fernández-Baca, S., 1971. La alpaca, reproducción y crianza. Ministerio de Agricultura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura. Lima, Perú. Boletín de Divulgación N° 7, 43 p.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), 1990. Proyecto Regional de Camélidos Sudamericanos, Bolivia, 1990, Informe Confidencial N° 0219 (BO).
- Florez, J.A., 1973. Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis. Programa Académico Medicina Veterinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Raggi, L., 1992. Camélidos: Una Opción Ganadera. El Campesino, 123 (7): 16 - 23.
- Urquieta, B; & Martínez, R., 1992. Adaptación de mamíferos al ambiente altiplánico. Monografías de Medicina Veterinaria, 14 (2): 55 - 63.
- Vallenas, A., 1970. Fisiología de la digestión de los auquenidos. In: Anales de la Primera Convención sobre Camélidos Sudamericanos (auquenidos). Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno, Perú, pp 69 - 78.

ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS EN EL ALTIPLANO

BESSIE URQUIETA M.

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS,
UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO

RESUMEN

Este trabajo es una revisión general que cubre brevemente algunos aspectos particulares de la reproducción de los Camélidos Sudamericanos que habitan en el Altiplano andino. Algunos de los aspectos aquí señalados dicen relación con la conducta social de la vicuña, conducta reproductiva de la alpaca, llama y vicuña, incluyendo: pubertad, conducta de apareamiento, mecanismo de ovulación, gestación y parto.

ABSTRACT

This report is a general review covering briefly some particular aspects on reproduction of South American camelids living in the Andean high - plateau, such as social behaviour of the wild vicuña, reproductive behaviour of alpaca, llama and vicuña, including: puberty, mating behaviour, ovulation mechanism, gestation and parturition.

INTRODUCCION

La mayor parte de la investigación científica realizada en los Camélidos Sudamericanos (CSA), tanto en estudios generales como específicos sobre reproducción, ha sido desarrollada en la alpaca y, en un grado mucho menor, en la llama. Las vicuñas han sido estudiadas principalmente desde un enfoque ecológico y/o etológico, habiéndose reportado sólo recientemente algunos estudios sobre reproducción.

CONDUCTA SOCIAL

Los Camélidos (Sudamericanos) tienen una estructura social bien definida (1), la cual se ha mantenido inalterada y ha sido estudiada en detalle en las especies silvestres. Así, se han reportado similares conductas en vicuña del Altiplano peruano y chileno (2,3,4).

Las vicuñas se organizan principalmente en dos formas sociales diferentes: los grupos familiares y los grupos de machos solteros. Mucho menos frecuentes, aunque descritos, son los machos solitarios (2,3,4).

La composición de un grupo familiar es un macho adulto, varias (desde 1 o 2 hasta 8) hembras adultas y sus crías recientes (menores de un año). La familia vicuña mantiene su territorialidad a través de todo el año, siendo el macho quien defiende el territorio de alimentación de la intromisión de animales vecinos y de los grupos de machos solteros. Esta defensa la impone generalmente sólo por su conducta dominante; sin embargo, en ocasiones también agrede a los intrusos persiguiendo, escupiendo y mordiendo. La composición individual de cada grupo familiar y los límites de sus territorios varían sólo levemente a lo largo de las distintas estaciones y de los años.

Los grupos de machos solteros no tienen territorios propios y deambulan pastoreando entremedio de las áreas ocupadas por los grupos familiares. El tamaño y la composición individual de un grupo de machos varía continuamente, al no tener cabecilla/s fijo/s. En términos generales, un macho juvenil permanece en el grupo por alrededor de tres años, hasta que es capaz de conquistar un territorio y hembras e iniciar vida familiar.

CONDUCTA REPRODUCTIVA

Los CSA son considerados usualmente como reproductores estacionales en su hábitat altiplánico natural. Su temporada normal de apareamiento en este ambiente ocurre en los meses más cálidos y húmedos, cuando el forraje es más abundante. En la alpaca, se ha reportado una temporada reproductiva que va desde fines de noviembre hasta principios de mayo (5); en la llama, la estación de cruce se extiende durante todo el verano e inicio del otoño (6). Aparentemente, la actividad sexual estaría determinada por el tipo de manejo; en la crianza extensiva, por la disponibilidad de forraje hacia fines del período de gestación y primeros meses de vida de los recién nacidos (7). Cuando machos y hembras se mantienen juntos durante todo el año, como ocurre con mayor frecuencia actualmente en los rebaños de alpacas y llamas del Altiplano chileno, los nacimientos se concentran en el período diciembre-marzo. Cuando las hembras vacías se mantienen separadas de los machos y se permiten los servicios sólo una vez al mes, tanto machos como hembras se muestran sexualmente activos durante todo el año (8).

Entre las especies silvestres se ha reportado una estación reproductiva para las vicuñas del Parque Nacional Lauca desde mediados de febrero a mediados de abril (4), mientras que en Pampa Galeras (Perú), estaría algo desplazada, correspondiendo

ésta al período marzo-mayo (9).

Una evaluación de la estación reproductiva en guanacos y vicuñas confinados en zoológicos, relativa a las tasas de nacimiento, ha indicado que éstos ocurren mayoritariamente entre septiembre y octubre en el Hemisferio Norte y principalmente en marzo en el Hemisferio Sur (10). Esto estaría en concordancia estacional con lo observado en su ambiente natural.

PUBERTAD

El establecimiento de la pubertad en los CSA ocurre alrededor del año de vida en la hembra, mientras que en el macho se alcanza más tardíamente, alrededor de los dos años. La actividad sexual, seguida de ovulación y fertilización, ha sido observada en hembras alpaca a partir de los 12 meses de edad (11). Como la fertilidad y las tasas de nacimiento están estrechamente relacionadas con el peso corporal al momento del apareamiento, se ha indicado un peso de 33 kilos como crítico para el éxito reproductivo en la alpaca de un año (12). Las prácticas de crianza generalmente retardan las cruza hasta los dos años de edad, tanto en hembras alpacas como llamas. Las hembras vicuñas de un año de edad son sexualmente receptivas (9), sin embargo, sus tasas de fertilidad a esa edad son naturalmente muy bajas (2). Las hembras vicuñas confinadas en zoológicos han parido sus primeras crías a la edad promedio de tres años (13).

Los machos alpaca comienzan a mostrar interés sexual y están aptos para montar hembras receptivas alrededor del año de edad, habiéndose reportado una edad promedio de 10,3 meses (14). Sin embargo, la mayoría de estos machos juveniles tienen adherencias pene-prepuciales que impiden la cópula normal y esta condición es considerada como una característica de inmadurez. La liberación de estas adherencias se completa aproximadamente a los 14 meses de edad, cuando el peso corporal es alrededor del 70% del peso adulto (14). Este proceso podría estar relacionado con los niveles de testosterona en los machos prepúberes aunque se han determinado concentraciones plasmáticas de testosterona en machos de 11 meses de edad similares a los niveles encontrados en adultos (15). Se han reportado, además, correlaciones altamente positivas entre edad, peso corporal y peso testicular, habiéndose detectado aumentos significativos en los pesos corporal y testicular entre los 18 y 24 meses de edad (16). Estudios de histología testicular han demostrado que la aparición de lumen en los túbulos seminíferos de alpaca ocurre a los doce meses y la primera observación de espermatozoides es posible a partir de los 15-18 meses (14,17). A esta misma edad puede observarse en los cortes histológicos células de Leydig con actividad secretora aparente (17). En llamas se han observado los primeros espermatozoides en los túbulos seminíferos a la edad de 22 meses (18). La práctica general es postergar el uso de los machos para encaste hasta que cumplan los tres años de edad.

En la vicuña se ha reportado que los testículos de un macho juvenil de alrededor de 16 meses de edad, en el mes de julio, eran inactivos, pero en un macho de dos años de edad, a mediados de marzo, estaban produciendo espermatozoides en forma activa (2). El mismo autor observó también aumento, tanto en el peso como en el tamaño testicular en los machos de dos años, aun cuando éstos no alcanzaban los valores encontrados en adultos.

CONDUCTA DE APAREAMIENTO

Alpacas, llamas y vicuñas muestran un patrón de apareamiento similar, en el que se distinguen dos fases: una inicial, de cortejo, seguida por aquella de la cópula (19). Durante la primera, el macho persigue e intenta montar a la hembra, prolongándose sólo pocos minutos si la hembra está receptiva. La segunda, en cambio, es de una duración mayor y más variable.

Las hembras no presentan un ciclo estral definido. Cuando están en celo muestran una conducta peculiar en presencia del macho; ya sea adoptan una posición prona cuando se les aproxima el macho, o bien, se acercan a parejas en cópula y adoptan dicha posición o se mantienen en la cercanía. Sólo ocasionalmente se observa a hembras en celo montando a otras hembras (20, 21). Durante la cópula las hembras muestran una actitud pasiva. Las hembras que no están en celo rechazan al macho corriendo y escupiéndolo.

Los cambios conductuales son mucho más evidentes en los machos que en las hembras. Durante ambas fases de apareamiento, el macho emite ruidos guturales característicos (9,19, 20).

La cópula la realizan en posición recumbente; el macho se ubica sobre y levemente detrás de la hembra, mostrando cambios deliberados de posición durante la inserción peneana y la finalización de la monta (9,19, 20).

Durante el coito, el macho vicuña presta poca atención a los otros miembros del grupo familiar, sin embargo, es capaz de interrumpir la cópula para alejar a otro macho o grupo de machos invasores de su territorio (2).

La cópula tiene una duración promedio bastante prolongada en todas las especies camélidas sudamericanas. En alpaca se ha reportado rangos desde 10 a 50 minutos (21) y desde 8 a 25 minutos (22), siendo el tiempo promedio de cópula calculado en el último estudio citado de 18,4 minutos. En llamas, se ha informado un tiempo promedio de cópula de 23,7 minutos, con un rango de 3 a 65 minutos (19) y en la vicuña se ha estimado en alrededor de 30 minutos (9).

OVULACION

Las hembras camélidas se clasifican dentro de la categoría de ovuladoras inducidas, habiéndose reportado que la ovulación es

un evento normalmente gatillado por la cópula en la alpaca (5, 21), la llama (23) y en la vicuña (24)

Se ha estudiado el efecto de diferentes estímulos de apareamiento en la inducción de ovulación, así como el de diversos tratamientos hormonales relacionados con esta respuesta ovárica. Se ha comunicado que en la alpaca la ruptura folicular ocurre alrededor de 26 horas después del estímulo coital y puede ser inducida por una inyección única de gonadotropina coriónica humana (hCG), en dosis tan bajas como 15 U.I., ocurriendo la ovulación a las 24 horas después de su administración (5). La misma dosis de hCG fue suficiente para causar la ovulación en el 50% de las llamas así tratadas (23).

Servicios únicos con machos intactos o vasectomizados provocaron la ovulación en un 77 a 88% de las hembras alpacas (21). Los mismos autores encontraron que aumentando a 3 el número de servicios con machos intactos en 24 horas, o, interrumpiendo los servicios 5 minutos después de su inicio, no se afectó significativamente la tasa ovulatoria (21). Otros investigadores, sin embargo, han observado un aumento en la ocurrencia de ovulación directamente relacionada con el tiempo de duración de la cópula (22).

Se ha reportado, además, que alrededor de un 20% de las alpacas fallan en presentar respuesta ovulatoria posterior al servicio con machos enteros o vasectomizados (21). Lo anterior varía de acuerdo al status reproductivo y la edad de la hembra, siendo 33% en hembras lactantes y 74% en hembras de un año con peso corporal de 35 Kg o más (25).

La ovulación en ausencia de cópula ocurre en una cuantía variable. En alpacas se ha reportado una tasa de ovulación espontánea de 5% (21); en otro estudio, se encontró un 43% (22). En ambos casos, el esquema experimental implicó la exposición de las hembras a machos celadores, aunque sin permitir la consumación de la cópula. Las tasas ovulatorias en hembras que recibieron sólo el estímulo de monta, ya sea por machos provistos de un mandil protector en la zona genital o por otras hembras, fueron bajas y no difirieron de aquellas observadas en hembras no cubiertas (21). En la llama, se ha comunicado que las ovulaciones espontáneas ocurren ocasionalmente y parece ser un evento más frecuente durante el máximo de la estación de montas (3 de 20 hembras controladas) (23). Ovulaciones múltiples ocurren en alrededor del 10% de las hembras alpaca luego del servicio natural (21).

La ovulación es seguida por la formación del cuerpo lúteo (CL) y la actividad ovárica, juzgada por el número de CL presentes en cada ovario, es similar, ya que la tasa de ovulación en el ovario derecho no difiere de la observada en el ovario izquierdo en la alpaca (21). El CL alcanza su máximo tamaño y actividad secretora alrededor del día 7 a 8 post ovulación, evaluado por los cambios en su tamaño y en la producción y secreción de esteroides. En ausencia de preñez, la actividad del CL declina rápidamente, observándose desarrollo de nuevos folículos en los ovarios. Este patrón de actividad luteal post monta estéril es similar en alpacas, llamas y vicuñas (26). Se ha reportado que la regresión del CL es completa a los 18 días post monta estéril en la alpaca (26), en la llama no preñada la vida funcional del CL es 16 días o menos (23), siendo en la vicuña alrededor de 12 días (24).

Se ha comunicado efectos luteolíticos diferentes entre los cuernos uterinos derecho e izquierdo en la alpaca, indicándose que la actividad luteolítica del cuerno derecho es sólo local, mientras que aquella del cuerno izquierdo tiene tanto efecto local como sistémico (27).

GESTACION

Las tasas de fertilización en la alpaca aparecen relativamente altas, habiéndose encontrado valores entre 70% a 80% a los 3 días post monta natural (21, 28). Sin embargo, la mortalidad embrionaria durante el primer mes de gestación es también muy alta, reportándose que sólo la mitad de los oocitos fertilizados sobreviven más allá de los 30 días. Las tasas de fertilización disminuyen desde 70% al día 3 a 35% en los días 28 a 31, mostrando cambios leves desde ese momento en adelante (28). Se ha reportado tasas de mortalidad similares en alpacas primerizas de un año y en adultas, exceptuando aquellas lactantes, siendo la incidencia de pérdida embrionaria significativamente menor en las últimas (25).

Aún cuando ambos ovarios son igualmente activos, la mayoría de las preñeces cursan en el cuerno uterino izquierdo, tanto en la alpaca (28) como en la llama (29). La migración de embriones desde el cuerno uterino derecho al izquierdo es común en la alpaca, como se ha evidenciado por la presencia de CL en el ovario derecho y de embrión en el cuerno uterino izquierdo (28).

La duración de la gestación en los CSA es de alrededor de once meses en las cuatro especies. En la alpaca, el período promedio de gestación es 342 y 345 en las razas Huacaya y Suri, respectivamente (20). En llama, de 310 a 350 días (6). En la vicuña silvestre se estima en 11 meses y en aquellas confinadas se han registrado períodos gestacionales de 346 a 356 días (13).

A pesar de la ocurrencia de ovulaciones múltiples, los nacimientos múltiples son muy poco comunes en los CSA, aún cuando las gestaciones dobles sí se observan durante el primer mes de gestación en la alpaca (20).

La placenta de los CSA es difusa y epiteliocorial. El CL aparece necesario para la mantención de la preñez, siendo la principal fuente de progesterona durante todo el período gestacional (20).

Los partos ocurren generalmente en la mañana, período más templado del día en el Altiplano y los recién nacidos se secan al calor del sol, ya que las madres no lamen a sus crías luego de su aparición. El proceso completo de parto toma alrededor de 3 horas y generalmente ocurre con la hembra en posición erguida sobre sus cuatro extremidades. La retención placentaria y distocias son poco comunes, no habiéndose observado placentofagia (20).

Estudios tendientes a conocer las tasas de natalidad de los rebaños de alpacas y llamas de la zona de bofedal de Parinacota, en el Altiplano chileno, indicaron un valor promedio de 62% de crías nacidas en relación al número de hembras encastadas, con un rango de 40% a 70-80% (30). Cabe señalar que esta información se obtuvo a través de encuestas directas a los productores.

POSTPARTO

Las hembras generalmente aceptan al macho dentro de las 48 horas de ocurrido el parto, aunque la regresión del CL y el desarrollo de folículos no se observa en los ovarios hasta alrededor del día 6 postparto. La involución uterina toma alrededor de 15 días en la alpaca y 20 días en la llama. Esto significa que para una mayor eficiencia de apareamiento, las hembras no debieran encastarse hasta por lo menos quince días después del parto.

REFERENCIAS

- (1) Bustinza, V., 1984. «The Camelidae of South America». In: The camelid. An all-purpose animal. Proc. Khartoum Workshop on Camels. 1979. Scandinavian Inst. of African Studies, Uppsala, Sweden.1: 112-143.
- (2) Koford, C.B., 1957. «The vicuña and the puma», Ecol. Monogr. 27: 153-219.
- (3) Franklin, W.L., 1974. «The social behaviour of the vicuña» In: The behaviour of ungulates and its relation to management. V. Geist and F. Walter, eds. I.U.C.N. Morges, Switzerland. 477-487.
- (4) Glade, A., 1982. «Antecedentes ecológicos de la vicuña (Vicugna vicugna Molina) en el Parque Nacional Lauca, I Región, Chile». Tesis. Fac. Cs. Vet y Pec., Univ. de Chile, Santiago, Chile, 105 p.
- (5) San Martín, M., Copaira, M., Zuñiga, J., Rodríguez, R., Bustinza, G., Acosta, L., 1968. «Aspects of reproduction in the alpaca». J. Reprod. Fert. 16(3): 395-399.
- (6) Cardozo, A., 1954. «Auquénidos», Editorial Centenario, La Paz, Bolivia, 230 p.
- (7) Rodríguez, T., 1982. «Epocas de reproducción en llamas» In: Seminario Reproducción de Camélidos. Instituto Nacional de Fomento Lanero (INFOL). Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz, Bolivia, p. 62-68.
- (8) Fernández-Baca, S., Novoa, C., Sumar, J., 1972. «Actividad reproductiva en la alpaca mantenida en separación del macho». Asociación Latinoamericana de Producción Animal (A.L.P.A.) Mem. 7: 7-18.
- (9) Hofmann, R., Otte, K., Ponce, C., Ríos, M., 1983. «El manejo de la vicuña silvestre», Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Germany, 1 & 2, 705 p.
- (10) Schmidt, C.R., 1973. «Breeding seasons and notes on some other aspects of reproduction in captive camelids». Inter. Zoo Year Book 13: 387-390.
- (11) Novoa, C., Fernández-Baca, S., Sumar, J., Leyva, V., 1972. «Pubertad en la alpaca». Rev. Inv. Pec. (IVITA). Univ. N.M.S.M. 1(1): 29-35.
- (12) Leyva, V., Sumar, J., 1984. «Evaluación del peso corporal al empadre sobre la capacidad reproductiva de hembras alpacas de un año de edad». In: IV Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Corporación Nacional Forestal, Instituto de la Patagonia. Punta Arenas, Chile, 1.
- (13) Schmidt, C.R., 1975. «Captive Breeding of the vicuña» In: Breeding endangered species in captivity. Academic Press. London, U.K. 271-283.
- (14) Pinares, C., Vivanco, W., Foote, W., 1985. «Desarrollo reproductivo en alpacas machos del nacimiento a los 18 meses de edad» In: VII Reunión Científica de la Asociación Peruana de Producción Animal (A.P.P.A.), Huancayo, Perú.
- (15) Losno, W., Coyotupa, J., 1979. «Testosterona sérica en alpacas macho prepúberes». In: Resúmenes de Proyectos de Investigación Univ. Nacional Mayor de San Marcos-Período 1975-1979. U.N.M.S.M., Lima, Perú. 116.

- (16) Losno, W., Montalvo, C., 1979. «Edad, peso vivo y peso testicular en la alpaca». In: Resúmenes de Proyectos de Investigación Univ. Nacional Mayor de San Marcos-Período 1975-1979. U.N.M.S.M., Lima, Perú, 114.
- (17) Montalvo, C., Cevallos, E., Copaira, M., 1979. «Estudio microscópico de perénquima testicular de la alpaca durante las estaciones del año». In: Resúmenes de Proyectos de Investigación Univ. Nacional Mayor de San Marcos-Período 1975-1979. U.N.M.S.M., Lima, Perú. 37.
- (18) Rodríguez, J., 1982. «Una revisión sobre los avances logrados en la fisiología de la reproducción en la llama (Lama glama)». In: Memoria Seminario Reproducción de Camélidos. Instituto de Fomento Lanero (INFOL), Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz, Bolivia, 7-20.
- (19) England, B.G., Foote, W.C., Cardozo, A., Matthews, D H., Riera, S., 1971. «Oestrus and mating behaviour in the llama (Lama glama)». Anim. Behav. 19: 722-726.
- (20) Sumar, J., García, M., 1986. «Fisiología de reproducción de la alpaca», In: Nuclear and related techniques in animal production and health (Proc. Symp. IAEA/FAO) International Atomic Energy Agency (IAEA) Vienna, Austria, 149-177.
- (21) Fernández-Baca, S., Madden, D.L.H., Novoa, C., 1970. «Effect of different mating stimuli on induction of ovulation in the alpaca» J. Reprod. Fert. 22: 261-267.
- (22) Vivanco, W., Cardenas, H., Bindon, B., 1985. «Relaciones entre duración de la cópula y momento de ovulación en alpacas». In: Libro de Resúmenes y Convención Internacional sobre camélidos Sudamericanos. Cuzco, Perú, 19p.
- (23) England, B.G., Foote, W.C., Matthews, D.H., Cardoso, A., Riera, S., 1969. «Ovulation and corpus luteum function in the llama (Lama glama). J. Endocr. 45: 505-513.
- (24) Urquieta, B., Rojas, J., 1990. «Studies on the reproductive physiology of the vicuña (Vicugna vicuña)». In: Livestock Reproduction in Latin America. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria, 407-428.
- (25) Bravo, W., Sumar, J., 1985. «Factores que deteminan fertilidad en alpacas». In: Libro de Resúmenes y Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Cuzco, Perú, R 4.
- (26) Fernández-Baca, S., Hansel, W., Novoa, C., 1970. «Corpus luteum function in the alpaca» Biol. Reprod. 3: 252-261.
- (27) Fernández-Baca, S., Hansel, W., Saatman, R., Sumar J., Novoa, C., 1979. «Differential luteolytic effects of right and left uterine horns in the alpaca. Biol. Reprod. 20: 586-595.
- (28) Fernández-Baca, S., Hansel, W., Novoa, C., 1970. «Embryonic mortality in the alpaca». Biol. Reprod. 3: 243-251.
- (29) Sumar, J., Leyva, V., «Relación entre la ubicación del cuerpo lúteo y la localización del embrión en la Lama glama)». In: Resúmenes de Proyectos de Investigación Univ. Nacional Mayor de San Marcos - Período 1975-1979. U.N.M.S.M., Lima, Perú, 2: 124.
- (30) De Carolis, G., 1987. «Descripción del sistema ganadero y hábitos alimentarios de camélidos domésticos y ovinos en el bofedal de Parínacota». Tesis. Fac. Cs. Agr. y For., Universidad de Chile. Santiago, Chile, 260 p.

ESTRATEGIAS NUTRICIONALES DE LOS CAMELIDOS SUDAMERICANOS EN LAS ZONAS ALTOANDINAS DEL PERU

FELIPE SAN MARTIN

CENTRO DE INVESTIGACIONES, IVITA LIMA-PERU

RESUMEN

Llamas, alpacas y ovejas pastorean en forma conjunta en muchos rebaños del Altiplano andino, la información disponible en relación a selectividad, consumo voluntario y digestibilidad, muestran que los camélidos están mejor adaptados que las ovejas a las duras condiciones ambientales de la región altoandina.

Palabras clave: camélidos Sudamericanos, selectividad, consumo, digestión.

ABSTRACT

Llamas, alpacas, and sheep graze jointly in many herds in the Andes. Available data on diet selectivity, voluntary intake, and digestion revealed that the South American Camelids are better adapted to the hard environment of the Andean region than are sheep.

Key Words: South American Camelids, selectivity, intake, digestion.

INTRODUCCION

Los Camélidos Sudamericanos (CSA) domésticos están asociados con la zona de puna en altitudes entre 3.600 a 5.000 m s.n.m., incrementándose la crianza de alpacas a partir de los 4.000 m. Así, en una encuesta de productores en los departamentos con mayor población de CSA en el Perú, se observó que en altitudes superiores a 4.300 m la proporción de las especies fue 61% para CSA, 30% para ovinos y 2% para vacunos.

Según la composición del componente primario en los sistemas de crianza, se distinguen aquellos donde la crianza de ovinos y CSA se manejan en conjunto y aquellos donde los ovinos y alpacas son manejadas separadamente. El primer sistema es característico de comuneros y pequeños y medianos productores, quienes poseen la mayor población de CSA en el Perú (78%).

Las praderas naturales de la sierra del Perú se estiman entre 21.315.000 a 24.015.000 ha. De éstas el 88% se encuentran localizadas en la zona altoandina y especialmente en la sierra sur (55%).

Para los Andes Centrales, Wilcok y Bryant (1984) clasifican hasta nueve asociaciones vegetales; mientras para la región sur Farfán *et al.* (1988) identifican ocho tipos de asociaciones vegetales (Cuadro 1).

CUADRO 1.

ASOCIACIONES VEGETALES EN LA ZONA ALTOANDINA DEL PERÚ

PASTIZAL DE ZONA SECA

- 1) *Festuca dolichophylla* - *Muhlenbergia fastigiata*
- 2) *Festuca rígida*
- 3) *Festuca orthophylla*
- 4) *Stipa obtusa* - *Stipa ichu*
- 5) *Calamagrostis amoena*
- 6) *Scirpus rigidus*

PASTIZAL DE ZONA HUMEDA

- 7) *Distichia muscoides*
- 8) *Festuca dolichophylla* - *Plantago tubulosa*

La zona altoandina se caracteriza por precipitaciones pluviales variables que van de 500 a 1.000 mm siendo el norte más lluvioso que el centro y el sur. Las precipitaciones, por lo general, vienen entre los meses de diciembre a marzo, período donde la precipitación puede alcanzar un 40-60% del total anual. En el sur árido llega al 60-70%. A este período le sigue un período largo de sequía completa (7-8 mm).

Además de los factores de altitud y precipitación, los suelos son pobres con disponibilidad marginal de nutrientes, la presión parcial de oxígeno y dióxido de carbono se encuentran reducidas en un 40% con respecto al nivel del mar; la temperatura media es baja con una gran variación diurna, las heladas son frecuentes y pueden ocurrir en cualquier estación del año. Bajo estas condiciones la productividad es baja y los CSA presentan ventajas sobre otras especies por su uso eficiente sobre el ecosistema altoandino.

El presente documento intenta examinar los mecanismos de adaptación de los CSA a las praderas altoandinas en lo referente a la selectividad, consumo y eficiencia digestiva. Se hace comparaciones con el ovino por ser la especie con quien comparte el nicho ecológico.

SELECTIVIDAD.

Comparaciones entre llama, alpaca y ovino señalan que estas tres especies tienen diferentes estrategias en su comportamiento alimenticio (Cuadro 2).

CUADRO 2.									
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS (%) DE LLAMA, ALPACA Y OVINO DURANTE LOS PERÍODOS SECO Y LLUVIOSO EN LOS ANDES DEL PERÚ									
Grupo de plantas	Período seco			Período lluvia			Promedio		
	Llama	Alpaca	Ovino	Llama	Alpaca	Ovino	Llama	Alpaca	Ovino
Gramíneas altas	38	24	17	45	28	20	42 ^{a1}	26 ^b	18 ^c
Gramíneas cortas	51 ^{ab}	38 ^a	43 ^{ab}	42 ^{ab}	29 ^a	66 ^a	46	34	54
Total de gramíneas	89 ^a	62 ^b	61 ^b	87 ^a	56 ^b	86 ^b	88	59	74
Plantas parecidas a las gramíneas	6	2	3	5	1	1	6 ^a	2 ^b	2 ^b
Herbáceas	4 ^b	35 ^a	35 ^a	7 ^b	42 ^a	13 ^b	6	38	24

En las praderas altoandinas la llama tiene una alta selección de gramíneas altas y fibrosas. Así mismo, realizan una menor selección de hojas en comparación con la efectuada por alpaca y ovino (San Martín, 1987). Esta característica selectiva es también observada por Cardozo (1954) y Franklin (1982), quienes indican la alta preferencia de la llama por forrajes secos altos y fibrosos. Estudios sobre consumo de agua y su relación con el consumo de materia seca señalan una relación más estrecha en llamas que lo observado en alpaca y ovino (Cuadro 3).

CUADRO 3.			
RELACIÓN CONSUMO DE AGUA (l) Y CONSUMO DE MATERIA SECA (KG) EN OVINO, ALPACA Y LLAMA			
Dieta	Ovino	Alpaca	Llama
Rastrojo de Avena y Quinua	2.14 ^{a1}	2.24 ^a	1.59 ^b
Rastrojo de haba	2.22 ^a 2.27 ^a	1.69 ^b	
1. Letras diferentes en fila indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)			

Estas peculiaridades selectivas de la llama, sumada a su distribución en zonas altoandinas más áridas (250 a 450 mm), son indicativos que estos animales están más adaptados para ambientes áridos.

El ovino, bajo las mismas praderas, muestra una mayor selectividad de hojas y gramíneas cortas que alpacas y llama. Por otro lado, la alpaca muestra una selectividad intermedia entre llama y ovino. Así mismo, estos estudios señalan a la alpaca como un

animal altamente adaptable con capacidad a variar su selectividad de plantas en las praderas de acuerdo a la disponibilidad del forraje. Esto también es observado al evaluar los índices de similaridad entre las dietas de alpaca, llama y ovino en la época seca (Cuadro 4). Así, en la pradera *F. dolichophylla* (Fedo) el índice es alto entre alpaca y ovino mientras que en la pradera *F. rígida* el índice es alto entre llama y alpaca.

CUADRO 4. INDICES DE SIMILARIDAD (%) ENTRE LAS DIETAS DE LLAMA, ALPACA Y OVINO EN TRES PASTIZALES DIFERENTES EN LOS PERÍODOS DE SECA Y LLUVIA						
Animal	Pastura Cultivada		Pradera <i>Festuca dolichophylla</i>		Pradera <i>Festuca rígida</i>	
	Seco	Lluvia	Seco	Lluvia	Seco	Lluvia
Llama vs Alpaca	99	94	67	59	84	51
Llama vs Ovino	75	73	60	55	61	60
Alpaca vs Ovino	76	74	83	61	70	59

CONSUMO

Los valores comparativos sobre consumo voluntario entre CSA y ovinos, tanto en condiciones estabulada como al pastoreo (Cuadro 5), señalan consumos inferiores en CSA del orden del 30%. Estas diferencias se deben a factores asociados tales como el mayor tamaño corporal y el relativo menor requerimiento de energía en los CSA (Schneider y col., 1974; Engelhardt y Schneider, 1977). Estos factores conllevarían a los CSA, como se señaló anteriormente, a ser menos selectivos que los animales pequeños (ovinos) y tener un menor potencial de consumo (Meyer y col., 1957; Jarmann, 1974).

CUADRO 5. CONSUMO COMPARATIVO ENTRE CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS (CSA) Y OVINO			
ESTABULADO		MS, % PV⁽¹⁾	
Alpaca	Ovino	Diferencia, %⁽²⁾	
X ± DE ⁽³⁾ 1.83 ± 0.46	X ± DE 2.29 ± 0.61	20	
Llama	Ovino	Diferencia, %	
X ± DE 2.0 ± 0.18	X ± DE 3.3 ± 0.77	39	
MO, g/Kg PV.^{75 (4)}			
Llama	Ovino	Diferencia, %	
X ± DE 52.8 ± 3.87	X ± DE 83.2 ± 12.97	36	
PASTOREO		MS, g/Kg PV.^{75 (5)}	
Llama (LL)	Alpaca (A)	Ovino (O)	Diferencia, %
X ± DE 46.8 ± 10.90	X ± DE 50.0 ± 9.24	X ± DE 68.1 ± 18.7	LL-O A-O 31 26
<p>1 Materia seca, porcentaje del peso. 2 [(Consumo ovino - consumo CSA)/ consumo ovino] x 100. 3 Promedio ± desviación estándar. 4 Gramos de materia orgánica por kg de peso metabólico. 5 Gramos de materia seca por kg de peso metabólico</p>			

El menor volumen de los compartimentos 1 y 2 (C1-C2) en CSA, por unidad de peso metabólico, comparado con el volumen del rumen-retículo del ovino, y el mayor tiempo de retención de la digesta en el tracto digestivo de los CSA (San Martín y Pryant, 1988), son también factores que por estar altamente relacionados con el consumo (Allison, 1985; Thorton y Minson, 1972) determinan la menor ingestión que se registra en los CSA comparado con el ovino.

La eficiencia alimenticia, que describe la relación producto obtenido por alimento consumido, de manera general, es determinado principalmente por el nivel de consumo. Así, en animales del mismo peso, aquél que consuma más será el convertidor más eficiente. Así mismo, especies con menores requisitos de mantenimiento serán mejores convertidores, toda vez que menor proporción del alimento consumido se dirigirá a cubrir estos requerimientos y mayor a los aspectos productivos. Soto (1989) sometió a engorde estabulado con concentrado a llama, alpaca y ovino (Cuadro 6). Los resultados muestran mejores ganancias de peso, consumo y conversión en el ovino con respecto a los CSA. Estos resultados, si bien favorece a los ovinos, deben ser críticamente analizados considerando el área ecológica en que los CSA se crían. Así, los CSA se crían en áreas donde la disponibilidad y calidad del forraje es pobre durante la mayor parte del año. Por lo tanto, en esas condiciones, el menor potencial de consumo así como la mayor capacidad digestiva sobre alimentos de pobre calidad (como veremos más adelante) hacen de los CSA animales ecológicamente más eficientes.

CUADRO 6.			
GANANCIA DE PESO DIARIO, CONSUMO DE ALIMENTOS Y CONVERSION ALIMENTICIA EN LLAMAS, ALPACAS Y OVINOS			
Indices	Llama	Alpaca	Ovino
Ganancia de peso, g/d	177.0	113.0	190.0
Consumo, % peso vivo	2.6	2.3	4.6
Conversión alimenticia, Kg/Kg PV	9.8	10.8	7.5

EFICIENCIA DIGESTIVA

Revisando las pruebas de digestibilidad entre alpaca y ovinos (San Martín y col., 1985) hallaron que las digestibilidades de la materia seca, proteína cruda y fibra cruda de las dietas experimentales con un contenido proteico igual o menor a 7.5% fueron superiores en alpacas, mientras que los valores fueron similares cuando las dietas experimentales tuvieron un contenido proteico igual o superior a 10,5% (Cuadro 7).

CUADRO 7								
COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS DE COEFICIENTES DE DIGESTION (%) ENTRE ALPACA Y OVINO EN FUNCION DEL NIVEL DE PROTEINA EN LOS ALIMENTOS ESTUDIADOS.								
Indices	Proteína cruda en los alimentos, %							
	< 7.5				> 10.5			
	Pruebas (n)	Alpaca	Ovino	Diferencia (alpaca-ovino)	Pruebas (n)	Alpaca	Ovino	Diferencia (alpaca-ovino)
Materia seca	7	63.7 ± 8.5	56.0 ± 3.9	7.7	9	60.8 ± 11.0	62.0 ± 10.7	-1.2
Proteína cruda	5	42.1 ± 2.0	36.1 ± 15.6	6.0	9	60.0 ± 7.3	61.9 ± 5.9	-1.9
Fibra cruda	9	67.7 ± 1.2	61.9 ± 11.4	5.8	9	57.5 ± 15.2	58.5 ± 13.2	-1.9

San Martín (1987), al evaluar diferencias en la capacidad digestiva entre llama y ovino, proporcionando dietas de diferente calidad nutritiva en términos de proteína y energía, así como dietas isoproteicas con diferentes niveles de fibra (Cuadro 8), halló que, en ambos experimentos con la excepción del tratamiento alta calidad nutritiva, la llama tuvo mayores coeficientes de digestibilidad que el ovino. En conclusión, estos datos sugieren que los CSA son más eficientes que los ovinos en la digestión de alimentos de mediana y baja calidad.

Debido a que uno de los factores limitantes de la utilización de la celulosa es su lenta tasa de degradación microbial, el tiempo de retención de las partículas alimenticias en las cámaras fermentativas del estómago es de crucial importancia.

CUADRO 8.										
COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD (%) DE OVINOS Y LLAMAS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LA DIETA.										
Coeficiente de digestión	Tratamientos						EE ⁽²⁾	Promedio		Significiencia
	Bajo		Medio		Alto			Ovino	Llama	
	Ovino	Llama	Ovino	Llama	Ovino	Llama				
Materia orgánica	41	51	52	60	75	73	1.3	56	62	E** T** ExT*
Fibra detergente neutro	33	43	32	43	40	40	2.2	35	42	E** ExT*
Fibra detergente ácido	42	47	34	40	41	46	2.1	39	44	E* T*
Proteína cruda	19	24	37	38	73	68	1.9	43	43	T**

1. Alto: 15% de proteína cruda (PC) y 3.2 Mcal de energía digerible/Kg de materia seca (ED). Medio: 11% PC y 2.8 ED. Bajo: 7% PC y 2.2 ED.
 2. Error estándar de los promedios. 3. E = especies; T= tratamientos; ExT= interacción especies por tratamientos; **= P<0.01; *=P<0.05.
 Fuente: San Martín (1987).

Estudios comparativos entre CSA y otros rumiantes (suborden Pecora) señalan que los CSA retienen al alimento en el tracto digestivo por un mayor tiempo. Así, Flórez (1973) encontró un mayor tiempo de retención del alimento en alpacas (50.3 h en comparación a los ovinos 43.2 h). San Martín (1987), en un estudio comparativo entre llama y ovino (Cuadro 9) señala un mayor tiempo de retención de partículas en llama (62 h) que en ovinos (41 h). Asimismo, Clemens y Stevens (1980), en un estudio comparativo entre 10 especies de mamíferos, encontraron que las llamas retienen partículas grandes por un período de tiempo mayor que el vacuno y el caballo. Heller y col. (1986) señalan que el tiempo de retención en llamas para partículas de 0.2-1.0 cm es de 52 h, mientras que para partículas de 2.5-4.0 cm es de 60 h.

CUADRO 9.		
PROMEDIOS ESTIMADOS DE LA TASA DE PASAJE DE LA FASE SOLIDA EN LLAMA Y OVINO.		
Indíces	Ovino	Llama
Retículo-rumen, %/h (K_1)	4.6	3.5
Tiempo de retención en Retículo-rumen, h ($1/K_1$)	22.0	29.0
Aparición de las primeras partículas marcadas en heces, h	12.0	19.0
Tiempo de retención total, h	41.0	62.0

Blaxter (1963) establece que la máxima digestión ocurre unicamente si el pasaje del alimento es más lento a nivel de las cámaras fermentativas, permitiendo así que el alimento sea expuesto al ataque microbial; en cambio, cuando la tasa de pasaje es incrementada, hay una depresión en la digestibilidad de los alimentos de pobre calidad. Por otro lado, la digestibilidad de los alimentos de alta calidad es relativamente inafectada por el tiempo de retención en el rumen-retículo. A su vez, ésta es compensada a nivel post ruminal (Schneider y Flatt, 1975; Van Soest, 1982).

El mayor tiempo de retención de los alimentos en los CSA explicaría, en parte, esta mayor capacidad de digestión de la fibra.

Con respecto a la tasa de pasaje de la fase líquida en los C1-C2 de los CSA comparada con la de los ovinos, San Martín (1987) encontró una tasa de pasaje más rápida en llama (10.4%/h) que en ovino (7.7%/h). Asimismo, Clemens y Stevens (1980) encontraron que la llama posee una tasa de pasaje más rápida de los fluidos y partículas pequeñas que el vacuno y el caballo. Heller y col. (1984) por otro lado, determinaron que los tiempos de retención de los fluidos en el C1-C2 y en el tracto digestivo fueron de 9.7 y 36.2 h, respectivamente. Maloy (1972) observó un flujo de la fase líquida más rápido en el estómago del camello que en novillo de la raza Cebú.

La más rápida tasa de pasaje de la fase líquida es CSA comparada con la de las especies del suborden Pecora, puede ser producto de la alta relación entre el flujo salival y el tamaño del C1-C2 en los CSA (Ortiz, 1971) Así, Owens e Isaacson (1977) señalaron que el principal determinante de la tasa de pasaje de la fase líquida parecería ser la cantidad de saliva deglutida. El menor tiempo de retención de la fase líquida en CSA podría traducirse en una mayor eficiencia del crecimiento microbial en el C1-C2, asegurando que sólo una mínima cantidad de energía sea destinada para mantenimiento de la población microbiana (Isaacson y col., 1975; Hespel y Bryant, 1979; Orskov, 1982).

Además del factor tiempo de retención, la mayor eficiencia de digestión en los CSA puede ser debida a la mayor frecuencia de contracciones en el estómago y ciclos de rumia, la más amplia relación flujo salival y tamaño del estómago y presencia de sacos glandulares en el estómago. Estas peculiaridades del sistema digestivo de los CSA permitirían una más eficiente maceración, mezclado y absorción de la digesta. Por otro lado, la mayor digestibilidad de los alimentos de baja calidad por los CSA podría también deberse a la habilidad de estos animales de mantener una mayor concentración de NH_3 en el C1-C2 comparado con el ovino (Engelhardt y Schneider, 1977; Hinderer y Engelhardt, 1975). Esto proveería a los CSA más Nitrógeno disponible para la síntesis microbiana, mejorando la digestibilidad.

CONCLUSION

Al evaluar comparativamente la selectividad, consumo y eficiencia digestiva de los CSA y el ovino, podemos notar grandes diferencias que favorecen a los primeros para sobrevivir y producir en condiciones medio ambientales muy difíciles.

Los CSA han podido adaptarse a estas condiciones por su capacidad a seleccionar especies predominantes a las zonas altoandinas; soportar mejor el estrés hídrico; poseen un mayor tiempo de retención de los alimentos fibrosos, pre requisito a una mayor eficiencia para la digestión de alimentos con un alto contenido de celulosa y por último; tener un menor potencial de consumo. De esta manera sobreponerse a las limitaciones nutricionales de las praderas altoandinas caracterizadas por la pobre disponibilidad de forraje y contener nutrientes altamente diluidos por carbohidratos estructurales.

REFERENCIAS

- Wilcok, B.P y F.C. Bryant, 1987. Asociaciones vegetales en las praderas naturales de la sierra central del Perú In: L.C. Fierro y R. Farfán (eds).y Investigaciones sobre pastos y forrajes de Texas Tech University en el Perú, Vol. I, Lima - Perú.
- Farfan, R., T. Huisa, D. Holgado y F.C. Bryant, 1988. Comunidades vegetales altoandinas. In:F. San Martín y F.C. Bryant (eds.). Investlgaciones sobres pastos y forrajes de Texas Tech University en el Perú, Vol. IV, Lima - Perú.
- Allison, C.D., 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants. A review. *J. Range Management*, 38:305-311.
- Blaxter, K.L., 1963. The energy metabolism of ruminant. London Hutchinson Sci. and Technical.
- Cardoso, A., 1954. Auquénidos. Centenario, La Paz, Bolivia.
- Clemens, E.T. y Stevens, C.E., 1980. A comparison of gastrointestinal transit time in ten species of mammals. *J. Agric. Sci., Camb.* 94:735-737.
- Engelhardt, WV. y Schneider, W., 1977. Energy and nitrogen metabolism in the llama. *An. Res. and Develop.* 5:68-72.
- Florez, J.A., 1973. Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis . Acad. Prog. Med. Vet., Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Franklin W.L., 1982. Biology, Ecology and relationship to man of the Southamerican camelids. In *Mammalian Biology in South. M.A. Mares and H.H. Genoways (eds.) pp.457-489. The Pymatuning Symposia in Ecology, Pittsburgh.*
- Harrison, D.G.; Beever, D.E.; Thompson, D.H. y Osbourn, D.F., 1975. Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.*, 85:93- 101.
- Heller, R.V.; Gregory, P.C. y Engelhardt, W.V., 1984. Pattern osmotility and flow of digesta in the forestomach of the llama *Lama guanicoe* F. glama *J. Camp. Physiol. B.*, 154:529-533.
- Heller, R.V.; Cercosov, V.Y. y Engelhardt, WV., 1986. Retention of fluid and particles in the digestive tract of the llama. *Lama guanicoe* F. glama *J. Camp. Biochem. Physiol., A.* 83(4):687-691.
- Hespel, R.V. y Bryant, M.P., 1979. Efficiency of rumen microbial growth influence of some theoretical and experimental factors on YATP. *J. Anim. Sci.*, 49:1640-1659.
- Hinderer, S. y Engelhardt, W.V., 1975. Urea Metabolism in the llama. *J. Camp. Biochem. Physiol., A.*, 52:619-622.
- Isaacson, H.R.; Hinds, F.C.; M.P. Bryan y Owens, F.N., 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dary Sci.*, 58:16-45.
- Jarman, P.J., 1974. The social organization of antelope in relation to the ecology *Behaviour.* 48:215-267.

Maloy, G.N. 1972. Comparative studies on digestion and fermentation rates in the forestomach of the one-humped camel and the cebu steer. *Res. Vet.*, 13:476-481.

Meyer, J.H.; Lofgreen, G.P., y Hull, J.H., 1957. Selective grazing sheep and cattle. *J. Anim. Sci.*, 16:766-772.

Orskov, E.R. 1962. Protein nutrition in ruminants. New York, Academic Press.

Ortiz, C.F., 1971. Contribución al estudio de la saliva parotídea de la alpaca: pH, Na, K y Ca. Tesis Prog. Acad. Med. Vet., Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Owens, F.N. e Isaacson, H.R., 1977. Ruminant microbial yields: factors influencing synthesis and bypass. *Fed. Proc.* 36:198-202.

San Martín, F.; Farfán, R. y Valdivia, R., 1985. Digestibilidad comparativa entre alpacas y ovinos. V Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Cuzco, Perú. Resumen.

San Martín, F., 1987. Comparative forage selectivity and nutrition of South American Camelids and Sheep. Ph. D. Diss., Texas Tech Univ., Lubbock.

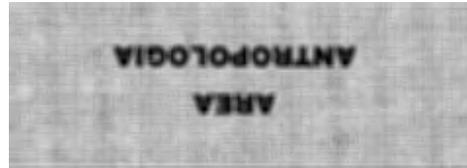
San Martín, Ryant, F.C., 1988. Comparación de las tasas de pasaje de la fase líquida y de la fase sólida en el tracto digestivo de llama y ovino. In: investigaciones sobre Pastos y Forrajes de Texas Tech. University en el Perú pp. 84TM 93.F. San Martín y F.C. Bryant (eds.). Artículo Técnico T-9-550. College of Agricultural Sciences: Texas Tech University, Lubbock.

Schneider, W.; Hauffe, R. y Engelhardt, W.V., 1974. Energy and nitrogen exchange in the llama, In: European Animal Production Association, Publ. N° 14: 127-130.

Schneider, B.H. y Flatt, W.P., 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press, Athenas.

Soto, H., 1989. Respuesta comparativa en el engorde estabulado del ovino, la alpaca y la llama. Tesis Ing. Zootecnista. Univ. Nac. La Molina.

Van Soest, P.J., 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O. & B. Books, Inc., Cowallis.



EL CAMPESINADO ALTOANDINO DEL NORTE DE CHILE

MILKA CASTRO LUCIC

DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGÍA,
UNIVERSIDAD DE CHILE

RESUMEN

Se presenta una síntesis de la situación de los campesinos andinos, en general, y de Chile, en particular. Efectuando una revisión de las formas de organización económica y social que sustentaron la vida en el ecosistema andino se contraponen algunas acciones de desarrollo impulsadas desde los estados nacionales. Específicamente, para el caso de Chile, se revisan causas y efectos de algunas vías de «integración» de estos espacios naturales y culturales al desarrollo nacional, las que más bien han representado una amenaza para la reproducción de ambos ambientes.

ABSTRACT

This paper presents a synthesis of the general situation of the andean peasant, and in particular about those ones in Chile. Starting from a review of the economic organization forms that support the livelihood on the andean ecosystem, and some state development actions. Specifically, in the case of Chile, there is a review on the causes and effects of some ways of «integration» of these natural and social spaces, to the national development. It assumes that these ways have been a serious threat to reproduction of natural and cultural environment.

EL ECOSISTEMA ANDINO

Las montañas y las tierras altas representan aproximadamente el 36% de la superficie de la Tierra; en ellas viviría el 10% de la población del mundo, aunque un número muy superior depende de alguna forma de los recursos de las montañas (Fairbridge, 1968; Messerli, 1983, en García-Ruiz, 1990).

El continente sudamericano es atravesado de Norte a Sur por una inmensa cadena montañosa: la ecoregión andina. En 7.200 km de recorrido por siete países, ocupa más de 50° de latitud y una superficie de 200 millones de hectáreas, con una población que sobrepasa los 30 millones de habitantes, y que se caracteriza por tener los ingresos más bajos de Latinoamérica (Tapia, 1993).

En esta ecoregión, el autor citado distingue, en un macronivel, cuatro condiciones ambientales diferentes: la primera, más húmeda, se extiende desde Venezuela hasta el sur del Ecuador y norte de Perú; luego la región, con humedad variable, que llega hasta el nudo de Vilcanota en Perú y la región oriental de los Andes en Bolivia; continúa una zona de alto riesgo climático y productivo, en el Altiplano que ocupa territorios al sur de Perú y la región occidental de Bolivia alrededor del lago Titicaca; finalmente los Andes meridionales, de menor uso agrícola, que se extienden por todo el territorio entre Argentina y Chile.

Este gran ecosistema de montaña presenta, por tanto, múltiples condiciones microclimáticas y una gran riqueza en biodiversidad, esto es, variedad de genes dentro de las especies, variedad de especies dentro de una región, y variedad de ecosistemas. La riqueza actual es producto de millones de años de evolución, de culturas humanas que se adaptaron al entorno local descubriendo, usando y modificando recursos bióticos locales. Muchos ámbitos que ahora parecen naturales llevan la marca de milenios de habitación humana, de cultivo de plantas, y de recolección de recursos. La biodiversidad, fue modelada además, por la domesticación e hibridación de variedades de cultivos y animales de cría.

Estas prácticas estuvieron en la base de un estilo de vida andino, donde los segmentos comprendidos en el área, eslabonados e incorporados a un régimen de interacción sociopolítica y pluriétnica, controlaban una multiplicidad de ambientes de producciones diversificadas (Núñez, L. en este mismo volumen). Los creadores de las culturas de montañas muestran la magnitud del esfuerzo humano transformador del medio y aprovechador de las más precarias condiciones de sobrevivencia; esto ha llevado a sostener que la presencia del hombre andino es requisito para la conservación de ese medio transformado a lo largo de siglos (Ortega, 1983).

También la diversidad cultural puede ser considerada como parte de la biodiversidad (WRI.UICN.PNUMA., 1992). La sociedad andina se ha manifestado culturalmente en una variedad de acciones que han representado soluciones a los problemas de la supervivencia en los diferentes ambientes -prácticas de manejo de la tierra y agua, selección de cultivos, dietas alimenticias, estructuras sociales, lenguaje, creencias religiosas, la música, y el arte; todas estas manifestaciones culturales mediatizan las relaciones del hombre con el medioambiente.

Las relaciones que se establecieron con las sociedades nacionales, remiten tanto a las formas de articulación como a los efectos de esas relaciones. Para un análisis de los efectos en el proceso de integración, además de la articulación económica, se debe entender las vinculaciones de las comunidades con el Estado, las relaciones de los campesinos con los sectores dominantes y dominados, las cuestiones culturales, las ideologías y las cuestiones étnicas (Plaza, 1981; Quijano, 1979; Cotler, 1978, en Gonzáles de Olarte, 1984). En este trabajo se analizarán algunas de estas vinculaciones, y los efectos en el campesinado altoandino.

EL CAMPESINADO

La preocupación por el sector se ha plasmado en un debate acerca del destino del campesinado en América Latina, a partir de los sesenta, cuando comienzan a imponerse formas económicas industrializadas y modernas, y cuando el modelo de sustitución de importaciones perdía su relevancia histórica y la modernización capitalista de la agricultura no lograba resolver los problemas alimenticios de la mayoría de los países (Archetti, 1981). Es entonces cuando emerge el campesino en el escenario político, y se inician reformas agrarias para solucionar un problema de productividad y control de la tierra. La discusión teórica sobre el destino de esta población se polarizó: a) en un lado han estado quienes sostienen que el campesinado desaparecerá como consecuencia del desarrollo del capitalismo (proceso de descampesinización); b) por otro lado, se sostiene que el campesinado posee formas económicas propias capaces de asegurar su reproducción aún dentro de una economía capitalista (proceso de campesinización). En el primer caso los campesinos perderían el control de sus recursos productivos -tierra, agua- y pasarían a engrosar el segmento de asalariados en las industrias rurales o urbanas; en el otro caso, los campesinos persistirían siendo funcionales al sistema capitalista. Sin dudas, esta discusión tiene sus efectos en las políticas que se desarrollen para el sector.

Los habitantes andinos, comparten las características de las sociedades campesinas donde la familia constituye la unidad básica multifuncional de organización social, siendo la labranza de la tierra y la crianza de ganado el principal medio de vida. Subordinados cultural y políticamente a poderosos agentes externos, el campesinado denota una relación estructural asimétrica entre productores de excedentes y los que los controlan, se les reconoce como sujeto de demandas y sanciones por quienes detentan el poder (Shanin, 1976; Wolf, 1975). El campesinado en general constituye un segmento del sector agrícola donde la mayor parte de la población vive en condiciones de pobreza, lo que ha llevado a los economistas del desarrollo a sostener que sólo el análisis de la economía del campesino permitirá saber más acerca de la economía de ser pobre. Como sea, para estos teóricos el problema podría resolverse mediante la transferencia de capital y tecnología, dado que estas poblaciones habrían agotado sus posibilidades tecnológicas (Schultz, 1981).

Lo cierto es que el concepto de modernización del agro, en sentido amplio comprendería el conjunto de transformaciones en las estructuras y relaciones socioeconómicas de la agricultura, que tendería a profundizar el carácter capitalista del régimen de producción agrícola (Gómez y Pérez, 1981). Esta expansión del capitalismo en el agro, se ha traducido en una creciente utilización de insumos tecnológicos y equipos modernos, difusión de nuevas formas empresariales de carácter netamente mercantil, aumento del trabajo asalariado dentro del total de la fuerza de trabajo agrícola, monetarización generalizada de las relaciones económicas, aumento de la producción comercializada. En países vecinos las experiencias de la modernización, no han tenido los resultados esperados, el campesino no responde a las expectativas de los técnicos, resultado que fundamentaría el volver la mirada hacia las concepciones del campesino andino acerca de las formas de producción. Mientras que en las sociedades complejas lo económico parece funcionar como un campo de actividad autónoma (Godelier, 1967), en estas sociedades campesinas de base indígena tales actividades forman un campo donde convergen aspectos políticos, religiosos, culturales y familiares. Además, mientras menos complejas sean las estructuras productivas más dependerá la eficacia de un sistema tecnológico de la diversidad de las condiciones naturales sobre las cuales se ejercen, entonces el sometimiento a normas técnicas será el factor que asegure el éxito de la producción; estas normas, a la vez, pueden corresponder a las técnicas cotidianas o, a técnicas mágicas¹. Otro aspecto generalmente no considerado en los llamados proyectos de desarrollo es la diferenciación campesina, fenómeno que explicaría la diversidad de expectativas económicas. Finalmente, y relacionado con lo anterior cabe señalar que no está terminada la discusión acerca de las necesidades o motivaciones que están detrás de un "techo" o límites de la producción campesina, así como de las posibilidades reales de aumento de su producción.

Algunos estudios realizados en Bolivia, revelan que se ha llegado a confirmar la hipótesis que a menor superficie disponible por una familia campesina, es mayor la intensidad de cultivos, mientras que cuando la superficie va en aumento, la inversión en tecnología químico-biológica y en mano de obra, disminuyen en la producción por hectárea. Esto ha llevado a sostener que el campesino adopta tecnologías -semilla mejorada, fertilizantes químicos-, no con el objetivo de incrementar sus ingresos monetarios, sino principalmente para compensar el recurso escaso, la tierra, y mejorar sus rendimientos para asegurar de ese modo un "nivel normal de subsistencia" (Urioste, 1975). En algunas experiencias colombianas, se han obtenido conclusiones semejantes; sería la necesidad de "mantener un mínimo de subsistencia" lo que llevaría al productor a ligarse al mercado de los insumos de producción más tecnificados, donde el factor precio actúa como una seria limitante en el incremento de los ingresos campesinos (Moncayo y Rojas, 1979). Por último, en Perú, son numerosos los estudios que analizan el impacto negativo de la incorporación de nuevos recursos y tecnología; se cuestiona la irracionalidad de como éstos han sido impuestos, generando en el largo plazo, un impacto negativo para la mayoría de la población, y un beneficio sólo para sectores muy reducidos; además de generar una depredación sistemática de los recursos naturales (Mujica, 1993).

En Chile, las políticas dirigidas a introducir la modernización agrícola en los espacios altoandinos a través de la inserción en el mercado ha ocurrido por decisión individual de las unidades campesinas o de familias que se instalaron en la ciudad. Sólo cuando se instaura en 1990, el gobierno elegido democráticamente, el Estado elabora un programa de apoyo a los pueblos indígenas los que, en diversos estudios, han sido incluidos dentro de áreas pobres del país. Se implementa entonces el plan a

¹ La técnica cotidiana se basa en el trabajo diario, y consiste en una serie de procedimientos definidos prácticamente para dominar un fenómeno. En tanto que la técnica mágica corresponde a un conjunto de procedimientos en que se mezclan y combinan experiencias de la vida cotidiana con un conjunto determinado de acciones, instrumentos y prácticas que buscan dominar fuerzas sobre naturales para producir efectos de la naturaleza y sociedad (González Casanova, 1987).

través del sistema Concurso de Proyectos, con el objetivo preciso de superar la pobreza. Una evaluación de los resultados obtenidos señala que dados los mecanismos de asignación de recursos, los beneficios llegaron a la población menos pobre en términos relativos, produciendo una marginación de los segmentos que se ubican en los niveles más bajos (Bahamondes *et al.*, 1992)².

Los sectores que se han visto favorecidos, en la zona rural del norte del país, por el modelo económico de libre mercado, han sido la gran minería y la producción agrícola mercantil en valles bajos. Estos sectores bajo la legislación vigente han entrado en relaciones competitivas con la población altoandina fundamentalmente por aquellos recursos productivos realmente escasos, como es el agua, situación a la que nos referiremos más adelante.

LA POBLACION DEL NORTE DE CHILE

Un análisis demográfico de la población andina de la I y II Región, señala que los campesinos -aymaras y atacameños³ ascienden a 10.000 habitantes aproximadamente⁴, cifra que comúnmente genera la indiferencia de planificadores y economistas hacia la presencia de los campesinos de los Andes chilenos. Acá retomamos lo señalado en los párrafos iniciales referente a que, como acontece en todos los espacios productivos de montaña, existe un número muy superior de población que depende de los recursos producidos en el espacio altoandino.

En el Cuadro N°1, se entrega información demográfica de la I y II Región, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas, (INE).

De acuerdo a la información del último censo, 1992, la población aymara en todo el territorio nacional ascendería sólo a 48.477 personas (INE, 1992). La diferencia con la cifra entregada para la I y II Región por las organizaciones andinas, provendría de deficiencias en la aplicación de la encuesta⁵.

En el Cuadro N° 1, se puede observar que hubo una disminución de población en la zona altoandina entre 1982 y 1992, en las comunas de Putre y General Lagos, provincia de Parinacota. Lo mismo ocurrió en las comunas de Huará y Camiña, en la provincia de Iquique; ambas de la I Región. En la II Región, la disminución se produjo en la comuna de Ollagüe, provincia de El Loa.

Un notable proceso de disminución de población de los pisos altos, de acuerdo a cifras censales, ocurre a mediados del presente siglo en la zona correpondiente a la actual provincia de Parinacota, Región de Tarapacá. Al analizar los factores que estarían incidiendo en este fenómeno, aparecen dos hechos relevantes que tienen lugar en las décadas de los años cincuenta y sesenta. El primero, lo constituyó el auge comercial de la ciudad de Arica como consecuencia de la liberación de impuestos aduaneros, convirtiéndose en un gran polo de atracción como fuente laboral. Más tarde se sumarían las expectativas por una educación tanto de mejor calidad, como por las posibilidades de poder continuar estudios superiores. El otro hecho que incidió en este drenaje de población del ámbito rural, fue la puesta en práctica de políticas integracionistas que se tradujeron, principalmente, en construcción de redes viales y mejoramiento de la educación rural.

Lo cierto es que, sea que la población bajó a la ciudad, o que los encargados del desarrollo de la región comenzaron a recorrer con mayor frecuencia la zona andina, se hizo más evidente el encuentro de dos culturas, una de las cuales había permanecido relativamente aislada, desarticulada y subordinada a la otra.

La población andina ha buscado en la ciudad mejores condiciones de vida, mediante la incorporando en los ámbitos económico y cultural. En esta incorporación a la sociedad occidental, el camino no ha sido fácil, destacan al menos dos situaciones: a) cuando se suspenden las franquicias para la ciudad, la situación socioeconómica, inicia un proceso gradual de deterioro, b) el otro factor lo constituye la discriminación del hombre andino; no ha estado ausente la actitud racista, y por sus rasgos físicos y culturales se les reconoce como "indios", con una marcada connotación peyorativa.

Este proceso, en cierto modo, está siendo replicado al interior de Iquique, ciudad que goza de franquicias similares a las otorgadas a Arica. Pero, ahora con un problema mucho más gravitante, el tráfico, distribución y consumo (en las ciudades) de cocaína, y el involucramiento de la población andina en tal problema.

2 El estudio corresponde a una evaluación de los proyectos productivos financiados por FOSIS-CEPI, para las poblaciones aymara, atacameña, rapa nui, pehuenche, mapuche, huilliche y kawaskar.

3 La propia población andina que se encuentra asentada en la cuenca del Loa y del Salar de Atacama, II Región, ha promovido un reconocimiento legal como etnia atacameña.

4 Las organizaciones andinas han señalado que la cifra real sería de 60.000 personas entre la I y II Región.

5 Algunas familias aymaras han manifestado que al momento de la encuesta declararon no identificarse con el grupo étnico homónimo. Eso parece haber ocurrido en las comunas de General Lagos y Putre, donde la población es preponderantemente campesina: el número de habitantes que se identificó con el grupo étnico aymara es menor que el total de sus habitantes. En la II Región la población atacameña tampoco habría reconocido tal filiación.

CUADRO 1.

ANTECEDENTES DEMOGRÁFICOS PARA LA I Y II REGIONES DE CHILE. FUENTE: INE.

REGION PROVINCIA COMUNA	POBLACION				
	TOTAL 1982	1992	% Crec.	AYMARAS 1992	%
I Región					
Tarapacá Provincia	275.144	339.579	23,42	15.461	78,78
Arica Comunas	147.744	170.304	15,27	7.903	40,27
Arica	147.013	169.456	15,27	7.774	39,61
Camarones Provincia	731	848	16,01	129	0,66
Parinacota Comunas	4.443	3.815	-14,13	1.812	9,23
Putre	3.356	2.803	-16,48	804	4,10
General Lagos Provincia	1.087	1.012	-6,90	508	2,59
Iquique Comunas	122.957	165.460	34,57	6.246	31,83
Iquique	110.991	151.677	36,66	3.897	19,86
Huara	2.171	1.972	-9,17	405	2,47
Camíña	1.488	1.422	-4,44	257	1,31
Colchane	1.499	1.555	3,74	828	4,22
Pica	1.796	2.512	39,87	307	1,56
Pozo Almonte	5.012	6.322	26,14	472	2,41
II Región					
Antofagasta Provincia	341.702	410.724	20,20	4.164	21,22
Tocopilla Comunas	38.224	38.645	1,10	242	1,23
Tocopilla	22.202	24.955	12,40	176	0,90
María Elena Provincia	16.022	13.600	-14,74	66	0,34
El Loa Comunas	103.633	125.079	20,69	1.820	9,27
Calama	100.401	121.807	21,32	1.783	9,09
Ollagüe	654	443	-32,26	12	0,06
S.P. Atacama Provincia	2.578	2.829	9,74	25	0,13
Antofagasta Comunas	199.845	247.000	23,60	2.102	10,71
Antofagasta	186.341	228.408	22,58	1.925	9,81
Mejillones	4.417	6.315	42,97	65	0,33
Sierra Gorda	782	1.425	82,23	10	0,05
Taltal	8.305	10.852	30,67	102	0,52
TOTAL	606.846	750.303	21,64	19.625	100,00

Además de las situaciones causales de la migración señaladas anteriormente, y que no pretende desconocer otras, en este trabajo queremos llamar la atención sobre un nuevo factor de expulsión, de gran trascendencia por las implicancias que ha tenido. Nos referimos a la mercantilización del agua. Se está frente a un proceso de pérdida de derechos consuetudinarios; el destino del agua para usos no agrícolas, está generando además, como se verá más adelante, un proceso que no sólo afecta a la población.

Pero, ¿qué transformaciones puede generar este movimiento poblacional? En el caso del Altiplano, preferentemente pastoril, la migración produce una readecuación de la fuerza laboral. Generalmente, la familia se dirige a la ciudad en forma cuasi definitiva, dejando las tierras y en ocasiones los animales, bajo el cuidado de un pastor. La relación contractual puede asumir las siguientes modalidades: a) aparcería o mediería (los beneficios consisten en el reparto por mitad entre el dueño de los pastos y del ganado, y el pastor, de las crías nacidas vivas); b) la retribución al pastor consiste en el derecho otorgado para apacentar su propio ganado, adicionalmente se le otorga un pago complementario en especies alimenticias; c) pago en salario. Otro tipo de migración recurrente es la compra o arriendo de terrenos en pisos más bajos sector precordillerano, desde donde se puede mantener el control directo sobre la zona altoandina o altiplánica.

En la zona precordillerana la migración, sea por razones laborales o educacionales, se traduce generalmente en el traslado de uno o más miembros de las unidades campesinas a la ciudad bajo diversas modalidades: temporal, permanente, o definitiva. Una de las formas más generalizadas la constituye la radicación permanente en la ciudad del padre y de los hijos, para efectos de incorporación al campo laboral y educación respectivamente⁶.

En la situación señalada, la mujer ha asumido un rol básico en la reproducción de las actividades agropecuarias. Considerando que este sector productivo está más próximo a la ciudad que el altiplánico, y reproduciendo un viejo patrón de control de más de un espacio productivo, la mujer ha asumido el compartir su tiempo entre el campo y la ciudad. Ha surgido así, una modalidad de migración temporal, preferentemente femenina, que llamaremos pendular, es un ir y venir entre la costa (ciudad) y precordillera (espacio productivo), regulado por el ritmo de las actividades productivas -siembra, riego, cosecha, ceremonias propiciatorias-, y que logra la reproducción del ciclo económico. La falta de fuerza de trabajo la compensa recurriendo, tanto a las relaciones andinas de cooperación, como al contrato de mano de obra asalariada. La mujer tiene, por tanto, un papel relevante en la definición de cómo participa la unidad familiar en los procesos de producción, distribución, circulación y consumo del producto. Destina una parte al abastecimiento de la unidad familiar radicada en la ciudad, y otra al intercambio y mercado. Como una verdadera estrategia de adaptación emerge en este nuevo contexto, la fuerza de trabajo femenina, reproduciendo así el patrón tradicional de control de diferentes espacios productivos en distintos pisos ecológicos.

Este mecanismo de adaptación rural-urbano conlleva, sin embargo, como es de suponer, un proceso de desarticulación y reorganización de las instituciones que han regido el funcionamiento de las actividades comunales, como también ha significado que el proceso de endoculturación de los niños y jóvenes en la ciudad tenga como consecuencia la no reproducción de la cultura andina.

AGRICULTURA Y GANADERIA EN LOS ANDES.

Un análisis de la población andina no puede dejar de remitir, por tanto, a las formas de ocupación de diferentes espacios donde se levantó la unidad de esta sociedad, a través de instituciones que regularon la articulación económica, religiosa y cultural, utilizando diversas formas de complementariedad entre asentamientos humanos.

En la I Región, el campesinado andino mantiene, bajo nuevas estrategias por cierto, el control sobre tres pisos ecológicos claramente diferenciados: a) cálidos valles costeros con posibilidades de diversificación de la producción, especialmente en las cabeceras⁷; b) quebradas en el sector precordillerano (3.000-3.500 m), restringidas tradicionalmente a la producción de maíz y papas, algunas hortalizas, y cultivos introducidos -como la alfalfa para el ganado ovino. Los variedades de los productos que cada asentamiento campesino logra enviar al mercado depende de las condiciones agroclimáticas de cada zona; así por ejemplo, en el interior de la ciudad de Arica, predomina el orégano, y hacia el sur, al interior de la ciudad de Iquique, es notable la producción de ajo; c) el Altiplano (3.800-4.500 m.), en sentido latitudinal norte-sur presenta dos posibilidades productivas. Desde el límite con Perú hasta el Salar de Surire las posibilidades productivas están dadas por la abundancia de agua corriente y calidad del suelo, permitiendo la formación de extensas áreas de bofedales donde se reproducen favorablemente alpacas, llamas, y ovejas; las bajas temperaturas han impedido el desarrollo de la agricultura. Hacia el sur, entre el sector del volcán Isluga y Pampa Lirima, además de la ganadería se ha practicado al agricultura de secano en laderas de cerros y de riego.

En la II Región, los asentamientos humanos se localizan alrededor de los 3.000-3.500 m s.n.m. en quebradas y oasis, donde existen condiciones favorables para el desarrollo de la agricultura y la ganadería. La calidad de los pastos, vegas salinas

6 Los efectos de la educación en la cultura aymara son analizados en este mismo volumen por B. Guerrero.

7 El patrón tradicional comprendía el control directo desde pisos altos; al interior de la ciudad de Arica en los valles de Lluta y Azapa la población andina que reside de preferencia en la ciudad, está procediendo a comprar tierras para destinarla a cultivos mercantiles.

preferentemente, ha determinado que el tipo de ganadería se restrinja a la explotación de llamos y ovinos. Por sobre esta cota, y dadas las hostiles condiciones climáticas, el uso de vegas y bofedales altoandinos sólo se puede practicar durante la época estival.

En ambas Regiones, la agricultura que se practica en suelos aterrizados, contenidos por diferente tipos arquitectónicos de andenes, constituye una respuesta tecnológica a las características del relieve, la inclinación y exposición de las laderas, y las formas que presenta la pendiente -cóncava, convexa o recta (Castro *et al.*, 1991; Azócar, 1992). Los sistemas de riego son similares en sus tramos de captación y conducción, las variaciones, a nivel de poblados se presentan en las formas de aplicación del riego intrapredial. En términos generales se han distinguido cuatro formas predominantes: "inundación" de terrazas, conteniendo el agua mediante el levantamiento de los bordes de las áreas regadas; "por surcos", el agua corriente recorre la terraza a través de diferentes diseños, hechos en su interior; por "derrames", el agua corre libremente en terrenos más bien planos y de muy suave pendiente; "chipayas", escurrimiento lento de pequeños caudales a través de finos surcos que van conectando cada planta y que permite la circulación permanente por un tiempo aproximado a 8 horas en terrenos de pendiente suave (Castro *et al.*, 1992).

RECURSOS PRODUCTIVOS, PASTOREO, Y CONFLICTOS EN LA ZONA ALTOANDINA EN EL NORTE DE CHILE

Los componentes de la naturaleza se convierten en recurso sólo si se combinan dos condiciones: el recurso tiene que satisfacer una necesidad humana y poseer una utilidad dentro de una forma de vida, es decir ser un imperativo social. El sistema productivo incorpora generalmente la ayuda de servicios prestados por trabajadores que suplementan los esfuerzos de la familia, constituyéndose el trabajo en un acto de carácter múltiple: económico, político y religioso a la vez (Godelier, 1980). Esta definición nos permite establecer que en el espacio andino, es a partir de la dominación occidental que se habría iniciado la confrontación de dos modelos diferentes de organización socioeconómica, ecológica e ideológica, poseedores de visualizaciones y conceptualizaciones del universo, valorizaciones y percepciones de la naturaleza diferentes, en estrecha relación, por tanto, con la estructura de comportamiento cultural producto éste de los fines políticos y económicos definidos por cada sociedad (Varesse, 1979).

En consecuencia, los componentes de la naturaleza tienen un valor en el ecosistema natural, pero además contienen un valor que ha sido otorgado por el hombre, quien mediante la incorporación de técnicas materiales y representaciones ideacionales, se fue apoderando de porciones de aquélla. Aceptamos que las culturas son dinámicas, cambian, se adaptan constantemente al entorno natural y social pero, al analizar los cambios impuestos al campesinado andino considerado como un sujeto que en el ejercicio de sus actividades productivas ha ido creando y recreando toda su dimensión cultural, tendríamos que explicar qué ha sucedido y podrá suceder cuando ha perdido o perderá el control sobre aquella porción de la naturaleza a la que ha dotado de significaciones. Desde otro ángulo, respecto de la tecnología, cuando por efecto de la migración, aculturación o imposición de nuevas técnicas desaparece aquella parte del conocimiento andino mediatizador, de la cultura de estos sujetos, qué efectos ha generado o generará sobre otros ámbitos de la cultura.

En los Andes chilenos, en un pasado remoto, es posible que las intervenciones humanas pudieran considerarse insignificantes en relación con los procesos dominantes de la naturaleza, sin embargo existe consenso que a partir del siglo XVI, junto con la colonización se inició un proceso de introducción de especies de plantas, animales, y tecnologías que fueron transformando los patrones andinos de uso de los recursos. Actualmente, este proceso estaría llegando a niveles de intervención tal, que han puesto en peligro los procesos básicos de la naturaleza, así como la sobrevivencia del hombre en ciertos espacios altoandinos.

Al momento de explicar la vigencia del uso o del abandono de ciertas zonas, y dado que se trata de una zona limítrofe, pareciera conveniente efectuar una mirada retrospectiva a las formas de uso y control. En Chile, el episodio de la guerra del Pacífico (1879) constituye un hito relevante en la conformación de actual estructura social andina. La memoria colectiva retiene aquellos episodios de abandono y apropiación de predios como consecuencia de las emigraciones que se produjeron cuando los territorios peruanos y bolivianos fueron anexados por Chile. La nueva legislación que se impuso no reconoció el derecho consuetudinario de las formas de tenencia comunal de los recursos, se trató por tanto de una incorporación forzada al sistema de propiedad privada. Fue así como surge un modelo de tenencia individual al que debe articularse el antiguo sistema organizacional andino, basado en la división y unificación territorial e institucional -división en mitades, ayllus, estancias, unidades conyugales.

La inconsistencia de la base material e institucional ha tenido especial repercusión en las zonas de pastoreo altoandino⁸; la rotación de pastos naturales y la complementariedad forrajera entre miembros que pertenecen a una misma red de parentesco, que sólo es posible si se mantiene el control comunal, se enfrenta al modelo de propiedades individuales que lentamente va incorporando la delimitación cercada. Los conflictos por establecer límites han llegado a tal punto que hasta hoy no ha sido posible otorgar títulos de propiedad⁹. La privatización sí se ha efectuado en los pueblos de la precordillera; aunque han inscrito sus andenes individualmente, se ha mantenido el control comunal a través del uso y manejo del agua por autoridades elegidas y reconocidas y de un cuerpo de normas y sanciones.

8 Una síntesis sobre el control de recursos en el Altiplano de la Región de Tarapacá es entregado por H. González, en este mismo volumen.

9 La información obtenida en el Ministerio de Bienes Nacionales, da cuenta de la imposibilidad de entregar estos títulos debido a los conflictos entre familias. En nuestro trabajo de campo hemos sido testigo de las dimensiones que alcanza la disputa por la tierra entre parientes.

En el ejercicio del derecho consuetudinario sobre los pastizales se requería de cierta flexibilidad en las demarcaciones. El patrón de pastoreo contempla un proceso de domesticación en el que el hombre siguiendo, manteniendo los hábitos alimenticios de los animales¹⁰, le impone ciertos circuitos de acuerdo a los territorios a los cuales puede acceder. La demarcación ha estado representada por señales en el paisaje o accidentes geográficos reconocidos por la población. El sistema de herencia otorgaba a todos los hijos derechos sobre los pastos; no obstante, las prácticas de residencia patrilocal, la mujer al salir del núcleo de origen no perdía estas prerrogativas toda vez que podía contar con los pastos de su comunidad de origen.

La explotación ganadera de camélidos y ovinos en Chile, se extiende entre el límite con Perú por el norte (17°50' L.S. aprox.) hasta el límite sur del Salar de Atacama (24° L.S. aprox.), sobre los 3.000 m, en ambientes asociados a zonas de anegamiento permanente que dan origen a sistemas vegetacionales donde las variaciones florísticas, bofedales y vegas, tiene directa relación con la presencia de una menor o mayor salinidad, respectivamente; esto determina, a su vez, de alguna forma, la presencia o ausencia de una especie de camélidos; las alpacas sólo se encuentran en ambientes de bofedales, en tanto que los llamos y ovinos se adaptan a ambos ambientes. El hombre andino ha controlado estas áreas y ha practicado patrones de rotación en micro y macro espacios.

Un recurso fundamental en el desarrollo agropecuario andino en aquellas zonas enfrentadas a la aridez, como es el caso del norte de Chile, ha sido el recurso hídrico y por ende el manejo dado por el hombre. Esta región que, como señaláramos más arriba, forma parte de uno de los centros de origen y domesticación de numerosas especies, y que constituye en sí un ecosistema natural riquísimo, se encuentra amenazada frente a las crecientes demandas de agua para ser usado en actividades mineras y agrícola -empresarial (en valles costeros), y en las ciudades, principalmente (Castro *et al.*, 1991). Existen evidencias que una consecuencia directa de la situación ha sido el abandono irremediable y definitivo de espacios productivos de zonas altas, que es donde se encuentran precisamente las fuentes de agua. Estos campesinos que han basado su actividad en la ganadería, han perdido los derechos sobre el agua.

Uno de los factores causantes de la expulsión poblacional se encuentra en la reducción o desaparicimiento de la base material de subsistencia de las unidades productivas. A diferencia de lo sucedido con otras etnias del sur del país, los territorios andinos nunca fueron atractivos para un desarrollo capitalista de la agricultura, sí lo fueron para la explotación minera y para aquella agricultura al servicio de la minería. El interés de grandes y medianos inversionistas sí provocó tempranamente conflictos al momento de capturar un recurso fundamental para la producción minera: la mano de obra indígena. La historia andina también da cuenta de disputas por los escasos cursos de agua necesarios para la extracción minera, o para la producción agrícola en zonas de menor altitud, destinadas a la reproducción de la población humana y animales de transporte y carga (Larraín, 1974; Villalobos, 1979).

Hoy, han aumentado las demandas como consecuencia del modelo de desarrollo vigente. El agua que da origen y permite la reproducción de las praderas naturales del Altiplano, ha ido experimentando mayores presiones externas, lo que ha provocado un proceso de desecamiento de extensas áreas de vegas y bofedales.

Aunque las poblaciones indígenas parecieran tener, actualmente, un mejor escenario para reclamar sus derechos -bajo el alero de una ley indígena¹¹, lo cierto es que existen una serie de mecanismos menos visibles, por los que se continúa socavando la base económica de los pastores de tierras altas. Por ejemplo, en el Altiplano, las familias han perdido, indirectamente, el control sobre los pastizales debido a las políticas de conservación de la fauna nativa, especialmente la vicuña, especie que en los años setenta se encontraba en peligro de extinción y que hoy sobrepasaría los 40.000 cabezas. La presencia de estos animales en vegas y bofedales, ha significado que consuman aquellos pastos que, de acuerdo al derecho consuetudinario indígena, son de su propiedad, pero que sin embargo al no tener los títulos respectivos los deja sin derechos reconocidos ante la ley. Gran parte de estos territorios quedaron dentro de zonas protegidas. Observamos que la población andina se subordina una vez más a las políticas del Estado. Enfrentados a esta nueva situación los campesinos, como estrategia de sobrevivencia han optado por reducir la masa ganadera para asegurar su reproducción. La presencia de las vicuñas ha tenido repercusiones como era de esperar, en el sistema de movilidad del ganado: los pastizales que el pastor abandonaba temporalmente -de acuerdo al patrón tradicional para permitir la recuperación del forraje-, son consumidos por la fauna protegida¹², por lo que al retornar se va encontrando con una débil capacidad forrajera. En el caso de la precordillera, al interior de la ciudad de Arica, los campesinos han protestado, sin éxito, por la invasión de guanacos en sus predios agrícolas.

10 De acuerdo a la disponibilidad anual de pastos, en el sector de Caquena y Parinacota (Región de Tarapacá) los animales inician por su cuenta el traslado, en micro espacios, así como entre pisos de mayor altitud, debiendo el pastor estar atento a seguirlos y guiarlos hacia las zonas que controla. De aquí que el conocimiento que el pastor posee de los hábitos alimenticios, lo lleve a sostener que el ideal de terrenos es una "cinta" que incluya del "seco" y el "bofedal"

11 Durante el gobierno del Presidente Aylwin (1990-1994), se implementan en Chile una serie de acciones, producto éstas de las presiones de las organizaciones indígenas del país, destinadas a lograr un reconocimiento legal de sus derechos.

12 Un problema derivado de la reproducción de vicuñas en tierras de las familias andinas, se presentará al momento de distribuir las ganancias que genere la explotación de la lana de estos animales.

La zona andina de la Región de Antofagasta, dispone de un régimen de lluvias menor que Tarapacá¹³, y se ha visto más afectada por la extracción y canalización del agua para el uso en la minería del cobre, y consumo en las ciudades. Como consecuencia de ello, se ha iniciado un proceso de desecamiento de vegas especialmente en la cuenca del río Loa. Aunque se reconoce el caso de las vegas de Inacaliri como la mayor evidencia (Aldunate, 1985; Cavieres, 1985)¹⁴, lo cierto es que hemos podido observar una serie de sitios donde la extracción está generando efectos similares.

Los conflictos por el recurso hídrico se centran como señaláramos anteriormente, en el Altiplano donde se encuentran las fuentes de agua. El principal recurso forrajero, formaciones vegetacionales conocidas como vegas y bofedales -teóricamente corresponden a ambientes de humedal-, están condicionados precisamente por la existencia de un suministro más o menos constante de agua. Estos constituyen la base alimentaria de una variada y exclusiva fauna.

Las vegas corresponden a una estrata herbácea de baja a mediana altura (5-100 cm), en una superficie con escaso microrelieve, y cursos de agua restringidos; en tanto que los bofedales poseen un microrelieve fuertemente ondulado, con una compleja red de canales, y/o naturales cursos de agua. En la I Región predominan los bofedales, en tanto que en la Región de Antofagasta predominan las vegas. Los humedales presentan respecto a los sistemas zonales del entorno una diversidad biológica elevada, con un mayor número de especies vegetales (Castro *et al.*, 1993).

Aún cuando pareciera que las demandas por un reconocimiento de los derechos de los pueblos indígenas ha tenido eco en Chile¹⁵, el aumento de las solicitudes de derechos de agua para la explotación minera ha llegado a constituir una presión tal por el recurso hídrico, que se ha constituido en una amenaza no sólo para la sobrevivencia de la población andina, también lo es para el ecosistema natural. La constatación de esta situación significó que la autoridad correspondiente se viera obligada a modificar el actual Código de Aguas (Ley 19.145). Esto, en orden a prohibir exploraciones y nuevas explotaciones de aguas en terrenos públicos o privados de zonas que correspondan a acuíferos que alimenten áreas de vegas y bofedales en las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Para implementar esta legislación se hizo necesario disponer de un catastro que consignara la identificación, ubicación geográfica y caracterización de todas las vegas y bofedales de ambas Regiones. En el Cuadro N° 2, se han representado todas las cuencas, y se muestra el listado con el número de vegas y bofedales que fueron localizadas (Castro *et al.*, 1993).

Siguiendo la secuencia de las cuencas en sentido norte-sur, se aprecia que, debido a una mayor disponibilidad y calidad de agua, la concentración de bofedales y vegas se encuentra en la I Región. Es, además, en el extremo norte de esta Región donde se localizaron los bofedales de mayor extensión. Si bien, en la II Región, las cuencas del Río Loa, Salar de Atacama, y Altiplánica, concentran un total de 137 humedales (32%), cabe señalar que la superficie es menor, con predominancia de vegas. Los bofedales, escasos, se encuentran en mayores altitudes. El estudio, que incluyó una caracterización botánica en una muestra de 117 humedales, constató que de 52 humedales de la II Región, sólo 8 (15%) correspondían a la categoría bofedal, el resto pertenecía a diferentes tipos de vegas en función de su altitud y el grado de salinidad. En tanto en la I Región, de 65 humedales (56%), 36 (55%) pertenecían a la categoría de bofedales (salinos y no-salinos) (Castro *et al.*, 1993).

Los humedales, en sus formaciones de vegas y bofedales, han constituido el centro de la economía pastoril altoandina. El aprovechamiento energético de pastizales por el ganado en zonas donde éstos constituyen el único recurso potencial ha estado regido por diferentes modalidades de uso. Aunque el sistema normativo de control sobre aquellos por parte de grupos de familias emparentadas haya sufrido algunos cambios -como hemos señalado anteriormente- las modalidades de uso se mantendrían. El ciclo anual de pastoreo contempla una tipología de humedales de acuerdo a estacionalidad y tiempo de uso, esto significa por un lado, que el pastor trasladará sus animales de acuerdo a los ciclos anuales que perciba desde su estancia -características climáticas de la zona (lluvias en verano-nieve en invierno)-, hacia zonas altas o bajas. El tiempo de uso se refiere al tiempo que el ganado puede permanecer en un lugar considerando la percepción de capacidad de carga que posea el pastor. Así, una tipología de uso se puede resumir en cuatro formas: a) uso permanente, aclarando que siempre es posible tener que complementar los pastos, especialmente en épocas críticas (aunque siempre con rotación dentro de un área); b) uso estacional (invierno-verano); c) temporal, por cortos períodos entre humedales relativamente cercanos, d) en tránsito, esta modalidad tiene especial importancia en las rutas establecidas para el traslado del ganado, especialmente para el aprovisionamiento, cuando deben recorrer hasta 100 kilómetros (Castro *et al.* MS).

13 Por sobre la cota de los 2.000 m aprox., las precipitaciones estivales provenientes de la Hoya Amazónica, llegan hasta los 23°50' LS aprox., sector Salar de Atacama, como límite máximo (Gaete, 1974).

14 Véase en este mismo volumen un estudio sobre conflictos por agua en la II Región, de C. Aldunate. Con financiamiento de FONDECYT se trabajará durante 1995-1996, en los humedales de la II Región (Castro, M. y M. Bahamondes).

15 Los grupos étnicos han entrado en movilización; en América Latina los movimientos indígenas han traspasado las fronteras nacionales y han creado verdaderas coordinaciones internacionales como demandas y programas altamente definidos (Mires, 1991).

CUADRO 2.
VEGAS Y BOFEDALES DE LA I Y II REGIONES.
FUENTE: CASTRO ET AL. 1993.

Cuencas	Vegas y bofedales	
	Nº	%
I Región		
Río Cosapilla	52	12.0
Río Lluta	32	7.4
Lago Chungará	9	2.1
Río Lauca	48	11.3
Salar de Surire	1	0.2
Río Camarones	3	0.7
Río Parajalla	2	0.5
Ríos Isluga-Cariquima	41	9.4
Río Sacaya (Cancosa)	21	4.8
Salar Huasco	21	4.8
Salar Coposa	2	0.4
Pampa Tamarugal	38	8.7
Sub total	270	62.3
II Región		
Salar Michincha	7	1.6
Salar Ollague	5	1.1
Salar Carcote	5	1.1
Salar Ascotan	4	0.9
Río Loa	41	9.4
Salar de Atacama	49	11.3
Altiplánica	47	10.8
Salar Punta Negra	6	1.3
Salar Pajonales	1	0.2
Sub total	165	37.7
Total	435	100.0

Un análisis de estudio de pastoreo en humedales estaría incompleto sino mencionáramos los efectos de la aplicación de técnicas de conducción y almacenamiento -canales y represas- en el manejo del agua, con la finalidad de lograr, tanto la reproducción de las especies vegetales que lo conforman como la ampliación de la superficie. Por ejemplo, de acuerdo a la pendiente que posea el área cubierta por bofedales, se construyen canales -surcos que se abren en la compacta vegetación- para permitir que la circulación del agua llegue a toda la superficie; y, cuando el espacio lo permite, siempre utilizando las pendientes, construyen canales unos metros alejados del borde para iniciar un riego constante hasta que aflore la vegetación.

Es evidente, por tanto, que cuando el hombre andino deja de manejar el agua al interior de un humedal, éste sufre rápidamente una reducción de su superficie.

CONCLUSIONES

Los procesos que están teniendo lugar en el ecosistema altoandino, pueden llegar a generar impactos ambientales insospechados. Podríamos reflexionar por ejemplo, sobre los efectos de un desecamiento progresivo en el proceso de desertificación, en la pérdida de diversidad de especies naturales y de productos agrícolas, en las consecuencias de una disminución de los volúmenes de agua requeridos por los sistemas de riego andino en los valles precodilleros de menor altitud, en el abandono de tierras productivas y en el empobrecimiento del campesinado andino. La reflexión podríamos extenderla a una hipótesis de Mires (1991), respecto de que estaríamos frente a una modernidad, que más bien presenta manifestaciones destructivas para la sociedad indígena, en cualquiera de sus formas: civilización, progreso, desarrollo e, incluso, revolución.

Estos hechos constituyen un desafío para quienes sostienen que es posible que un Estado que ha optado por un sistema político económico regido por las leyes del mercado, pueda lograr una planificación que, coordinando acciones, pueda llegar a establecer prioridades, y responder a los objetivos de lo que se ha llamado desarrollo sustentable, y que además sea capaz de incorporar las demandas de la indianidad en sus discursos sobre el porvenir.

REFERENCIAS

- Aldunate, C., 1985. Desección de las Vegas de Turi. En Chungará, Nº 15. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.
- Archetti, E., 1981. Campesinado y estructuras agrarias en América Latina. Ed. CEPLAES, Ecuador.
- Azócar, P., 1992. La cartografía aplicada en los sistemas de andenes o terrazas de cultivo de comunidades andinas (aymaras). Memoria para optar al título de Cartógrafo. Instituto Profesional de Santiago.
- Bahamondes, M., M. Castro, F. Domb y A. Saavedra, 1994. Evaluación de Fin de Programa de Apoyo a los pueblos indígenas de Chile. FOSIS-CEPI.
- Castro, M., M. Bahamondes, M. Jaime, y C. Meneses, 1992. Cultura Hídrica: Un caso en Chile. UNESCO-ORCALC, La Habana, Cuba.
- Castro, M., M. Bahamondes y P. Azócar, 1992. Caracterización Antropológica de las poblaciones andinas de la I y II Región. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Sociales y Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.
- Castro, M., M. Bahamondes, H. Salas y P. Azócar, 1993. Identificación y Ubicación de Areas de Vegas y Bofedales de las Regiones Primera y Segunda. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Sociales, y Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.
- Cavieres, A., 1985. Estudio del efecto de las políticas de uso de los recursos hídricos del Altiplano chileno sobre las comunidades de pastores aymaras. CODEFF, Santiago, Chile.
- Gaete, A., 1974. Análisis estadístico del comportamiento de las precipitaciones en el altiplano de Arica. En Norte Grande, Vol. 1, Nº 2, Universidad Católica.
- García-Ruiz, J.M., 1990. La montaña: una perspectiva geocológica, en J.M. García-Ruiz, Ed., Geocología de las áreas de montaña. Georeforma Ediciones, España.
- Godelier, M., 1975. Racionalidad e irracionalidad en Economía. Ed. Siglo XXI, México.
- Godelier, M., 1980. Instituciones económicas. Ed. Anagrama, Barcelona, España.

- González de Olarte, E., 1984. La economía de la comunidad andina. IEP, Lima.
- Gómez, G. y A. Pérez, 1981. El proceso de modernización en la agricultura latinoamericana. Revista CEPAL N° 8.
- Herrera, H., H. Gundermann y R. Cornejo, 1993. Diagnóstico y estrategia de desarrollo campesino en la I Región de Tarapacá. TEA, Arica.
- INE, 1993. Resultados oficiales Censo de Población 1992. Chile.
- Larraín, H., 1974. Análisis de las causas del despoblamiento entre las comunidades indígenas del Norte de Chile, con especial referencia a la Hoyas hidrográficas de las Quebradas de Aroma y Tarapacá. Norte Grande. Vol. I, N° 2, Universidad Católica de Chile.
- Mires, F., 1991. El discurso de la indianidad. Ed. Dei, San José, Costa Rica.
- Moncayo, V. y R. Rojas, 1979. Producción y capitalismo. CINEP, Bogotá, Colombia.
- Mujica, E., 1993. El componente cultural y tecnológico del ecosistema andino. El Agroecosistema andino. Ed. CIP, Lima, Perú.
- Ortega, E., 1983. La experiencia latinoamericana y el desafío campesino. Sobrevivencia campesina en ecosistemas de altura. CEPAL-PNUMA.
- Shanin, T., 1976. Naturaleza y lógica de la economía campesina. Ed. Anagrama, Barcelona, España.
- Schultz, T., La economía de ser pobre. Desarrollo Rural, Vol.1, N° 1, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile.
- Tapia, M., 1992. Visión general y características del agroecosistema andino. El agroecosistema andino, Ed. CIP, Lima, Perú.
- Urioste, M., 1975. Conducta económica del campesino e incorporación de tecnología moderna en el proceso productivo: el cultivo de la papa en el altiplano paceño. Universidad Católica Boliviana, Doc. Trabajo N° 6.
- Villalobos, S., 1979. La economía de un desierto. Ed. Nueva Universidad, Santiago, Chile.
- WRI. UICN. PNUMA, 1992. Estrategia Global para la Biodiversidad.

LOS RECURSOS AGROPECUARIOS DEL NORTE DE CHILE AL TIEMPO DE LA INVASION EUROPEA.

LAUTARO NUÑEZ A.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ARQUEOLOGICAS Y MUSEO
UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, SAN PEDRO DE ATACAMA, CHILE.

RESUMEN

El autor, a través de un pormenorizado recuento de prácticas de domesticación y uso de plantas y animales, y uso de suelos en una diversidad de ambientes complementarios en el norte de Chile, muestra como aquellos están en la base de un estilo de vida andino del sur en todos los segmentos comprendidos en el área fueron eslabonados e incorporados a un régimen de interacción socio política y pluriétnicas; relaciones caracterizadas más por la transacción que el conflicto. Dentro de esta estrategia, el control ejercido por cada señorío sobre una multiplicidad de ambientes, y por tanto, sobre producciones diversificadas, eran claves al momento de articular con "mayor certidumbre las complejas redes de interacción caravaneras", otro de los pilares de esta organización socio espacial.

ABSTRACT

By means of a detailed account of domestication practices and of plant, animal and land use in a variety of complementary environments in northern Chile, this paper shows how such environments are at the base of south andean way of life, in which all those segments comprised in the area were linked and incorporated to a socio political and multiethnic interaction regime; such relationships can be characterized by transactions rather than conflict. Within such strategy, control exerted by each "señorío" over various environments and therefore over diversified products, was a key element to articulate with more certainty the vast network of "caravaneers" interaction, another of the pillars of this socio-spatial organization.

INTRODUCCION

Para la mayoría de los tratadistas del área, el mundo andino no es sólo el piso de altura que usualmente se asocia a las altiplanicies, sino una armónica articulación de sus extremos costero y selvático a partir de un núcleo altiplánico-valliserrano de interacción (Murra, 1965; Núñez y Dillehay, 1979). En este mosaico de ambientes articulados: desierto costero, oasis de neblinas, valles bajos regados, valles serranos con mayor humedad estival, y páramos andinos de altura, la complementariedad en términos de explotación y traslado de recursos fue el rasgo más decisivo para la culminación de un estilo de vida andino del sur en donde todos los segmentos del transecto fueron eslabonados e incorporados a un régimen de interacción sociopolítica y pluriétnica, entre fronteras «blandas» más cercanas a la transacción que al conflicto, inmediatamente antes de la expansión inka.

Los datos se han reunido aquí en una síntesis, calibrada de acuerdo a la naturaleza de este evento multidisciplinario, con el objeto de entender procesualmente cómo el norte de Chile, en su contexto interandino, llegó a constituirse en esa época en un territorio con recursos «insulares», pero a su vez integrados por regimenes de Señoríos, sustentados en productos agrarios-pecuarios y sus derivados, cubriendo un espacio muy similar al hectareaje actual.

DOMESTICACION DE RECURSOS.

Por ahora los estudios paleobotánicos apuntan a reconocer que la mayoría de los cultígenos conocidos antes de los europeos fueron controlados desde formas silvestres en la vertiente oriental de los andes (Parodi, 1966; Cárdenas, 1969). Habrían arribado a las tierras fértiles del Altiplano, oasis-valles piemontanos, y valles cálidos costeros, durante el flujo y reflujo trashumántico y emigracional, a lo largo del transecto Oriente-Altiplano-Océano Pacífico, a través de poblaciones arcaicas tardías y formativas, circa 4.000 a 2.400 años a.P. (Lynch, 1989; Núñez, 1983). Se acepta que al inicio de la ocupación europea los cultígenos de mayor valor económico ya estaban sometidos a una intensa explotación, con escasas posibilidades de ampliar el elenco doméstico conocido.

Algunos productos tan especializados al ambiente hiperárido, como la foresta de *Prosopis* sp. (algarrobos y chañares) pudo conducirse y explotarse con intervención humana. Por otro lado, la presencia inequívoca de maíz en los valles y oasis bajos como Tarapacá y Tiliviche, en contextos arcaicos algo anteriores a los 4.000 años a.P., sugiere que más de algún producto del Complejo Tropical Semitropical pudo readaptarse antiguamente en los ambientes de los Valles Occidentales (Núñez, 1989). Del mismo modo, ciertas variedades de quinoa (*Chenopodium* sp.) y papas (*Solanum* sp.) pudieron readaptarse o extenderse a la faja altiplánica aledaña a las cabeceras de los Valles Occidentales inducidos por tempranas poblaciones arcaicas y formativas.

Es claro que la identificación de los procesos de domesticación de cultígenos locales y/o regionales, requiere de más investigación, al tanto que los primeros estudios vinculados con la emergencia de antiguos estilos de vida pastoralista parecen ser más auspiciosos.

En efecto, la domesticación de camélidos salvajes ocurrió en los Andes Centrales por los 5.000 años a.P. (Lavalley *et al.*, 1982), iniciándose desde esta época el control gradual de rebaños de llamas (*Lama glama*), paralelo a la pervivencia de camélidos salvajes utilizados en términos de cazas: guanacos (*Lama guanicoe*) y vicuñas (*Lama vicugna*). A partir de esta

experiencia la crianza de llamas implantará las técnicas de esquila, hilado y textilería de lana, generando un conjunto de cambios sustanciales entre las poblaciones ubicadas sobre los 2.500 m de altura, optimizándose la habitabilidad en los ambientes de la Puna Normal. Pero, también estos cambios sucedieron independientemente en los territorios más hostiles, de la Puna seca y salada (Troll, 1958; Núñez, 1989).

Al respecto, ahora se entiende que la domesticación de camélidos, ocurrió en *locis* del Centro Sur Andino, dando inicios a la crianza, tal como se ha propuesto para la subárea Circumpuneña. Por los 3.500 m s.n.m. en donde la quebrada de Puripica (NE de San Pedro de Atacama) concentra recursos excepcionales, se ha determinado con criterios osteométricos y culturales la existencia de las primeras prácticas de domesticación de camélidos por los 4.800 a 4.100 años a.P. (Núñez, 1989). Se trata de la implantación de los primeros intentos protopastoralistas en contextos arcaicos de caza y recolección, con repercusiones sincrónicas en el río Loa (sitio Kalina), en donde también se generó un arte rupestre muy correlacionado (Aldunate *et al.*, 1986).

Se acepta que el valor de la crianza de camélidos, por sobre la cacería, en los Andes Centro-Sur Bolivia, Sur Perú, Norte Chileno, y Noreste Argentino), no sólo se comprometió con los primeros logros civilizatorios (Ponce, 1970; Núñez, 1974), sino que sustentó una economía pecuaria prestigiosa en las tierras medias y altas, basada en la oferta de dieta cárnea, artesanía textil, fertilizantes, uso de cuero, lana y hueso, incluyendo el tráfico de cargas, al punto que la pervivencia actual de los ganaderos aymaras mantiene a los camélidos domésticos como un soporte básico.

En este sentido Murra (1965) no estuvo lejos al apuntar tempranamente que la crianza de llamas, en las tierras altas, fue un logro andino (prácticas locales de domesticación), asociado al proceso de agriculturación de tubérculos y granos, constituyendo una combinación agropecuaria típica para el Altiplano *sensu lato*.

En suma, las evidencias de Puripica (Núñez, 1989) y aquellas del río Loa Medio (Druss, 1978) indican que el proceso de domesticación de camélidos condujo a las primeras crianzas de protollamas desde los 4.000 años a.P. a lo largo de los 2.500 a 4.000 m, articulándose estacionalmente en estos transectos las vegas forrajeras de ríos y quebradas de la pendiente puneña occidental con el tolar alto andino (ver recientes estudios de esta naturaleza a cargo de A. Benavente e I. Cartagena).

Después de esta crianza experimental se sabe con certeza que ya existían rebaños de llamas domésticas, como recurso económico dominante, asociadas a labores agrícolas y metalúrgicas en quebrada Tulán al SE de Peine (Salar de Atacama) por los 3.200 años a.P. (Núñez, 1992a). De modo que a la llegada de los españoles, las tierras altas y medias de la I y II Región ya contaban con algo más de 3.500 años de experiencia ganadera. El hecho de que esta crianza haya sustentado el proceso sociocultural formativo en los albores de la civilización circumpuneña sin ciudades, advierte la importancia de este recurso en términos de apoyar el primer poblamiento extensivo en las tierras altas, de carácter más estable al norte del río Loa y más estacional en la vertiente occidental de la puna de Atacama a raíz del régimen de menos habitabilidad en la estación invernal.

Evidencias de crianza de llamas en contextos formativos antiguos, post arcaicos, se han ubicado en el extremo sur del Salar de Atacama, a través de la fase Tilocalar, asociada a asentamientos pastoralistas, datados entre los 3.200 a 2.400 años a.P. (quebrada Tulán / vegas de Tilocalar), con repercusiones sincrónicas por el río Loa Medio a través de sitios como ChiuChiu-200 (Benavente, 1985; Arias *et al.*, 1991), Aquí el recurso pecuario se asocia al uso de algodón y más textilería de lana, cuando ya el manejo trashumante de llamas estaba consolidado, incluyendo el establecimiento maduro de circuitos caravaneros trasandinos conectados incluso con las Selvas Orientales. La presencia en esta época pre 2.400 años a.P. de maíz, calabaza y crianza de llamas como labor agropecuaria dominante (ausencia aún de alpacas), señala la orientación ganadera de los primeros asentamientos complejos de las tierras altas y medias de la Puna de Atacama (Loa Medio y Tulán), anteriores a los pueblos de la Cultura San Pedro, los que optaron por radicarse en los ayllos de San Pedro, donde se combinó mejor el fenómeno esta vez más agrario que pecuario.

La sincronía de estos eventos agropecuarios formativos como Tulán 54-85 y ChiuChiu 200, con los asentamientos complejos altiplánicos de Chiripa, Pukará, Wankarani y Tiwanaku antiguo, demuestran que la sociedad andina del Centro-Sur se sustentó en una matriz agropastoralista-ceramista antigua y común, en donde el rol de la cría de llamas fue el mayor agente de cambio y desarrollo desde el lago Titicaca a la Puna Chileno-Argentina y su hinterland aledaño.

Aunque se deberían esperar otros *locis* de domesticación de camélidos en la serranía y altiplanicie de Arica, se ha propuesto que la riqueza de fauna herbívora permitió contar con una alta provisión de recursos cárneos cazados, tanto de camélidos y ciervos andinos, sincrónicos a eventuales procesos de domesticación aún no bien definidos (Santoro, 1989). La presencia de cerámica con desgrasante vegetal temprano, datada en el Altiplano ariqueño por los 2.500 años a.P. estrecha una cerrada correlación con pueblos crianceros de llamas también de antigua data comunes en el Altiplano nuclear (Santoro, 1989).

Se acepta que en los Andes sureños existió menos domesticación de animales en relación a otros territorios y mucho más control sobre cultígenos silvestres orientados al paso de la recolección a la horticultura. Pero, con todo, el cambio ganadero fue más cualitativo surgiendo con ello más complejidad sociocultural y económica. De hecho la crianza limitó el dominio exclusivo de las prácticas de caza y estrechó el régimen de movilidad a territorios más acotados, disponiéndose de más excedentes para complementar con los recursos diferenciados de valles más cálidos localizados entre el Altiplano y el Pacífico. La diversidad de productos en términos de reciprocidad interpisos fue una ventaja del incipiente manejo del traslado de gentes, ideas y cargas

a través del movimiento caravánico. Debe recordarse que los hombres cargan durante 8 horas aproximadamente 20 kilos por distancias de no más de 20 kms. Así, la caravana sobrepasa estos guarismos en términos que sólo una tropa de 12 llamas cargadas alcanzan, de sol a sol, una carga total del orden de 500 kilos conducidos por un hombre. La domesticación esta vez de camélidos especializados en el desplazamiento de cargas de larga distancia fue otra de las ventajas del manejo ganadero alto andino.

RECURSOS PUNEÑOS (2.500 - 4.000 m s.n.m.).

El proceso de explotación de recursos alteños constituyó el llamado «Complejo Cordillerano» (Lumbreras, 1970), cuyo soporte productivo fue la combinación de prácticas agrícolas de altura con crianza de llamas, en donde sus mejores exponentes andinos se localizaron entre los valles serranos y el Altiplano tarapaqueño. Incluye a los oasis, quebradas intermedias - altas y puna atacameña en territorios comparativamente de alturas más moderadas.

El «Complejo Cordillerano» conforma idealmente un conjunto de cultivos andinos de alturas *Chenopodium quinoa* (quinua o quinua), *Chenopodium pallidicaule* (cañahua), *Solanum tuberosa* (papa), *Oxalis tuberosa* (oca), *Trapalum tuberosa* (mashuas), *Ullucus tuberosus* (ullucu). Estos productos se correlacionan estrechamente con prácticas agrícolas de secano, con escasos recursos de agua permanente, adaptados a contrastes térmicos, sequías periódicas, variación estacional y uso de complejos ingenios destinados a regadío con agua de lluvia (camellones). Su distribución guarda relación con el territorio altiplánico típico en donde cultígenos como el maíz tienen severos límites adaptativos (Núñez, 1974).

Hasta ahora no se cuenta con datos confiables para reconocer arqueológicamente a los cultivos «cordilleranos» durante el período arcaico y formativo antiguo. Se sabe que el acceso a alimentos vegetales, silvestres o domésticos, se acentuó desde las etapas tardías del período arcaico. En el ámbito de la Puna de Jujuy (Inca Cueva), por los 4.130 años a.P. se han registrado restos de cortadera y cactáceas llamadas *airampo* y *pasacana* (Castro y Tarragó, 1992), localizados también en depósitos y coprolitos de asentamientos arcaicos y formativos de la Puna de Atacama, constatándose su consumo humano entre los 5.000 a 3.000 años a.P. (Núñez, 1989). Desde esta época (4.000 a.P.) se conocía bien el uso de churqui y algarrobo en ambas vertientes de los Andes, pero las vainas de cebil (*Anadenanthera macrocarpa*), eran colectadas exclusivamente en la vertiente oriental trasandina (NOA), para ser luego redistribuida por ambas vertientes de la Puna. Se aprueba que algunos cultivos tan alimenticios y funcionales como las cucurbitas (*Lagenaria siceraria*) también se multiplicaron en ambas vertientes, tal como lo ha expuesto Fernández Distel (1980), aunque se ha cuestionado un registro de maíz en contextos arcaicos más antiguos (Huachichocana).

Es muy probable que varios de los cultivos económicos conocidos durante períodos más recientes hayan sido domesticados en las postrimerias del período arcaico medio y tardío. Por ejemplo, desde los 6.000 a.P. el régimen de cultivos en los ambientes templados comenzó en los Andes Centrales (Valle de Ayacucho), a través del control de tubérculos tales como papa oca (*Oxalis tuberosa*), Olluco (*Ullucus tuberosus*) incluyendo tal vez quinua (*Chenopodium quinoa*) y maíz (*Zea mays*) (MacNeish, 1969).

Pese a la falta de información regional se ha reconocido en la Puna Seca de Arica la presencia de tempranos tubérculos cosechados por los 4.000 años a.P. Se trata de oca o apilla (*Oxalis tuberosa*), Ulluco o papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaelum*). Aunque podrían ser domésticos y/o silvestres, es sintomático que por esta época hay un mayor acercamiento al control de tuberosas típicamente andinas (Santoro y Chacama, 1982).

Después del período arcaico la explotación de los recursos «cordilleranos» se acentuó considerablemente. En efecto, los pueblos altiplánicos formativos (desde los 3.200 años a.P.), tales como Chiripa, Wankarani y Tiwanaku I, manejaban cultivos de tubérculos microtérmicos como la oca, ullucu, isaño o añu (*Tropaelum*), papa tetraploide, quinua y cañahua (*Chenopodium pallidicaule*).

A nivel de estos territorios, alejados de la subárea Circuntitikaka, poco se sabe sobre los cultivos «cordilleranos» más antiguos en los oasis de la Puna de Atacama. A juzgar por los datos recobrados en las primeras aldeas agropastoralistas de Chiuchi-200 (Benavente, 1985) y Tulán 54 y 8 (Núñez, 1992a), entre los 3.200 a los 2.400 años a.P., se han registrado restos de maíz, cucurbitas, ají y quinua, pero de escasa frecuencia, en relación por ejemplo al consumo más masivo de vegetales silvestres alimenticios como las raíces de totora, juncos y frutos de cactáceas (Núñez, 1989).

De acuerdo al traslado de excedentes «cordilleranos» a nivel de interpisos, el uso de estos recursos a comienzos de la era alcanzó hasta enclaves costeros de extrema lejanía. El registro de subproductos de llamas y quinua en la boca del río Loa, en un escenario hiperárido, indica la gran extensión de los patrones de circulación especializados de bienes hacia lugares distantes de los núcleos de las tierras altas.

Por otra parte, el registro de papas altiplánicas en un cementerio algo posterior a los 300 años a.C., asociado con tejidos Tiwanaku (TR 40-B), demuestra también que estos eran traídos en el flujo caravanero desde las tierras altas nucleares al valle bajo de Tarapacá.

Un aspecto distintivo del «Complejo Cordillerano» es su sometimiento a técnicas de conservación que facilitaron gradualmente la estrategia de circulación de excedentes a lo largo de patrones de tráfico de larga distancia. Se conoce que en las tierras altas la productividad agropecuaria pasó a superar los límites de conservación a través del descubrimiento de técnicas de deshidratación de tubérculos y carne (*charqui*), aprovechando las heladas nocturnas en ambientes secos bajo fuerte insolación diurna (*papa-chuño* y *oca-caya*). El evitar la putrefacción y aliviar el peso de las caravanas, con un tercio menos en términos de carga, facilitó el traslado interpisos. Tanto las técnicas de molienda (harinas) como el tostado de quinua y maíz también sirvieron para la especialización de las labores del caravanero.

Entre los 2.300 a 3.000 ms.n.m. se establecen fajas de transición donde cultígenos «tropicales» y «cordilleranos» han convivido, tal como se advierte en la actualidad. En los valles serranos intermedios y oasis piepuneños, como los del Salar de Atacama, se observa cierta combinación advertida en la convivencia de papa, maíz y quinua, tal como lo vieron los cronistas en los oasis atacameños y valle de Copiapó (Bibar, 1966). Sin embargo, aunque algunos productos como el maíz lograron adaptarse a oasis altos como Socaire (3.250 m s.n.m.), ya en el Altiplano tarapaqueño no fue posible su plena reproducción (4.000 m s.n.m.).

A la llegada de los europeos al norte de Chile, no advirtieron evidencias de uso de plantas alucinógenas locales, pero si ya estaba generalizada las prácticas del consumo de coca. Los datos arqueológicos regionales advierten que hasta los 800 a 900 años d.C. aún existía un sofisticado equipamiento para inhalar sustancias alucinógenas, en especial entre los pueblos apegados al Noroeste Argentino. Sin embargo, no se han registrado plantas locales aunque se han llevado a cabo estudios tendientes a evaluar esta situación. Los alucinógenos referidos tempranamente en el sitio Las Conchas, cerca de Antofagasta por Llagostera (1979), han sido invalidados por Wassen y Bondeson (1979-1980). Aunque hasta ahora no hay datos que prueben que las plantas alucinógenas fueran locales, recientemente C. Torres (comunicación personal) ha registrado escasísimos árboles de Vilca (*Anadenanthera*) en el oasis de San Pedro de Atacama, pero no se ha constatado su uso en términos de data prehistórica. Por esta razón, es más probable a la luz de los datos actuales, que el mayor stock de alucinógenos (*cebil*) fue traficado hacia los oasis piemontanos desde la Vertiente Oriental del Noroeste Argentino (Pérez Gollan, 1993; Núñez, 1991; Torres *et al.*, 1991).

Las investigaciones en Inca Cueva, en la región de Jujuy, han demostrado la presencia de *cebil*, reconocido como *Anadenanthera columbrina* var. *cebil* o *Anadenanthera macrocarpa* (Fernández Distel, 1980). Se le reconoce como *cebil* en Argentina y *vilca* o *villca* en Perú y Bolivia. Su distribución más austral se limita en la provincia de Córdoba, pero se extiende hasta la *yunga* del este de Bolivia (Cárdenas, 1969). Al evaluar los rasgos botánicos de Inca Cueva y Huachichocana (zona de Jujuy), se desprende que existió desde los 4.130 años a.P. un notable tráfico interregional de vegetales de uso ritual y doméstico. Ciertamente allí hay restos de: conchas del Pacífico (gastropodos y pelecípodos); algarrobo (*Prosopis chilensis*) procedentes de bosques extra locales; restos de *Prosopis ferox*, *P. Alba* y *P. Nigra* de la quebrada de Humahuaca; lagartos (*Tupinambis rufescens*), tortuga de tierra (*Geochelone chilensis*), sisal (*Agave sisalane*) de la Región Chaqueña; mates o calabazas (*Lagenaria siceraria*), bambuáceas, valvas de mutélidos de agua dulce, guacamayo (*Aramillaris*), pecari (*Tayassu tajacu*) y *Anadenanthera macrocarpa*, de las Selvas Orientales (Fernández Distel, 1980).

Obviamente que el alto stock de *Anadenanthera* en las tierras bajas trasandinas podría explicar en parte el alto flujo de contactos socioculturales entre el NW Argentino y los oasis Piemontanos desde el período arcáico tardío a la culminación de la cultura de San Pedro inmeditamente antes y después de la influencia Tiwanaku.

En general, debe tenerse en mente el rol dominante de la vertiente oriental como producción de plantas medicinales, mágicas y alucinógenas: *Ilex*, *Banisteriopsis*, *Tabaco*, *Datura* y *Coca*. En efecto, el tráfico y uso de *Coca* (*Erythroxylum coca*), post prácticas de inhalación, ayuda a comprender mejor esta situación (Cárdenas, 1969). A través de la secuencia regional se ha verificado su uso desde el primer flujo Tiwanaku, pero con mucho mayor énfasis durante el período de Desarrollo Regional Tardío (Focacci, 1982). Se le empleó aún en tiempos históricos en ambientes tan distantes al Altiplano, como en la costa hiperárida de Paposo.

Fuera de algunas estancias en el valle de Azapa, no habría ninguna otra referencia histórica en cicales que puedan considerarse locales (Trellez, 1980). Rostworowski (1975) ha señalado la existencia de cicales en los valles *yungas* del Perú, pero no se ha identificado su cultivo en los Valles Occidentales al sur de Arica. Como es conocido, estas plantaciones son compatibles con las tierras bajas al Oriente del Altiplano Boliviano (Cárdenas, 1969). De estos lugares se registra etnohistóricamente un notable tráfico que se introdujo hacia la vertiente occidental, derivado de la circulación de bienes, cuando la conexión entre pueblos tardíos, inmeditamente pre incaicos, ocurrió con el Altiplano más que con el Noroeste Argentino: del *cebil* a la coca.

Sin embargo Murra (1972) sugirió que los cicales de Quivi (a 50 km de la costa), no más alto de los 1000 m, antes del control Inka, habían pertenecido a los *yungas* costeros. Rostworowski (1975) ha destacado el acceso que tenían los chichanos al comercio de *coca*, donde funcionaba como valor unitario. Estos cultivos se habían emplazado en los Valles Occidentales sur Peruanos, en cotas de los 300 a 1000 m desde el sur de Ica a Arica (en el piso de *Chaupiyunga*). Aunque Rostworowski (1975) aseguró que en los valles de Arica habían cicales locales, estos si ocurrieron fueron cultivos mínimos y aún no hay constataciones en los valles menos tropicales de más al sur, los cuales al igual que los asentamientos del Altiplano debían contactarse directa o indirectamente con los grandes cicales del oriente (Diez de San Miguel, 1964).

Hasta ahora no se ha estudiado qué clase de hojas son las registradas arqueológicamente. Se reconocen en bolsas más refinadas con decoración muy recargada (V.gr.: Pica-8), y las hojas son grandes y pequeñas. En algunos casos, como ocurre en Playa Miller-9 (Focacci, 1982) éstas son menudas y recuerdan las descripciones conocidas de la coca cultivadas en la vertiente del Pacífico (*Thupa coca*). Dauelsberg (comunicación personal) ha sugerido que efectivamente algunos restos de terrazas estrechas, ubicadas en el valle de Azapa, podrían fijarse en un medio ecológico adecuado para este cultivo, acorde a lo descrito por Rostworowski (Ob. cit.). No obstante estos enclaves costeros bajos, el oriente del Altiplano fue el área de mayor explotación y de allí su redistribución masiva en el área Centro-Sur andino inmediatamente antes de la expansión Inka.

Durante la Colonia continuó una compleja red de conexiones que aún en el siglo XIX abastecía de coca a los changos costeños de Paposo, en el rincón más periférico del desierto de Atacama (Phillipi, 1860).

Se puede apreciar que de continuar la ausencia de productos locales extensivos, tanto de alucinógenos como de coca, estos debieron insertarse en la red del tráfico trasandino constituyendo este último el rasgo más tardío que cubrió el vacío parafernático y ritualístico dejado por el cebil trasandino del NOA (Pérez Gollan, 1993).

El ingreso del flujo del coca pareciera en efecto comprometerse con enclaves adozados al Altiplano Meridional, tal como aún ocurría con la comunidad de Caspana en el interior del río Loa. Bertrand (1884) se refiere a las prácticas de intercambio de coca por productos elaborados, en oportunidades en que grupos trasandinos de Quetena, Lipez, Tupiza y Santa Catalina, alcanzaban dicho pueblo del Loa. Esta amplia distribución del tráfico de coca se apoya en el principio de que a más distancia de su zona de cultivo aumenta el valor de las tasas de contraparte. Por otro lado, los excedentes costeños del mar y sus valles semitropicales eran lo suficientemente cuantiosos como para compensar las transacciones. En este sentido, las comunidades que tenían acceso a los cocalos habían afianzado su carácter de «hojas-monedas», en operaciones casi monopólicas basadas en trueques deseados por densas poblaciones de la vertiente occidental (Brush, 1974). Los poseedores de coca podían intercambiarla para proveerse de alimentos y otros bienes foráneos, tal como aún pervive en los Andes (Custred, 1974).

RECURSOS VALLETEROS (0-2.500 m s.n.m.).

Los componentes más comunes del así llamado «Complejo Tropical Semitropical», involucra a los cultivos maiceros y sus asociados, articulado con espacios más restringidos de carácter forestal y forrajero, dispuesto en valles y oasis cálidos cercanos al Pacífico. Se suma a las cuencas húmedas con napas freáticas superficiales que dan lugar a bosques de *Prosopis* sp. en donde alcanzan extensiones mayores a los Valles Occidentales que cruzan al desierto desde el sur del Perú al borde oriental de la cuenca del Salar de Atacama.

Los frutos alimenticios de uso humano y forrajero procedentes de los bosques de algarrobo (*Prosopis juliflora*) y tamarugo (*Prosopis* sp.), se localizaron desde tiempos post pleistocénicos en los valles y cuencas cerradas del nivel de base de Pampa del Tamarugal y Salar de Atacama (este último recién trasladado al área de Toconao), persistiendo junto al molle o pimientillo (*Molle schinus*), cuyos frutos son usados para condimentos y bebidas por los valles, bajo los 2.500 m s.n.m. Por otro lado, tanto en los oasis y valles tarapaqueños bajos, como en los oasis atacameños, proliferó el bosque de chañar (*Geoffrea decorticans*), cuyo fruto, *pukaro*, también es molido como el algarrobo con fines alimentarios. El potencial de estos recursos forestales se asoció directamente al Complejo de cultivos Tropical-Semitropical.

Al considerar los cultivos del total de la secuencia de los valles cálidos, incluyendo los observados por los primeros europeos, se logra un listado considerable: ají, algodón, frejoles, maíz, zapallos, calabazas, yuca, camote, etc. Se suman los frutos de pakay, algarrobo, chañar, tamarugo, lúcuma y aún se pudieron cultivar papas y quinua, según se desprende de las detalladas observaciones de Bibar (1966) en el valle bajo de Copiapó, a pesar de que ambos cultivos son más comunes en las tierras altas. Se propone que ya desde tiempos prehistóricos se traficó harinas, granos de maíz (*Zea mays*), frutos de algarrobo (*Prosopis juliflora*) y chañares (*Geoffrea decorticans*), para la elaboración de *chichas*. Obviamente que ninguno de los productos antes referidos, salvo *quinua* y *papa* fueron cultivados en las tierras altas. El acceso a recursos para la preparación de bebidas alcohólicas motivó el traslado de varios productos bajos y aún de chicha preparada. En verdad, la transformación del maíz en *chicha* sigue siendo relevante para las ceremonias tradicionales, tal como se observó entre las comunidades Caraybambinas del sur Peruano (Fujii y Tomoeda, 1981). Labores especializadas en la confección de *Chicha* se ha identificado en la costa sur-Peruana, la cual era intercambiada con productos agrarios, chaquiras y lana (Rostworowski, 1975). Hasta ahora los frutos de chañar, algarrobo y maíz desgranado constituye «riqueza» entre las comunidades altiplánicas, y con ello se pueden transar múltiples operaciones como un valor de tasa, comparable al uso de «monedas», porque sin ellos no habrían libaciones rituales en las festividades del calendario andino.

En general, todos estos productos eran cultivados por agricultores locales o directamente por colonos de tierras altas (Murra, 1972), incluyendo su envío por operaciones de trueque a las «Provincias de la Sierra», según se constata en múltiples referencias coloniales (Cobo, 1893; Alcedo, 1967; Cosme Bueno, 1951).

El paso de cultígenos domésticos del Complejo Tropical y Cordillerano Oriental del Noroeste Argentino a los Valles Occidentales y Circumpuna podrían haber ocurrido a través de sitios intermediarios o estaciones transitorias de la Alta Puna, como las Cuevas de Huachichocana, con evidencias vegetales ubicadas en el límite arcaico-formativo datado a los 3.450 años a.P.:

calabazas, maíz, maní, papa, oca, algarrobo y cactáceas (Fernández Distel, 1985). Aunque se ha considerado que estos cultígenos «Semitropicales» debieron domesticarse en la Vertiente Oriental de los Andes (Núñez, 1974), se han localizado diversos *locis*, como la emergencia de frejoles domésticos entre ocupaciones arcaicas de los Andes Centrales, datados por el VI milenio a.P. (Kaplan y Lynch, 1973). Claro está que se desconocen otros *locis* más cercanos, pero, a lo menos se sabe que los primeros cultivos de maíz eran de forma «moderna» cultivados selectivamente entre ocupaciones arcaicas más tardías y datadas en el oasis de Tiliviche por los 6.000 a 4.000 a.P. El registro de polen de maíz quebrada de Tarapacá, por este mismo tiempo, confirma el antiguo registro de este cultígeno (Meighan *et al.*, 1979).

Esta bien constatado que en el oasis de Tiliviche el consumo de cuyes domésticos (*Cavia sp.*) junto a maíces de la variedad Chucutuno chico, Capio chico chileno y raza Altiplánica, en un contexto arcaico, ocurrió por los 6.000 a 4.000 años a.P., arribados morfológicamente domésticos desde las regiones del oriente altiplánico. Es decir, estos valles y oasis bajos comienzan por este tiempo a ser intervenidos por los hombres con miras a incrementar la producción de alimentos, complementado con caza-recolección interior y explotación costeña (Núñez, 1989).

El conjunto de cultígenos «Semitropicales» de los valles y oasis bajos es más variado que el «Cordillerano» y depende de técnicas de regadío en valles cálidos con posibilidades de lograr más de una cosecha por ciclo anual. En las tierras bajas de Arica, junto al Pacífico, hay constancia que los cultivos de algodón (*Gossypium sp.*), camote (*Hipomoea batata*), calabazas (*Lagenaria sp.*) y mandioca (*Manihot utilissima*) fueron conocidas entre los 3.670 y 2.790 a.P. (Muñoz, 1982). Por otro lado, el temprano uso de las fibras de algodón (*Gossypium arboreum*), adaptado en las tierras bajas, dará lugar al desarrollo de una textilera singular en los ambientes cálidos de los valles y oasis costeños, pero no logró ser usado masivamente puesto que la producción de lana de camélidos era abundante como parte del patrón circulatorio de bienes desde tierras más altas.

Durante el período formativo, por los 3.000 a los 2.400 años a.P., el maíz ya está cultivado extensivamente en la quebrada de Camarones (Niemeyer y Schiappacasse, 1969). Es decir, los cultivos de los valles costeros de la región de Arica junto al Pacífico se consolidaron ya por los 2.530 años a.P., a través de tubérculos tales como camote y yuca, asociado a calabaza, zapallos (cucurbitas) y mucho maíz (Muñoz, 1982, 1989; Niemeyer y Schiappacasse, 1969).

La excelente adaptación del maíz a los valles cálidos permitió su irradiación masiva desde las cabeceras a las desembocaduras de los ríos. Su registro en enclaves desérticos Costeños al sur de Iquique (Núñez y Moragas, 1977) y sus abundantes registros funerarios de Arica y Tarapacá (Santoro y Chacama, 1982), demuestra que por los 2.800 a 3.300 años a.P. este cultivo estaba bien asentado en los valles bajos, con cosechas excedentarias trasladadas a asentamientos carentes de recursos agrarios, en la costa árida entre Pisagua y la boca del río Loa. La reciente datación de maíz en un contexto estratigráfico sellado, datado a los 2.700 años a.P., en un depósito aldeano de la fase Tilocalar, en el extremo sur del Salar de Atacama, confirma la apreciación de una especialización interregional maicera en los valles y oasis bajo los 2.500 m.

Por los 2.480 a 2.500 a.P. el valle de Tarapacá contaba con cultivos dominantes de maíz, porotos (*Phaseolus lunatus* y *vulgaris*), algodón y recolecta de pimiento (*Schinus molle*), pacay (*Inga feullet*), y vainas de algarrobo, de acuerdo a las evidencias constatadas en Pircas y Caserones (Núñez, 1983). Sin embargo, aparecen en pircas restos minoritarios de tuberosas ofrendadas en fosas: añu (*Tropaelum sp.*) restos de *ullucu* en pisos de Caserones y abundantes ofrendas de tiestos con semillas y harina de quinua en los cementerios asociados a estos asentamientos. También hay registros intrusivos de maní (*Arachis hipogaea*) y zapallo (*Cucurbita máxima*) en uno de los cementerios de Tarapacá en contextos formativos (Núñez, 1974). Pareciera que junto a los cultivos locales (maíz) se agregaron al registro otros arribados en el movimiento caravánico (maní, papas, etc.). En este sentido el cultivo de quinua en tierras más abajo de los 2.500 m no deja de ser un problema que merece mayor atención. Su presencia en tumbas inmediatamente preincaicas de Pica y más antiguas en las cercanías de Huarasiña (Caserones/ Tarapacá 40 A y B), indica la posibilidad de trueque y/o cultivación local. No está demás señalar que hay datos históricos de su presencia en Quillagua, por los 800 m de altura, válido para el siglo XVIII. El registro de quinua en contexto arcaico Chinchorro debe revisarse estrictamente porque ahora se sabe que junto a esas tumbas de Arica, se dispusieron otras más tardías (V. Standen, comunicación personal).

Aún tardíamente por los 2.200 - 2.300 años a.P., entre contextos formativos con cuerpos con turbantes, se consumió carne de vicuña, viscachas, y abundante quinua y algarrobo entre ocupaciones de cultivadores de cucurbitas y maíces, en el valle de Tarapacá. Posteriormente, en el valle de Tarapacá se advierte durante la fase Tiwanaku el registro de ofrendas de vainas de algarrobo consumidas de acuerdo al análisis de coprolitos con otros productos locales. Se asocia a la explotación del bosque local la cultivación de pallares, maíz, cucurbitas y el arribo por trueque de maní (*Arachis hipogaea*) quinua y papa *chuño*. Estos eventos son sincrónicos al comienzo de la era (400-600 años d.C.).

Estas experiencias se prolongaron más al sur. En efecto, la presencia en la quebrada baja de Guatacondo, en pisos de la aldea formativa, de vestigios de maíz, frejoles, cucurbitas y vainas de algarrobo, por los 90 años d.C. viene a confirmar la prolongación más al sur de la expansión de estos cultivos, ahora ratificada con las recientes investigaciones en otros núcleos cercanos, minero-aldeano, localizado en Ramaditas (G. Graffan, comunicación personal).

De lo expuesto, se acepta que hasta ahora no se conocen ocupaciones con antigua crianza de llamas en el Altiplano ariqueño y tarapaqueño, pero es probable que eventos sincrónicos como los registrados en la Puna de Atacama, hayan sucedido en la

base de la sociedad formativa sobre los 2.000 m. Esta correlación entre ganaderos serrano-altiplánicos y los valles bajos de la región tarapaqueña es evidente a partir de evidencias localizadas en los valles de Azapa, Tarapacá, Guatacondo y el Loa. Aquí, entre ambientes muy cálidos, hay presencia inequívoca de contactos con pueblos de llameros y caravaneros que accedieron a los pisos más bajos del *habitat* natural de los rebaños de llamas.

Entonces, una de las características más relevantes del Complejo Tropical-Semitropical, es el uso de cultígenos y arboledas en ambientes cálidos con crianza de *cuy* doméstico y escasa presencia de llamas. Aspecto este último que requiere de un análisis más explícito.

La crianza de llamas y su derivación el tráfico caravanero se involucró con poblaciones que ocuparon pisos entre 2.500 a 4.000 m., pero no fue posible su adaptación masiva en el medio desértico de menor altura: «La carga que lleva de ordinario un carnero de estos, será de cuatro o seis arrobas y siendo viaje largo, no caminan sino dos o tres leguas, o cuatro a lo largo. Tienen sus paradas sabidas (...) donde hay pasto, y agua allí descargan y arman sus toldos, y hacen fuego y comida (...) Cuando no es más de una jornada, bien lleva un carnero de estas ocho arrobas más, y anda con su carga, jornada entera de ocho a diez leguas (...) Los pacos a veces se enojan y aburren con la carga, y échanse con ella sin remedio de hacerlos levantar; antes se dejarán hacer mil piezas que moverse, cuando les da este enojo (...) El remedio que tienen los indios entonces, es parar y sentarse junto al paco, y hacerle muchas caricias, y regalalle hasta que se desenoja y se alza, y acaece, esperarle bien dos o tres horas a que se desempaque y desenoje (...) De la carne de este ganado hacen charqui o cecina, que les dura largo tiempo, y se gasta por mucha cuenta; usan llevar manadas de estos carneros cargados como recuas (...) La carga que lleva de ordinario un carnero de estos será de seis o cuatro arrobas, y siendo viaje largo, no camina sino dos o tres leguas, o cuatro a lo largo (...) Es todo ganado, amigo de temple frío, y por eso se da en la sierra y muere en los llanos con el calor. Acaece estar todo cubierto de escarcha y hielo este ganado, y con eso muy contento y sano (...) Dales un mal como sarna, que llaman caracha, de que suele morir este ganado» (Acosta, Ob. cit.: 208, 212).

A pesar de las dificultades en el medio árido, las caravanas accedieron hasta el litoral. Otros documentos hacen referencia a lo anterior ratificando que: «... Para poder cumplir tenía Reinoso sacado los indios, i el ganado en los pastos más cercanos de esta ciudad (Arica), que no son buenos sino para pocos días...» (Dagnino, 1909:91). También podemos afirmar que los descensos caravánicos pre europeos hacia los Valles Costeños ocurrieron durante las temporadas entre siembra y cosecha. Al parecer en ningún caso durante el verano. Así, se desprende de un documento también de Arica referido por Dagnino (1909:45): «Cuarenta indios, catorce de llabaya i veinteseis de Tarata i Putina, jurisdicción de esta ciudad, están como de costumbre viniendo a este puerto los seis meses de invierno para hacer las izangas para los arrieros que acarrear al azoque de S.M. a la Villa de Potosí i Oruro; por ser el verano aquí muy enfermo para ellos, no asisten más...» Lejos del «temple frío», en la región de Arica y Tacna se reconoce la *caracha*, una infección que aumenta en las llamas que ocupan «tierras calientes» (Cúneo, 1903). Ciertamente, la mantención de caravanas en los Valles Ariqueños, a raíz del cabotaje colonial de azogue, provocó patologías que fueron tratadas con ungüentos locales. Pérez de Torres (en Dagnino, 1909:37) ratifica esta situación: «Estos pimientos sirven para curar los carneros que cargan por toda esta tierra (...) con estos pimientos los purgan, a la sarna que les sale entre las piernas la curan con manteca de azufre caliente».

A pesar de lo anterior, a raíz de este flujo de azogue desde Arica al Altiplano, se concentró en este ambiente árido-tropical, un alto stock de llamas de carga, repitiendo en mayor escala el tráfico pre-europeo bajo otras motivaciones. El modo de las operaciones de traslado durante la colonia temprana consistía en mantener las caravanas en pisos algo más altos, para establecer el descenso sincronizadamente, evitando estadías largas en el valle cálido costero. Dagnino (1909:94) transcribe al respecto el siguiente documento: «Este ganado de la tierra es muy embarazoso de manejar, y le tienen sus dueños cuarenta leguas de aquí, donde hay pastos; y no pueden estar en otra parte mas cerca por ser lo demas hasta aquí arenales, y por esta causa no le pueden sacar de los pastos sino es teniendo la carga muy cierta; y estando, han menestar para subir a los dichos pastos, y sacar los indios que lo han de bajar, y llegar a este valle, veintecino o treinta días; que es causa forzosa y sin remedio...»

Estas consideraciones en términos de desajustes biológicos en distintos ámbitos costeros-desérticos del área andina podrían invalidar la presencia estable de mantención de llamas en valles y oasis cálidos en épocas prehispánicas. Sin embargo, se sabe que la presencia de llamas, para alimento y carga, fue de fundamental importancia en los valles desérticos-costeros del Norte del Perú, durante el Período III (Shimada, 1980). En la fase Cajamarca Medio se advierte un incremento que fluctuó desde el uso de carne a una mayor intensificación del traslado de cargas (Ob. cit.). Verdaderos stock de huesos fueron identificados con estos fines (Pozorski, 1976).

No es aún conocido con certeza si: 1) alguna sociedad costera tal como los Moche y la posterior Chimú, mantuvo su propio servicio de caravanas que se extendía de la costa a las altiplanicies adyacentes; 2) eran grupos altiplánicos que operaban las redes de caravanas orientadas a las sociedades costeras, o 3) este litoral era simplemente un área «pasiva» para las recuas del Altiplano. Dada la continuidad de los registros de huesos de llamas, que a menudo aparecen en los asentamientos costero (V.gr.: asentamientos Moche y Chimú), no sería sorprendente que la primera alternativa fuera la correcta.

De ser así, surgen nuevas preguntas: ¿De dónde proviene la llama costera?, ¿fueron mantenidas en la costa y además en el Altiplano? o ¿los rebaños de la costa eran reemplazados de vez en cuando por arribos de gentes del Altiplano? Si los grandes

rebaños se mantuvieron en la costa, ¿dónde eran mantenidos?, ¿en el fondo del valle donde se producían las cosechas? Con respecto a estas preguntas las actuales investigaciones en los Andes Septentrionales y Centrales, han clarificado esta controversia en relación a que los camélidos pudieron soportar un ambiente desértico con un alto nivel de permanencia y efectividad (Shimada, 1980).

Por otro lado, la presencia en el valle bajo de Tarapacá (Caserones) de restos de huesos, cuero, lana, cuerpos completos y densas capas de guano sobre pisos de estructuras destinadas al encierro, señalan que no sólo se trata de animales de carga a raíz del gran grosor de sus cojinetes, sino que además hay restos óseos de cuerpos jóvenes y neonatos que se criaron *in situ* (B. Hesse, comunicación personal). Estas evidencias se han fechado entre los 400 a.C. a 400 d.C. y fundamentan un patrón de crianza en cautiverio, emplazado en un ambiente hiperárido. La data arqueológica ha planteado que esta crianza, obviamente de muchísimo menor escala en relación a los rebaños propiamente andinos, era mantenida como fuente de alimentación deseada y para recuas de carga. Su forraje, distinto al andino, se basó en desecho de cosechas de maíz y matorrales locales de Sorona (*Tessaria absinthioides*), Pillalla y vainas de algarrobo (*Prosopis juliflora*), comunes en la quebrada de Tarapacá. Estos indicadores coinciden con la data etnográfica, por cuanto hasta ahora hay corrales bajo sombra en el valle, cerca de Caserones, donde se crían llamas jóvenes traídas desde el Altiplano, forrajeadas con estos recursos locales.

En las etapas posteriores los registros continúan con más o menos densidad, pero lo relevante es que durante el período Medio hay enterramientos Tiwanacoides en el valle de Azapa con múltiples registros de llamas (I. Muñoz, comunicación personal). Tal concentración se ha reiterado en el poblado San Lorenzo, en el mismo valle, a 15 kms. de la costa, a través de ofrendas ceremoniales de la fase Maytas, datada a los 790-980 d.C. (I. Muñoz, comunicación personal). Depósito a modo de zonas de corrales con extensos pisos compactados con *guano* de llamas fueron excavados en el poblado de Cerro Sombrero (Muñoz, 1989). Se ha señalado que este sitio fue un verdadero terminal de tráfico caravanero, datado entre los 1300 a 1450 d.C. Estos pisos de corrales, en el borde de alto del valle de Azapa, ubicados junto al Pacífico, son elocuentes y definitivamente nos indican que las llamas se habían adaptado al ambiente desértico como fuente de alimento selecto y básicamente como recuas del tráfico interregional. Por otro lado, huellas de caravanas, corrales con coprolitos de llamas y los diseños de geoglifos, son evidencias inequívocas de su paso por el desierto chileno (Núñez y Briones, M.S).

Las fuentes etnohistóricas han dado cuenta de rebaños de llamas en ambientes costeros, que confirman la crianza local pre europea (Rostworowski, 1975; Murra, 1972). Flores Ochoa (1982) anota que esta permanencia pudo ser temporal a raíz de las operaciones de traslado de bienes con las tierras altas. Por todo esto, su mantención fue el resultado de dos situaciones bivalentes: 1) experiencia local en mantención de recuas y crianzas del patrón de cautiverio antes referido, para fines de alimentación, ceremonial y tráfico caravanero, y 2) conservación de caravanas de mayor escala, que transitaban a lo largo del perfil regional, desde las tierras altas, tal como lo detecta Murra (1972) entre Juli y la costa a través de circuitos de 50 días.

En relación al primer punto, Rostworowski (1975) ha documentado en Acari y Atico (Sur Perú) que los Caciques locales poseían llamas propias, claramente individualizadas del ganado importado. En las *lomas* costeras del Sur-Peruano se fijaron pastizales y bosques que eran explotados con un criterio multiétnico, tanto por agrupaciones locales y llameros que descendían durante las etapas de sequía. El arribo a las *lomas* de Cañete (1568) de grupos Yauyos ratifica esta situación (Rostworowski, 1975).

Obviamente que el manejo de caravanas se optimizó en las tierras altas donde se generó su adaptación habitual. De esta manera, a lo largo de la secuencia, desde las aldeas tempranas hasta el surgimiento de los llamados Reinos Altiplánicos (Lumbreras, 1970), debió especializarse su uso en términos de carga, de acuerdo a su control gradual. Es decir, existió una clara orientación hacia el perfeccionamiento de machos cargueros, con énfasis en recorridos de larga distancia, a lo largo de distintos medios ecológicos, incluido el desértico.

En general, hay varias ventajas por cuanto se mantenían recuas frescas de relevos, eran conducidas por escasos arrieros y permitían trasladar cargas con un desgaste de energía muy inferior al empleado por la acción humana. Este principio es aún reconocido por las comunidades andinas que hoy persisten en su uso a raíz de su alta eficiencia.

En las tierras altas del sur del Perú, se ha observado que las llamas de cargas especializadas sustentan cargas en cortas distancias del orden de los 68 kilos y en largos recorridos con un rango entre 45 a 20 kilos cada uno. Si un solo hombre arrea 12 llamas puede trasladar media tonelada de *charqui*, mientras que individualmente se limita a 40 kilos, al tanto que su costo de energía puede ser más si lleva personalmente la carga. Al expresar estas cifras en caravanas de más de 100 llamas la capacidad de carga pasa a ser excepcional. Este principio explica su supervivencia durante la Colonia cuando fue sometida a requerimientos de carga minera y cabotaje bajo el modelo mercantilista.

CONCLUSIONES.

Al tiempo de la invasión europea el territorio conocido hoy como Norte Chileno estaba espacial y políticamente organizado en varios Señoríos que manejaban la explotación y traslado de sus recursos entre las comarcas aledañas y aquellas de mayor densidad ubicadas al otro lado de la cordillera (Hidalgo, 1972; Martínez, 1988; Núñez, 1992b). Cada Señorío demarcó su territorio tratando de incorporar al espacio étnico original más diversidad ambiental, tan suficiente como para lograr productividad

diversificada y especializada, a fin de articular con mayor certidumbre las complejas redes de interacción caravaneras. Los Señoríos de Arica, Tarapacá-Pica, Loa Medio-Superior, oasis de San Pedro de Atacama y altiplánicos-tarapaqueños, en orden de menor a mayor altitud, manejaron sus respectivos recursos dentro de redes internas y externas de interacción complementaria.

La costa fértil y desértica desde Arica a Taltal estaba poblada con ocupaciones permanentes, pero más dependientes de los Señoríos agrarios interiores; vivían preocupados de exceder para mantenerse en las redes de interacción: tráfico de pescados y mariscos secos, conchas, algas, etc. Estos recursos no debieron ser exiguos puesto que los europeos muy tempranamente lo articularon dentro de las redes del caravaneo esta vez mercantilista (Martínez, 1988).

En los valles y oasis bajos que cubren el espacio cálido o desértico típico, desde el valle de Lluta al Loa Medio (0-2000 m n.s.m.) los cultivos más rotativos de regadío (*chacaras*) dieron lugar al desarrollo del Complejo Tropical-Semitropical: calabazas, zapallos, frejoles-pallares, frejoles-vulgares, ají, etc., siendo el cultivo de la triade frejoles, ají y maíz el que ocupó mayor espacio productivo. Dentro de la triade y a juzgar por la altísima disposición de ofrendas en cementerios formativos de algo antes a la era, como Alto Ramírez (Valle de Azapa) y las ofrendas del oasis de Pica para algo antes de la invasión europea, se puede proponer que el mayor hectaraje de los valles bajos se orientaba al cultivo especializado del maíz (Erices, 1977; Núñez, 1974). En el caso del oasis de Pica, éste fue exclusivamente maicero de acuerdo a sus condiciones climáticas, la alta frecuencia en las ofrendas y maíces localizados en escondrijos de pascanas caravaneros hallados en el Salar de Pintados entre el oasis y el Pacífico (Núñez y Briones, Ms.). La presencia de tuberosas y yuca parece ser intrusiva, derivado del tráfico con el Altiplano y oriente respectivamente, al tanto que a la abundante presencia de quinua podría asignársele a un eventual cultivo adaptado a las tierras bajas.

Se asocian a esta productividad el manejo forestal de algarrobales, mollarés, tamarugales y chañares, incluyendo la cría de cuyes y mantención de rebaños de llamas del patrón en cautiverio, vinculado con un uso selectivo, ritual y caravanero.

En las tierras altas equivalentes a las cabeceras de los valles Occidentales aledaños al Altiplano tarapaqueño (2500 - 4000 m s.n.m.) se logró una virtual combinación de los Complejos Tropical-Semitropical y Cordillerano. Aquí se integraron los suelos usualmente preparados en aterrazamientos artificiales bajo riego canalizado y lluvias estivales con cultivos maiceros y de tubérculos, en conjunto con crianza de llamas del patrón serrano (Arica - Loa Superior). Se advierte aquí más estabilidad ocupacional sin abandonos estacionales a pesar del rigor invernal.

En el Altiplano tarapaqueño propiamente tal, desde los páramos de Arica al Loa Superior (4000-4500 m s.n.m.), se consolidó el Complejo Cordillerano típico, con cultivos más extensivos de tubérculos y granos de quinua, asociados a la más densa crianza de camélidos conocida en el área *in toto*, estrechamente correlacionada con el «costeo» trashumántico hacia las cabeceras de los Valles Occidentales.

En los oasis piemontanos de la Puna de Atacama, entre los oasis de Río Grande y Tilomonte (borde oriental de la Cuenca de Atacama) los recursos pecuarios (camélidos) se combinaron con cultivos del Complejo Tropical Semitropical: cucurbitas, maíz, ají y frejoles con posibles readaptaciones de quinua en los oasis bajos, incluyendo la implantación de tubérculos (papa) junto a maíces resistentes en oasis de mayor altura como Socaire.

El potencial agrario de acuerdo a la actual pervivencia de cultivos nativos en los oasis atacameños piemontanos, se dió a través de la especialización del regadío de inundación sobre *chacaras* de maíces localizadas en huertos semisombreados por arboledas de *Prosopis* sp., controlándose mejor los procesos de erosión, evaporación y salinación. Este potencial agrario aunque con más distancia entre siembra y cosecha que los Valles Occidentales cálidos, se complementó bien con la crianza estacional de densos rebaños de llamas (más que en los Valles Occidentales) junto a zonas húmedas y en vegas restringidas a los arroyos, forraje «salado» de breas, rica-rica, cachillullos, grama y otros pastos magros de los bordes del Salar, los únicos conocidos antes del arribo de la alfalfa europea. Completó la dieta herbívora el consumo de frutos de chañar y algarrobos ensilados durante el fin de la estación cálida y la *challa* o desecho de los maizales. Durante el ciclo anual trashumante estos rebaños merodeaban por los «pastos de cerros» y vegas de la Alta Puna incorporándose a los oasis cuando la estación fría exigía el retorno a los lugares más cálidos de pastoreo alternativo, ubicados en los oasis y vegas de los salares bajos. Esta combinación de recursos cultígenos «Cordilleranos» y «Tropical-Semitropical» observado en los oasis atacameños dió estabilidad y prestigio a los Señoríos del Loa Medio-Superior y de los oasis atacameños.

El hecho de que la totalidad de los recursos identificados en todas las comarcas analizadas se hayan mantenido y multiplicado bajo estrictas estrategias de bodegaje, dado el desarrollo de una cultura del acopio de reserva, da cuenta de la crítica disponibilidad de recursos a raíz de la reiteración de períodos de escasez y abundancia entre ciclos secos y húmedos. De este modo, estos «islotos verdes» restringidos en el medio de enormes despoblados, mantenían una riqueza agropecuaria «oculta» que sustentó nada menos que el paso de varios ejércitos de miles de invasores durante el siglo XVI.

La implantación de funcionarios, hacendados y mineros españoles, desde el Siglo XVI y comienzos del XVII, en estas mismas comarcas, significó a su vez la radicación de recursos foráneos en donde el clima sustentó la innovación del uso de los suelos indios por la imposición de semillas y animales traídos de España. En las tierras bajas de los Valles Occidentales y Oasis Atacameños se incorporaron exitosamente: alfalfa, olivos, frutales, vid y trigo como cultivos también dominantes. No obstante,

en las tierras más altas sobre los 2.500 m, se mantuvo el recurso andino preexistentes: Complejo Cordillerano porque hasta allí se ejerció menos presión europea, resultando en última instancia un área étnica de refugio que hasta hoy presenta los componentes Cordilleranos más genuinos.

En suma, una de las consecuencias más dramáticas de la ocupación europea lo constituyó la rápida transformación de la organización del espacio correspondiente a los Señoríos Regionales preincaicos (Hidalgo, 1972; Núñez, 1992b), los que articulaban en un todo, el «mundo» andino sureño, eslabonado entre la costa y la vertiente oriental de los Andes (Murra, 1972; Núñez y Dillehay, 1978), en donde las tierras altas y serranas mediatizaba a través de los traslados caravaneros el flujo circulatorio de bienes, que fuera interceptada durante la invasión y colonización europea.

En efecto, el impacto de los cambios agropecuarios impuestos por los europeos se caracteriza por la variedad de los nuevos cultígenos y la sensible transformación del uso de los suelos. En el piso de valles y oasis templados la adaptación de cultígenos tales como las arboledas de cítricos, melocotón, olivos, albaricoques; las nuevas legumbres como: col, nabo, arveja, zanahoria, habas, cebollas, ajo, cebada, avena, centeno y principalmente el trigo, son señales inequívocas de una sustancial reorientación agraria a partir del Siglo XVI. Estos cambios van aparejados con la nueva implantación pecuaria: caballos, mulas, burros, vacunos, ovinos, caprinos, porcinos, gallinas, patos, etc.

Son estos dos aportes integrados, andinos y europeos, los que deben tenerse en mente cuando se evalúa la naturaleza de los recursos autóctonos del norte del país bajo situaciones post conquista (Dollfus, 1981). Los recursos agropecuarios del norte chileno (I y II Región) se vinculan hasta ahora con los remanentes étnicos aymaras y atacameños, insertos en procesos de continuidad (V.gr. ideología) y cambios (V.gr. asentamientos sedentarios obligados post Toledanos), con componentes socioculturales de difícil lectura desde las visiones ciudadinas. Es decir, toda intervención tras innovaciones científico-tecnológicas cruza primero la zona de conocimiento real de estas poblaciones y sus modos de articular sus recursos, además de la recepción de sus propias propuestas en términos de etnodesarrollo. Tal orientación en términos de comprender sus aspiraciones y reivindicaciones étnicas marcaría la exacta diferencia entre el siglo XVI y XXI.

REFERENCIAS

- Acosta, Fr. J. de, 1940. Historia Natural y Moral de las Indias (1590). Fondo de Cultura Económica, México.
- Alcedo, A. de, 1786-89. Diccionario Geográfico-Histórico de las Indias Occidentales. 1967, Madrid.
- Aldunate, C., J. Berenguer y V. Castro, 1983. Estudios de arte ruprestre en el alto Loa. Revista Creces N° 4, pp. 19-28, Santiago de Chile.
- Aldunate, C., J. Berenguer, V. Castro, L. Cornejo, J. Martínez y C. Sinclair, 1986. Cronología y asentamientos en la región del Loa Superior. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Arias G., A. Benavente y P. Gesele, 1991. Identificación y variabilidad del uso del animal a través de textiles arqueológicos: contrastes con patrones fanereos actuales. Resumen de Comunicaciones, XI Congreso de Arqueología Chileno, Temuco.
- Benavente, A., 1985. ChiuChiu 200: Una comunidad pastora temprana en la provincia de El Loa (II Región). Actas del IX Congreso Nacional de Arqueología, pp. 75-94, Sociedad Chilena de Arqueología, Boletín 18, Museo Arqueológico de La Serena.
- Bibar, G. de, 1966. Crónica y relación copiosa y verdadera de los Reynos de Chile (1558) hecha por... Fondo Histórico y Bibliográfico J.T. Medina, Santiago de Chile.
- Bertrand, A., 1884. Memoria sobre la Cordillera del desierto de Atacama y regiones limítrofes. Santiago de Chile.
- Brush, S.B., 1974. El lugar del hombre en el ecosistema andino. Revista del Museo Nacional. XL Inst. Nac. de Cultura, Lima.
- Cardenas, M., 1969. Manual de plantas económicas de Bolivia. Cochabamba, Bolivia.
- Castro, V. y M. Tarrago, 1990. Los inicios de la producción de alimentos en el cono Sur de America. Revista de Arqueología Americana N° 6, pp. 91-124. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México.
- Cobo, C., 1893. Historia del Nuevo Mundo. (1653), Sevilla.
- Cosme Bueno, C., 1951. Descripción geográfica de las provincias pertenecientes al (1774-78) Reyno del Perú. Chile y río de La Plata, según el orden con que los dió público en España.
- Cuneo, R., 1903. Civilizaciones peruanas. Lima.

- Custred, G., 1974. Llameros y comercio interregional. Reciprocidad e intercambio en los andes Peruanos. Ed. B. Alberti y E. Mayer, Lima.
- Dagnino, V., 1909. El correjimiento de Arica. Imprenta La Epoca, Arica.
- Diez de San Miguel, G., 1964. Visita hecha a la provincia de Chucuito. Documentos (1567) Regionales para la Etnología y Etnohistoria Andinas. T-I. Casa de la Cultura, Lima.
- Dollfus, O., 1981. El reto del espacio andino. Instituto de Estudios Peruano, Lima.
- Druss, M., 1978, Computer analysis of Chiuchiu complex settlement pattern. El Dorado N° 2, USA.
- Erices, S., 1977. Evidencias vegetales en tres cementerios prehispánicos de Arica, Chile. Chungará N° 5,65-72, Arica.
- Fernández Distel, A 1980 Los fechados radiocarbónicos en la arqueología de la Prov. de Jujuy, fechas radiocarbónicas de la Cueva CH III de Huachichocana, Tiuiyaco e Inca Cueva, Argentina. Radiocarbono en Arqueología t. I, pp. 89-100, Mendoza.
- Fernández Distel, A. 1985 Mapa arqueológico del Departamento de Tumbaya. Paleotnología N° III. C.A. de Etnología Americana, Buenos Aires.
- Flores Ochoa, J., 1977. Pastores de Puna. Instituto de Estudios Peruanos, Lima
- Focacci, G., 1982. Excavaciones en el cementerio de Playa Miller-9 Documentos de trabajos N° 2. Instituto de Antropología, Universidad de Tarapacá, Arica.
- Fujii, T. y H. Tomoeda, 1981. Chacra, lame y auquénidos. Estudios etnográficos del Perú Meridional. Ed. S. Masuda, Universidad de Tokyo, Tokyo.
- Hidalgo, J., 1972. Culturas Protohistóricas al Norte de Chile. Cuadernos de Historia 1, Santiago de Chile.
- Kaplan, L., T. Linch y C.F. Smith, 1973. Early cultivated bean (*Phaseolus vulgaris*) from an intermontane Peruvian valley. Science, vol. 179.
- Lavallee, D., M. Julien y J. Wheeler, 1983. Telarmachay: niveles precerámicos de ocupación. Revista del Museo Nacional de Lima, N° 47.
- Lumbreras, L.G., 1970. La evidencia etnobotánica en el análisis del tránsito de la economía recolectora a la economía productora de alimentos. Arqueología y Sociedad N° 1. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Lynch, T. 1989. Regional Interaction, trashumance and verticality: archaeological use of zonal complementary in Peru and northern Chile. Michigan Discussions in Anthropology N° 8, pp. 1-11, University of Michigan, Ann Arbor.
- Llagostera, A., 1977. Ocupación humana en la costa norte de Chile, asociada a peces locales extintos y a litos geométricos: 9.680+160 a.C. Actas del VII Congreso de Arqueología Chilena. Ed. Kultrun, Santiago de Chile.
- MacNeish, R.S., 1969. Firßst annual report of the Ayacucho archeology-botanical project. Robert S. Peabody Foundation for Archaeology.
- Martínez, J.L., 1988. Adaptación y cambio en los atacameños los inicios del período colonial, Siglo XVI y XVII. Andes N° 3, Inst. de Estudios Contemporáneos, Santiago de Chile.
- Meighan, C.W., 1979. Archaeology of Guatacondo, Chile. Prehistoric trails of Atacama: Archaeology of northern Chile. C.W. Meighan y D.L. True, Universidad de California.
- Meighan, C.W., Molina, T. Torres, E. Belmonte y C. Santoro 1989 y posible cultivo de coca (?) en épocas prehispánicas en los valles de Arica, Chungará 23, Universidad de Tarapacá, Arica.
- Muñoz, I., 1982. Las sociedades costeras en el litoral de Arica durante el período arcaico tardío y sus vinculaciones con la Costa Peruana. Chungará N° 9, pp. 124-151, Universidad de Tarapacá, Arica.
- Muñoz, I., 1989 El período formativo en el Norte Grande (1000 a.C. a 500 d.C.). Culturas de Chile T-1 Prehistoria, pp. 107-128. Editorial Andrés Bello, Santiago de Chile.

- Murra, J., 1965. Herds and herders in the Inca State. Man, culture and animals. American Assoc. for the Advancement of Science, Pub. N° 78.
- Murra, J., 1972. Un reino aymara en 1567. Primer Congreso del Hombre Andino. Antofagasta.
- Niemeyer, H. y V. schiappacasse, 1969. Comentario a 3 fechados radiocarbónicos de sitios arqueológicos de Conanoxa. Valle de Conanoxa, Provincia de Tarapacá. Noticiario Mensual 151. Museo Nacional de Historia Natural, Santiago de Chile.
- Núñez, L., 1974. La agricultura prehistórica en los andes meridionales. Editorial Orbe, Santiago de Chile.
- Núñez, L. y C. Moragas, 1977. Una ocupación con cerámica temprana en la secuencia del distrito de Cádiz. Estudios Atacameños N° 5, Universidad del Norte, San Pedro de Atacama.
- Núñez, L. y T. Dillehay, 1978. Movilidad giratoria armonía social y desarrollo en los Andes Meridionales: patrones de tráfico e interacción económica. Universidad del Norte, Antofagasta.
- Núñez, L., 1983. Paleoindio y arcaico en Chile: diversidad secuencia y procesos. Editorial Cuicuilco, México.
- Núñez, L., 1989. Hacia la producción de alimentos y la vida sedentaria (5000 a.C. a 900 d.C.). Culturas de Chile, t.1, pp. 81-105, Editorial Andrés Bello, Santiago de Chile.
- Núñez, L., 1991. Tráfico, Factos y conchas. Boletín N° 13 de la Sociedad Chilena de Arqueología. Santiago de Chile.
- Núñez, L., 1992a Ocupación arcaica en la Puna de Atacama: Secuencia, movilidad y cambio. Prehistoria Sudamericana Nuevas Perspectivas. Ed. B. Meggers, Taraxacum, Washington.
- Núñez, 1992b, La sociedad tarapaqueña al tiempo de la invasión Europea. Revista N° 20 del Campus Iquique. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Núñez, L., y Briones, L., Interacción caravanera entre el Oasis de Pica y el Litoral. M.S.
- Parodi, L.R., La agricultura aborígen argentina. Editorial Universitaria, Buenos Aires.
- Pérez Gollan, J., 1993. Religión y alucinógenos en el antiguo noroeste Argentino. Ciencia Hoy. Vol. 4, N° 22, Buenos Aires.
- Phillipi, R.A. 1869. Viaje al desierto de Atacama... 1852-1854. Halle.
- Ponce, C., 1970. Las culturas Wankarani y Chiripa y su relación con Tiwanaku. Publicación de la Academia de Ciencias, N° 25, La Paz.
- Posorski, S.G., 1976. Prehistoric subsistence pattern and site economy in the Moche Valley, Perú. Ph. Dissertation, University of Texas, Austin.
- Rostworowski, M., 1975. Pescadores, artesanos y mercaderes costeros en el Perú Prehispánicos. Revista del Museo Nacional, T-XLI, Lima.
- Rostworowski, M., 1977 Etnia y sociedad. Costa Peruana Prehispánica. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Rostworowski, M., 1981 Recursos naturales renovables y ,pesca siglos XVI y XVII. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Santoro, C. y J. chacama, 1982. Sociedad cultural de las tierras altas del área Centro-Sur andino. Chungará N° 9, pp. 22-45. Arica.
- Santoro, C., 1989., Antiguos cazadores de la Puna (9000 a 6000 a.C.). Culturas de Chile, T-I, Prehistoria. Ed. Andrés Bello. Santiago de Chile.
- Shimada, I., 1980 Horizontal archipelago and coast highland interaction in north Peru: archaeological models. El hombre y su ambiente en los Andes Centrales. Eds. L. Millones y H. Tomoeda, Senri Ethnological Studies N° 10. Museo Nacional de Etnología, Osaka.
- Torres, C.M., D. Repke, K. Shan, D. Mackenna y A. Llagostera, 1991. Snuff powders from prehispanic San Pedro de Atacama: chemical and contextual analysis. Current Anthropology, Vol. 32, N° 5.

Trellez, E., 1980. Lucas Martínez Vegazo: funcionamiento de una encomienda peruana inicial. Tesis doctoral, P. Universidad Católica del Perú, Lima

Troll, C., 1958. Las culturas superiores andinas y el medio geográfico. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Wassen, S.H. y W.E. Bondeson, 1979-80. Archaeological notes and botanical research endocarps from Quebrada Las Conchas, Antofagasta Chile. Etnografiska Museum. Annales, Göteborg.

ARQUEOLOGIA DE LOS ANDES

CALOGERO M. SANTORO V.

DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA Y MUSEOLOGIA,
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES, ADMINISTRATIVAS Y ECONOMICAS,
UNIVERSIDAD DE TARAPACA, CHILE.

RESUMEN

La visión contradictoria que se tiene de los pueblos indígenas americanos: exaltación de lo antiguo y negación del presente, le permite al autor situar la crítica a la arqueología dedicada a reconstruir y relatar secuencias culturales, de escaso poder explicativo y funcional a los intereses ideológicos de las modernas naciones americanas. La propuesta del autor es hacer una arqueología que trate de explicar las razones que impulsaron la evolución de los pueblos. Estableciendo un contrapunto entre argumentos difusionistas y de los que se desprenden de su propuesta, avanza en la explicación de la interacción Altiplano-Costa durante el período formativo. Su hipótesis desplaza la atención desde la esfera de la complementariedad económica a la esfera ideológica y política.

ABSTRACT

Starting from the dichotomic approach that has been held of american indigenous people that is: exaltation of past and denial of present, the author makes a critic to archaeology which only rebuilds and narrates cultural sequences. This approach has a limited explicative power and it is functional to ideological interests of modern american nations. This paper attempts to make an archaeology that deals with the reasons that impeded people's evolution. Establishing a counterpoint between diffusionism arguments and those arising from the author, he explains the interaction between highplateau and the coast during formative period. The hypothesis transfers the attention from economic complementarity to ideological and political levels.

INTRODUCCION

En el contexto de este Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, una presentación sobre la arqueología de los Andes no puede soslayar la cuestión indígena actual y el rol que le cabe a la arqueología en la nueva etapa de integración indígena a la vida nacional. En esta ponencia se hace una evaluación crítica del rol que ha jugado el conocimiento arqueológico en la perpetuación de la posición discriminatoria adoptada por las naciones americanas en relación a las poblaciones indígenas. Se sugiere una alternativa distinta que se evalúa a través de un período de la historia cultural pre-colombina o pre-europea de la región Centro-Sur Andina.

Hace ya más de 40 años después que expresara sus gastronómicos deseos ante la monumentalidad de las ruinas de Macchu Picchu, que Neruda, declaraba en su poema alusivo, del Canto General [1989 (1950): 41-43]:

*Yo vengo a hablar por vuestra boca muerta.
A través de la tierra juntad todos
los silenciosos labios derramados
y desde el fondo habládme toda esta larga noche,
como si yo estuviera con vosotros anclado,
contadme todo, cadena a cadena,
eslabón a eslabón y paso a paso,*

*Acudid a mis venas y a mi boca.
Hablad por mis palabras y mi sangre.*

En contraste, Rigoberta Menchu, entre muchos otros en América, cree que ha llegado la hora que sean las propias minorías, silenciosas por tanto tiempo, las que hablen por sí mismas. Y como Diamela Eltit (1989:41) señala:

*Rigoberta considera su testimonio, antes que nada, como
un relato colectivo, es decir, por su boca está
hablando su pueblo, la voz de su pueblo,*

lo que Rigoberta expresa de la siguiente manera:

*...no soy la única, pues ha vivido mucha gente y es la
vida de todos los guatemaltecos pobres y trataré de dar
un poco mi historia. Mi situación personal engloba
toda la realidad de un pueblo.*

Este deseable cambio de interlocutores, aún posible en el caso de las minorías étnicas, es una oportunidad que está vedada para los pueblos cuyas historias ya no es posible constatar directamente; de los que sólo podemos rescatar y conocer sus

sistemas de creencias, de organización política y económica a través de fragmentarios restos arqueológicos, únicos testimonios de sus modos de vida interrumpidos en el tiempo. Con propósitos distintos a las inspiradas intenciones de Neruda, la arqueología ha intentado, entre otros objetivos, ser voz de esos pueblos, especialmente de aquellos que no tuvieron los instrumentos tecnológicos, como la escritura, para relatar de su propia historia.

Por más de cien años, entonces, los arqueólogos se han dedicado a reconstruir historias locales, regionales y continentales que en algunos casos se remontan a más de un millón de años. El conocimiento generado ha jugado un rol fundamental para reafirmar orígenes geográficos y culturales de pueblos y naciones que buscan sus raíces en un pasado remoto para reforzar identidades étnicas contractuales y soportar plataformas políticas de reivindicaciones territoriales, ideológicas, étnicas, etc.

La historia precolombina de los pueblos nativos americanos no ha quedado al margen de este tipo de manipulación política. Varias de las modernas naciones americanas enfatizan sus raíces indígenas como parte de sus orígenes pero, transformado en pasado casi mítico y ensalzado en los símbolos y emblemas de identidad nacionales. Paradojalmente, estas naciones han evolucionado en franca oposición y discriminación de los descendientes más directos de aquellas raíces autóctonas.

Vista así las cosas, el mensaje que quiere transmitirse es que la historia de América tiene un pasado muerto o arqueológico de época pre-europea al que le sucede una época moderna que perdura hasta la actualidad. En esta concepción hay una contradicción fundamental: lo indígena, por un lado, es valorado en tanto se mantiene como referente mitológico, pero no se reconoce ninguna relación entre ese pasado y las actuales minorías indígenas.

En la definición de la identidad chilena, por ejemplo, se rememora idílicamente al pueblo mapuche, que peleó por más de 200 años contra los invasores españoles y chilenos (dicho sea de paso, este fue el pueblo indígena que por más largo tiempo mantuvo su guerrera resistencia y oposición a la invasión extranjera), pero su integración y participación en la vida nacional recién comienza a reconocerse y legislarse. Situación parecida ocurre en el ámbito local cuando se insiste en el rostro moreno autóctono del norte de Chile y de Arica en particular, con un referente abstracto remoto que no se relaciona directamente con la etnia aymara actual.

En Perú, por su parte, desde principios de este siglo se comenzó a conceptualizar la identidad nacional a partir de raíces indígenas referidas también a gloriosos e imaginarios tipos de la vida en el imperio incaico. De esta manera, lo indígena, pero lo antiguo, lo mítico, se esgrimía como un elemento primordial en la fisonomía nacional y pasaba a ser el referente fundamental para algunas corrientes de pensamiento. Sin embargo, no se establecía nexo directo entre aquellas raíces y las aún pauperizadas poblaciones indígenas que habitan en el país, ya que se les consideraba cultura degradada, sin posibilidades de historia futura. Excepciones a esta posición fueron autores del género literario de la Novela Indigenista y, la importante influencia intelectual de personajes como Mariátegui quienes lucharon por la reivindicación indígena (Arguedas, 1981:192 y ss; Cornejo Polar, 1989:127 y ss.).

Recientemente, Iwasaki (1989:76) ha señalado que esa manera de tratar la herencia indígena sólo habría proveído a las clases altas del Perú «el recurso intelectual que les permitió forjar una identidad ficticia». Las propuestas de Mariátegui, derivadas del socialismo cuya ideología aparecía perfecta para el programa de reivindicación indígena, se califican ahora como una perspectiva «desde arriba» (Iwasaki 1989:78). Mariátegui y otros estaban convencidos, sin embargo, que su perspectiva del problema era «realmente» «desde adentro» (Cornejo-Polar, 1989:138).

Evidentemente una arqueología dedicada a reconstruir un pasado completamente muerto para reafirmar los supuestos principios mitológicos de las naciones modernas, al margen y en oposición de las minorías étnicas actuales es una postura que es necesario abandonar.

Desconocer la aún vigente heterogeneidad étnica de las naciones americanas es insistir en la construcción de una realidad ficticia cuyas contradicciones y conflictos entre sus verdaderos componentes aflorarán en el futuro.

Una opción más atractiva es seguir el camino enunciado por Neruda y transformar la arqueología en una voz más activa y dinámica que demuestre la complejidad y heterogeneidad de la cultura y creación humana desarrollada en los distintos territorios de América antes de la invasión europea en el siglo XVI. Esta opción, sin embargo, podría contradecirse por lo señalado por la Menchu, en cuanto a la legitimidad de esta voz y la validez real de las historias que pudieran contarse a partir de la interpretación de los restos materiales, dado que son estudiados con los métodos clásicos de la arqueología.

Esta metodología se desprende de la cosmovisión ideológica de la cultura occidental moderna, autoidentificada fundamentalmente como científica. Esta perspectiva científica enfatiza los aspectos más materiales y funcionales de la cultura humana como son la tecnología, la economía, la organización social, considerados como instrumentos indispensables para un modelo de hombre hacedor u *Homo Faber*, en los términos de Van Kessel (1989). En esta visión los aspectos ideológicos como la religión y los sistemas de creencias se consideran como epifenómenos y se les relega a un plano muy secundario en el análisis histórico.

En la cosmovisión andina, en contraste, siguiendo a van Kessel (1989) el hombre no se autodefine con un rol hacedor como en la cultura occidental, por el contrario se considera parte de la naturaleza, donde asume una función de partero o *Homo Maieuticus*:

es decir la concepción de trabajo en el hombre andino no significa confeccionar objetos sino cultivar procesos biológico-naturales.

Otro aspecto que merece considerarse en este marco general de discusión dice relación con el escaso nivel explicativo alcanzado por la arqueología dedicada a relatar secuencias culturales.

Esto significa ordenar en el tiempo y en el espacio a pueblos o culturas que evolucionaron de formas simples de vida a formas más, o menos complejas. Sin desconocer la importancia y validez de estas secuencias arqueológicas su problema radica en el hecho que no considera modelos o hipótesis que expliquen cómo y por qué ocurrieron los cambios culturales. Vale decir, cuales son los elementos culturales y medioambientales que determinan que un tipo específico de sociedad evolucione hacia modos más simples o más complejos de organización.

El análisis que sigue a continuación integra las aspiraciones de Neruda y las de una arqueología que no sólo relata la historia de pueblos olvidados, sino también trata de explicar las razones que promovieron su evolución a través del tiempo. Se incorpora en esta perspectiva, también la necesidad de reconocer la importancia de los aspectos ideológicos e igualarlos a los factores materiales y funcionales, como elementos críticos para explicar procesos de cambio cultural.

Debo señalar que esta no es la mejor, ni la única, ni la última manera de hacer arqueología. Es simplemente una alternativa distinta que trata de legitimar su posición en la medida que no sólo describe los fenómenos históricos culturales, sino que trata de explicar las leyes o principios que gobiernan los procesos de cambio en las sociedades humanas.

ESTUDIOS ARQUEOLOGICOS EN EL ALTIPLANO, CONSIDERACIONES GENERALES

El análisis de los pueblos que habitaron y habitan las regiones más altas de los Andes no puede ser considerados en forma aislada. Concebirlos de esa manera, como unidades geográficas y étnicas independientes como las plantas y los animales adaptados a ese tipo de parajes, no es el camino teórico y metodológico más correcto.

El carácter de «laboratorio natural excepcional» del Altiplano, enfatizado en los objetivos de la convocatoria de este simposio no tiene, para el estudio de la cultura, la misma relevancia que para las disciplinas como la biología, la zoología, etc, especialmente cuando se refiere al problema de la adaptación de los seres vivos a grandes altitudes.

Desde un punto de vista teórico general, incluso sociedades tan aisladas como las de Polinesia, en el Pacífico, mantuvieron cierto nivel de interacción.

Desde el punto de vista de la adaptación humana el Altiplano andino debe ser conceptualizado como un territorio continuo con sus flancos occidental y oriental que descienden hacia el Pacífico y el Atlántico, respectivamente. Esta macro región constituye un heterogéneo mosaico ecológico donde la necesidad de complementar recursos de los distintos pisos altitudinales desde la costa o la ceja de selva hasta el Altiplano, ha sido esencial en la evolución de las sociedades andinas.

De esta manera, estudiar las sociedades altiplánicas como un fenómeno aislado de adaptación cultural a ambientes de altura representaría una visión parcial de la totalidad de la realidad social. Dicho de otro modo, la adaptación cultural a los territorios alto andinos debe ser analizada desde una perspectiva macro regional que incluya el Altiplano y pisos ecológicos adyacentes.

Esta percepción del problema, aunque distinta a la perspectiva más focalizada de las otras disciplinas participantes en este simposio, no significa, sin embargo, que no puedan establecerse importantes niveles de colaboración científica, como hemos intuido durante el curso de esta semana.

La interacción de pueblos altiplánicos con pueblos de los territorios bajos o yungas es un proceso que cuenta con más de tres milenios de historia. Pueblos altiplánicos y *yungas*-costeros (referidos estos últimos a aquellos que habitaban la región costera y los valles semi-tropicales del sur peruano y norte de Chile) establecieron distintos niveles de interacción que afectaron sus esferas de organización política, económica e ideológica.

Teniendo en mente los aspectos deseables de una arqueología moderna mencionados más arriba (es decir, relato de una historia con énfasis explicativos y la consideración de aspectos políticos, económicos e ideológicos), analizaremos un período de interacción entre pueblos altiplánicos y *yunga*-costeros. Este período corresponde a la época del surgimiento de complejidad social en las sociedades locales (*yunga*-costeras) a través de un proceso que dio paso al surgimiento de sociedades más estratificadas.

Este proceso de cambio se habría iniciado durante la segunda mitad del segundo milenio antes de Cristo, es decir hace más de tres mil años atrás y se conoce como Período Formativo.

INTERACCION ALTIPLANO-COSTA DURANTE EL PERIODO FORMATIVO

Esta interacción involucró a grupos altiplánicos localizados en la región alrededor del lago Titicaca donde también se consolidaban

nuevas estructuras estratificadas de organización social (por lo tanto también de nivel Formativo). Este proceso está mejor testimoniado en la región circum-Titicaca, a través de arquitectura monumental asociada a grandes centros ceremoniales, con pirámides y esculturas antropo y zoomorfas. Estos centros habrían servido, entre otras funciones, para respaldar o sostener el sistema de desigualdad social que se gestaba. Los grupos formativos altiplánicos debieron estar constituidos por élites que ocupaban estos centros ceremoniales, con poder político y económico (riqueza) suficiente para ordenar y financiar la construcción de las obras monumentales, todo lo cual reforzaba su posición diferenciada del resto de la comunidad.

Otra expresión del poder y riqueza de estas élites altiplánicas radicaba en su capacidad para controlar el tráfico de productos y bienes de pisos ecológicos alejados de sus centros. Esto pudo incluir, por ejemplo, conchas marinas, algas, hojas de coca, frutas y otros elementos exóticos. El uso y consumo de estos elementos aumentaban y reforzaban el prestigio y estatus social de las élites altiplánicas.

Por su parte en los sitios, arqueológicos de valles y costa del Pacífico, del sur peruano y norte de Chile (área Centro Sur Andina), se han identificado una serie de elementos transportados desde el Altiplano lo que incluía productos tales como lana, charqui, tejidos con diseños policromos, cerámica, objetos de cobre, oro, entre otros.

Desde la perspectiva de una arqueología más descriptiva que explicativa, la introducción de estos elementos ha sido interpretada como evidencias de difusión o influencia cultural.

El uso de modelos difusionistas para explicar el cambio cultural en áreas periféricas, como la región *yunga* costera, a partir de la INFLUENCIA de centros más complejos, como aquellos de la región circum-Titicaca, ha sido uno de los modelos teóricos más recurridos en arqueología. Se asume la existencia de complejos y poderosos centros desde los cuales se difundieron nuevos sistemas tecnológicos - como la práctica de la agricultura, el uso de metales, la preparación de alimentos, etc - nuevos sistemas políticos y organización social, y nuevos sistemas ideológicos y de creencias.

El problema de los modelos difusionistas es que no definen con claridad el contexto en el cual los elementos foráneos se integran dentro de la «cultura influida» y como estos elementos intervienen en la transformación de esta sociedad.

En el caso específico de la región Centro-Sur Andina, esta perspectiva difusionista ha dominado las hipótesis propuestas para explicar el cambio cultural durante el período Formativo, a consecuencia de la influencia o difusión proveniente del Altiplano durante el período Formativo, vale decir entre ca. 1500 a.C. y los primeros siglos de nuestra era.

Se sugiere que la «influencia altiplánica», habría llegado como efecto del desarrollo de algún mecanismo de complementariedad ecológica, que permitiera a los altiplánicos acceder a los recursos de los valles y costas del Pacífico. En particular, se ha sugerido que durante esta época Formativo se habrían establecido las bases de uno de los mecanismos de complementariedad ecológica y política que se encontraba en operación al momento del contacto con los europeos en el Siglo XVI.

Este mecanismo o modelo de organización económica tenía como peculiaridad que cada grupo altiplánico, dependiendo de su capacidad económica y demográfica, explotaba directamente los recursos de los pisos ecológicos de ambas vertientes de los Andes, a través de colonias que eran mantenidas por un sistema de turnos o *mit'a*. Estaban obligados a estos turnos todos los miembros de la comunidad, que en algunos casos los llevaba a vivir a varios días de viaje de su pueblo de origen. Este habría sido el caso, por ejemplo, de los *mit'mas* o colonos de la región circum-Titicaca que habitaban en los valles costeros de Arica al momento del contacto con los europeos, en el Siglo XVI.

Consecuentemente, siguiendo el argumento difusionista, las condiciones políticas y económicas cambiaron en la región *yunga* costera, durante el período Formativo, por efecto de los nuevos sistemas de vida traídos por los altiplánicos. Estos contrastaban con los modos más simples de las poblaciones de cazadores recolectores *yunga* costeros.

Este cambio social habría ocurrido, de acuerdo a posiciones difusionistas más radicales, por reemplazo directo y total de poblaciones, es decir los flujos migracionales altiplánicos habrían presionado y obligado a las poblaciones locales a emigrar hacia otras regiones. Una posición difusionista menos drástica sugiere una situación de misceginación cultural donde los aportes de origen altiplánico se habrían integrado a la matriz cultural de las sociedades *yunga*-costeras.

En cualquiera de los dos casos mencionados, el sistema de organización económica de control directo de pisos ecológicos complementarios habría sido el mecanismo que trajo a las poblaciones altiplánicas a los valles y costa del norte de Chile y sur peruano, tres mil años antes del Siglo XVI. Esto significaría que la evolución de las estrategias de adaptación económica de las sociedades andinas no varió mucho en el tiempo. Esta situación resulta muy improbable considerando la magnitud de cambios que afectaron otras esferas de la cultura andina en épocas posteriores al Formativo.

Por otro lado, dentro de este esquema de análisis difusionista, independientemente del mecanismo o red de interacción establecido entre altiplánicos y costeros, esta perspectiva no alcanza a explicar de qué manera la influencia foránea, plasmado en los elementos de intercambio, influyeron en el cambio social de las poblaciones costeras.

Las evidencias arqueológicas que sustentan la relación Altiplano-costa durante el Formativo corresponden fundamentalmente a conspicuos elementos con fines de estatus y prestigio social entre los que destacan:

- a) tejidos especiales y adornos personales,
- b) figuras zoomorfas de cobre y más raramente pequeñas placas y discos de oro y cobre.

A mi juicio, estas evidencias son insuficientes para sugerir que el cambio social ocurrió por efecto de un reemplazo total de poblaciones, como sugieren las posiciones difusionistas más radicales y tampoco, parecen indicar que la interacción entre costeros y altiplánicos se estructuró, en esa época, bajo un mecanismo con fines de complementariedad económica.

En consecuencia, quisiera postular una hipótesis alternativa que trata de establecer que la interacción que puso a estas poblaciones en una situación de relación cultural se desarrolló más por el lado de la esfera ideológica y política, que por la esfera de la complementariedad económica, como ha sido sugerido hasta ahora.

En segundo término se trata de evaluar de qué manera los elementos foráneos se integraron en el proceso de cambio de las sociedades locales, como efecto de un proceso de relaciones de influencia mutua.

El intento de los grupos altiplánicos por tratar de afianzar el tráfico de bienes exóticos provenientes de la costa parece coincidir con el proceso de cambio social que se gestaba entre los grupos costeros,

Probablemente, la presión ejercida por los grupos altiplánicos para obtener estos bienes exóticos incentivó o aceleró el proceso de cambio social entre los grupos locales. Los costeros, por su parte, en la medida que tuvieron la posibilidad de obtener, en intercambio, bienes y objetos exóticos traídos desde el Altiplano pudieron marcar y reforzar las diferencias de estatus que se gestaban.

¿Fue entonces la obtención y uso de estos objetos lo que originó que comenzaran a establecerse diferencias de estatus entre los miembros de las comunidades *yunga* costeras? o, por el contrario, ¿Vinieron estos elementos exóticos simplemente a reforzar una situación de diferenciación social iniciada con anterioridad?.

Desafortunadamente, los datos arqueológicos disponibles son insuficientes, por ahora, para favorecer una de estas hipótesis. Creemos, sin embargo, que éste es un buen camino para establecer parámetros que ayuden a explicar los procesos de cambio social como el que se discute.

Sin embargo, dada la naturaleza de las evidencias arqueológicas, es posible discutir el contexto y función social en el cual pudieron incertarse los objetos de origen altiplánico. Su calidad de elementos exóticos señala en primer término que cumplían funciones de estatus y prestigio social. Al mismo tiempo, es muy probable que encarnaran toda una simbología ideológica nueva rodeada por un corpus de conocimientos esotéricos. Tanto el tráfico de los bienes exóticos, como su uso y los conocimientos esotéricos asociados debió ser controlado por la élite de las sociedades, como ha sido observado, por ejemplo, entre los caciques en Centro América y Las Antillas (Helms, 1987). De ello dependía su prestigio social y, consecuentemente, su permanencia en una posición social diferenciada.

Es probable, también, que el uso de estos elementos y conocimientos esotéricos de origen altiplánico fuera acompañado por una serie de comportamientos adicionales que en su conjunto formaban parte de las expresiones de identidad social propias de las élites altiplánicas.

Dicho de otro modo, las élites *yunga*-costeras fueron creando un nuevo código de identidad social que claramente los separaba y distinguía del resto de su población y, que al mismo tiempo, los acercaba e identificaba más con las élites altiplánicas en un proceso que podría corresponder a lo que Schortman y Urban (1987) denominan «convergencia étnica».

Este proceso de convergencia cultural de las élites costeras pudo ocurrir a través de la incorporación de símbolos de status, manejo de conocimiento esotérico y, adopción de patrones de comportamiento de origen altiplánico los que en su conjunto no sólo eran extraños a la comunidad costera, sino también definían una identidad propia a las élites locales. Mientras la élite local tendía a adoptar patrones de comportamiento altiplánico, la comunidad local mantenía patrones de comportamiento e identidad de tradición más local.

Estas consideraciones se pueden contrastar con los siguientes aspectos de los datos arqueológicos:

- 1) Los elementos de origen altiplánico presentan una restringida distribución, asociada a particularizados individuos en los cementerios muestreados.
- 2) El resto de la población fue enterrada con ofrendas menos sofisticadas de origen local.
- 3) Los elementos foráneos no sirvieron para funciones utilitarias o domésticas. Por el contrario, se trata de objetos bien

elaborados, cuyas características no se repiten sistemáticamente.

4) No se han constatado instalaciones domésticas (como poblados o campamentos habitacionales) de poblaciones altiplánicas.

Otro aspecto que debe ser considerado en este análisis es el bajo nivel de energía y riqueza invertida en la elaboración de las tumbas de las élites *yunga* costeras. Esto significa mínima elaboración del lugar donde fueron enterrados los individuos y escaso número de elementos exóticos acompañados como ofrendas. Esta situación puede ser interpretada como un reflejo del sistema político y económico, que podría caracterizarse de la siguiente manera: La estructura de diferenciación social era marcada por elementos de origen altiplánico que jugaban un rol preponderante. Esto significa, al mismo tiempo, que la élite dominante no contaba con poder económico suficiente para invertir en una mayor cantidad de elementos exóticos para ser ofrendados o sacrificados en las tumbas, como así también, para invertir en estructuras arquitectónicas monumentales individuales.

Es probable, entonces, que el poder de estas élites fuera de carácter político dependiente sensiblemente del estatus y prestigio demostrado por los líderes. Esto habría derivado, en gran medida, de la capacidad de los líderes locales para interactuar con las élites de los grupos altiplánicos y obtener los bienes exóticos y conocimientos asociados que eran usados como símbolos de poder político e ideológico.

Otro aspecto que debe ser considerado, en este análisis de la estructura social se refiere a la construcción de túmulos funerarios que aparecen en la segunda mitad del período Formativo, es decir entre 500 años a.C. y los primeros siglos de nuestra era. Estos montículos se armaban con gruesas capas de distintos tipos de plantas aprisionadas con piedras y alternadas con capas de arena y en algunos casos como en el valle de Azapa, llegan a medir más de 4 metros de altura y más de 40 metros de diámetro. Los túmulos pequeños eran individuales, mientras que los grandes albergaban un buen número de individuos. No todos ellos recibieron ofrendas de objetos exóticos (Santoró, 1992).

Aunque los túmulos más grandes representan la acumulación de sucesivos montículos más pequeños, la construcción de una de estas unidades requirió del esfuerzo de un grupo mayor que una unidad familiar. Probablemente, estas obras eran organizadas y subsidiadas por los líderes locales con el objeto de crear una imagen de identidad y reconocimiento del orden social que se simboliza en estos montículos funerarios y los objetos de estatus y prestigio que acompañaban a los individuos de más alta jerarquía. El hecho que los túmulos incluyan individuos de distinto rango podría interpretarse como el efecto manifiesto de crear una imagen de identidad colectiva, como ocurre en sociedades con relaciones sociales asimétricas (Shanks y Tilley, 1982:152). En la medida que los distintos segmentos de la comunidad participaban en la construcción e inhumación directa en los montículos se creaba una imagen de «igualdad» que distorciónaba o disfrazaba la verdadera realidad social. De esta manera la participación en este rito funerario colectivo pudo funcionar como un mecanismo para reproducir y legitimar el orden de desigualdad social que se gestaba durante el período Formativo.

CONCLUSIONES

La problemática teórica y metodológica que encierra el período Formativo es de gran relevancia no sólo para la arqueología, sino también para las ciencias sociales en general. Durante este tipo de período las sociedades humanas cambiaron de sistemas igualitarios de organización social a sistemas estratificados. No existe en la actualidad ninguna sociedad humana que pueda mostrarnos cómo y por qué ocurrieron estos cambios. Esto significa que este problema, de gran relevancia en la historia social de la humanidad, debe ser enfrentado fundamentalmente a través de estudios arqueológicos en regiones donde sea posible constatar este proceso.

El caso analizado acá es relevante, no sólo entonces para entender la evolución de las sociedades andinas en su sentido más amplio, sino también para tratar de comprender los principios que han gobernado este tipo de cambios en las sociedades humanas.

En términos más específicos las evidencias analizadas de la interrelación entre los grupos altiplánicos y *yunga* costeros parecieran indicar que los gérmenes de la diferenciación de estatus sociales, como en el caso de las élites *yunga* costeras, no estuvo determinado por un acceso diferenciado a los recursos económicos. Dicho de otro modo, las élites *yunga* costeras basaban su posición de supremacía sobre la base de elementos exóticos de prestigio, respaldados por un corpus de conocimientos esotéricos controlados por ellos mismos. Si estas interpretaciones son correctas contradecirían una postura teórica distinta que señala que el control del poder económico fue esencial para el desarrollo de la desigualdad social (Earle, 1991:8). Es decir, de acuerdo a esta postura teórica, todo el sistema político e ideológico que respaldaba a las sociedades formativas *yunga* costeras era consecuencia que las élites controlaban una parte importante de los recursos económicos de la comunidad. Las evidencias arqueológicas disponibles son insuficientes para favorecer una de estas dos alternativas.

Este tipo de análisis sin embargo, nos da no sólo la oportunidad, parafraseando a Neruda, de hablar por la boca muerta de aquellos pueblos olvidados, sino también permite explicar las razones del cambio social.

Otro aspecto que se desprende de la interacción entre grupos altiplánicos y costeros es el hecho que las sociedades locales,

de menor tamaño y complejidad social que los grupos altiplánicos, habrían procesado internamente, de acuerdo a sus necesidades políticas, ideológicas y económicas, los efectos o la influencia altiplánica.

Este contexto sirve de gancho para entregar un comentario final sobre cómo podría conducirse la relación entre la sociedad mayor y las minorías étnicas indígenas de Chile, que podría canalizarse a través de un proceso integrador universal como señalaba José María Arguedas (1981), donde el destino de los grupos participantes no sea definido por una élite dominante, con una posición etnocéntrica de superioridad.

Uno de los aspectos claves es reconocer y otorgarle la posibilidad a cada uno de los grupos interactuantes de autodefinir su posición frente al todo, sin intenciones hegemónicas. La modernización de los pueblos indígenas incluye un abanico enorme de posibilidades en lo tecnológico, idiomático, político, ideológico, etc, cuyas alternativas deben ser elegidas por los propios interesados. Para que esto ocurra deberían establecerse los espacios políticos, económicos, educacionales, ideológicos, etc. que garantizan una integración «autogestionada», en los términos señalados por Tolvanen (1992:70), en relación a las minorías étnicas de Canadá.

El reconocimiento de una sociedad totalizadora y pluralista por todos los grupos sociales y étnicos interactuantes, la «totalidad concreta» que señala Cornejo Polar (1981:22) permitiría vivir, en la nación soñada por Arguedas, sin egoísmo y compartiendo distintas «patrias»

REFERENCIAS

Arguedas, José María, 1981. Formación de una Cultura Nacional Indoamericana. Siglo XXI, México.

Burgos Debray, Elizabeth, 1984. Me Llamo Rigoberta Menchu. Ediciones Casa de las Américas, Cuba.

Cornejo Polar, Antonio, 1981. La Cultura Nacional: Problema y Posibilidad. Lluvia editores, Lima.

Cornejo Polar, Antonio, 1989. La Formación de la Tradición Literaria en el Perú. Centro de Estudios y Publicaciones (CEP), Lima.

Earle, Timothy, 1991. The evolution of chiefdoms. Chiefdoms: Power, Economy and Ideology, editado por T. Earle pp... Cambridge, University Press, Cambridge.

Eltit, Diamela, 1989, Rigoberta Menchu: Cultura y resistencia. Rulpa Dungun 6:41-43. Centro Estudios de la Mujer, Santiago.

Helms, Mary, 1987, Art style and interaction sphere in Central America and the Caribbean: Polish black wood in the Greater Antilles. Chiefdoms in the Americas, editado por R. D Drennan y C.A. Uribe, pp. 67-84. University Press of American, Lanham.

Iwasaki Cauti, F., 1989. Nación Peruana: Entelequia o Utopía. Trayectoria de una Falacia. Centro Regional de Estudios Socio Económicos, Lima.

Kessel, Juan van, 1989. Ritual de producción y discurso tecnológico andino. Chungara 23 (en prensa).

Neruda, Pablo, 1989 (1950) Canto General. Planeta, Barcelona.

Santoro, Calogero M., 1992, Formativo en la región de valles occidentales del área Centro Sur Andina (sur Perú-norte de Chile). Simposio Formativo Sudamericano, Cuenca, Ecuador 13-17 enero 1992 (en prensa).

Schortmann, E. M. y P. A. Urban 1987, Modeling interregional interaction in prehistory. Advances in Archaeological Method and Theory, vol. 11, pp. 37-95, Academic Press, New York.

Shanks, M. y Cc. Tilley, Ideology, Symbolic power and ritual communication: a reinterpretation of Neolithic mortuary practices». Symbolic and Structural Archaeology, editado por I. Hodder, p. 129-154, Cambridge University Press, New York.

Tolvanen, Ahti, 1992. The rise of native self-determinism and the crisis of the Canadian political regime. Culture 12(1):63-75.

DISPONIBILIDAD, ACCESO Y SISTEMAS DE TENENCIA DE LA TIERRA ENTRE LOS AYMARAS DEL ALTIPLANO DE LA I REGION DE TARAPACA

HECTOR GONZALEZ CORTEZ

TALLER DE ESTUDIOS ANDINOS (TEA) DE LA CORPORACION DE ESTUDIOS NORTE GRANDE, ARICA, CHILE.

RESUMEN

El autor pone de manifiesto cómo en el área altiplánica de la Región de Tarapacá, las exigencias impuestas por la ganadería, ha llevado a la población andina aymara a desarrollar un sistema de acceso y control de los pastos y organización parental funcional a aquella. Del mismo modo, muestra cómo el derecho consuetudinario, encargado de regular el acceso y control de los recursos, es incompatible con el derecho positivo nacional, lo que se ha traducido en conflictos intra e inter comunidades sucesoriales.

ABSTRACT

This paper shows that for the development of the cattle raising in the highplateau, people has had to establish both a particular system of access and control of grazing land and a functional kinship system. In the same way it shows that customary law which regulates access on control of resources is incompatible with national legalism. This confrontation has generated intra and inter community conflicts.

INTRODUCCION

El sector rural de la I Región es habitado mayoritariamente por campesinos de origen aymara, los que mantienen diferentes sistemas de tenencia de la tierra según el área geográfica en que se ubiquen. La diferencia más gruesa se establece entre el espacio altiplánico y el de valles (altos y bajos). En el primero existe un tipo de tenencia colectiva, asociada a la ganadería; en el segundo, uno de tipo individual, relacionado con la agricultura bajo riego.

Como nos han enseñado los etnohistoriadores, no se puede comprender el mundo andino sin la articulación que sus habitantes hicieron desde temprano (sea por ocupación directa o intercambio), de diferentes zonas geográficas, no sólo de Altiplano y valles, sino también de selva y costa. Aunque no tenemos aquí espacio para detallar, esta vieja articulación económica de distintos espacios ha recobrado fuerza, afectando también el manejo que los actuales campesinos aymara hacen del recurso tierra. El ejemplo de la nota muestra que el problema de la tierra, para muchos aymaras altiplánicos, no se reduce solamente a ese solo espacio, sino a la articulación de varios, lo que posibilita una economía familiar «diversificada». Pero, como este simposium está dedicado sólo al Altiplano, me referiré solamente al problema de la tierra en esta área.

Frente al evidente retroceso de las grandes marka o grandes comunidades históricas, su ausencia o todavía no probada existencia en algunas áreas, actualmente la tenencia de la tierra se sustenta en un nuevo tipo de comunidad, la que podemos denominar como «sucesorial». Estas últimas se pueden definir operacionalmente como un grupo -de tamaño variable- de personas que poseen, administran y usufructúan de manera mancomunada, de acuerdo a derechos sucesorios que se transmiten generalmente por vía paterna, un determinado espacio territorial -también variable- en las tierras altas de la I Región de Tarapacá, donde mantienen sus explotaciones ganaderas (y agrícolas en algunas áreas).

NUMERO DE COMUNIDADES SUCESORIALES

No tenemos todavía un catastro definitivo del número de comunidades sucesoriales. El Cuadro Nº 1 resume, de manera aproximada, la situación en las comunas de G. Lagos, Putre, Colchane y Pica en sus sectores altiplánicos.

CUADRO Nº 1.

COMUNIDADES SUCESORIALES Y POBLACIÓN

	Nº de Comunidades		Total Familias Residentes		Total Personas Residentes	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
G. Lagos	48	28,2	249	28,6	947	29,7
Putre	72	42,4	160	18,4	511	16,0
Colchane	40	23,5	424	48,9	1.596	50,1
Pica	10	5,9	36	4,1	134	4,2
Totales	170	100,0	869	100,0	3,188	100,0

Fuente: Archivo Documental TEA, Censo Población de 1982

La mayor parte de estas comunidades (un 70,6%) se concentra en el área altiplánica norte (comunidades de G. Lagos y Putre), las que reúnen solamente un 45,7% de la población y un 47,0% de las familias. Esto muestra una mayor subdivisión en el Altiplano norte, un área que estuvo de mayor manera y más antiguamente relacionada con ciertos procesos históricos regionales (como la definición de límites con Perú, la construcción del ferrocarril Arica-La Paz, la presencia de azufreras, venta de llareta, migración a Arica con la creación del Puerto Libre y la Zona Industrial, etc.).

En cambio, en el área sur, que se mantuvo relativamente más aislada, persistieron hasta hace algunos años incluso grandes comunidades históricas (como Cariquima e Isluga) con estancias, ayllos y sayas articuladas en un pueblo central o marka, las que se encuentran todavía en un proceso de subdivisión en comunidades o predios menores.

DISPONIBILIDAD DE TIERRAS

El tamaño de las comunidades es muy variable: desde unas pocas decenas (principalmente de bofedales) hasta varios miles de há. (principalmente de estepa andina). El Cuadro N° 2 reúne información sobre la extensión promedio de poco más del 50% de las comunidades sucesoriales aymaras, en las tres comunas que concentran el mayor número de ellas.

CUADRO N° 2.
EXTENSIÓN PROMEDIO DE 110 COMUNIDADES SUCESORIALES

	Casos		Superficie		Has. Promedio
	N°	%	Hás	%	
G. Lagos	43	39,1	88.275	18,0	2.052
Putre	48	43,6	86.276	17,7	1.797
Colchane	19	17,3	314.900	64,3	16.573
Totales	110	100,0	489,451	100,0	4.450

Fuente: Servicio de Impuestos Internos, I Región, Archivo Documental TEA.

Se observa que, mientras en General Lagos y Putre el tamaño promedio es de 2.052 y 1.797 há., respectivamente, en Colchane el tamaño medio llega a las 16.573 há. Estas diferencias entre uno y otro sector, a pesar de la subdeclaración que pudiera existir, muestran nuevamente que el Altiplano sur registra una menor subdivisión histórica de las comunidades coloniales, por lo que las neocomunidades presentan un mayor tamaño.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta además que el Altiplano sur presenta menos y más dispersos recursos forrajeros que el norte. El Cuadro N° 3 permite comparar la situación entre ambas áreas respecto de la distribución de la superficie de bofedales, el recurso forrajero más rico, y los animales.

CUADRO N° 3.
DISTRIBUCIÓN DE BOFEDALES (HAS.) Y MASA ANIMAL (EN %)

Comuna	Bofedales		Masa Animal %		
	Hás.	%	Alpacas	Llamas	Ovinos
G. Lagos	8.300	17,4	44,1	35,7	44,1
Putre	31.613	66,2	45,8	22,7	17,6
Colchane	7.840	16,4	10,1	41,6	38,3
Totales	47.753	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Archivo Documental TEA

El Altiplano sur concentra sólo el 16,4% de los bofedales, el 10,1% de las alpacas, el 41,6% de las llamas y el 38,3% de los ovinos. Esto muestra que, por ser los recursos forrajeros mucho menores y más dispersos que en el Altiplano norte, las extensiones necesarias para la ganadería camélida tienden también a ser mayores en el Altiplano sur.

De todas maneras, sea en el Altiplano norte o en el sur, la ausencia de una fragmentación más acentuada o continua de las propiedades de uso ganadero, que destruya la comunidad y signifique una disminución del tamaño de las propiedades ganaderas, tiene que ver con la naturaleza del patrón de manejo pecuario. En todas partes, aunque de distintas maneras según sea la situación de cada sector particular, el manejo pastoril supone la combinación del uso de diversas asociaciones vegetales en distintos momentos del año y de manera diferenciada según se trate de llamas, alpacas u ovejas.

Este sistema de manejo del ganado requiere la disposición de amplias extensiones de terrenos, que incluyan distintas asociaciones vegetales: el *hok'o* (el bofedal), el *waña* (el tolar) y el *zuni* (el pajonal del cerro). La combinatoria específica se da según el sector que se trate, pero el régimen de pastoreo supone la existencia de dos o las tres asociaciones vegetales, las que producen forrajes de distinta calidad y en diferentes momentos del año, lo que se combina, a la vez, con las aptitudes específicas de las especies animales que producen: llamas (tolar y pajonal), alpacas y ovinos (bofedal).

Lo anterior supone que una comunidad sucesorial de ganaderos, debe asegurar la mantención de este sistema si no quiere ver afectada la estabilidad de los rebaños que se manejan dentro de ella. De esta manera, existiría, por así decirlo, una superficie «mínima» hasta el cual teóricamente podría descender el tamaño de la propiedad, sin arriesgar la reproducción de la masa de ganado controlada por sus miembros. Obviamente, esta superficie mínima «teórica» dependerá de las características de cada región donde se encuentren, en términos de la oferta y la calidad de los recursos forrajeros disponibles.

ACCESO A LA TIERRA

Por definición, cada familia perteneciente a una de estas comunidades posee derechos de pastoreo sobre las tierras del común. En las comunidades sucesoriales la pertenencia y membrecía grupal se reconoce por descendencia y los derechos sucesorios provienen de uno o más antepasados, generalmente en línea paterna. Al estar insertos en el sistema nacional, esta adscripción y su reconocimiento se establece por una combinación de normas consuetudinarias e instrumentos legales de diverso tipo, lo que puede originar también situaciones de conflicto interno (entre grupos familiares de una misma comunidad) o externo (entre comunidades vecinas).

GRAFICO 1.

EVOLUCIÓN DE LA COMUNIDAD DE CHUJLLUTA

Año	Situación
1877	Testamento Diego Huaylla
1911	1ª Inscripción
1941	2ª Inscripción

CUADRO Nº 4.									
SITUACIÓN ACTUAL DE CHUJLLUTA									
Localidad	Comunidad Sucesorial	Subdivisiones	Superficie (hás)	1ª inscripción (Año)	Última inscripción (Año)	Familias residentes	Nº Tropas	Familias Ausentes	
								con ganado	con ganado
Nasahuento	Pampa Challuma	(1)	778,0	1911	1940	2	2	5	7
Chujlluta	Chulula-Chujlluta	(1)	2.345,0	1911	1940	19	6	17	14
Colpitas	Cholula-Colpitas	(2)	6.099,0	1911	1941	9	4	7	9
	Cotapalca	(1)	2.457,0	1911	1941	5	1	3	7
	Chacapalca	(1)	1.600,0	1941/F	1986/F	2	1	1	0

Nota: F = Inscripción Fiscal
Fuente: TEA

A objeto de ejemplificar, en el Gráfico Nº 1 y en el Cuadro Nº 4 presentamos el caso de la localidad de Chujlluta, ubicada en la comuna de General Lagos, en la provincia de Parinacota.

Antiguamente todo lo que hoy abarca la localidad de Chujlluta pertenecía a un gran ayllu denominado Cosapilla, lo que se desprende de un testamento de 1877, donde Diego Huaylla lega a tres sobrinos y tres nietos una gran propiedad llamada Cholula. A comienzos del presente siglo, aparecen como herederos de la propiedad los hijos de Juan Huaylla (uno de los

sobrinos en favor de quien testa Diego) y, por ese momento, la propiedad se encontraba subdividida en dos sectores: Cholula, propiamente tal, y Lavacollo, a cargo de los dos hermanos varones (Eugenio y Basilio), ya que las hermanas se habían casado en otras partes y se fueron a vivir con sus respectivos maridos. En 1911 se efectúa la primera inscripción en el registro de propiedades chileno, acción que estuvo a cargo de Eugenio, quien inscribe sólo para sí e incluye toda la propiedad bajo un solo nombre: Cholula. Desde ese momento, Basilio y sus hijos quedan sin papeles sobre el sector que ocupan (Lavacollo), aunque siguen viviendo en él. Posteriormente, a la muerte de Eugenio y, aprovechando un momento en que se proceden a reinscribir muchas propiedades en el Altiplano chileno, la viuda de Eugenio vende a sus tres hijos varones y entrega, además, una porción de terreno a una persona de Putre que se encargó de realizar toda la tramitación. De esta manera, la antigua propiedad se subdivide en Cholula Chujlluta (que queda para Fortunato), Cotapalca (para Anacleto), Cholula Colpitas (para Juan) y Chacapalla (para Luciano Jirón). Este último terreno era habitado desde antiguo por la familia Poma, la que nunca inscribió para sí, por lo que el Fisco lo hizo suyo en 1941. Por este problema, Jirón devuelve, bajo la forma de venta, Chacapalla a los Huaylla, quienes posteriormente la venden a un ganadero de otro sector que actualmente se encuentra instalado en Lluta. De esta manera, sobre esta propiedad existen dos dueños con papeles (la persona de Lluta y el Fisco chileno), pero no los ocupantes desde tiempos «inmemoriales» (la familia Poma). Asimismo, Cholula Colpitas, abarca una parte del antiguo Cholula y todo Lavacollo, donde hasta ahora se encuentran instalados los herederos de Basilio, los que no cuentan con papeles de este sector que ocupan. Así, Juan no ha podido ocupar completamente la propiedad, sólo utiliza temporalmente un sector de ella, y debió instalarse en otro sector vecino (Pampa Challuma) que comprende una pequeña franja cedida por sus otros hermanos y, principalmente, una parte de Nasahuento, que pertenecía al padre de su esposa. Esto último le ha provocado muchos problemas con sus parientes políticos, quienes no le reconocen derechos a una hermana que «se fue a vivir con su marido». Con este apretado recuento anterior, además del cuadro, el lector puede verificar muchas de las observaciones generales que se hacen a continuación y en los siguientes apartados.

Normalmente, al casarse las mujeres se trasladan a vivir a otra comunidad. Pero, a veces pueden permanecer dentro de la misma comunidad si existen troncos familiares distintos o una distancia genealógica suficiente como para separar un mismo tronco familiar y posibilitar así alianzas matrimoniales en su interior. Esta norma general, obviamente, dificulta que se puedan hacer efectivos los derechos provenientes por el lado de la esposa o de la madre, ya que la relación con los ocupantes de esa «otra» comunidad o propiedad sería altamente conflictiva. De hecho, aunque pueden reconocerse, el uso efectivo de estos derechos es escaso. Esta situación, que es incongruente con la legislación nacional que reconoce derechos por ambas vías, revela la existencia de un derecho consuetudinario comprensible sólo a partir de la estructura marcadamente patrilocal de la sociedad aymara.

Sin duda, existen excepciones a la norma patrilocal. Pueden ocurrir casos en que las mujeres casadas se instalan en su comunidad de origen, sea porque no tienen otros hermanos varones o éstos se han ido, sea porque la situación de su marido es muy precaria en su respectiva comunidad (a veces de países vecinos). De esta manera se fundan ramas parentales aparte del o los troncos familiares originarios. La irregularidad de esta situación, sin embargo, siempre es recordada de la siguiente manera: «Ah, esos llegaron como yernos», con lo que se advierte su posición de parientes «por alianza».

TENENCIA DE LA TIERRA

Por tratarse de ganaderos, el sistema de tenencia se asocia directamente con el manejo pastoril. La tenencia de la tierra dentro de una comunidad sucesorial es de tipo colectivo. Esto es, el grupo de residentes descendientes de los propietarios originales manejan sus rebaños al interior de los terrenos de la comunidad.

A veces, especialmente si se distinguen dos o más pastales dentro de una misma comunidad, distintas familias pueden ocupar espacios diferentes dentro de la misma, residiendo en distintos o el mismo caserío. Cuando esto ocurre, las tierras de la comunidad pueden haberse dividido en términos de su apropiación económica y ser esta situación un paso previo a la subdivisión (de hecho o legal) de la comunidad.

Normalmente, dentro de una comunidad existen menos tropas o rebaños de animales que familias residentes (véase Cuadro N° 4). Los individuos, aunque pueden formar hogares residenciales diferentes, funcionan como una familia extendida (generalmente un padre e hijos casados) para el manejo de una tropa común y efectúan los arreglos necesarios para su pastoreo.

Sin embargo, aunque el pastoreo pueda ser manejado en conjunto, existe un sistema de tenencia animal marcadamente individual, por el que, no sólo cada hogar, sino también cada miembro de él, tiene y distingue sus propios animales dentro del rebaño común. El Cuadro N° 5 que resume datos de la comuna de Colchane, permite ejemplificar lo anterior.

CUADRO N° 5.

**DISTRIBUCIÓN DE LA TENENCIA INTERNA DEL REBAÑO
(EN 35 EXPLOTACIONES GANADERAS DE LA COMUNA DE COLCHANE)**

Propietarios del Rebaño	Nº de Casos	%
Sin animales	2	5,7
Sólo del Jefe de Hogar	2	5,7
Del Jefe de Hogar y Esposa	5	14,3
De Padres, e Hijos	21	60,0
De Padres, Hijos y Allegados	5	14,3
Totales	35	100,0
Fuente: Taller de Estudios Andinos		

Este sistema, que permite la presencia de varios subpropietarios dentro del rebaño de una explotación, puede alcanzar más allá del círculo de la familia nuclear, facilitando la mantención de ganado por parte de personas radicadas fuera del Altiplano. Así, individuos que han migrado definitivamente tienen la posibilidad de conservar derechos en sus comunidades de origen, objetivándolos a través de la mantención de animales (a veces se trata de sólo unas cuantas cabezas) en la tropa de sus parientes (generalmente los más directos: padres y hermanos). Esto se ve facilitado, sin duda, por el tipo de propiedad comunal, mediante acciones y derechos, que prevalece en el sector.

Lo anterior tiene como consecuencia la siguiente constatación: los «comuneros» aymaras no son sólo los residentes, sino también una alta proporción de personas que, pese a migrar definitivamente, siguen manteniendo derechos. Así, los campesinos «residentes» son sólo una fracción de los «comuneros» aymaras, así como sus explotaciones son también una fracción del total de explotaciones de una comunidad.

TIERRAS Y POSESION LEGAL

La comunidad sucesorial andina no está amparada legalmente. Aparte de que existe un buen número de ellas que fueron declaradas fiscales, de las que tienen títulos la mayoría no se encuentran actualizados. Además, por tratarse de títulos que arrancan de la primera década de este siglo (muchos reinscritos en la de los '40), los límites son bastante difusos o poco claros, existiendo casi siempre superposiciones entre una comunidad y sus vecinas. La carencia de títulos o su no actualización y los litigios limítrofes, han generado múltiples conflictos intra e intercomunitarios.

De esta manera, cualquiera sea el tamaño de las comunidades, existen dos aspectos que son prácticamente generales a todas ellas y, por tanto, se presentan tanto en el Altiplano norte como en el sur. Primero, lo que ya se ha mencionado, y que tienen que ver con la presencia de diversos conflictos, sea al interior de las comunidades o entre ellas, respecto a límites o derechos sobre la tierra (actualmente también, por extensión, respecto de las aguas). Segundo, que sus derechos sobre los recursos tierra y aguas están precariamente amparados por las normas positivas nacionales, lo que las hace muy vulnerables a la expropiación de los mismos de parte de terceros.

Asimismo, las diferencias existentes entre distintos sectores, permite pronosticar que su legalización no podrá ser un proceso homogéneo y que las complicaciones variarán entre una zona y otra.

Por otra parte, al finalizar el apartado anterior vimos que cuando se trata el sector altiplánico no se puede prescindir de las relaciones que individuos instalados en otros sectores agrícolas o en ciudades siguen manteniendo con la tierra comunal y con los miembros residentes. Esta constatación, sin duda, complicará también cualquier intento de regularización de los títulos de dominio de estas comunidades.

En estos aspectos -y en otros-, aún dictada la Nueva Ley Indígena, este pueblo sigue esperando nuestra comprensión y respeto a su especificidad cultural y una alta dosis de solidaridad con sus justas demandas. Por otra parte, tampoco se debe olvidar que, además de contenidos económicos, en la vida comunal concurren también dimensiones socio-organizativas, ideológicas y religiosas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Proyecto FONDECYT 91-0595.

SISTEMAS ECONOMICOS DE LOS AYMARAS DEL ALTIPLANO DE LA REGION DE TARAPACA E INTERVENCION PUBLICA Y PRIVADA PARA EL DESARROLLO

HANS GUNDERMANN KRÖLL

TALLER DE ESTUDIOS ANDINOS (TEA) DE CORPORACIÓN DE ESTUDIOS Y DESARROLLO NORTE GRANDE

RESUMEN

Una rápida revisión de los principales cambios que cruzan y tensionan a las economías campesinas del Altiplano chileno, y una mirada crítica a las acciones que han emprendido agentes públicos y privados (estado, organismos no gubernamentales y organizaciones étnicas), le permiten al autor situar, lo que en su opinión son los temas pendientes en el desarrollo económico de las poblaciones altiplánicas, a saber: el desarrollo como etnodesarrollo; propuestas tecno-productivas adecuadas; clara percepción de la situación socio-económica de la población, y su tratamiento en una dimensión que trascienda el Altiplano.

ABSTRACT

This paper gives a brief review of principal changes that are crossing and stressing peasant economies in the chilean highplateau. The author also establishes a critical view on private and public policies that have been held in the area, and finally he stands the aspects that have to be considered in the andean development, like development as ethnodevelopment, adequate techno-productive proposals, clear perception on population socioeconomic situation and their treatment in a dimension that has to go beyond the highplateau context.

INTRODUCCION

A) Las características principales de estas economías rurales ubicadas en las alturas andinas de la Región de Tarapacá son:

- Se trata de productores silvo-agropecuarios. Se dedican a la crianza de camélidos y en algunas zonas cultivan ciertos productos hortícolas y cultígenos andinos (quinua y tuberosas). Integran a sus economías, asimismo, diversos ingresos no prediales.
- En general, se trata de productores pobres. Por ejemplo, dos comunas exclusivamente altiplánicas, las de General Lagos y Colchane, son las más pobres de Chile.
- Son productores andinos. Es decir, actúan sobre sus recursos productivos mediante tecnologías y en pos de producciones provenientes, en gran medida, de una tradición agraria andina.
- Son productores agrícolas andinos pobres, pero, al mismo tiempo, se encuentran sujetos a intensos procesos de transformación.

B) Las principales tendencias de cambio en curso son:

- Un proceso de transformación bastante avanzado de paso de economías con un alto componente de producción para el consumo a economías fuertemente mercantilizadas. Ello se verifica al examinar el mercado de productos campesinos (fibra, carne de camélidos, horticultura de ajos, artesanías), los mercados de trabajo a los que accede la población aymara (agrícolas en zonas bajas y actividades terciarias en los urbanos), el mercado de bienes de producción y consumo humano (alimentos industriales, vestuario y calzado, etc.), y el mercado de servicios (inserción creciente en circuitos de comercio y transporte).
- La complejización de las economías campesinas del Altiplano. Hay un aumento de la variedad de actividades y rubros económicos en los que se ocupan. A partir de ello, se diversifica y complejiza el sistema económico y la estructura de ingresos: en lo silvo-agropecuario se produce el desarrollo de la producción hortícola (el Altiplano sur); en lo económico se verifica la ampliación de actividades (hacia el transporte y el comercio) y en cuanto a la estructura de ingresos, además de las situaciones recién expuestas, se visualiza un aporte constante por el lado de los subsidios estatales.
- La recomposición de los espacios étnicos y sociales: la articulación de Altiplano, valles y ciudad. La del Altiplano no es una sociedad aislada. Por el contrario, hay una relación y flujos bastante dinámicos de bienes y personas al interior de las zonas campesinas, pero especialmente entre éstas y las ciudades costeras de Arica e Iquique. La historia de los cambios necesarios para que esta macro tendencia haya sido posible incluye dimensiones: cultural-educativas (logro del bilingüismo o monolingüismo castellano y una escolarización masiva), sociales y políticas (avances en la «ciudadanía» aymara luego de lograrse un mayor conocimiento de derechos civiles, de ampliarse el manejo de información y oportunidades, de tener acceso a políticas públicas de apoyo y promoción, de beneficiarse de la acción de organismos de la sociedad civil, etc.) y económicas (la mencionada mercantilización de sus economías ya que era necesario que lo que producían y consumían o su fuerza de trabajo pudiera relacionarse más directamente con el capital, con la costa y las ciudades para hacer posible la integración).

- Una economía altiplánica al servicio de la recomposición de los espacios sociales. Expresa con cierta claridad lo anterior la ausencia de relaciones con el mercado de crédito y capital. No hay inversiones para el Altiplano. Los escasos excedentes campesinos se dirigen hacia los valles agrícolas y principalmente la ciudad. También, el no abandono de posesiones, propiedades y actividades en el Altiplano. El Altiplano drena excedentes de población, pero no es abandonado, se recomponen los modos de vivir y producir allí, pero no necesariamente se descompone.

C) Un balance tentativo de los anteriores nos indicaría:

- a) Que son economías rurales cada vez más integradas regionalmente.
- b) Que son economías sujetas a fuertes presiones de cambio, tanto externas como internas.
- c) Que son economías campesinas funcionalizadas a un proceso más vasto de integración social y de expansión de los espacios socio-étnicos.
- d) Que no necesariamente se debe tener sobre el particular una opinión pesimista, ya que por esta vía el Altiplano ha dado salida a presiones y tensiones internas muy fuertes (tierra/población, aislamiento/integración). Desde luego, es también difícil, por los costos sociales y culturales implicados, tener una opinión decididamente optimista.
- e) En relación con todo ello, queda la interrogante si ésta es una transición, una etapa más o menos prolongada de amortiguación de un proceso de descomposición final, producto de la fuerza, la vitalidad o la capacidad de resistencia de los aymaras para la mantención de una sociedad campesina en parte de sus tierras originarias, o bien se trata de un proceso de recomposición y síntesis socio-étnica moderna.

LA ACCION PRIVADA Y ESTATAL EN EL ALTIPLANO RESPECTO A LA POBLACION AYMARA

A) El Estado

- Los municipios. Actualmente les corresponde intervenir en una serie de aspectos vitales en la existencia de la población altiplánica (en salud básica, en educación, en ciertos servicios básicos y dotación de infraestructura, en los subsidios a la pobreza, en la planificación de la acción del Estado a nivel local, etc.). En el desarrollo de estas misiones se detectan varios problemas: baja capacidad técnica y de gestión, pocas capacidades de propuesta, falta de legitimidad para jugar un rol coordinador y moderador de la acción pública, etc.
- Diversos organismos sectoriales también alcanzan el Altiplano. Por lo general, se dedican a hacer lo suyo, en el momento que lo estiman oportuno, de la manera que consideran necesario, en los lugares en que estiman que su intervención es posible y necesaria. Suelen ser el ejemplo de la descoordinación.
- Las universidades en el Altiplano tienen poca o ninguna presencia. Su presencia, cuando la hay está centrada en estudios básicos. Se detecta ausencia de verdaderos programas. Cuando los ha habido normalmente no han tenido continuidad. Se denota asimismo la falta de un rol de liderazgo o siquiera de vigencia en cuanto a conocimientos y generación de propuestas respecto a un qué hacer en el Altiplano por parte de los agentes del desarrollo o sus propios habitantes.

B) Los organismos no gubernamentales

- Su presencia en el Altiplano es relativamente reciente. Algunos de ellos denotan en su acción sobre las circunstancias materiales difíciles de su pobladores un cierta sensibilidad para la innovación de contenidos, búsqueda de nuevos caminos, innovaciones en cuanto a metodologías de trabajo, búsqueda de medios de efectiva promoción social, etc. En comparación con otros organismos su acción es alentadora, ya que buscan salir del cerco del automatismo y de girar sobre caminos trillados y poco efectivos.
- Sin embargo, también tienen limitaciones y problemas en relación al desarrollo campesino y étnico en el Altiplano. Los principales se refieren a roles que cumplen (algunos son meros ejecutores de acciones estatales, son prolongaciones de la acción estatal, prolongando sus problemas); por lo común, su intervención logra un alcance muy local; suelen tener capacidades de propuesta limitadas y, salvo excepciones, hay una baja capacidad de influir sobre el Estado y otros agentes del desarrollo.

C) Las organizaciones campesinas en el Altiplano y la autogestión

- Hay cambios en el protagonismo y participación de las organizaciones locales y sectoriales presentes en el Altiplano. Aparentemente, habría cada vez menos conductas indiferentes a la acción de distintos agentes de desarrollo que intervienen en el área: hay más participación, rechazo, resistencia o involucramiento que antes frente a la presencia de tales agentes.

Por lo tanto, se hacen evidentes conductas activas. Esto se relaciona con:

- Ciertos cambios en la organización campesina del Altiplano. En los últimos años han proliferado organizaciones de varios tipos y que ubican sus objetivos a varios niveles. Por relación a la base organizativa local preexistente, hay ahora una situación hasta cierto punto remozada.
- Sin embargo, hay evidentes limitaciones y problemas de las mismas organizaciones, locales, gremiales o económicas existentes para satisfacer un protagonismo más relevante en relación a su propio desarrollo como campesinos: en general tienen un pormenorizado conocimiento de su realidad y problemas, pero mantienen grandes dificultades de transformación de ese conocimiento y experiencia en demanda formulada técnicamente; en relación con lo anterior, manifiestan una relativamente baja capacidad de gestión; presentan enormes problemas para saltar del plano local al de la microregión o zona para enfrentar proyectos de mayor envergadura y se detecta la permanencia de actitudes que aceptan e incluso fomentan paternalismo y asistencialismo de parte de agentes externos, lo que contribuye al inmovilismo y a la pérdida de participación real.

LOS TEMAS PENDIENTES

Hay diversas cuestiones que se refieren al desarrollo económico de los pobladores del Altiplano hasta ahora no abordados o que requieren, en cuanto a ópticas y direcciones de trabajo, una mayor o más urgente atención. Una enumeración no exhaustiva de ellos es la siguiente:

- A) Un enfoque del desarrollo como «etnodesarrollo» buscando recuperar la constatación obvia que la población del Altiplano es aymara en su totalidad. Las líneas preferentes de lo que podríamos llamar etnodesarrollo del Altiplano, con énfasis en lo económico serían las siguientes:
- La consolidación de territorios donde puedan gestarse niveles de autonomía de gestión y acceso a recursos. Es decir, una dimensión etno-política y espacial. Esto tiene que ver con los recursos productivos y económicos y su control sobre ellos dentro de lo que podría llamarse territorios étnicos. En el norte es particularmente sensible el tema del agua, los recursos mineros en tierra indígena y los recursos turísticos como cuestión emergente en muchas zonas. Está también el asunto de las reservas naturales.
 - El crecimiento económico adecuado a las condiciones de hoy. En tales territorios o comunidades es imperativo contar con proyectos productivos sólidos y competitivos. Ello se liga a cómo no ser engullido por el mercado, cómo llegar a ser una fuerza económica frente a presiones externas. Se debe aspirar a un objetivo de desarrollo de largo plazo consistente en el fortalecimiento económico de la etnia aymara. Lo anterior no podría darse desprendido de otros macro-componentes:
 - El desarrollo organizativo. Se debe aspirar a que hayan organizaciones sólidas, a varios niveles: arraigadas a nivel local y con fuerza para la promoción y defensa de sus intereses. No sólo organizaciones cupulares. Se debe aspirar a que la solidez se dé desde la base. Es de importancia, asimismo, la relación entre organizaciones que permita generar consensos y acción compartida. Las redes de organizaciones de base son deseables en este sentido.
 - El desarrollo ideológico y cultural. Hay aquí varios temas válidos para los distintos segmentos de poblaciones indígenas regionales, incluidos los del Altiplano. Está el de la lengua. Lengua e identidad se complementan perfectamente y suelen ir de la mano. Está el acceso y manejo de medios de comunicación. Por cierto, está también el acceso a la historia: desde las historias locales hasta la búsqueda de cambios en las historias oficiales.
 - La legalidad y juricidad. Es decir, se debe aspirar a que las poblaciones del Altiplano, como los demás congéneres aymaras y atacameños puedan contar con instrumentos legales para la defensa y promoción de los derechos económicos, sociales, culturales y civiles que les corresponden.
- B) La necesidad de adecuación tecno-productiva. Es dramática la ausencia de propuestas de desarrollo tecnológico y productivo para altas montañas sub-tropicales como las del Altiplano. El asunto reviste su complejidad. En ellas se ha protagonizado una historia y cultura agraria de miles de años, por lo que no se trata de proponer o innovar sobre la nada, sino que el primer dato de la realidad es el de una cultura principalmente pecuaria desde la que partir. El desafío es desarrollar respuestas viables desde esta tradición pecuaria y no a pesar de ella. Esta es una cuestión que, además, tiene que plantearse en términos más modernos, más de las realidades de hoy.
- C) La necesidad de adecuación socio-económica. Lo técnico-productivo es sólo una dimensión. Hay que imaginar seriamente respuestas consistentes con la naturaleza de estos sujetos sociales: campesinos pobres aymaras y atacameños. Se trata de gente con pocos recursos, muchas veces expoliados por las redes de mercado de las que forman parte, viviendo en zonas aisladas, con sus recursos productivos amenazados, etc.
- D) Un tema relativamente nuevo es la necesidad de atender una dimensión socio-espacial más amplia que el mero Altiplano.

Las ideas y la acción para el desarrollo indígena debe integrar la nueva realidad socioespacial indígena. No puede y no debe ser sólo lo silvo-agropecuario y no puede y no debe ser sólo lo rural.

El desafío para una iniciativa como la de la Universidad de Chile en el campo de los estudios altiplánicos es el que este conocimiento pueda jugar algún rol en relación al etnodesarrollo de los pueblos indígenas de las altiplanicies nortinas chilenas. Enfrentando las complejidades y contradicciones que muy resumidamente se han señalado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Proyecto FONDECYT 034-91

EL ABUELO SACRAMENTO PANIRE

Relato de la defensa de las aguas de Turi

CARLOS ALDUNATE DEL S.

MUSEO CHILENO DE ARTE PRECOLOMBINO, SANTIAGO, CHILE.

RESUMEN

Se relata una experiencia, exitosa, de defensa de las aguas pertenecientes al pueblo de Ayquina, en el Altiplano de la Región de Antofagasta. La acción organizada de los habitantes del poblado y el apoyo legal y eclesial, permitieron declarar improcedente la solicitud hecha por un organismo público para reglamentar el acceso y uso del agua, cuya propiedad era reivindicada por los habitantes del pueblo. Se logra de esta forma revertir, en parte, la pérdida por desecamiento de extensas áreas de vegas, como ya aconteció en otros lugares de la región

ABSTRACT

The paper shows a successful experience to defend water rights of Ayquina people, in the highplateau of Antofagasta Region. By means of an organized action of inhabitants and the legal and eclesial support, a solicitude made through a public organism in order to regulate obtaining and using of water, was declared unrighteous. This action reverts partially the process of dissecation of native vegetation.

INTRODUCCION

Son conocidas las voces de alerta que se han dado acerca de la conservación del frágil ecosistema que existe en el Altiplano chileno.

Hay, sin embargo, aspectos mucho más importantes de este problema que son desconocidos por la gran mayoría de nuestros compatriotas e incluso por las autoridades de la nación. Nunca será demasiado tarde para denunciar un proceso histórico que no sólo pone en peligro nuestro patrimonio, sino también parte importante de la identidad cultural del país; responsabilidades morales de las que tendremos que rendir cuenta en el futuro por sus insospechadas consecuencias.

Hace ya más de cien años que las aguas del Altiplano y las quebradas altas de Tarapacá y Antofagasta, se están desviando y captando para alimentar los enclaves urbanos y la industria minera establecidas en el desierto nortino. Muy pocos saben que decenas de familias andinas debieron abandonar Ojos de San Pedro cuando sus aguas se consumieron en el Ferrocarril de Arica a La Paz; que las fecundas vegas de Inacaliri, que alimentaban cientos de camélidos se secaron para beneficiar la industria del cobre; que la explotación de las minas de azufre de Cabana envenenó todo el ganado que pastaba en esa región; que los pastores de Colana tuvieron que abandonar sus estancias ganaderas cuando la minería del cobre se apropió de sus aguas, convirtiendo esas vegas en un salar. Para continuar con ejemplos más recientes, se debe citar a las poblaciones andinas de las quebradas altas y Altiplano de Arica que sufren año a año cuando hay sequía, pues los agricultores de los valles y la ciudad amenazan con llevarse el agua de los lagos y altas cuencas de los ríos. Los pobladores de Lirima han dado una heroica aunque infructuosa lucha en la defensa de sus aguas, y los de Toconce hoy ven sus molinos de agua en ruinas y deben hacer fatigosos turnos para regar sus chacras. Por último, aunque haya muchos otros casos que citar, ahora se ha represado el río Loa a la altura de Quinchamale, con lo cual la agricultura de Lasana y Chiu Chiu se ha resentido enormemente y la vega de Chiu Chiu ha sufrido menoscabo considerable. La cuenca del Loa, lleva hoy casi exclusivamente agua del río Salado, que es dañina para la agricultura. En Calama, esta actividad ha casi desaparecido y donde el fenómeno adquiere ribetes de dramatismo es en Quillagua, pueblo exclusivamente agrícola, que se encuentra en proceso de desaparecer.

La nueva ley indígena, que se encuentra en trámite en el Parlamento, se hace cargo de este problema. Sin embargo la Dirección de Aguas, en abierta contradicción con la política de protección auspiciada por el mismo Gobierno, está una vez más tratando de extraer más aguas del río Toconce, obligando a los últimos comuneros de dicha localidad a emigrar a Calama.

Si este proceso continúa, la voracidad de los enclaves extractivos y urbanos del desierto secarán por completo el ecosistema altoandino del norte de Chile, el que será abandonado. Cuando la ciencia y la tecnología reaccionen produciendo agua para mantener estos asentamientos, ya será demasiado tarde. Estarán definitivamente perdidos miles de años que el hombre andino demoró en domesticar el desierto. ¿Que responderemos a los ciudadanos del futuro cuando nos demanden la pérdida de recursos humanos, naturales y culturales de esta parte del país?; ¿Cómo justificaremos la sobrepoblación de las ciudades del desierto a expensas de pastores y agricultores que se vieron obligados a abandonar su identidad y dignidad, pasando a engrosar la lamentable fila de cesantes urbanos sin destino?; ¿Que diremos cuando nos enrostren el despoamiento irresponsable de nuestras fronteras?

En estos tiempos, cuando científicos de todo el mundo están ocupados en conocer y tratar de reproducir las sofisticadas técnicas y conocimientos adaptativos desarrollados por los pueblos del Altiplano andino, que permitieron a esta área ser en épocas prehispánicas, una de las mas ricas y pobladas de América, debemos revitalizar, antes que sea irreparable, parte de este legado cultural y dar un llamado de alerta acerca de este proceso de desintegración.

En esta oportunidad, continuando con la línea iniciada por la Revista Chungará (Nº14, 1985), nuestro propósito es presentar un testimonio de lo que ha sido la lucha por el agua en una localidad de raigambre indígena de la cuenca del río Salado, en la Región de Antofagasta. Estamos convencidos de que hoy día los antropólogos debemos revisar nuestros trabajos en el sentido de valorizar las iniciativas, métodos y sistemas propios de las comunidades indígenas para vincularse con la sociedad mayoritaria. Este es un intento por cumplir con este propósito, tratando el caso de la comunidad de Ayquina, cuyos esfuerzos por conservar sus tierras y aguas llevan más de un siglo, a pesar de la agresión constante de poderosas fuerzas de empresas privadas y del mismo Estado por arrebatárselas.

ANTECEDENTES

La Región del Río Loa Superior se ubica en las cotas superiores de la Segunda Región y comprende la cuenca superior de este río y sus tributarios, principalmente, los ríos San Pedro y el Salado con sus afluentes, Toconce y Caspana. La puna y quebradas altas de esta región, situadas sobre los 3200 m s.n.m., corresponden a la estribación meridional del Altiplano, que aquí adquieren una fisonomía intermontana. En estas subregiones se encuentran numerosas vegas de altura, entre las que se distinguen las de Ojos de San Pedro, Inacaliri y Colana -hoy secas-, y Cabana, a lo largo del Río San Pedro y las del Tatio, en las nacientes del río Salado. Aquí se encuentran los asentamientos de Cupo, Paniri, Toconce y Caspana.

Las quebradas intermedias de esta Región forman un plano inclinado que baja al desierto, entre los 3000 y los 3200 m s.n.m., En esta subregión, en las riberas del río Salado, se encuentran el pueblo de Ayquina y la vega de Turi.

Aunque en estas localidades existen asentamientos prehispánicos desde épocas muy tempranas, es durante los períodos tardíos (posteriores al 1000 d.C.), cuando se advierte una densidad poblacional mayor y la ocupación de todos los nichos habitables del Loa Superior. En esta época se ubican una cantidad de poblados aglutinados, así como varias centenas de hectáreas aterrazadas artificialmente, que demuestran una indudable vocación agrícola en sitios donde hoy resultaría imposible pensarla por la extrema escasez de agua que caracteriza a esta región en la actualidad.

El pueblo de Ayquina y la vega de Turi forman un sistema de asentamiento de indudable raigambre prehispánica, que está articulado en torno a las vegas que mantienen una considerable masa ganadera de camélidos, ovinos y caprinos. Diseminadas en la vega, hay alrededor de tres decenas de estancias, donde viven permanentemente unas setenta personas cuidando el ganado y cultivando en «potreros» algunas legumbres y granos, y muy especialmente alfalfa para forraje. Turi es de los pocos lugares donde se puede cultivar trigo en la región. Cada familia que habita una estancia, posee también una casa en el pueblo de Ayquina, donde asiste principalmente a las fiestas comunales así como para cuidar de las chacras que cultivan en «la Quebrada» del río Salado, vecina al pueblo. Estas melgas aterrazadas se riegan con agua de vertientes naturales, porque el agua del río es extremadamente salobre. Algunos ayquineños poseen además tierras en las quebradas altas de Paniri, hoy bastante abandonadas por la escasez de agua y la lejanía del lugar.

RELACION DE LA DEFENSA DE LAS AGUAS DE TURI

Con fecha 3 de Diciembre de 1907, treinta y cinco vecinos, representando a las familias de la comunidad de Ayquina, encabezados por «su principal», don Sacramento Panire y debidamente representados por un abogado, inscribían a nombre de la comunidad mencionada, en el Conservador de Bienes Raíces de Antofagasta, una propiedad que les pertenecía desde épocas inmemoriales. Se trataba de la «vega Alquina», hoy conocida como vega de Turi, de una cabida aproximada de 72 Km² y cuyos deslindes quedaban consagrados, al sur, el río Ayquina; al norte, el Nevado de Panire; al oriente, Turi, con sus baños, casas y jentilar de Turi; y al poniente, el Ynga y el puente natural de Chiu Chiu» (inscripción de fojas 1056, número 1551 del Registro de Propiedades del Conservador de Bienes Raíces de Antofagasta, correspondiente a 1907, reinscrita a fojas 217, número 240 del Registro de Propiedades del Conservador de Bienes Raíces de Calama, correspondiente al año 1932, ver Anexo 1).

Aún no sabemos qué motivó a la comunidad de Ayquina a efectuar esta engorrosa tramitación legal en épocas tan tempranas. Solicitaron el dominio de las vegas y un extenso territorio, que involucra el pueblo de Ayquina y sus chacras, que también ocupan desde hace siglos, en la quebrada del río Salado. Es muy probable que ya en esta época, la aparición de la gran minería del cobre, el auge de los enclaves del desierto y las vías de comunicación, hayan sido percibidas por la comunidad de Ayquina como una amenaza para sus intereses y hayan procedido a adelantarse a los hechos. Las demás comunidades andinas de la cuenca del Loa aún no se han ocupado de regularizar la situación de sus tierras, las que técnicamente pertenecen al Fisco chileno.

A fines del siglo pasado se habían comenzado a extraer las aguas de las quebradas altas de la región, para abastecer las instalaciones del Ferrocarril de Antofagasta a La Paz. Con este proceso, se secaron las vegas Ojos de San Pedro y otras de los sectores altos, donde pastores de Toconce y Ayquina tenían sus estancias y criaban cientos de cabezas de ganado. También en ese entonces se construían en el área increíbles caminos que trepaban por los cerros en busca de la codiciada llareta (*Azorella compacta*), combustible natural que alimentaba el proceso industrial del cobre. El importante mineral de Chuquicamata hacia prospecciones en las nacientes de los ríos Siloli, Toconce y Linzor, rastreando nuevas y mejores fuentes de abastecimiento de agua para las faenas extractivas e industriales y la población flotante de la mina.

No es de extrañar entonces, que los lugareños hayan visto amenazados sus recursos básicos y la mantención de su sistema ancestral de vida y sobrevivencia. Acudieron así a proteger aquel recurso que entonces vieron más amenazado y probablemente estimaban más importante. En efecto, la vega de Turi, única fuente de forraje permanente de la localidad, forma parte de un sistema que permite a los ayquineños mantener una economía agroganadera estable. Para «mantener» el ganado en temporadas de sequía, se recurre a la vega, cuyos pastos no son de muy buena calidad y al «potrero», sembrado principalmente con alfalfa, con el fin de proveer forrajes ricos en nutrientes que alternan con la vegetación arbustiva del área.

En los años venideros, los pastores del Salado asistieron inermes a una sostenida expoliación de sus recursos: la llareta se agotó en los sectores altos hasta alcanzar niveles de extinción, obligando a las comunidades de Toconce y Caspana a repartirse las escasas reservas de este combustible tan importante para la sobrevivencia en altura. Las necesidades de Antofagasta, Calama, Tocopilla y Chuquicamata, hicieron necesario recurrir a las nacientes de las aguas de los ríos de buena calidad, secando los cursos intermedios y vegas adyacentes y obligando a los campesinos a hacer fatigosos turnos para regar sus chacras. Este proceso, que ya se extiende por un siglo, ha producido un continuo despoblamiento de las quebradas altas; los integrantes de las comunidades que habitan este sector están continuamente emigrando a Calama o Chuquicamata, atraídos por aparentes mejores expectativas las que pronto ven frustradas, engrosando el número de ciudadanos sin trabajo estable que viven en condiciones marginales.

A mediados de la década de 1980, surgió una nueva amenaza para las comunidades del río Salado. Ante la continua necesidad de agua por parte de los centros urbanos y mineros, CODELCO y el Servicio de Obras Sanitarias de la Región de Antofagasta, con el fin de captar más fuentes, inició trámites ante las autoridades competentes para hacer prospecciones de las ya escasas reservas de agua de la zona. En las antiguas vegas, ya secas, de Inacaliri y Ojos San Pedro se practicaron nuevos sondeos para investigar la posible existencia de napas profundas o aguas fósiles. En las vegas de Turi, cuya cobertura vegetal ya está muy menguada a raíz de la continua extracción de las aguas en las quebradas altas y puneñas, lo que constatan los lugareños, también se iniciaron prospecciones e investigaciones para captar sus aguas subterráneas y superficiales.

Con el objeto de tranquilizar a los lugareños que habitaban las estancias de la vega, la Dirección de Bienes Nacionales les ofreció títulos gratuitos de dominio sobre los espacios que ocupaban sus casas, corrales y potreros de cultivo. Por su parte, la Dirección General de Aguas les aseguraba la propiedad de derechos de agua proporcionales al caudal que regaba la vega, para ser aprovechados en sus cultivos. Las aguas sobrantes quedarían libres para ser apropiadas por el Servicio Nacional de Obras Sanitarias, con el fin de entubarlas en las cañerías y aumentar el abastecimiento de los centros urbanos. Si esto se hubiera llevado a cabo, habría significado el fin de la vega de Turi y con ello, la base de sustentación de la comunidad de Ayquina. De nada hubieran servido las estancias y sus pequeños potreros sin la masa ganadera que justificaba este especial patrón de asentamiento.

Es probable que las autoridades hayan desconocido el título legal de dominio que amparaba la propiedad de todas las vegas de Turi, en favor de los sucesores de aquellos 35 comuneros que las habían inscrito a su nombre hacia ochenta años. Desde un punto de vista legal, sin embargo, si los comuneros hubiesen cedido a la presión de las autoridades aceptando la nueva titulación de sus exiguas posesiones, no sólo habrían perdido el resto de la vega, sino también la propiedad de todas las aguas que la riegan, que también les pertenecía por entero. En efecto, de acuerdo a la normativa legal vigente a esa fecha (artículo 520 del Código Civil y 20 del Código de Aguas), las aguas que nacen corren y mueren dentro de una misma heredad, pertenecen a sus dueños. Al desconocerse el título antiguo que amparaba toda la vega, donde nacían y morían los cursos de agua, se aceptaba el desmembramiento del título en varias posesiones. Entonces, las aguas perderían la especial característica que exigía la ley y pasarían a ser bienes susceptibles de aprovecharse por otras personas que lo solicitaren.

El Servicio Nacional de Obras Sanitarias inició, apoyado por la Dirección General de Aguas, un procedimiento judicial, cuyo objetivo final era otorgar derechos de agua a los usuarios de los potreros de cultivo de Turi, propiciando formar una comunidad entre ellos con tal objeto. En sus alegaciones, las autoridades se referían a los lugareños como «agricultores», desconociendo, o queriendo desconocer que su principal actividad de sustentación era la ganadería, y que ésta necesitaba vitalmente de la vega para ser mantenida. Agua, vega, potreros de alfalfa y campo, forman el ciclo ganadero que la comunidad de Ayquina mantiene en sus estancias de Turi y que justifica su permanencia en esta región desde épocas muy remotas.

La comunidad no se resignó ante esta amenaza. Requirieron asesoría legal y exhibieron los antiguos títulos de propiedad sobre la vega y sus aguas, guardados celosamente junto con otros documentos en la «maleta del alcalde», cuya custodia se trasmite junto con el cargo. Las autoridades sostuvieron que éstos no amparaban a los actuales ocupantes, pues ellos «carecían de personalidad jurídica». Con ello, trataban de demostrar que los actuales usuarios de la vega y sus aguas no eran los descendientes de los antiguos propietarios, sino que se trataba de un grupo de personas que ejercían sus derechos de manera independiente y sin amparo legal alguno. Este mismo argumento había sido esgrimido y con éxito, para que los servicios públicos se apropiaran de las aguas de Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagua. Otro alegato de los demandantes consistía en desconocer el título común de la vega, sosteniendo que su pretendido valor estaba negado en la práctica por los propietarios, quienes habían establecido propiedades individuales sobre cada una de las estancias.

Entonces, era necesario probar ante la justicia que existía una continua e ininterrumpida posesión, uso y goce de las vegas de Turi y sus aguas, y que los actuales poseedores de estos derechos eran descendientes de aquellos que figuraban en el título

de propiedad de 1907. Se demostraría así la existencia de una sólo propietaria de la tierra y sus aguas desde aquella época: una comunidad hereditaria formada por todos los descendientes de los antiguos propietarios.

La comunidad de Ayquina se organizó con tal objeto: Se reunió la Junta de Vecinos para adoptar los acuerdos necesarios, se autorizó al Presidente de esta entidad para iniciar los trámites judiciales y representar a la comunidad en el respectivo juicio; se solicitó la asesoría de un abogado especialista que había obtenido importantes éxitos en casos similares; se revisó y restauró todo el antiguo sistema de apachetas que fijaba los límites de la propiedad, reponiéndose los hitos deteriorados; se designó a una comisión para que con el concurso de todas las familias, especialmente sus miembros más ancianos, se trazaran las antiguas genealogías que vincularían las actuales generaciones con los abuelos mencionados en el título de dominio; se solicitó la ayuda de la Prelatura Apostólica de Calama con el fin de obtener la ayuda económica que significaba un juicio en la ciudad de Calama.

Con estos antecedentes y preparativos, la comunidad de Ayquina se opuso a la pretensión del Director General de Aguas de constituir una Comunidad de Aguas entre los vecinos de Turi, pretensión improcedente, ya que las aguas de Turi eran, en su totalidad, de propiedad de la comunidad hereditaria formada por los actuales ocupantes. Después de un litigio de algunos meses ante el Segundo Juzgado de Letras de El Loa-Calama, con fecha 19 de Mayo de 1987, la Juez Titular de dicho juzgado declaraba improcedente la solicitud de la Dirección de Aguas (ver Anexo 2). Establecía que la vega y sus aguas pertenecen a «un sólo propietario, la Comunidad de Turi o Vegas de Ayquina» y que la parcelación que en esta propiedad se ha hecho de 78 posesiones, es sólo «una simple distribución del trabajo dentro de la Comunidad».

El 4 de Agosto siguiente, se reunía toda la comunidad alrededor de la vertiente donde mana el agua que alimenta la vega y la vida de Turi. Más de trescientas personas, junto a los principales de la comunidad, el Obispo Prelado de Calama, los funcionarios y abogados que habían participado en el juicio, celebraron con una «boda» este significativo hecho que permitía, nada menos, que la sobrevivencia de una comunidad andina en sus tierras originales.

Por ello, en la parte más importante de la ceremonia se agradeció a Dios, a la Virgen Guadalupe de Ayquina; se pagó a los cerros, al agua, a la tierra; se hicieron los sacrificios y vilancahas ancestrales. Se pidió perdón; se recordó y agradeció a los antepasados.

Honorio Ayavire, Presidente de la Junta de Vecinos, dijo las palabras siguientes:

«Nos hemos reunido en este hermoso día de agosto para darle gracias a Dios y a nuestra Madre Guadalupe de Ayquina y a un grupo de personas que supieron sentir nuestra necesidad y angustia por una tierra y sus aguas que es tan nuestra como el corazón de cada persona.

Todo esto comienza hace miles de años cuando nuestros antepasados bajaron de la alta puna a un ambiente más adecuado, porque los recursos vegetales se deslizan por el fondo de las quebradas y las vegas, y se hacía más fácil el pastoreo y la caza de animales, que en un principio fue la llama que prestó y presta gran utilidad a los habitantes de esta tierra. Una de estas vegas es Turi y qué mejor testigo que estas ruinas que tenemos cerca de nosotros. Con el correr de los años, nuestros antepasados se dieron cuenta de la gran riqueza que les entregaba la tierra que tenían al frente de ellos y comenzaron a utilizarla para el ganado y la agricultura.

La historia nos dice mucho, y es por eso que sentimos un profundo agradecimiento por aquellos primeros pobladores que yo sé que nos están escuchando y miran con alegría el triunfo de sus hijos. Así llegamos al año 1907 cuando un visionario hombre, don Sacramento Panire, inscribe en el notario público y conservador de bienes raíces estos terrenos.» (De El Mercurio, Calama 5 Agosto 1987).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Proyecto CONICYT/ FONDECYT 1022-88

DOCUMENTOS ANEXOS

ANEXO 1. INSCRIPCIÓN EN CONSERVADOR DE BIENES RAICES DE CALAMA

AÑO 1965 Copia Reg. P.B.R. Año 1932 Fjs. 217

REINSCRIPCION DE MINUTA DE SACRAMENTO PANIRE Y OTROS

Nº 24C.- Calama, veintiuno de Diciembre de mil novecientos treinta y dos.- A solicitud de don Pantaleon Panire, procedo a reinscribir en el presente Registro, la Minuta siguiente:- "El Notario Público y Conservador de Bienes Raíces del Departamento que suscribe, certifica: que a fojas mil cincuenta y seis bajo el número mil quinientos cincuenta y uno, del Registro de Propiedades del Conservador a su cargo del año actual se encuentra la siguiente inscripción: Antofagasta, tres de Diciembre de mil novecientos siete.- Consta de minuta presentada ante mí, con fecha diecisiete de Octubre último que bajo el número ciento veintisiete y en una foja útil se agrega al final del presente Registro en comprobante de esta inscripción que los señores Sacramento Panire, Pantaleón Panire, Timoteo Saire, Isaac Palalo, Eugenio Panire, Sacramento Saire, Abaldo Saire, Nazario Levea, Ignacio Panire, Eusebio Panire, Elias Choque, Salomé Choque, Santiago Choque, Marcelino Ayavire, Blas Cruz, Felix Cruz, Leocardio Berna, Anselmo Lobena, Marcos Ayavire, Cristóbal Ayavire, Matias Ayavire, Enrique Berna, Agapito Anza, Mariano Ingla, Víctorino Lobena, Rafael Sare, Ciriaco Berna, Catalina Berna, Felipe Ayavire, Manuel Ayavire, Antonio Ayavire, Cecilio Cruz, Mamani, José María Yunfla y León Choque; son dueños desde antes de la vigencia en este territorio del Reglamento del Conservador de Bienes Raíces de un retazo de terreno denominado "La Vega Alquina" ubicado en la subdelegación de Calama, de este Departamento que mide once mil ochocientos metros de largo por seis mil cuatrocientos cuarenta metros de ancho y cuyos deslindes son: al Sur, el río Alquina; al Norte, el Nevado de Panire; al Oriente, Turi con sus baños casas y jentilar de Turi; y al Poniente, el Yuga y el puente natural de Chiu-Chiu. He procedido a esta inscripción en conformidad a lo dispuesto en el artículo cincuenta y ocho del Reglamento del Conservador de Bienes Raíces, habiéndose publicado aviso en el diario "El Comercio" de esta ciudad de fecha veintidos de Octubre último y haberse fijado los carteles respectivos.- Requiere y firma la presente inscripción don Rafael Muñoz, abogado, y de este domicilio, como encargado de los señores Sacramento Panire, Pantaleon Panire, Isaac Palalo, Eujenio Panire, Timoteo Saire, Sacramento Saire, Ubaldo Saire, Nazario Leves, Ignacio Panire, Eusebio Panire, Elias Choque, Salomé Choque, Santiago Choque, Marcelino Ayavire, Blas Cruz, Felix Cruz, Leocardio Berna, Anselmo Lobena, Marcos Ayavire, Enrique Berna, Cristobal Ayavire, Matias Ayavire, Agapito Anza, Mariano Ingla, Victorino Lobena, Rafael Saire, Ciriaco Berna, Catalina Berna, Felipe Ayavire, Manuel Ayavire, Antonio Ayavire, Cecilio Cruz, Manuel Mamani, José María Yunfla y León Choque, vecinos de San Pedro de Atacama.- Doy fé.- R. Muñoz.- Samuel Donoso.- C.- Conforme con su original.- Antofagasta, nueve de Diciembre de mil novecientos siete.- Samuel Donoso.- Hay un sello Notarial. Conforme con su original que devolví al requirente, quién para constancia firma.- Doy fé.- Firmado: Panta León Panire. Enrique Lira Silva.- N.C.- CONFORME CON SU INSCRIPCION ORIGINAL ESTA SEGUNDA COPIA, CORRIENTE A FOJAS DOSCIENTAS DIECISIETE, BAJO EL NUMERO DOSCIENTOS CUARENTA DEL REGISTRO DE PROPIEDADES DEL CONSERVADOR DE BIENES RAICES DE ESTE DEPARTAMENTO DE EL LOA, A MI CARGO PARA EL AÑO MIL NOVECIENTOS TREINTA Y DOS. Calama, siete de Enero de mil novecientos sesenta y cinco.

Arnoldo Wunkhaus Ried.
N.P. y C. Públ.

ANEXO 2. SENTENCIA DEL SEGUNDO JUZGADO DE LETRAS DE EL LOA-CALAMA

Calama, diecinueve de mayo de mil novecientos ochenta y siete.

VISTOS:

Que a fs. 7 se presenta el Director General de Aguas, don Eugenio Lobo Parga, solicitando se cite a comparendo para organizar la Comunidad de Aguas del Canal San Luis, derivado de las Vertientes Turi y sus ramales, se declare establecida la existencia de la referida Comunidad, se fijen los derechos de los comuneros en el agua, se aprueban los estatutos que regirán la Comunidad, elegir el Directorio y en definitiva se disponga que la resolución que apruebe la existencia de la Comunidad y los derechos de los comuneros, se reduzca a escritura pública, conjuntamente con el comparendo y los estatutos, si hubiere acuerdo, todo ello, en razón de carecer los usuarios de una organización legal. Adjunta a su presentación nómina de los usuarios del canal de la referencia, que incluye los predios beneficiados y los respectivos derechos de aprovechamiento.

A fojas 1, rolan estatutos de la Comunidad.

A fojas 4, rolan derechos de aprovechamiento sobre las aguas de los usuarios.

A fojas 26, se llevó a efecto el comparendo de estilo en el que se solicitó por los representantes de la Dirección de Aguas, se accediera a las peticiones formuladas en la presentación de fs. 7 y se considerara el nuevo listado que acompaña en el que constan los nombres de los propietarios, el RUN o RUT, con iniciación del hectareaje efectivamente explotado.

Al comparendo concurrió con fianza de rato el abogado don Fernando Dougnac Rodríguez, en representación de la Comunidad de Turi o Vegas de Alquina, cuya actuación fué ratificada a fs. 120 de autos, quien viene en oponerse a la formación de la

Comunidad de Aguas solicitada por la Dirección General de Aguas, en atención a que de conformidad al artículo 20, inciso 2° del Código de Aguas, aquella sería improcedente, toda vez, que, su representada es dueña de todos los derechos de aprovechamiento de las aguas de la Vertiente de Turi, por lo que no se darían los presupuestos del artículo 186 del precitado cuerpo legal. Indica que se trata de una sola persona propietaria del derecho en referencia.

A fojas 40, se recibió la causa a prueba.

A fojas 63 y siguientes, rola testimonial rendida por la Comunidad Turi y Vegas de Ayquina.

A fojas 66 y siguientes, 88 y siguientes, la Dirección de Aguas acompañó prueba documental.

A fojas 71 y siguientes rola la documental rendida por la opositora.

A fojas 128 vta. los autos quedaron en situación de fallo.

A fojas 130, se decretaron diversas medidas para mejor resolver, las que se cumplen a fs. 154 vta., trayéndose los autos para fallo.

CONSIDERANDO:

- 1°.- Que, a fs. 7 se presentó el Director General de Aguas, solicitando se citara a comparendo a las personas que indica, a objeto de formar la Comunidad de Aguas del Canal San Luis, derivado de las Vertientes de Turi y sus ramales, se declarare establecida la Comunidad, se fijaran los derechos de los comuneros en el agua, se aprobaran sus estatutos y se elegirá el Directorio respectivo.
- 2°.- Que, con fianza de rato a fs. 24 se presentó por la Comunidad de Turi o Vegas de Ayquina, don Fernando Dougnac Rodríguez, cuya actuación fué ratificada a fs. 120 de autos, oponiéndose a la formación de la Comunidad señalada en el motivo precedente, aduciendo que en la especie no se darían los presupuestos del artículo 186 del Código del ramo, ya que, se trataría de un propietario, la Comunidad de Turi, todo ello, en concordancia con el artículo 20 del Código de Aguas.
- 3°.- Que, a fs. 71 y siguientes, la opositora acompañó en parte de prueba, certificado de dominio vigente, de hipotecas y gravámenes, de interdicciones y prohibiciones y de litigios que dicen relación con la propiedad que rola inscrita a fs. 217, bajo el N° 240 del año 1932 en el Registro de Propiedad del Conservador de Bienes Raíces, documentos todos, que no fueron objetados por la contraria y que con los antecedentes agregados a los autos, permiten al Tribunal concluir que efectivamente no se dan en la especie los presupuestos que contempla el artículo 186 del Código de Aguas.
- 4°.- Que, de la nómina de usuarios presentada por la Dirección de Aguas, ninguna de las personas allí incluídas ha reclamado la existencia de algún derecho vulnerado.
- 5°.- Que, en la Inspección ocular practicada por el Tribunal, a fs. 134, se ha consignado en ella la existencia de 78 parcelas, lo que en nada obsta a la conclusión a que se ha arribado en el motivo tercero de la presente sentencia, por cuanto ello solo puede implicar una simple distribución de trabajo dentro de la Comunidad de que dan cuenta los documentos rolantes a fs. 71 y siguientes.
- 6°.- Que, el dominio de un inmueble se prueba con la inscripción conservatoria pertinente.
- 7°.- Que, de acuerdo a la documentación señalada anteriormente, no han existido parcelaciones o subdivisiones en la heredad que se alega está constiuida por un sólo propietario, la Comunidad Turi o Vegas de Ayquina.

Y, visto demás, lo dispuesto en los artículos 1698 del Código Civil, 144, 170, 680 y siguientes del Código de Procedimiento Civil; 20, 177, 178, 179, 186, 188 y disposiciones transitorias del Código de Aguas, se declara que no ha lugar a la formación de la Comunidad de Aguas, solicitada a fs. 7.

Regístrese, notifíquese y archívese en su oportunidad.

Dictada por doña Gloria Solís Romero, Juez Titular del Segundo Juzgado de Letras de El Loa-Calama, autoriza doña Judith Guzmán Martínez, Secretaria Titular.

CULTURA Y EDUCACION EN EL ALTIPLANO

BERNARDO GUERRERO

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT,
IQUIQUE, CHILE

RESUMEN

La posibilidad de plantear la educación como un ámbito en el cual se puede expresar y recrear una cultura, requiere, en el caso de poblaciones indígenas que el Estado nacional reconozca que, para sus planes educativos, subyace una cultura que define una particular relación con las definiciones culturales.

ABSTRACT

The possibility to get a planned education where indigenous culture could be expressed and reproduced, requires the national state recognition for its educative plans of cultural particularities, specially on those aspects related with nature.

INTRODUCCION

El tema de la educación tiene que ver con la pregunta del tipo de sociedad que queremos. En otras palabras, la educación que implementamos o que consensuemos, según sea el caso, tiene que ver con la sociedad que queremos construir.

En el caso de la cultura andina, esta pregunta presenta sus complejidades y también sus contradicciones. Esto es así ya que la pregunta por el tipo de educación que quieren los Aymaras jamás se les ha formulado a los propios campesinos. Esta pregunta, por lo general, transita por el corrillo de los especialistas que han visto, entre otras tantas cosas, el tema de la educación, como si fuera este un problema técnico, y que, en consecuencia, requiere del concurso de cuadros técnicos.

Pero, aún más allá del tópico del "especialismo académico" pero muy ligado a éste, el tema de la educación parece ser tratado como si fuera una entidad autónoma, con vida propia, y en consecuencia, desligado de otras esferas de la vida social.

El divorcio entre educación y cultura, es el que permite que el tema de la educación sea tratado como ente autónomo, y esto tiene muchas consecuencias como trataremos de ver más adelante. Pero antes detengámonos en una breve discusión acerca del concepto de cultura.

CULTURA Y EDUCACION: UNA CARACTERIZACION CONCEPTUAL

La noción de cultura, al igual que la de sociedad, puede ubicarse en su génesis como producto de la modernidad emergente en el Siglo XIX. En este sentido es conveniente prestar atención al paradigma que las ilustra desde atrás y que le da sentido y coherencia.

La modernidad y su discurso suponen la desconstrucción de un paradigma anterior que poseía una visión del mundo diferente a la actualmente vigente. La construcción del paradigma moderno basado en la negación del anterior y en la afirmación de la razón como única forma de acceder a un tipo de conocimiento definido como válido y acompañada de una metodología también llamada científica.

Este paradigma en sus múltiples manifestaciones es esencialmente dicotómico. Se construye sobre las dicotomías entre razón y emoción, mente y cuerpo, masculino y femenino, y sobre todo en la diferencia entre cultura y naturaleza, y en las que los primeros de estos elementos son definidos como superiores. Consecuentemente con lo anterior, la modernidad se irguió también como cultura universal y aún más, como cultura superior, y creyó hallar en la idea del progreso el motor y sentido de la historia.

La cultura, en contraposición a la naturaleza, se definía como algo vivo, del hombre, antropocéntrico, y relegó a la naturaleza al reino de lo inanimado, sin vida. Esta concepción es la que ha logrado legitimar la conquista y explotación de éste.

El concepto de cultura más que definirla al modo de la modernidad -al modo de la antropología clásica- con sus consiguientes adjetivos que todos conocemos, debe primero que nada referirse a la visión del mundo que la trasciende. En otras palabras queremos rescatar acá el concepto de cultura como una forma de percibir las relaciones sociales, las cosas y su entorno. Es también la cultura un modo de conocer. Al respecto Morris Berman (1982) habla de los modelos cognitivos de enfrentar el mundo.

"La visión del mundo que predominó en Occidente hasta la víspera de la Revolución Científica fue la de un mundo encantado. Las rocas, los árboles, los ríos y las nubes eran contemplados como algo maravilloso y con vida, y los seres humanos se

sentían a sus anchas en este ambiente. En breve, el cosmos era un lugar de pertenencia, de correspondencia. Un miembro de este cosmos participaba directamente en su drama, no era un observador alienado. Su destino personal estaba ligado al del cosmos y es esta relación la que daba significado a su vida. Este tipo de conciencia -la que llamaremos en este libro "conciencia participativa"- involucra coalición o identificación con el ambiente, habla de una totalidad psíquica que hace mucho ha desaparecido de escena".

Esta conciencia es la que también animó y sigue en parte animando, a los Aymaras de antes de la llegada de los españoles, y en cierta medida a los de la actualidad. Para el hombre occidental, sin embargo, ahora existe otro tipo de conciencia: "...puede describirse mejor como un desencantamiento, una no participación, debido a que insiste en la distinción rígida entre observador y observado. La conciencia científica es una conciencia alienada: no hay una asociación ectásica con la naturaleza, más bien hay una total separación y distanciamiento de ella. Sujeto y objeto siempre son vistos como antagónicos. Yo no soy mis experiencias y, por lo tanto, no soy realmente parte del mundo que me rodea. El punto final lógico de esta visión del mundo es una sensación de reificación total; todo es un objeto ajeno, distinto y a parte mí" (Berman, 1982).

Esta visión del mundo "racionalista" no tiene nada que ver con aquella visión del hombre andino que sustenta otra sensación con la naturaleza. Para el hombre andino, ésta tiene vida y por lo general, se le otorga una dimensión sagrada. Frente a ella la relación es de respeto.

El hombre andino al poseer una conciencia participativa según Berman, percibe a la naturaleza como una entidad que posee vida propia, y que no está necesariamente a libre disposición de él. Cosa contraria ocurre con el hombre moderno que ve a naturaleza como muerta y como fuente inagotable de riqueza.

Por otro lado, Van Kessel (1987), profundiza más aún lo anterior. El habla de la existencia de una ideología autónoma y de una ideología heterogénea. La primera correspondería a lo que Berman llama la conciencia participativa y la segunda a la conciencia desencantada. Van Kessel dice:

"El universo del hombre arcaico sobrepasa las estructuras económicas y políticas. Este hombre entra en un diálogo con la naturaleza, personificada, independiente, autónoma, características que tiene también aquel otro elemento que entra en juego en este diálogo: el Mundo Divino. Por eso es necesario considerar aquí la ideología en una perspectiva más amplia, como una cosmovisión mitológicamente fundada, implicando las relaciones de los hombres con el mundo divino (divinidad, antepasados, etc.), con la naturaleza (el espacio vital que impone sus leyes y sus exigencias al hombre) y finalmente las relaciones sociales en sentido amplio. La ideología comprende sistemas de valores primarios que constituye la motivación fundamental dentro de la sociedad". Continúa Van Kessel: "La sociedad moderna encuentra su motivación fundamental en una ideología autónoma, es decir, que su norma primaria y su valor fundamental es el hombre mismo y ningún otro fuera de él. No se respalda en un orden sobrehumano, cósmico, preestablecido, sino que se basa conscientemente sobre una visión ideológica del hombre según el cual él mismo es responsable del orden humano (moral) y material (económico), orden cuya creación progresiva e histórica él considera como su deber fundamental y en la cual ocupa un lugar central y decisivo. Por eso, tiene conciencia del tiempo del tipo histórico. En una sociedad motivada por una ideología autónoma, el hombre encara el mundo no-humano, controlando, dominando, explotando".

Pero no se piense que esta mentalidad descrita por Berman y Van Kessel es algo que ya no existe. Pese al proceso de chilenización en que se ha visto envuelta la sociedad andina, aún es posible encontrar elementos de esa forma de ver y de concebir el mundo. Los actos religiosos tradicionales aún mantienen mucho de la conciencia participativa. En otro plano, citamos un párrafo de una carta que dirigentes andinos dirigieron a la autoridad política de la región protestando contra un plan de lluvias artificiales. Escriben:

"Nuestro conocimiento campesino nos señala que las lluvias tienen un proceso natural de apareamiento entre las nubes hembras de la costa y las nubes machos del Altiplano y para su fecundación es necesario no interrumpirlas, ya que paulatinamente se va generando un ciclo climático propicio para las precipitaciones normales".¹

En otras palabras estamos hablando de un modelo cognitivo aún presente.

La educación en el marco de lo descrito anteriormente tiene que ver con la forma como ésta ayuda a socializar y a reproducir la cultura de la sociedad. En otras palabras, y desde esta perspectiva, la distinción entre cultura y educación es bastante sutil.

EDUCACION Y CHILENIZACION

El estado chileno al posesionarse de la región del Norte Grande, necesita hacer coincidir las fronteras entre lo geográfico y lo cultural. Los Aymaras, en consecuencia, deben ser chilenizados. Y el principal instrumento para ello es y ha sido la educación impartida por la escuela y por profesores no andinos.

¹ Carta de la Junta de Vecinos Nº 7 de Chucuyo-Parinacota, dirigida al Intendente Regional de Tarapacá, 12 de Febrero 1992.

Los macizos, profundos y sistemáticos procesos de chilenización en que se han visto envueltos los Aymaras desde 1890 a la actualidad, marca una doble tendencia. Por una parte, son víctimas del llamado Holocausto al Progreso, y por otro lado, se empieza a generar un reavivamiento de la conciencia étnica, reavivamiento que no está exento de paradojas y de contradicciones, pero que señala un punto de articulación en torno a lo Aymara bastante interesante². Aquí el tema de la educación ha sido de vital importancia por cuanto se empieza a hablar desde conceptos tales como educación andina, curriculum pertinente, hasta educación bilingüe intercultural.

Fueron primero las organizaciones no gubernamentales y las organizaciones indígenas, y luego las universidades las que empezaron a discutir el tema. Todas ellas compartían el mismo diagnóstico acerca de la necesidad de una educación adecuada al medio, pero muy pocos relacionaron con el tema del curriculum, a la cultura³.

Lo anterior significa internalizar la visión del mundo andino a una propuesta educativa, cuestión que no es tarea fácil. Y no lo será en la medida en que el asunto educativo andino sea sólo resorte de los educadores nacionales que, armados de buena voluntad, en este caso por sí sola no es buena, y en algunos casos puede ser hasta negativa.

Algunos han creído solucionar el problema del curriculum andino y de su relación con la cultura, haciendo explícitas variables de la tradición oral andina⁴. Los cuentos han sido acá una fuente primaria de información. Pero, en muchos de los casos sólo se ha caído en una suerte de "folklorización" de la cultura andina.

Otro elemento también de importancia tiene que ver con la ausencia de las organizaciones campesinas y de la comunidad en el diseño del curriculum andino. Este, como ya hemos dicho, parece ser sólo terreno para especialistas o científicos. No obstante, pese a lo anterior se tropieza también con dificultades o con la existencia de ciertas condiciones tal cual apunta Alvarez (1987). Este autor dice: "... que una propuesta educativa articulada a partir de una propuesta curricular intercultural, sólo podrá tener sentido si se inserta en un proyecto campesino, dotado de una dirigencia gremial fuerte y clara, que asuma como problema principalísimo el rescate de un propio saber étnico y proyecte éste hacia el escenario regional; y cuando digo proyectar pienso en demostrar la legitimidad de lo andino como estilo de vida y en aportes sustantivos al desarrollo y a la construcción de un nuevo tipo de sociedad en que sea posible la coexistencia de grupos culturales tan diferentes como el urbano criollo y el Aymara".

CONCLUSIONES

No se trata de pensar en una sociedad Aymara cerrada en sí misma. Las interrelaciones entre esta sociedad y la nacional son múltiples y más que evidentes. Los procesos migratorios a veces sin retorno, producto de la chilenización, señalan que la educación andina debe también ser capaz de preparar a los Aymaras para su desempeño en la ciudad.

Pero el punto es que, en la actualidad, la educación sólo tiene como norte la sociedad nacional y no la andina. Urge pues, un proyecto educativo que desde la matriz de la racionalidad andina sea capaz de conjugar los elementos culturales de la sociedad chilena con la autóctona.

Lo anterior no es tarea fácil, y en la elaboración de una propuesta educativa es indispensable la participación de la comunidad andina organizada.

REFERENCIAS

Alvarez, J., 1987. Educación para el Desarrollo Andino: Una propuesta curricular bicultural para las escuelas Aymaras de Tarapacá. Cuadernos de Investigación Social, N° 24, CREAM, Iquique.

Berman, M., 1982 El Reencantamiento del Mundo. Ed. Cuatro Vientos, Santiago.

Podestá, J., 1993. Tradición oral Aymara y educación. Buscando nuevos caminos. Revista de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Serie Ciencias Sociales, N° 2, Departamentos de Ciencias Sociales, Universidad Arturo Prat, Iquique.

Van Kessel, J., 1987. Lucero del Desierto. Universidad Libre de Amsterdam, CREAM, Iquique.

2 Este pareciera ser el caso de las organizaciones Aymaras surgidas a partir del año 1989 adelante. Siendo las principales el Centro Cultural Aymara, Aymar-Markas, PachaAru, y otros aglutinados en torno a la comisión Especial de Pueblos Indígenas (CEPI).

3 Este pareciera ser el caso de los investigadores del Centro de Investigación de la Realidad del Norte (CREAR). Al respecto ver los trabajos de Juan Podestá y Juan Alvarez.

4 Ver trabajo de Juan Podestá "Tradición oral Aymara y educación. Buscando nuevos caminos".

ARTE ANDINO, REFLEJO DE UNA CULTURA. 1

JUAN M. CHACAMA R. y LUIS BRIONES M.

DEPTO. ARQUEOLOGIA Y MUSEOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES,
ADMINISTRATIVAS Y ECONOMICAS, UNIVERSIDAD DE TARAPACA.

RESUMEN

Los autores demuestran como las expresiones artísticas andinas, entendidas como manifestaciones culturales que en gran medida reflejan a la cultura que las produjo, pese a la conquista española, continuó manifestándose, ahora, asociado a la iconografía religiosa católica; siendo, además, un excelente reflejo de los diversos períodos que se suceden en el área andina, de ahí su valor como documento válido para la historia.

ABSTRACT

This paper shows how andean artistic expressions understood as cultural statements which reflect the culture where they arise, in spite of european conquest, have continued reproducing, but now associated to catholic religious iconography. Besides, because it reflects different historical periods, it is considered as a very valuable document to know about the andean history.

PRESENTACION

Quizás, arte, no sea el término más apropiado para designar diversos tipos de manifestaciones producidas en el mundo andino, especialmente prehispano. Conocida es por todos la intencionalidad conceptual que subyace en la iconografía textil andina; la vinculación de sistemas de rutas caravaneras con arte rupestre (Geoglifos), la relación de arte parietal como esquemas mágico-religioso, etc, en fin, en los Andes, las expresiones generalizadas bajo la terminología de arte son más allá de un arte por el arte o arte como expresión individual; son manifestaciones culturales que en gran medida reflejan a la cultura que los produjo. Esta tradición de reflejar conceptos mediante expresiones «gráficas», se estima tiene una profundidad tan antigua como la historia humana en la región; existen algunas evidencias de arte parietal que se remontan al octavo milenio antes del presente. Sin duda, tan arraigada forma de expresión, luego del contacto andino-europeo, encontró en el arte virreinal una rica veta de expresión. Una vez que la sociedad colonial del Siglo XVI y comienzos del XVII se hubo completamente establecido en la América andina, se abrieron espacios para la participación de artistas andinos en diversos trabajos de carácter artístico como escultura, murales, pinturas de caballete, e incluso en arte mayores como la arquitectura. La lectura que procede a continuación trata entonces del arte virreinal regional como un reflejo de la sociedad andino-europea que lo produjo.

La ponencia es resultado de los proyectos: «Pintura Mural en los Andes» (O.E.A. - U. de Tarapacá, 1993) y, «Ariquilda 1, Alto Ariquilda 1, C² Unita, tres sitios con arte rupestre...» (Universidad de Tarapacá, 1992-93).

ARTE VIRREINAL EN EL EXTREMO NORTE

Manifestaciones de arte virreinal en el extremo norte de Chile son posibles de apreciar en arquitectura, murales, tallas en madera y algo de pintura de caballete; el conjunto de tales expresiones está caracterizado por el ambiente religioso en el cual se enmarca, o dicho de otra manera, es en la construcción y ornamentación de los templos católicos de la sierra y Altiplano de la región donde fue plasmada esta expresión artística con mayor fuerza.

A partir de las primeras misiones instauradas en la región a fines del Siglo XVI y durante todo el XVII, se levantan una serie de templos destinados a la evangelización de los lugareños, lamentablemente el paso del tiempo y sobre todo la actividad sísmica de la región, no han permitido que ejemplos de esta época permanezcan en la actualidad (Chacama *et al.*, 1992). Las evidencias más tempranas, hoy visibles, corresponden al Siglo XVIII y están muy vinculadas con el estilo artístico conocido como Barroco Andino y/o Barroco Mestizo (Briones, y Vilaseca, s/a; Chacama *et al.*, ob. cit; Chacama *et al.*, 1988-89; Montandon, 1967).

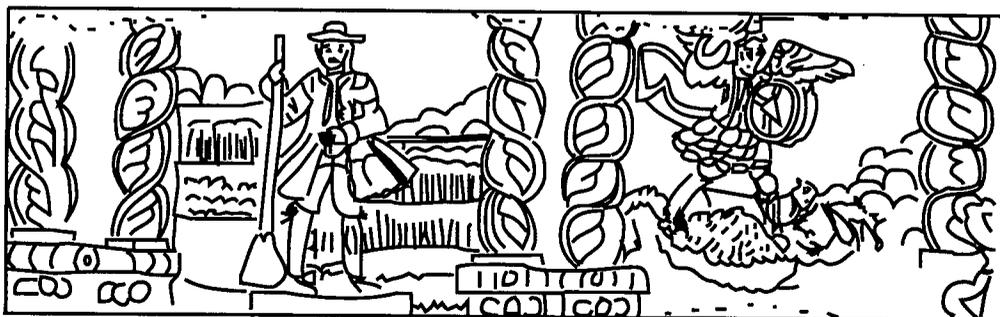


Fig. 1. San Isidro Labrador, Arcángel San Miguel. Iglesia de Pachama, Sierra de Arica. Segunda mitad del siglo XVIII.

El Barroco Andino o Mestizo es conocido en América como una variante del estilo Barroco llegado de Europa, que se caracteriza por la introducción de elementos nativos especialmente flora y fauna, esto, debido a la participación de artistas indios en la exornación de los templos (Gisbert, 1980; Macera, 1977; Mesa y Gisbert, 1978 en el arte mural).

La asociación de la divinidad cristiana con la divinidad solar, el concepto del hombre puma, entre otros, son temas prehispánicos insertos en un contexto de iconografía cristiana. Tales temas han sido detectados tanto en las regiones altoandinas y circunlacustre (Gisbert, 1980) como en las cabeceras y Altiplano de los valles occidentales del norte de Chile (Chacama *et al.*, 1988-89). Si bien es cierto, aún se encuentra en discusión el origen prehispánico de alguno de estos temas v.g. La Sirena, es indudable que tales representaciones formales alientan el recuerdo de una mitología prehispánica; poniéndola en relieve y coactuando en el mismo nivel de los temas iconográficos cristianos. De esta forma, a través de un «documento» visual, es posible percibir que en la sociedad colonial del Siglo XVIII, en la región, existe un sustrato de marcada tendencia andina el que, conjuntamente con expresarse a través de estructuras sociales y económicas, busca también un espacio en el arte. En este caso la expresión de este sustrato andino pone en relieve una estructura ideológica, íntimamente religiosa y, lo expresa en el vehículo de la religión predominante de la época, vale decir, el templo católico.

El Siglo XIX se caracteriza en toda la región andina por el término del régimen colonial y surgimiento de las repúblicas. La nueva clase criolla emergente vuelca gran parte de su admiración hacia Europa, y con ello, a los conceptos artístico y culturales que allá se producen. La planificación urbana y los estilos arquitectónicos empleados en las grandes capitales: Lima, Santiago, La Paz, son un buen reflejo de la aceptación de los cánones culturales venidos de Europa, el Neoclasicismo es el patrón casi indiscutido, es una autoreafirmación de la tendencia cultural del momento. Esta forma de ser, visualizada a través de la adopción del Neoclasicismo, llegó también a los lugares más apartados del entonces sur del Perú, hoy extremo norte de Chile. Como estilo, el Neoclásico se vincula más con temática de Santos que con imágenes bíblicas, rehuye de la ornamentación exuberante del Barroco, y es más simple en sus líneas, es en síntesis más «culto», menos «popular», más «occidental», menos «india»; reflejando en gran medida el espíritu de la sociedad criolla de la época con la necesidad intrínseca de ser más europeo que americano. Al finalizar el Siglo XIX, el gran auge de construcción y ornamentación de templos comienza su decadencia; la población valluna motivada por el auge salitrero abandona los campos dirigiendo su atención a la oficinas salitreras; posteriormente la Guerra del Pacífico cierra un ciclo de crecimiento en la construcción y ornamentación de los grandes templos de Tarapacá y Arica

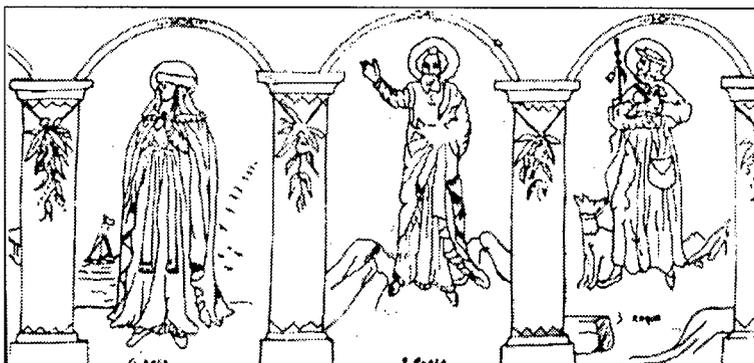


Fig. 2. Santa Rosa de Lima, San Pedro, San Roque. Iglesia de Cariquima, Puna de Iquique, Siglo XX

Durante el Siglo XX las consecuencias de la Guerra del Pacífico y el posterior proceso de chilenización de los territorios incorporados al Estado de Chile influyen notablemente en un cambio del eje de la acción eclesiástica; la acción pastoral católica centra su interés en el mundo urbano y los centros salitreros, quedando la pastoral andina relegada a un segundo plano. Esta situación es notoriamente percibida a través de la «lectura» de las manifestaciones de arte: sólo capillas y pequeños templos fueron construídos en la región, especialmente en el Altiplano.

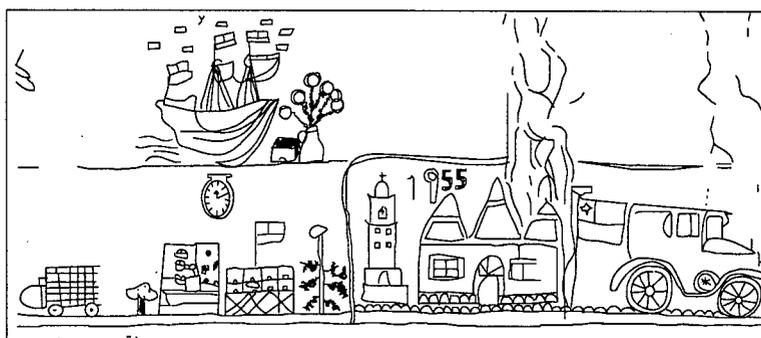


Fig. 3. Imágenes de Modernidad y Nacionalismo. Iglesia de Cotasaya, Puna de Iquique, Siglo XX

Otro aspecto relevante de este proceso y que puede ser percibido a través de manifestaciones artísticas es el reposicionamiento

de lo tradicional compartiendo íntimamente espacios con la religión católica; a lo menos así se ha podido «leer» en el arte mural existente en pequeñas capillas del Altiplano de Iquique, sector Isluga. La ausencia de presencia secular continúa provocó en el área mencionada, la utilización de íconos no cristianos en la exornación de los murales del templo. Según Espinosa y Chacama (MS), tales íconos son el reflejo de un nuevo orden de cosas: la modernidad y los nuevos valores patrios que el Estado chileno comienza a proponer en la región.

En esta apretada síntesis respecto al desarrollo del arte virreinal regional, hemos querido ofrecer más que una visión de desarrollos estilísticos a través del tiempo, una visión del arte como reflejo de la cultura que lo construye y a la vez resaltar su existencia como documento válido para la interpretación de la historia. En este contexto, la visión regional de esta expresión artística resulta necesariamente sesgada puesto que sabemos que los procesos histórico culturales a los cuales hacemos referencia abarcan una región aún mayor, una macro región cultural conocida como Area Centro Sur Andina que integra a los actuales países de Perú (extremo sur), Bolivia (occidente), Argentina (noroeste) y Chile (extremo norte).

UNA INVESTIGACION INTERREGIONAL

Motivados por obtener un conocimiento integral a nivel de área, durante el bienio 86-87, se formó un equipo de investigación interregional, conformado por la Universidad de Tarapacá y el Instituto Boliviano de Cultura, instituciones que a través del patrocinio de la Organización de Estados Americanos empezaron con un estudio binacional de la Pintura Mural. Por su parte el Perú a través del Centro de Estudios Andinos, Cuzco, consigue un financiamiento de la Fundación Ford y pasa a integrar el equipo en formación; así, bajo el proyecto **Catastro Evaluación y Estudio de la Pintura Mural en el Area Centro Sur Andina**, se lleva a efecto un estudio multinacional, enfocado bajo una metodología conjunta y llevado a cabo por tres distintos países a través de respectivas instituciones.

La investigación realizada generó como resultado un completo panorama de la pintura mural en el área en cuestión. Se ha obtenido un catastro, relevamiento y documentación de casi la totalidad de los murales existentes. Hoy como corolario a esta investigación se está editando el libro: *Pintura Mural en los Andes*, que contiene los ejemplos más representativos de cada país, constituyendo un valioso aporte tanto para investigadores como para público general.

A partir de la buena experiencia lograda en el estudio de murales, la Organización de Estados Americanos decide continuar con el patrocinio de este equipo multinacional. Desde inicios de este año Chile, Bolivia y Perú bajo el proyecto Arte y Patrimonio en la Ruta de la Plata, ha proseguido el estudio de las manifestaciones artísticas producidas en el área, esta vez bajo el parámetro de la influencia y dinámica que provocó la industria argentífera de Potosí, visualizada a través de las rutas de embarque y desembarque de bienes desde y hacia el cerro rico.

Paralelamente a los contenidos académicos de esta investigación, el equipo participante ha estado de acuerdo en valorar en su justa medida la conveniencia de abordar determinados temas a través de una óptica multinacional por parte de países que comparten una historia y devenir común.

REFERENCIAS

- Briones, L. y P. Vilaseca. *Pintura religiosa en Tarapacá. Fe y color en el desierto*. Ed. José Ortega, Arica S/A.
- Chacama, J., L. Briones y G. Espinosa, 1989. *El arte mural en las iglesias coloniales de la primera región y la tradición pictórica andina en extremo norte de Chile*. Diálogo Andino N° 7-8, Dpto. Antropología, Geografía e Historia, Fac. Estudios Andinos, Universidad de Tarapacá, Arica.
- Chacama, J. y L. Briones, 1992. *Iglesia española-templo andino*. Revista Campus Iquique, año III, N° 20, Dirección General de Extensión y Comunicaciones, Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Chacama, J. G. Espinosa y P. Arévalo, 1991. *Arquitectura religiosa en la sierra y puna de la primera región Chile*. Documentos de Trabajo, N° 6, Depto. Arqueología y Museología, Facultad de Ciencias Sociales, Administrativas y Económicas, Universidad de Tarapacá, Arica.
- Espinosa, G. y J. Chacama. *Templos religiosos del norte de Chile y la identidad cultural andina. Un estudio iconológico de pintura mural*. (MS).
- Espinosa, G. y J. Chacama. *Pintura mural en el extremo norte de Chile y el proceso de chilenización* (MS).
- Gisbert, T. y J. de Mesa, 1974. *La pintura mural en Sudamérica*. Ed. SYSTEM VERLAG, Vaduz, Liechtenstein.
- Gisbert, T., 1980. *Iconografía y mitos indígenas en el arte*. Gisbert y Cia, Libreros Editores, La Paz.
- Macera, P., 1977. *El arte mural cusqueño. Siglos XVI-XX*. Trabajos de Historia, Cap. 2. Instituto Nacional de Cultura, Lima.
- Mesa, J. y T. Gisbert, 1978. *Monumentos de Bolivia*. Gisbert y Cía, Libreros Editores, La Paz.
- Montandón, R., 1967. *El Barroco en la sierra de Tarapacá*. Anales de la Universidad de Chile, N° 141-144, Santiago.

EL ALTIPLANO ECUATORIAL ANDINO ESTUDIOS SOBRE SU ESPECIFICIDAD CULTURAL

SEGUNDO E. MORENO YAÑEZ

DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGIA - PUCE
CASILLA 17-01-2184 - QUITO - ECUADOR

RESUMEN

A partir de la interrogante de cuáles son los mecanismos de cohesión de los espacios sociales sobre los cuales descansa una construcción territorial que evoluciona a largo plazo hasta constituirse en un espacio nacional, el autor pasa revista a una serie de antecedentes referidos a la ocupación productiva de diversos espacios en los Andes ecuatorianos en la época prehispánica, para concluir que, si bien no es posible hablar de un estado aborigen en los Andes Septentrionales, en el camino de su construcción predominó el control sobre las formas de intercambio que el control sobre los recursos agrícolas. Por otra parte, en el presente el redescubrimiento de la cuestión indígena así como la directa y activa reivindicación de sus derechos, han puesto de manifiesto la persistencia de la adecuación histórica entre ambiente, técnicas, estructura social y visión de mundo de estos pueblos.

ABSTRACT

Starting from the question about the cohesive mechanisms of social spaces where it has built a territory changing long time up to establish a national space, this paper reviews time up to establish a national space, this paper reviews several antecedents related to productive occupation of different spaces of the ecuatorian Andes in prehispanic time to conclude that even though it is not possible to speak of an origin state in the Septentrional Andes in its conformation the control over interchanges prevailed rather than control on agricultural resources. Besides, the rediscovery of indigenous matter, as well as the direct and active demands of historical fitness between environment, social structure and sight of world of this people.

«Algunas de estas montañas están siempre cubiertas de nieve y de hielo soplando además en el verano unos vientos que vienen del Sur y que ocasionan muchas molestias a los habitantes. Cuando yo partí de Guayaquil para ir a Quito, pasé la Montaña de Chimbo, que tiene una altura de más de cuarenta millas y está casi deshabitada.... Pero cuando hube alcanzado la cima me estuve largo rato mirando y remirando esos extraños y maravillosos lugares y me pareció divisar algo así como una visión de ensueño».

Girolamo Benzoni, 1572

ANDINOAMÉRICA SEPTENTRIONAL Y SU ESPECIFICIDAD CULTURAL

Aunque varios autores de la Kulturkreislehre o del Difusionismo fueron los primeros en usar el término «área» o algún otro sinónimo, como un espacio geográfico, es la antropología cultural norteamericana la que establece un conjunto de «áreas» a partir de la dispersión de «rasgos» o «elementos culturales», transformados en una suerte de patrón que permite delimitar empíricamente ámbitos geográficos y, dentro de ellos, estudiar la distribución espacial de los elementos culturales, de modo que se puedan configurar centros o «áreas nucleares», «periferias» y «áreas intermedias». Son conocidas la aplicación de estos conceptos por Kirchhoff (1943), dentro de una teoría culturalista sincrónica, para definir «Mesoamérica» desde el punto de vista de una perspectiva etnológica e incluso etnohistórica como una macro-área de «América nuclear», así como la interpretación diacrónica de Bennet y Bird (1949) de los Andes Centrales bajo el nombre de «área de contradicción» como una forma de configuración, uso y dispersión de indicadores culturales determinados, a su vez, por condiciones medioambientales que corresponden a macro-sistemas definidos.

Es importante señalar, como asevera Lumbreras (1981: 13 y ss.), la necesidad de dar al área cultural una dimensión temporal que implique las condiciones de producción y los recursos del medio ambiente, de los que dependerán, en última instancia, las variaciones culturales. Desde este punto de vista no es importante que un elemento cultural se haya originado local o externamente; lo que se busca es entender cómo un elemento cultural se inserta en un contexto económico-social y cómo funciona en una o varias condiciones ambientales. En este sentido el concepto de «área» se refiere a la solución dialéctica generada entre las colectividades humanas y su medio ambiente, y no se trata de la simple superposición mecánica de una «cultura» sobre un territorio.

Bajo este concepto «Area Andina» o más adecuadamente «Andinoamérica» se entiende, según Lumbreras (1981:16), el «territorio ocupado por los pueblos cuya relación con el medio ambiente se resuelve a través de una constante mar cordillera bosque tropical, que configura una racionalidad económica integracionista de corte transversal al eje geográfico de la Cordillera».

A pesar de que existe una clara identidad andina, la región está determinada por una pluralidad de contrastes ambientales y geo-morfológicos desde los desiertos y estepas hasta los valles tropicales, diferenciación escalonada longitudinalmente, al relacionarse en forma diferenciada el litoral marítimo, la Cordillera de los Andes y sus estribaciones orientales, gracias a las diversas condiciones del medio ambiente y a la intervención humana que desarrollará su capacidad productiva.

Entre las seis áreas de Andinoamérica, la denominada Septentrional Andina comprende el sur de Colombia, todo el Ecuador y el extremo norte del Perú con límite en el desierto de Sechura, la sierras de Ayabaca y Huancabamba en Piura y con probables extensiones tempranas hacia el sur. Por ubicarse en la región equinoccial, es una zona con características ecuatoriales, en donde la altitud de la Cordillera constituye un importante factor climático, combinado con una costa tropical muy definida. Esta situación ofrece a la región profundos contrastes climáticos y una enorme diversidad en los recursos naturales. Gracias a la formación de la Cordillera en dos ramales principales, el territorio de Andinoamérica Septentrional comprende tres regiones perfectamente marcadas: la Costa húmeda y con un régimen agrícola típicamente tropical, la Sierra con valles interandinos y variedad de climas, y el Oriente o «Ceja de Montaña» que ocupa la «Terra Firme» alta de la Amazonía. Es importante señalar que en Andinoamérica Septentrional, donde el Ecuador cruza a los dos ramales de la Cordillera Andina, la Ceja de Montaña ocupa ambas vertientes, por lo que se podría redefinir el concepto de «Antisuyo» no como el levante de los Andes, sino como una doble región húmeda situada en las vertientes orientales y occidentales de la Cordillera (Lumbreras, 1981:55 y ss.; Sauer, 1965:206; Salazar, 1988:80).

El Área Septentrional Andina, desde las épocas formativas tempranas, logró estructurar un esquema de organización avanzado, con la combinación de la pesca, agricultura, cerámica e inicio de un proceso de urbanización (Real Alto, 4.000 a.C.-2.000 a.C.), por lo que es posible afirmar que la geografía transversal de los Andes equinociales ha determinado, desde la más remota antigüedad, formas específicas de adaptación humana al medio ambiente y maneras de utilizarlo dentro de modalidades de complementariedad ecológica, así como un original desarrollo de su economía y de la organización socio-política (cfr. Deler *et al.*, 1983).

DINAMICA ADAPTATIVA E INTEGRACION EN LOS ANDES ECUATORIALES

Dentro de una concepción de «dinámica adaptativa», la adaptatividad es, más que un estado permanente, un evento histórico relacionado con un entorno natural y con los contextos socioeconómicos y demográficos (Knapp, 1988:14-16). Si se seleccionan en los sistemas agrícolas de los Andes tropicales la temperatura y las heladas, como los factores más importantes que afectan la elección de estrategias adaptativas, una clasificación bajo estas categorías podría incluir: elevaciones subalpinas (sobre los 3.600 m), zonas frías (entre 2.000 y 3.600 m) y pisos subtropicales (bajo los 2.000 m). La categoría subalpina corresponde en los Andes ecuatoriales a la región del páramo, con una biotemperatura anual menor de 6 grados, cubierta de pajonales helados y, como la Puna peruano-boliviana, apta para el pastoreo. Bajo las elevaciones subalpinas se hallan las zonas frías donde resulta posible el cultivo de una amplia gama de productos, especialmente las papas, quinua y otros tubérculos y, a menudo, el maíz. Una clasificación más detallada identifica una región fría alta dominada por el cultivo de papas, y una zona fría baja asociada al cultivo del maíz. En este último nivel la temperatura media fría y las posibles heladas impiden, hasta casi los 2.000 m, el cultivo de productos subtropicales. La altitud antes mencionada puede ser considerada como el límite superior de los pisos subtropicales y de la doble cosecha del maíz y donde se encuentran el algodón, la caña de azúcar y, antiguamente, la coca (Knapp, 1988:18-20).

El volcanismo y la Región Andina del Ecuador están íntimamente relacionados, pues el armazón primitivo de las dos cordilleras ha sido recubierto por una densa capa de materiales volcánicos, los que han rellenado los valles interandinos y los han fragmentado transversalmente con pequeñas cordilleras o «nudos». Sobresale entre ellos el nudo del Azuay, no sólo por su altura, sino porque se ha constituido en la línea divisoria entre dos subregiones geomorfológicamente diferenciadas. Según Sauer (1965:279-280), en el norte de la Sierra ecuatoriana dominan los productos del volcanismo cuaternario y de las glaciaciones pleistocénicas y gigantescos nevados con una altura que sobrepasa los 6.000 m coronan, a lo largo de extensas fallas longitudinales, los bordes del Callejón Interandino. En cambio, en el sur, se distinguen estratos sedimentarios del Mioceno, cubiertos parcialmente por mantos lávicos y piroclásticos del volcanismo pliocénico extinguido ya en el Pleistoceno, al contrario del volcanismo septentrional que perdura hasta la actualidad.

Los Andes ecuatorianos han sido objeto de estudio desde la Misión Geodésica del Siglo XVIII (1736-1746) y para su conocimiento, desde entonces, son importantes las contribuciones de naturalistas y geógrafos extranjeros como Jorge Juan y Antonio de Ulloa (1778), Charles Marie de la Condamine (1786), Alexander von Humboldt (1814-1825) y Hans Meyer (1907); particularmente deben ser mencionadas la «Geografía y Geología del Ecuador», 1892, de Wolf (1975) y la «Geología del Ecuador» de Sauer (1965). Entre las obras de ecuatorianos merecen citarse la «Geografía de la República del Ecuador» de Villavicencio (1858), las investigaciones vulcanológicas de Martínez (1929-1933), los trabajos sobre fitogeografía de Acosta Solís (1968) y el varias veces editado manual de «Geografía del Ecuador» de Terán (1979).

Con un claro concepto de ecología cultural presenta Knapp (1988) las características agronómicas de las modalidades de cultivo, en su obra «Ecología cultural prehispánica del Ecuador», con el propósito de reconstruir el uso prehistórico de los recursos y el modo de asentamiento en los Andes ecuatoriales. La zonificación vertical andina propuesta por Murra (1975) y traducida por Oberem al caso ecuatoriano como «microverticalidad» (1978), parece ser un producto social y no sólo el resultado de factores ambientales. La dicotomía entre pendiente y llanura y sus relaciones con la fertilidad del suelo podrían haber jugado un papel más importante en los asentamientos andinos ecuatoriales que la simple zonificación en función de la temperatura y de la altitud sobre el nivel del mar.

A pesar de que el Ecuador pertenece a la primera ola de formación de los Estados nacionales, su afirmación práctica como

nación es un fenómeno más reciente, por lo que es necesario explicar los mecanismos de cohesión de los espacios sociales sobre los cuales descansa una construcción territorial que evoluciona a largo plazo hasta constituirse en un espacio nacional. Deler (1987) intenta responder al cómo y por qué de la individualización nacional ecuatoriana en el espacio andino y subraya la cohesión precoz del núcleo central quiteño. Insiste además el autor en la importancia de la Sierra o Altiplano y del comercio interior en la estructuración del espacio nacional, al contrario de otros estudios que privilegian la economía costeña agroexportadora.

En esta línea de reflexión Deler *et al.*, (1983) en su estudio «El manejo del espacio en el Ecuador. Etapas claves», confirman que el espacio efectivamente controlado por las sociedades que tienen a Quito por su núcleo político no disminuye de siglo en siglo sino que se agranda, al mismo tiempo que gana en cohesión y personalidad nacional. Además de relatar la historia de la organización del espacio ecuatoriano, se trata de establecer los marcos generales de las épocas-clave y demostrar cómo se produjeron estas transformaciones. En la Epoca Colonial, por ejemplo, Quito y la Sierra dominaban el espacio; Guayaquil era la salida portuaria indispensable en el cuadro de las relaciones con la metrópoli. A comienzos del Siglo XX la zona central del espacio nacional asociaba una parte importante de los Andes del norte y del centro con la cuenca del río Guayas, mientras que los Andes australes y la Costa central y norte ocupaban una posición periférica. La Amazonia, al este de los Andes, aunque ha sido objeto de constantes reivindicaciones del Ecuador sobre su soberanía de derecho, estaba debilmente controlada. A lo largo del presente Siglo, junto al reforzamiento de área central articulada por el eje Quito-Guayaquil, se ha dado una integración de los espacios periféricos como soporte a la expansión demográfica de los últimos cuarenta años.

EL ALTIPLANO ANDINO ECUATORIANO: HISTORIA ABORIGEN DE LARGA DURACION

Aunque Lathrap (1970) sugiere que la Amazonía pudo haber desempeñado un papel en el poblamiento inicial de Andinoamérica, los datos arqueológicos permiten suponer que el Altiplano se constituyó, hace unos 13.000 ó 14.000 años, en el más antiguo «habitat» del hombre en los Andes ecuatoriales. De acuerdo con el modelo del complejo adaptativo el hombre parece haber ocupado rápidamente el Callejón Interandino. Los resultados de las investigaciones arqueológicas en El Inga de Salazar (1979, 1980) ponen de relieve la utilización por los cazadores y recolectores del páramo alto como un espacio económico de explotación temporal, lo que supondría el modelo de adquisición de recursos en diferentes pisos ecológicos en épocas muy tempranas. Una tradición tecnológica semejante presentan la cueva de Chobshi y los sitios del páramo de Cubilán, datados hacia el 7.500 a.C.

Como es ampliamente conocido, la cultura Valdivia (4.000-2.000 a.C.), en la Costa ecuatoriana, es la culminación del proceso que relacionó la agricultura con la manufactura cerámica y que produjo las primeras aldeas organizadas (Marcos, 1988). En la Sierra una comunidad aldeana desarrollada es Cotocollao, lugar situado al norte de Quito, cuyo asentamiento se inició hacia el 1.500 a.C. y fue abandonado mil años después ante una inminente erupción volcánica. Según Villalba (1988), Cotocollao se sustentaba de la agricultura, cacería y recursos lacustres y ejercía un amplio intercambio regional particularmente con las zonas tropicales del nor-occidente y con los páramos del Antisana, los que proporcionaban basalto y obsidiana.

También en los Andes ecuatorianos del sur los grupos representativos del Formativo Medio (2.200-1.500 a.C.) y Tardío (1.300-600 a.C.) demuestran una acentuada dependencia de la agricultura, mientras su patrón de asentamiento corresponde a la típica «aldea neolítica» del Nuevo Mundo. Cerro Narrío (2.100-1.800 a.C.) gracias a la investigaciones de Collier y Murra (1982) muestra una gran interacción entre la Sierra meridional y la Costa ecuatoriana, así como hacia la Ceja de Montaña Oriental y aun en dirección a la región norandina del Perú actual.

Además de las relaciones anteriormente mencionadas, esta fase presenta estrecha semejanza con Cotocollao. En el intercambio de bienes exóticos ocupa lugar preferencial la concha *Spondylus*, cuyo circuito ceremonial andino estaba orientado de noroccidente a suroriente, con rutas paralelas al mar y con contactos hacia la Sierra, particularmente con Cerro Narrío, lugar que posiblemente se transformó en centro de su distribución hacia el Altiplano peruano. Este proceso tuvo su contrapartida con la introducción de la obsidiana en el circuito de intercambio entre zonas ecológicas complementarias y con conexiones transversales hacia la Costa a través de los valles interandinos (Marcos, 1986:25-50).

El Desarrollo Regional en la Sierra central y norte del Ecuador es poco conocido por falta de datos provenientes de investigaciones científicas, vacío cronológico entre el 500 a.C. y 950 d.C., que posiblemente se debe también a una intensificación de la actividad volcánica, la que tuvo como consecuencia una fuerte mengua demográfica que duró hasta finales del primer milenio de la era presente, época a la que corresponderían nuevas migraciones procedentes de la región amazónica.

Aunque se han subrayado diversos rasgos de homogeneidad, una nueva Antropología prehispánica del Ecuador (Moreno Yáñez, 1988b, II: 9-134) pone de relieve que la formación de los pueblos aborígenes durante el período de Integración (600 d.C.-1.500 d.C.) en Andinoamérica Septentrional fue desigual, con formas de producción comunales que se encontraban en diferentes grados de transición hacia regímenes sociales con características estatales: proceso autóctono que fue desvirtuado con la invasión incaica y posterior conquista europea.

Entre las sociedades tribales de la Zona Interandina comprendida entre los ríos Patía y Chota, los Pastos y Quillacingas formaban densos poblados con agricultura de excedente y artesanías textiles de algodón que intercambiaban en sus mercados.

El comercio estaba organizado por los «mindalae», negociantes que saldaban sus contratos con mantas y oro. Los complejos cerámicos estudiados por Uribe (1977-78) y denominados Capulí (800-1.500 d.C.), Piartal (750-1.250 d.C.) y Tuza (1.250-1.500 d.C.) demuestran intensas relaciones tempranas con la costa del Pacífico, una pronunciada estratificación social y un marcado énfasis en las manifestaciones rituales. Un modelo análogo se da en el Ecuador meridional donde los Paltas fueron el más importante grupo tribal; su cacique es evocado por los españoles como el «capitán» de una confederación tribal organizada, probablemente, en forma transitoria y con fines defensivos (Caillavet, 1985; Moreno Yáñez, 1988b, II:100-104).

El análisis documental sobre Quito, considerado como un «señorío étnico», demuestra según, Salomon (1980) que su importancia, más que política, fue económica, gracias a su situación privilegiada en el núcleo de un extenso complejo vial, a la existencia de un centro de intercambio económico y a su condición de residencia de una colectividad de «mindalae» o indios mercaderes, circunstancias todas ellas que coincidieron para hacer del Quito aborigen un enclave donde concordaron factores económicos a nivel local e incluso interzonal. Con Quito estaban asociados los cacicazgos de los cercanos valles de los Chilllos y Tumbaco, variables en su tamaño, pero con estructuras sociales uniformes. Casos semejantes fueron los señoríos étnicos de Panzaleo, en la comarca del valle de Machachi; de Sigchos, Angamarca y Pillaro, asociados en un circuito serrano de intercambio que se prolongaba hacia las tierras bajas del occidente y hasta las estribaciones orientales de los Andes. Latacunga fue el centro más importante de la zona, la que anexionada al Tahuantinsuyo se convirtió con Tomebamba y Quito en un centro administrativo incaico (Moreno Yáñez, 1988b, II:64-84).

En la Sierra Central la nación de los Puruhaes desarrolló una agricultura con amplios sistemas de riego y con el acceso, gracias a las colonias de «camayocs», tanto a zonas subtropicales, donde cultivaban coca y explotaban madera, como a los páramos noroccidentales donde explotaban, en forma multiétnica, las salinas de Tomabela. También el intercambio comercial estaba en manos de los «mindalae», cuya principal granjería era la jarca de cabuya, la que se trocaba con sal proveniente del Litoral ecuatoriano (Moreno Yáñez, 1988b, II :84-96).

Los grandes señoríos étnicos de Andinoamérica Septentrional, a finales de la Epoca Aborigen, se integraron en confederaciones por razones de intercambio mercantil o para defenderse de peligros externos, lo que posibilitó la emergencia de una autoridad con poder reconocido sobre la confederación. Es conocida la denominada por Jijón y Caamaño (1952) «Liga de Mercaderes» mantños, con un centro rector en Salanno y con su circuito de intercambio de la concha *Spondylus* y otros bienes que comprendía, no sólo la Costa ecuatoriana sino gran parte del Litoral marítimo peruano y que completaba al antiguo circuito mercantil con la Sierra meridional ecuatoriana. En esta última región el sistema de alianzas de los Cañaris alcanzó su culmen ante la invasión incaica, pero su sometimiento al Tahuantinsuyo no fue quizás el resultado de victorias militares, sino un convenio con quienes habían controlado desde hacia más de un milenio la distribución del «mullo» la *Spondylus princeps*, insignia panandina del culto a la lluvia, al agua y a la fertilidad. (Marcos, 1986:25-50).

Más estable fue la confederación de los pueblos Caranquis, Otavalos, Cochisquies y Cayambis, probablemente pertenecientes a una sola nación, pero divididos en cuatro señoríos étnicos regionales, ubicados al norte de Quito. Además de un idioma común, presentan, entre otros, dos aspectos de un legado cultural: las pirámides o «tolas», algunas de ellas con rampas de acceso, y los montículos funerarios con pozo. Varias son las investigaciones arqueológicas que se han llevado a cabo sobre esta región y entre las publicaciones merecen especial mención: «Cochasqui: estudios arqueológicos» (3 vols.) compilados y dirigidos por Oberem (1981); y el informe definitivo «Excavaciones en Cochasquí, Ecuador, 1964-1965» editado por Oberem y Wurster (1989); «El proceso evolutivo en las sociedades complejas y la ocupación del período tardío Cara en los Andes Septentrionales del Ecuador» de Athens (1980); y el útil «Inventario arqueológico preliminar de los Andes Septentrionales del Ecuador» elaborado por Gondard y López (1983).

Aunque gracias a los estudios arqueológicos y etnohistóricos de Plaza (1976; 1977) y Larrain (1980) y a los aportes de Espinosa Soriano (1983), es evidente el papel de los curacas de Cayambe como jefes militares de la confederación durante los quince o más años que duró la alianza contra la invasión incaica, es todavía difícil clarificar si algún señorío étnico particular detentó alguna preeminencia sociopolítica. Estas conclusiones no ofrecen fundamentación empírica para reconocer en Andinoamérica Septentrional la existencia de un estado aborigen preincaico. Hoy es posible aseverar que, aunque no existió un estado aborigen en los Andes Septentrionales, el desarrollo de la sociedad hacia la constitución del mismo estuvo predeterminado por la mayor importancia dada al control sobre las formas de intercambio que al dominio sobre los recursos agrícolas. Una nueva forma de organización política sólo se hizo presente con Atahualpa, último Inca del Tahuantinsuyo y verdadero fundador del Estado quiteño (Moreno Yáñez, 1981:156-162; 1988a I:23-31).

Varias consideraciones arqueológicas permiten a Meyers (1976) deducir que el proceso de la conquista incaica de la Sierra ecuatoriana se realizó en tres fases: la primera incluyó el territorio al sur del nudo del Azuay, la segunda llegó hasta la zona próxima a Quito y la tercera abarcó el área más boreal del Altiplano ecuatoriano. La larga permanencia en el sur puede ser confirmada con la intensidad de la influencia incaica en la cerámica y con la existencia de monumentos incaicos sin carácter militar (Fresco, 1984). La concentración de fortificaciones en el área norte de Quito permite conjeturar una agitada época de conquistas y una breve consolidación de la cultura incaica en las regiones septentrionales del Callejón Interandino (Plaza, 1977; Moreno Yáñez, 1981:133 y ss.).

URBANISMO Y CAMPESINADO EN LOS ANDES DEL ECUADOR

No se puede entender la consolidación del dominio colonial español si se prescinde del desarrollo del sistema urbano, el que casi en su totalidad fue establecido en la Sierra sobre antiguos asentamientos incaicos. Desde el Siglo XVI a su cabeza está la ciudad de Quito, sede de una gobernación y más tarde capital de la Audiencia. A partir de Quito se organizó el dominio de un espacio que prácticamente abarcó la totalidad de Andinoamérica Septentrional. Pronto se sucedieron otras creaciones urbanas, de modo que a cada una de las hoyas interandinas correspondía un centro español con funciones administrativas, religiosas y económicas, ya que a partir de los asentamientos urbanos se organizaron la producción de las tierras y el intercambio orientado al beneficio de los centros españoles. El campo dominado por los centros urbanos se transformó en la principal fuente de ingresos para los habitantes de la ciudad hacia la cual convergen, desde entonces, todos los canales de acumulación de capital. (Deler *et al.*, 1983:79-83; Borchart de Moreno, 1981:193-274).

La mayoritaria población indígena de la Sierra tuvo que readecuarse a las nuevas formas de dominio exógeno. Su producción agrícola, pastoril y artesanal dependía, desde entonces, del colonizador, pues por la encomienda y el tributo se alienaron sus excedentes de producción y trabajo a favor de los españoles. Diversos fueron los mecanismos de enajenación de las tierras indígenas y de formación de latifundios: base territorial para la constitución de la hacienda como sistema económico autónomo, a la que pronto se asociaron las manufacturas textiles u obrajes (Borchart de Moreno, 1989:139-166; Moreno Yáñez, 1989:93-136). La sociedad indígena expresó su rechazo a la dominación mediante la huida a regiones inhóspitas, la migración a centros poblados y haciendas y aun la subversión armada que tuvo sus manifestaciones más numerosas en el Siglo XVIII, las que iniciaron una tradición de lucha que alcanzará hasta el Siglo XX (Moreno Yáñez, 1985).

La historia oficial privilegiará a la sociedad como la metrópoli que domina sobre la periferia rural. Una visión de la «Historia del Reyno de Quito en la América Meridional» escrita a finales del Siglo XVIII por Juan de Velasco (1960), o de la «Historia General de la República del Ecuador» redactada un siglo después por González Suárez (1969-1970) son ejemplos de que la historia se ha hecho casi exclusivamente en los centros dominicales del colonialismo interno. En los últimos años, sin embargo, son numerosos los estudios que analizan la ciudad desde otros puntos de vista. Un ejemplo de interés es «El espacio urbano en el Ecuador. Red urbana, región y crecimiento» publicado por el CEDIG (1987) y que rescata especialmente a los actores de la vida urbana. Parecida aseveración se puede hacer sobre varias publicaciones del Municipio de Quito.

Como se pone de relieve en «Antropología Ecuatoriana. Pasado y Presente» (Moreno Yáñez, 1992), solamente en el Siglo XX la Sociología y posteriormente la Antropología transformarán a la sociedad rural en protagonista de su propia historia. Con un afán de denuncia el movimiento indigenista es el primero que defiende los derechos conculcados por la explotación del trabajador agrícola especialmente en los latifundios y haciendas. Jaramillo Alvarado en su obra «El indio ecuatoriano» (1983), publicada en 1922, exalta el pasado histórico de la raza indígena y condena los resultados negativos de la explotación, como fruto de una defectuosa estructura económica y social. El influjo de este autor persistió en los estudios sociales, en la literatura y en el arte. Su más importante discípulo, Rubio Orbe (1956) introdujo en las Ciencias Sociales un modelo de estudio antropológico que respondía al desarrollo de políticas indigenistas. Esta línea ha perdurado y está representada por la mayoría de trabajos de los esposos Costales y Peñaherrera (1957, 1967-1971), quienes consideran la cuestión indígena como un conflicto intercultural impuesto foráneamente.

También las obras del Buitrón demuestran una clara tendencia indigenista, dirigida a la búsqueda de pautas de desarrollo y de integración a la sociedad nacional. Entre sus obras es la más importante «Cómo llegó el progreso a Huagrampamba?» (1966): guía práctica para los trabajadores del desarrollo de la comunidad, con especial referencia a las actividades artesanales y al funcionamiento del mercado.

Bajo el influjo de las categorías de «regiones de refugio», «proceso dominical» y «colonialismo interno» de Aguirre Beltrán se desarrollaron varios estudios sobre comunidades tradicionales. Son representativos: «Relaciones interétnicas en Riobamba. Dominio y dependencia en una región indígena ecuatoriana» de Burgos (1970) y «Relaciones interétnicas en Otavalo, Ecuador. Una nacionalidad india en formación?», de Villavicencio (1973).

Las reflexiones sobre el colonialismo interno, la teoría de la dependencia y el influjo del materialismo histórico fueron, en 1970, el sustrato de una amplia discusión sobre la inserción del campesinado dentro del capitalismo. Son una muestra representativa: «Ecuador. Cambios en el agro serrano» (FLACSO-CEPLAES, 1980), «Campesinos y haciendas de la Sierra norte» (Farga y Almeida, 1981), «Guamote: campesinos y comunas» (Iturralde, 1980), y el ensayo teórico y orientador de Guerrero (1975) sobre la hacienda precapitalista. Dentro de estas perspectivas el volumen «Ecuador agrario» (Chiriboga *et al.*, 1984a) agota un período de investigación científica sobre el agro serrano y señala otras realidades por investigar: la lucha campesina, la politización de las nacionalidades indígenas, los problemas inherentes a la migración y otros.

Los movimientos sociales y aun políticos a nivel andino obligan también en el Ecuador a un retorno de las Ciencias Sociales hacia Andinoamérica, en la que se descubre la persistencia de una adecuación histórica entre el medio ecológico, las técnicas productivas, las estructuras sociales y la visión del mundo de las comunidades campesinas e indígenas. Abre el debate el trabajo interdisciplinario «Comunidad andina: alternativas políticas de desarrollo» (Rohn *et al.*, 1981), cuyos planteamientos serán posteriormente ampliados en «Estrategias de supervivencia en la comunidad andina» (Chiriboga *et al.*, 1984) y en las

aplicaciones a estudios de caso sobre la Sierra central ecuatoriana en «La trama del poder en la comunidad andina» (Sánchez Parga, 1986). Completan esta tendencia los estudios de Ramón «La resistencia andina: Cayambe 1.500-1.800» (1987) y «El poder y los norandinos» (1990), que explican las estrategias sociales a largo plazo en la adaptación de los proyectos andinos.

Los hechos últimos, sin embargo, han rebasado las expectativas de los estudios académicos. El levantamiento indígena de junio de 1990 demostró la capacidad de convocatoria y el alto grado de organización del movimiento indígena ecuatoriano (Almeida *et al.*, 1991; Moreno Yáñez y Figueroa, 1992). De allí la necesidad de ofrecer respuestas válidas a las justas aspiraciones de desarrollo digno y autogestionario no sólo de los campesinos e indígenas, sino de todos quienes buscan las raíces milenarias del pueblo andino, no para revivir el mito del eterno retorno, sino para evolucionar con el aporte de otros pueblos y culturas que, a lo largo de los siglos, han intentado vivir el concepto de que la cultura no es otra cosa que la respuesta original de un pueblo a su ecología y a su historia.

REFERENCIAS

- Acosta Solís, M., 1968. Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador. Quito; Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Almeida, I. y otros., 1991. Indios. Una reflexión sobre el levantamiento indígena de 1990. Quito: ILDIS-El Duende- Abya-Yala.
- Athens J. S., 1980. El proceso evolutivo en las sociedades y la ocupación del período tardío Cara en los Andes septentrionales del Ecuador. Otavalo; Instituto Otavaleño de Antropología.
- Bennet, W. y Bird, J., 1949. Andean Culture History, New York, American Museum of Natural History.
- Borchart de Moreno, C., 1981. El Período Colonial. In: S. Moreno (comp.), Pichincha. Monografía histórica de la región nuclear ecuatoriana. Quito, Consejo Provincial de Pichincha: pp.193-274
- Buitron, A., 1966. Cómo llegó el progreso a Huagrapamba? México, D.F.: Instituto Indigenista Interamericano.
- Burgos, H., 1970. Relaciones interétnicas en Riobamba. Dominio y dependencia en una región indígena ecuatoriana. México, D.F.: Instituto Indigenista Interamericano.
- Caillavet, Ch., 1985. Los grupos étnicos prehispánicos del sur del Ecuador según las fuentes etnohistóricas. In: S. Moreno Yáñez (comp.), Memorias del Primer Simposio Europeo sobre Antropología del Ecuador. Quito: Instituto de Antropología Cultural de Bonn-Abya Yala: pp. 127-159
- Cedig (ed), 1987. El espacio urbano en el Ecuador. Red urbana, región y crecimiento. Quito: IPGH - ORSTOM - IGM.
- Collier, D. y Murra, J., 1982. Reconocimiento y excavaciones en el sur andino del Ecuador. Cuenca: Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Cuenca
- Condamine, Ch. M. de la, 1986. Diario del viaje al Ecuador. Quito: Editorial Publitécnica.
- Costales, A. y Peñaherrera de Costales, P., 1957. Katekil o historia cultural del campesinado del Chimborazo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Antropología y Geografía.
- Costales, A. y Peñaherrera de Costales, P., 1964, 1971. Historia social del Ecuador. 4 tomos. Quito: Talleres Gráficos Nacionales - Instituto Ecuatoriano de Antropología y Geografía - Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Chiriboga, M. y otros, 1984a. Ecuador agrario. Ensayos de interpretación. Quito, Editorial El Conejo.
- Chiriboga, M. y otros, 1984b. Estrategias de supervivencia en la comunidad andina. Quito: Centro Andino de Acción Popular (CAAP).
- Deler, J. P., 1987. Ecuador. Del espacio al estado nacional. Quito, Banco Central del Ecuador.
- Deler, J. P. y Gómez, N. & Portais, M., 1983. El manejo del espacio en el Ecuador. Quito, Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica.
- Espinoza Soriano, W., 1983. Los Cayambes y Carangues: siglos XV-XVI. El testimonio de la etnohistoria. 2 vols. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Farga, C. y Almeida, J., 1981. Campesinos y haciendas de la Sierra Norte: la transformación del campesinado y la comunidad en la Sierra Norte. Otavalo: In Otavaleño de Antropología.

- Flasco y Ceplaes (eds), 1980. Ecuador: cambios en el agro serrano. Quito, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales - Centro de Planificación y Estudios Sociales.
- Fresco, A., 1984. La arqueología de Ingapirca (Ecuador). Costumbres funerarias, cerámica y otros materiales. Cuenca, Comisión del Castillo de Ingapirca.
- Gondard, P. y López, F., 1983. Inventario arqueológico preliminar de los Andes septentrionales del Ecuador. Quito, MAG - Pronareg - ORSTOM.
- González Suárez, F., 1969-1970. Historia General de la República del Ecuador. 3 vols. Quito, Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Guerrero, A., 1975. La hacienda precapitalista y la clase terrateniente en América Latina y su inserción en el modo de producción capitalista: el caso ecuatoriano. Quito, Universidad Central del Ecuador.
- Humboldt, A. Von, 1814-1825. Relation historique du voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent, fait en 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804. Partie 1, Vol. 1-3, París.
- Iturralde G., D., 1980. Guamote: campesinos y comunas. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Jaramillo Alvarado, P., 4/1983. El indio ecuatoriano. Contribución al estudio de la sociología indoamericana. 2 vols., Quito, Corporación Editora Nacional.
- Jijón y Caamano, J., 1952. Antropología prehispánica del Ecuador. Quito: La Prensa Católica.
- Juán, J. y Ulloa, A. de, 1978. Relaciones históricas del viaje a la América Meridional. 2 tomos. Madrid, Fundación Universitaria Española.
- Kirchhoff, P., 1943. Mesoamérica. Sus Límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales. México, D.F., Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Knapp, G., 1988. Ecología cultural prehispánica del Ecuador. Quito, Banco Central del Ecuador.
- Larraín, H., 1980. Demografía y asentamientos indígenas en la Sierra norte del Ecuador, en el siglo XVI. 2 vols. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Lathrap, D.W., 1970. The Upper Amazon. London, Thames and Hudson.
- Lumbreras, L. G., 1981. Arqueología de la América Andina. Lima, Editorial Milla Batres.
- Marcos, J., 1986. Breve prehistoria del Ecuador In: J. Marcos (ed.), Arqueología de la Costa ecuatoriana. Nuevos enfoques. Quito, ESPOL - Corporación Editora Nacional, pp. 25-50.
- Marcos, J. G., 1988 Real Alto. La historia de un centro ceremonial Valdivia. 2 vols. Quito: ESPOL-Corporación Editora Nacional.
- Martínez, A. N., 1929-1933. Contribuciones para el conocimiento geológico de la región volcánica del Ecuador. Anales de la Universidad Central, nums. 269-270, 271, 273-275, 277-278, 281-284.
- Meyer, H., 1907. In den Hoch-Anden von Ecuador. Berlín, Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).
- Meyers, A., 1976. Die Inka in Ekuador. Untersuchungen anhand ihrer materiellen Hinterlassenschaft. Bonn, Bonner Amerikanistische Studien.
- Moreno Yañez, S., 1981. Comp. Pichincha. Monografía histórica de la Región Nuclear Ecuatoriana. Quito, Consejo Provincial de Pichincha.
- Moreno Yañez, S.E., 1985b. Sublevaciones indígenas en la Audiencia de Quito, desde comienzos del Siglo XVIII hasta finales de la Colonia. Quito, EDIPUCE.
- Moreno Yañez, S.E., 1988a. El proceso histórico en la Epoca Aborigen: Notas introductorias. In: E. Ayala (ed.), Nueva Historia del Ecuador, Vol.1. Quito, Corporación Editora Nacional - Editorial Grijalbo, pp. 23-31
- Moreno Yañez, S.E., 1988b. Formaciones políticas tribales y señoríos étnicos. In: E. Ayala (ed.), Nueva Historia del Ecuador. Vol.2. Quito, Corporación Editora Nacional - Editorial Grijalbo, pp. 9-134

- Moreno Yañez, S.E., 1989. La sociedad indígena y su articulación a la formación socioeconómica colonial en la Audiencia de Quito. In: E. Ayala (ed.), *Nueve Historia del Ecuador*. Vol.5. Quito, Corporación Editora Nacional - Editorial Grijalbo, pp. 93-136
- Moreno Yañez, S.E., 1992. *Antropología ecuatoriana. Pasado y presente*. Quito, CIESA - Ediguías.
- Moreno Yañez, S.E. y Figueroa, J., 1992. *El levantamiento indígena del Inti Raymi de 1990*. Quito, FESO - Abya-Yala.
- Murra, J.V., 1975. El control vertical de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas. In: J.V. Murra, *Formaciones económicas y políticas del mundo andino*. Lima: IEP: pp. 59-115.
- Oberem, U., 1981. *Cochasquí: estudios arqueológicos*. 3 vols. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Oberem, U. y Wurster, W., 1989. *Excavaciones en Cochasquí, Ecuador. 1964-1965*. Mainz am Rhein, Verlag Philipp von Zabern.
- Plaza Schuller, F., 1976. La incursión inca en el Septentrión andino ecuatoriano. Antecedentes arqueológicos de la convulsiva situación de contacto cultural. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Plaza Schuller, F., 1977. El complejo de fortalezas de Pambamarca. Contribución al estudio de la arquitectura militar prehispánica en la Sierra norte del Ecuador. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Ramón Valarezo, G., 1987. *La resistencia andina. Cayambe 1.500-1.800*. Quito, Centro Andino de Acción Popular (CAAP).
- Ramón Valarezo, G., 1990. *El poder y los Norandinos*. Quito: Centro Andino de Acción Popular (CAAP).
- Rohn, F. *et al.*, 1981. *Comunidad andina: alternativas políticas del desarrollo*. Quito, Centro de Arte y Acción Popular (CAAP).
- Rubio Orbe, G., 1956. *Punyaro. Estudio de Antropología Social y Cultural de una comunidad indígena y mestiza del Ecuador*. Quito, Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Salazar, E., 1979. *El hombre temprano en la región del Ilaló. Sierra del Ecuador*. Cuenca, Universidad de Cuenca.
- Salazar, E., 1980. *Talleres prehistóricos en los Altos Andes del Ecuador*. Cuenca, Universidad de Cuenca.
- Salazar, E., 1988. El hombre temprano en el Ecuador. In: E. Ayala (ed.), *Nueva Historia del Ecuador*, Vol. I. Quito, Corporación Editora Nacional - Editorial Grijalbo, pp. 73-128.
- Salomón, F., 1980. Los señores étnicos de Quito, en la época de los Incas. Otavalo, Instituto Otavaleño de Antropología.
- Sánchez-Parga, J., 1986. *La trama del poder en la comunidad andina*. Quito, Centro Andino de Acción Popular (CAAP).
- Sauer, W., 1965. *Geología del Ecuador*. Quito, Editorial del Ministerio de Educación.
- Teran, F., 1979. *Geografía del Ecuador*. Quito, Ediciones Librería Cima.
- Uribe M.V., 1977-1978. Asentamientos prehispánicos en el altiplano de Ipiales, Colombia. *Revista Colombiana de Antropología*, vol. XXI, pp. 57-195.
- Velasco, J. de, 1960. *Historia del Reyno de Quito en la América Meridional*. 2 vols. Quito, Biblioteca Ecuatoriana Mínima.
- Villalba, M., 1988. *Cotocollao: una aldea formativa del valle de Quito*. Quito, Museos del Banco Central del Ecuador.
- Villavicencio, M., 1858. *Geografía de la República del Ecuador*. New York, Imprenta de Robert Graighead.
- Villavicencio Rivadeneira, G., 1973. *Relaciones interétnicas en Otavalo-Ecuador. Una nacionalidad india en formación?* México, D.F., Instituto Indigenista Interamericano.
- Wolf, T., 1975. *Geografía y geología del Ecuador*. Quito, Casa de la Cultura Ecuatoriana.

AREA
BIOMEDICINA Y FISILOGIA DE ALTURA

BASES BIOLÓGICAS DEL MAL DE MONTAÑA CRÓNICO

CARLOS MONGE
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE ALTURA Y DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FISIOLÓGICAS.

MARIA DEL PILAR FORTUNIC.
INSTITUTO ANDINO DE ESTUDIOS DE POBLACION EN DESARROLLO.

RESUMEN

Se presenta una interpretación del Mal de Montaña Crónico basada en conceptos de Biología Evolutiva analizando el desarrollo de la vida animal en función de la evolución del oxígeno atmosférico. Esta interpretación se presenta haciendo una breve mención de las velocidades evolutivas desde la aparición de la vida hasta nuestros días. A través del tiempo, la concentración de oxígeno ambiental ha aumentado en forma progresiva a nivel del mar. Habiendo sido ocupado el hábitat de altura en época muy reciente de la escala evolutiva, la baja concentración de oxígeno de este hábitat representa un gran reto a nivel biológico que afecta la vida de animales y humanos. La capacidad adaptativa a la altura resulta así limitada y la pérdida de esta capacidad es lo que se conoce como el Mal de Montaña Crónico.

Palabras claves: Evolución, Mal de Montaña Crónico, Biología Evolutiva, Adaptación a la Altura.

El mal de montaña crónico fué considerado por Carlos Monge Medrano, quien lo describió en 1925, como una pérdida de la aclimatación a la altura (Monge Medrano *et. al.*, 1928). Esta afirmación no ha perdido vigencia a través del tiempo mas plantea la necesidad de dar una explicación de carácter biológico que de una mayor perspectiva a las interpretaciones clínicas en particular y a los problemas de salud en general. Presentamos una concepción de la Enfermedad de Monge basada en los antecedentes de biología evolutiva de la adaptación a la altura de animales y humanos que creemos explica la limitada capacidad de ciertos mamíferos y aves de adaptarse a un ambiente hipóxico (Monge C. y León-Velarde, 1991).

Desde el punto de vista evolutivo, la antigüedad de la Tierra se calcula en cuatro mil ochocientos millones de años (4800'000,000 años). Hasta aproximadamente 3 mil millones, había muy poco oxígeno en la superficie de la tierra. Alrededor de los 2.8 mil millones, la aparición de las algas azulverdes permitió que ellas utilizaran la luz solar (fotosíntesis) y formaran oxígeno el cual era utilizado en la oxidación de los constituyentes de los mares, de modo que la concentración efectiva permanecía muy baja. A partir de los 2 mil millones de años, la producción de oxígeno supera su utilización y la concentración en la atmósfera terrestre aumenta lentamente hasta los mil millones de años, para luego ascender en forma rapidísima hasta llegar a los niveles actuales (Ver figura 1.)

Los primeros seres vivos se originaron en el mar hace unos 4 mil millones de años y vivieron casi en ausencia de oxígeno. Son unicelulares y carecen de núcleo Reciben el nombre de procariotes. A. partir de los 900 millones, se forman los organismos también unicelulares pero llamados eucariotes por tener núcleo. Estos organismos utilizan el oxígeno para su respiración (aerobios) en contraste con los que no lo utilizan (anaerobios). La gran ventaja del oxígeno como combustible biológico es debida a que su utilización produce mucho más energía que cuando la respiración se hace en un medio sin oxígeno. En este caso, el proceso recibe el nombre de fermentación. Hace unos 700 millones de años hacen su aparición los organismos multicelulares. Hace 600 millones, hay gran reproducción de animales marinos primitivos. Alrededor de 400 millones de años atrás, se inicia la invasión de la tierra por artrópodos (escorpiones) y aparecen peces, anfibios e insectos. Hacia los 280 millones de años, los continentes están unidos en lo que se llama Pangea y hacia los 230 millones se inicia su separación (deriva continental). Es en esta época que aparecen los dinosaurios y hace 181 millones hacen su aparición las aves y mamíferos. Para los 135 millones se extinguen los dinosaurios y muchos animales marinos. Ahora los continentes están bien separados. A partir de los 63 millones de años hay gran radiación de mamíferos y aves y ya los continentes están ocupando aproximadamente su posición actual. Hace 2 millones aparecen los primeros humanos primitivos (Homo) y se extinguen los grandes mamíferos. Hace 10 mil años aparecen las primeras culturas humanas y es alrededor de esa época o antes que el humano penetra en Norteamérica desde Asia.

Para tener una idea más cercana a nuestra vida en la tierra y de como evolucionó nuestro planeta desde que se formó hasta nuestros días, podemos imaginarnos que ocurriría en el tiempo si todo la historia de nuestro planeta ocurriese en un día (24 horas). Asumamos que la Tierra comienza inmediatamente después de las 12 de la noche de ayer. A las 8 de la mañana aparecen los primeros seres vivos llamados procariotes. A las 8 de la noche se forman los eucariotes que ya necesitan oxígeno. A las 9 de la noche ya hay animales multicelulares. A las 10 PM la vida fuera del agua se inicia y muchos animales viven en tierra. Faltando 35 minutos para media noche (24 horas) aparecen los mamíferos terrestres. Podemos ver así que después de una lenta evolución de vida primitiva y acuática, rápidamente se invade la tierra y más rápido aún se multiplican y mueren enormes animales como los dinosaurios y nos sorprende ver como los mamíferos y otros animales que ahora nos acompañan se han reproducido cuando casi se nos terminaba el día. Más dramática aún resulta calcular que los Andes se formaron faltando solo 10 minutos para el final del día y que el hombre ingresó al continente americano faltando 3 segundos para llegar

Fig. 1. CONCENTRACION DE OXIGENO

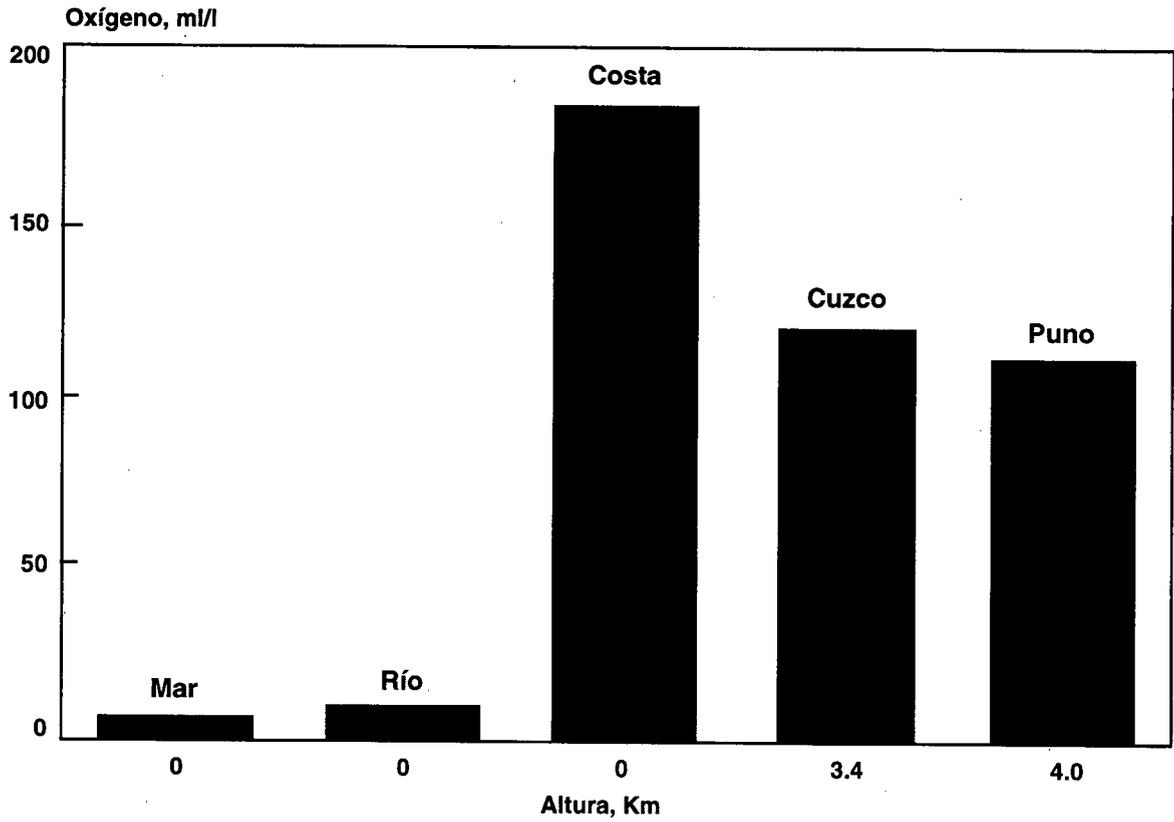
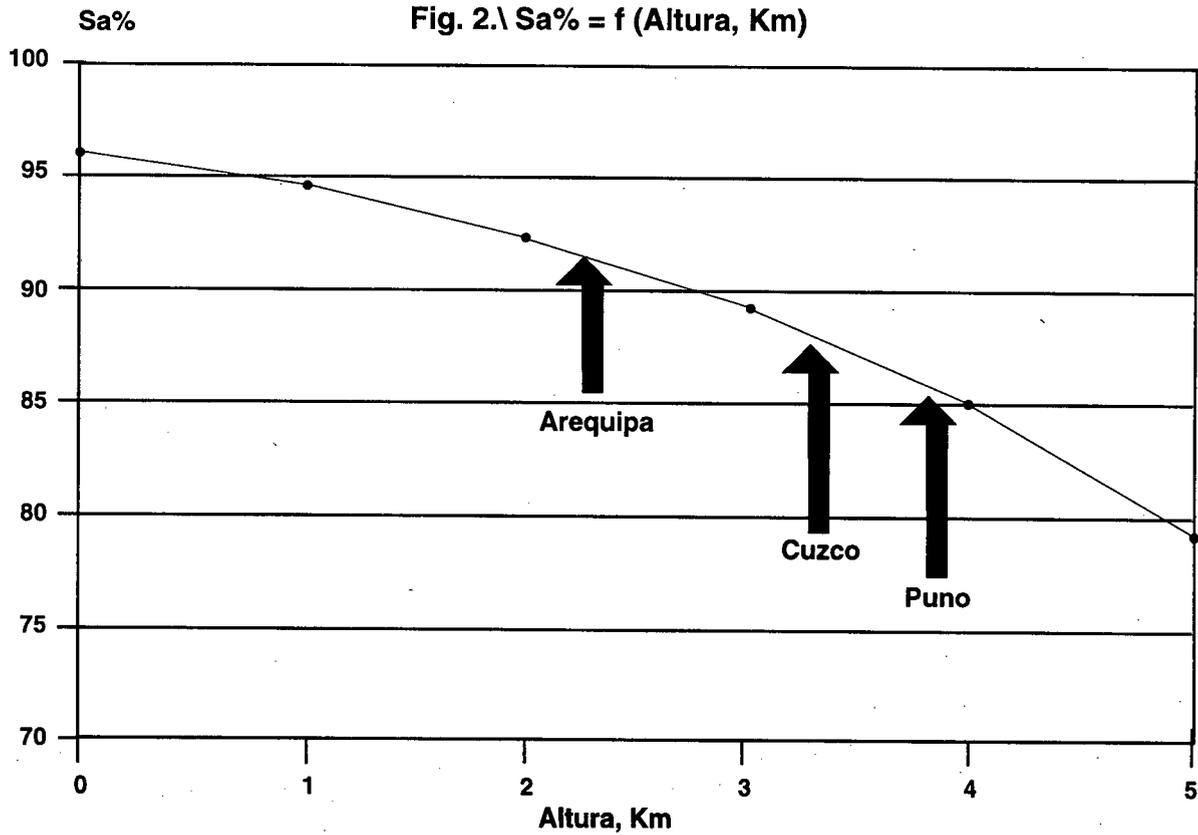


Fig. 2. Sa% = f (Altura, Km)



a nuestro día evolutivo (Tomado y modificado de Whitfield, 1976).

Si recordamos que la concentración de oxígeno en la atmósfera se acumuló lentamente durante largos períodos y que sólo en épocas recientes de la vida evolutiva la concentración aumentó grandemente, veremos que existe un paralelismo entre la evolución del oxígeno ambiental y la evolución biológica en nuestro planeta. Este paralelismo no es accidental y se explica porque el oxígeno es el elemento de la naturaleza que rinde más energía vital desde el punto de vista bioquímico.

Es interesante también observar que la concentración de oxígeno en el mar es baja porque este gas se disuelve poco en agua y además porque la gran cantidad de sal del agua marina hace que el oxígeno se disuelva menos. El agua de río tiene mayor concentración de oxígeno y la máxima concentración se encuentra en tierra junto al mar. Durante la evolución, los animales se formaron en agua de mar primero, luego invadieron los ríos y de allí salieron a tierra cerca del mar. Las montañas de nuestro planeta son de formación reciente, los Andes se levantaron hace aproximadamente 18 millones de años atrás. Cuando subimos a la altura, baja la concentración de oxígeno en la atmósfera que respiramos y podemos ver entonces que después de millones de años de evolución animal con oxígeno creciente en agua y tierra, los animales y los humanos que ascienden a las montañas y se establecen en ellas, tienen que respirar un aire empobrecido en oxígeno, lo cual significa un gran desafío (Monge y Whitttembury, 1976)

La respiración pulmonar se inicia hace aproximadamente 400 millones de años atrás (Hicks y Wood, 1989) en vertebrados terrestres y esta compleja función evoluciona a nivel del mar. La concentración de oxígeno que existe en el aire que respiramos a nivel del mar está muy por encima de la necesaria para saturar de oxígeno la sangre de vertebrados terrestres. Esto significa, que a nivel del mar, disponemos de un exceso de oxígeno que lo utilizamos en el ejercicio, durante el sueño, en emergencias y en otras condiciones. En la gran altura esto no ocurre porque la concentración de oxígeno en el aire es insuficiente para saturar la sangre con este gas y no contamos con el reservorio adicional que existe a nivel del mar. Desde el momento que ascendemos por encima del nivel del mar, la saturación de oxígeno en la sangre desciende por debajo del nivel cercano a 100%, propio de la atmósfera normóxica (Figura 2.)

Esta situación existe aún en animales que consideramos nativos de la altura y también en la gente que nace y vive en la altura. Los animales, como los camélidos, que presentan capacidades ancestrales para habitar las grandes alturas, tienen mecanismos llamados adaptativos que les permiten una vida normal a pesar de tener su sangre poco saturada con oxígeno. El humano y aquellos animales, como perros, gatos, caballos y otros que llegaron a los Andes durante la Conquista Española, no tienen los recursos naturales de las llamas y de otros animales que han adquirido las capacidades especiales para la altura. A estos últimos, se les llama animales adaptados genotípicamente porque transmiten a sus descendientes sus capacidades genéticas especiales que mantienen aún a nivel del mar. El humano y los animales con adaptación fenotípica no transmiten sus capacidades para vivir en la altura a sus descendientes. El fenotipo es una capacidad temporal y reversible pues es cierto que al nacer en la altura los humanos adquieren capacidades que los ayudan a vivir en ella (Frisancho, 1993), pero estos, no las transmiten a sus descendientes. Estas capacidades se desarrollan en el transcurso de la vida individual y pueden contribuir a la selección natural pero no se transmiten directamente a la descendencia.

Un error frecuente es creer que existen animales solo de altura y otros solo de nivel del mar. En realidad la mayor parte de animales y también los humanos pueden vivir en ambos medios geográficos, pero hay unos con mayores capacidades que otros y también aquellos que presentan capacidades genéticas que los consideramos los mejor capacitados.

Siendo la presión de oxígeno atmosférico a nivel del mar de aproximadamente 150 mmHg y la presión necesaria para saturar la sangre de 100 mmHg, podemos preguntarnos la razón por la cual, durante la evolución, se ha sacrificado un tercio de la presión de oxígeno a nivel pulmonar. Debemos recordar que el vacío dejado por el oxígeno es llenado por el equivalente en presión de anhídrido carbónico que permite a los vertebrados terrestres una alta concentración del ión bicarbonato en los líquidos extracelulares. El bicarbonato es el gran defensor del pH sanguíneo. Vemos así como el diseño de los vertebrados terrestres está hecho para la vida a nivel del mar donde se economiza al máximo la presión de oxígeno para dar cabida a la necesaria alta presión de anhídrido carbónico.

Si consideramos que la vida humana en la altura ha permitido una alta reproducción y el desarrollo de grandes culturas parecería contradictorio este desarrollo en presencia de un desafío ambiental tan grande como el descrito arriba.

Nuestros estudios (Winslow y Monge C., 1987) han mostrado que el hombre joven puede hacer una vida satisfactoria en la altura, probablemente utilizando sus recursos de adaptación por nacimiento o por migración pre-puberal a la altura (Frisancho, 1993). Como la vida media humana ha ido aumentando progresivamente en el curso de la historia, al aumentar la esperanza de vida por encima de los 40 años, el reto no sólo estriba en vivir en la altura sino también en la edad.

Conforme aumenta la edad se da un progresivo aumento del hematocrito que establece el cuadro de policitemia excesiva, acompañante fisiopatológico de la Enfermedad de Monge que conduce a la pérdida de la adaptación a la altura como la describiera este autor (Whitttembury y Monge, 1972; Sime *et al.*, 1972; Arregui *et al.*, 1990; Monge C. *et al.*, 1992). Hemos demostrado en forma secuencial, que la causa de este incremento del hematocrito se debe a que el poblador de altura no tolera la disminución de la función ventilatoria pulmonar que ocurre normalmente con la edad. El diseño de nivel del mar impide este

fenómeno en el habitat normóxico y muestra la limitación adaptativa pulmonar en la altura. El cuadro revierte a nivel del mar mostrando así como el diseño biológico, al cual nos hemos referido, es comprobado a nivel clínico completando así las observaciones originales de Monge Medrano. Nuestros recientes estudios epidemiológicos muestran que la Enfermedad de Monge constituye un serio problema de salud en los países Andinos con habitantes que trabajan a gran altura. (Arregui *et al.*, 1990a, Arregui *et al.*, 1990b, Arregui *et al.*, 1991; Monge C. *et al.*, 1992; Leon-Velarde *et al.*, 1990; León-Velarde *et al.*, 1990, León-Velarde, 1993; León-velarde *et al.*, 1993; León-Velarde, en prensa; León-Velarde y Arregui, en prensa).

Consideramos que esta integración desde la biología evolutiva a la fisiología comparada, a la fisiopatología, a la enfermedad y a su recuperación, constituyen un modelo que muestra como las ciencias fundamentales son necesarias si se desea avanzar en los niveles aplicativos de las ciencias de la salud. No es saltando etapas como mejor se consiguen los objetivos pragmáticos que nos imponemos en beneficio de la salud social.

REFERENCIAS

- Arregui, A., F. León-Velarde y C. Monge C., 1990a. Mal de montaña crónico entre mineros de Cerro de Pasco: evidencias epidemiológicas y fisiológicas. *Rev. Med. Herediana* (Lima) 1:35-39.
- Arregui A., F. León-Velarde y C. Lip. 1990b. Enfermedades asociadas a riesgo eléctrico y altura de trabajo en el subsector eléctrico nacional. Lima: ADEC-ATC.
- Arregui, A., J. Cabrera, F. León-Velarde S. Paredes, D. Viscarra y D. Arbaiza, 1991. High prevalence of migraine in a high altitude population. *Neurology*. 41: 1678-80.
- Frisancho R, 1993. Influence of developmental acclimatization to the attainment of functional adaptation to high altitude. En: *Hipoxia: Investigaciones Básicas y Clínicas*. Editado por F. Leon-Velarde y A. Arregui, Lima, UPCH/IFEA.
- Hicks J. W. y S.C. Wood 1989. Oxygen homeostasis in lower vertebrates: The impact of External and Internal Hypoxia. In: *Comparative Pulmonary Physiology: Current Concepts*. New York: Marcel Dekker, Inc, 322.
- León-Velarde F., 1990. Evolución de las ideas sobre la policitemia como mecanismo adaptativo a la altura. *Bull. Inst. fr. études andines* 19: 443-453.
- León-Velarde F., A. Arregui y C. Monge C. 1990. Epidemiología del Mal de Montaña Crónico. *Proc. Symp. Intemacional de Medicina Aeronáutica y Ambiental*. Tomo II. 249-261.
- León-Velarde F. 1993. El Mal de Montaña Crónico. Enfoque Multifactorial. En: *Hipoxia: Investigaciones Básicas y Clínicas*. Editado por F. León-Velarde y A. Arregui. Lima: UPCH/IFEA.
- León-Velarde F., A. Arregui, C. Monge C. y H. Ruiz, 1993. Aging at high altitudes and the risk of Chronic Mountain Sickness. *J. of Wild. Med.* 4: 183- 188.
- León-Velarde F. 1995. Aportes del Perú al estudio del hombre de altura. En: *I Simposio de Salud Ocupacional en Faenas Mineras a Gran Altura*. Ed. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). Santiago, Chile. pp. 73-81.
- León-Velarde F., y A. Arregui, 1995. Obesidad y exceso de trabajo: factores de riesgo para el Mal de Montaña Crónico en una población minera altoandina. En: *I Simposio de Salud Ocupacional en Faenas Mineras a Gran Altura*. Ed. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), Santiago, Chile, pp 133-140
- Monge C., y J. Whittembury. 1976. High altitude adaptations in the whole animal. In: *Environmental physiology of animals*, edited by J. Bligh, J. L. Cloudsley Thompson and A.G. MacDonald, New York: John Wiley & Sons, pp. 289-308.
- Monge C., y F. León-Velarde. 1991. Physiological adaptation to high altitude: oxygen transport in mammals and birds. *Physiol. Rev.* 71: 1135-1172.
- Monge C., A. Arregui y F. León-Velarde, 1992. Pathophysiology and epidemiology of Chronic Mountain Sickness. *Int. J. Sports Med.* 13(Suppl 1): S79-S81
- Monge M., C. E. Encinas, C. Heraud, y A. Hurtado, 1928. *La Enfermedad de los Andes (Síndromes Eritrémicos)*. Lima: Americana.
- Sime, F., C. Monge., y J. Whittembury. 1972. Age as a cause of chronic mountain sickness (Monge's disease). *Int. J. Biometeor.* 19:98
- Whitfield, M. 1976. The Evolution of the Ocean and the Atmosphere In: *Environmental physiology of animals*, edited by J. Bligh, J. L. Cloudsley-Thompson and A. G. MacDonald. New York: John Wiley & Sons. pp. 30-45.
- Whittembury, J, y C. Monge. 1972. High altitude, hematocrit and age. *Nature Lond.* 238: 278-279.
- Winslow, R. M. y C. Monge C, 1987. *Hypoxia, polycythemia, and chronic mountain sickness*. Baltimore, Md: Johns Hopkins.

¿ES EVITABLE LA ENFERMEDAD AGUDA DE LA MONTAÑA, «PUNA»?

ROBERT W. TORRANCE (OXFORD UNIVERSITY) Y HUGO DONOSO (UNIVERSIDAD DE CHILE)

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD OCUPACIONAL, ACHS.

ANTECEDENTES

Un individuo sano, en buenas condiciones de salud, se encuentra en perfecto equilibrio con su entorno y en un estado de régimen estacionario, es decir, está adaptado. Al trasladarse a un ambiente distinto, específicamente a grandes elevaciones terrestres, pierde su adaptación, también su equilibrio orgánico y no mantiene el estado estacionario, configurándose un síndrome conocido desde muy antiguo con el nombre de **enfermedad aguda de la montaña**, «**soroche**» o «**puna**». El trastorno varía en severidad por diversos factores, entre los que se cuentan la elevación por sobre el nivel del mar, la edad y la condición física. Sus principales manifestaciones son: sensación de falta de aire, anorexia, vómitos, mareos, fatigabilidad desacostumbrada, alteraciones del sueño y cefalea (1-9).

La principal característica del medio ambiente de altura, aunque no la única, es su menor disponibilidad de oxígeno (O_2). Esta última condición, o **hipoxia**, se acompaña en los individuos expuestos de un aumento en la ventilación pulmonar (VE) que se hace más rápida y profunda elevando la presión parcial de O_2 alveolar (PAO_2). Este aumento ventilatorio, presente desde los primeros días en la altura, constituye la adaptación primaria del organismo a la exposición a la altura y es posiblemente el ajuste fisiológico más importante a este particular medio ambiente (10). Sin embargo, aunque eleva la (PAO_2) al mismo tiempo elimina anhídrico carbónico (CO_2) modificando la condición ácido-básica al hacer descender su presión parcial alveolar (PA_{CO_2}), modificando la relación HCO_3^-/CO_2 en la ecuación de Henderson-Hasselbalch (#) con elevación del pH y la consiguiente alcalosis (11).

(#) $pH = pK + \log \frac{HCO_3^- \text{ (base)}}{CO_2 \text{ (ácido)}}$

La situación precedente representa un problema para el organismo, básicamente el defender simultáneamente su nivel de oxígeno y el equilibrio ácido-básico, asunto que resuelve excretando bases por el riñón y elevando el ion cloro (Cl^-) que ocupará el espacio dejado por el ion HCO_3^- . Es precisamente en esas horas, coincidiendo con la alcalosis y el bajo nivel de Cl^- , cuando se hace presente la enfermedad de la altura o puna. La pregunta que se plantea entonces, es si efectivamente la enfermedad de la altura es producida por la acalinidad y la carencia de cloro. En otras palabras, se trata de saber si el déficit agudo de Cl^- al trasladarse a la altura es el causante de la enfermedad aguda de la montaña como lo pensara John Scott Haldane en 1922 (12) quien al referirse al trastorno señalaba lo siguiente:

«La disminución en la disponibilidad de bases parecería ser muy importante, pero el proceso es evidentemente más bien lento», agregando más adelante que «posiblemente la aclimatización pueda acelerarse grandemente por la administración de cloruro de amonio». Si así fuera y considerando los días que demora en corregirse la falta de cloruro con una dieta normal, la acción primaria a realizar sería proporcionar Cl^- , lo que se fundamenta en que el organismo no dispone de depósitos de Cl^- a los cuales recurrir para elevarlo con rapidez.

La minería a grandes alturas en Chile, a diferencia de otros países andinos, se caracteriza por tener que trasladar de manera regular y repetida a contingentes de trabajadores entre sus hogares en la costa y sus labores en la montaña. Dicho problema es de un gran interés práctico en Salud Ocupacional, puesto que la enfermedad aguda de la montaña se presenta en forma repetida cada vez que se sube y que además compromete la capacidad física de trabajo.

En resumen, el nivel de adaptación ventilatoria al llegar a la altura no se alcanza de inmediato y se logra cuando el aumento ventilatorio inicial se estabiliza a un nivel más alto (ver anexo). Este ajuste demorado en la VE se debería a que la excreción renal de bases es lenta. Una estrategia para acelerar la corrección de la alcalosis que demora la adaptación ventilatoria sería el aportar el ion Cl^- administrando oralmente cloruro de amonio, lo que presumiblemente evitaría la aparición del mal de montaña o puna. Se trata de establecer un método para prevenirlo aportando el ion Cl^- necesario durante el ascenso y no hacerlo como un tratamiento después de llegar a la altura.

ENFERMEDAD AGUDA DE LA MONTAÑA Y CLORURO

El estado normal de un individuo bien aclimatado a la altura fue muy bien descrito hace años por Mabel Fitzgerald, integrante de la expedición a Pikes Peak en 1913 (13) junto con John Scott Haldane y otros famosos investigadores, quien midió la $PACO_2$ y calculó la PAO_2 en grupos de hombres y mujeres que habían vivido en Colorado a elevaciones hasta de 4.3 km, registrando además cambios en el pH, HCO_3^- y el ion Cl^- .

En la expedición al Monte Kamet (14), posteriormente en estudios en cámara hipobárica (PB 347 mmHg) (15) y en pilotos de

aviones antes de que se usaran las cabinas presurizadas (16), se comunican efectos beneficiosos que siguen a la administración de NH_4Cl consistentes en disminución en la PACO_2 y de la cianosis, con aumento al mismo tiempo de la PAO_2 y de la capacidad de trabajo. Sin embargo, no todos los estudios apoyan la tesis de Haldane sobre los efectos beneficiosos del NH_4Cl en el manejo de la enfermedad aguda en la montaña. Sobre el particular una comunicación de destacados expertos sobre el tema (17), concluye que tiene escasos o nulos efectos, lo que estimamos discutible por lo inadecuado del grupo control. Al respecto, consideramos justificado repetir la investigación, la que idealmente se podría hacer en Chile aprovechando la oportunidad que ofrece la creciente actividad minera.

Se dice que la alcalosis respiratoria descompensada que sigue a la exposición a la altura se corrige por la excreción renal del anión (HCO_3^-) Mejor aún, se puede decir que la gran diferencia iónica se atenúa al elevarse el ión Cl^- y así ocupar el espacio dejado por la disminución de ión HCO_3^- . Esta forma de plantear el cambio ácido- básico proporciona una mejor comprensión del trastorno y destaca la afirmación de J.J. Cohen (18) relativa a que «el riñón necesita suficiente cloruro para corregir una alcalosis respiratoria descompensada». Al respecto, el cambio en el Cl^- o en HCO_3^- que produce al día es sólo alrededor de un 5% del total que en última instancia se produciría y sólo alrededor el 13% de Cl^- captado es retenido sin Na^+ (19). Un descenso en el ión Cl^- de 10 m Eq produce una caída equivalente del anión HCO_3^- en 10 MEq dando respuesta a la interrogante sobre la causa que limita la velocidad de aclimatación a la altura, que no es otra cosa que la velocidad con que se pueda suministrar el ión Cl^- .

Se podría decir que un individuo al llegar a la altura se encuentra escaso de O_2 y marcadamente alcalino por la eliminación de CO_2 que sigue al aumento de la VE sin que el HCO_3^- disminuya en igual proporción lo que eleva el pH que sólo se normaliza por la excreción renal de HCO_3^- . En suma, con relación a la normalidad de nivel del mar el individuo se encuentra en un estado caracterizado por un bajo PACO_2 y un bajo HCO_3^- en alcalosis respiratoria no compensada, hipocápnico sin que un descenso compensatorio del HCO_3^- logre normalizar el pH (11). Lo importante es saber a que niveles estarán los valores de PACO_2 y de HCO_3^- cuando se alcance la completa aclimatación a la nueva mayor altura, en la que estos valores se estabilizan a un nivel propio de la condición de completa aclimatación a esa mayor altura. Inicialmente la PACO_2 en la altura no cae lo suficiente y el ión HCO_3^- escasamente apenas baja algo.

La enfermedad aguda de la montaña es gatillada por la menor disponibilidad de O_2 , a lo que se agrega el déficit de Cl^- contribuyente a entorpecer el aumento de la VE al retardar la corrección de la alcalosis respiratoria. La relación entre la enfermedad aguda de la montaña, el cloruro y el metabolismo ácido-básico podrían ser bastante irrelevantes. Lo importante es que la duda puede resolverse fácilmente anticipando la corrección de los cambios ácido-básicos agudos administrando el NH_4Cl antes de que el individuo llegue a la altura y dejando sin modificar la falta de O_2 pero observando cuidadosamente si la enfermedad aguda de la montaña desaparece o es detenida. Además, puede hacerse un control del pH en la orina, la que se torna ácida si el trastorno ácido- básico se corrige.

La corrección de los trastornos ácidos-básicos constituye un hecho cotidiano de rutina en la medicina de cuidados intensivos (11) y el cálculo de la dosis de NH_4Cl se encuentra en textos de farmacología y artículos de fisiología sobre el tema. Son aspectos esenciales a considerar la magnitud de la dosis, la que en un individuo sano es del orden de 10 a 20 gramos, los que son absorbidos desde el intestino en alrededor de 3 horas. Debe tenerse presente que el NH_4Cl se usa por vía oral desde hace mucho tiempo sin mayores problemas, aunque puede producir náuseas si no se usan cápsulas entéricas recubiertas, o disolviendo en agua en cantidad de cuarenta veces su propio peso. Sobre el particular en la primera edición del texto de farmacología de Goodman y Gilman (20) se consigna: «El método más conveniente de administrar el NH_4Cl es en tabletas entéricas recubiertas o en cápsula, cantidades entre 8 a 12 gramos diarios, divididas en dosis a las horas de comida. En muchas ocasiones, el NH_4Cl debe administrarse durante varios días para producir los efectos deseados» Por la vía, oral el NH_4Cl no es tóxico, aunque si lo es por vía endovenosa. El hígado tiene una gran reserva para convertir NH_4^+ en urea cuando es absorbido desde el intestino.

Para calcular la dosis adecuada de NH_4Cl uno puede usar una norma general, aunque los individuos muy probablemente varían en la cantidad que ellos necesitan lo que hace necesario algún método para juzgar si la dosis es o no la adecuada. Si no la fuera, el riñón tratará de mantener un nivel apropiado de Cl^- en la sangre conservando el Cl^- de la dieta y excretando en su lugar HCO_3^- . La orina en esa circunstancia permanecerá alcalina. Un método simple de control podría ser el medir el pH de la orina para decidir si es necesaria una mayor cantidad de NH_4Cl después de la dosis administrada antes del ascenso, la que ya debería haberse absorbido. El uso del pH de la orina para juzgar dosis adicionales permitiría que se involucrara un mecanismo de retroacción, exactamente como sucede normalmente con el riñón. Sólo se trata de ayudar al riñón de nuestros mineros proporcionándoles Cl^- adicional debido a los frecuentes cambios de altura a que están sometidos, situación que difícilmente se podría esperar que la evolución la hubiera anticipado. Al respecto, el pH urinario medido a la llegada a la mina Escondida a 3.100 m sobre el nivel del mar, es más alcalino que 48 horas después, lo que indicaría un cambio adaptativo a la altura.

La dosis recomendada de NH_4Cl para evitar la enfermedad aguda de la montaña, o «puna», es aproximadamente la siguiente:

3,5 gramos por cada 1.000 m de ascenso
50 mg por Kg de peso por cada 1.000 m de ascenso

Tomado oralmente el efecto del NH_4Cl sobre la VE comienza dentro de una hora y se desarrolla durante 2 a 4 horas según Haldane (12). En consecuencia, una recomendación razonable sería administrar el NH_4Cl al partir a la altura. Hay que reconocer que el NH_4Cl no puede esperarse que sea un tratamiento y tampoco puede esperarse que ayude a quienes han permanecido largo tiempo en la altura a una misma elevación.

Si la corrección del pH detiene la aparición del trastorno, entonces habremos cubierto un largo camino para evitar la enfermedad aguda de la montaña. Esta se produce porque nosotros no apuntamos directamente a normalizar el pH y corregir la hipoxia. La enfermedad se acompaña de una combinación de hipoxia con elevación del pH, junto a un nivel de PACO_2 superior al que correspondería para esa altura. Mirado desde este punto de vista, no debería sorprendernos que elevando la PACO_2 se agrave la enfermedad aguda de la montaña, puesto que esto intensifica una de las anormalidades mencionadas, ya sea debido a la PACO_2 , o a la alcalinidad, por sobre lo deseable.

El objetivo es que el individuo al momento de llegar a la altura alcance un estado ácido-base igual al encontrado en condiciones de una completa aclimatación, y de este modo evitar el trastorno. Se trata de un procedimiento comparable al usado en competencias deportivas, en las que se administra previamente NaCl para prevenir los accidentes por pérdida exagerada de NaCl secundaria a la profusa sudoración producida por actividad física intensa en un clima seco y caluroso. Esta es una práctica estándar en el atletismo, y hoy día no se concibe que un corredor de maratón fracase en la prueba por un déficit de aporte de NaCl , como fue el caso años atrás de Jim Peters en las Olimpiadas de Canadá. El atleta ingiere NaCl porque sabe que lo necesitará para reponer las pérdidas por el sudor. El sujeto que se traslada a la altura debe igualmente saber que él también necesitará almacenar Cl^- extra para proporcionar la cantidad requerida por el organismo al trasladarse a la altura. El que se traslada a ese medio ambiente debe incorporar Cl^- y con ello corregir el déficit nutricional que acompaña al cambio ambiental. En efecto, la enfermedad aguda de la montaña puede considerarse una enfermedad nutricional por carencia de Cl^- . En consecuencia, su tratamiento requiere tomar una gran dosis de NH_4Cl al momento de trasladarse a la altura, de modo que el organismo pueda mantener su equilibrio salino con la ingesta habitual de Cl^- en la dieta.

En un programa para la mantención del equilibrio orgánico, tanto en el montañista como en nuestros mineros es necesario considerar dosis repetidas de NH_4Cl cuando se trasladan a grandes alturas, y dosis opuestas de NaHCO_3 al bajar a la costa, o al campamento base respectivamente. La aclimatación a la altura es una condición dinámica que se pierde, por lo menos en parte, en muy pocos días. Por lo tanto, la condición de aclimatación necesita, aparte de normas simples, una permanente vigilancia.

ACETAZOLAMIDA (DIAMOX) ®

El uso de NH_4Cl es diferente a la profilaxis de la enfermedad aguda de la montaña usando Diamox ® (acetazolamida). Esta última droga no considera alcanzar un estado de aclimatación normal al trasladarse a gran altura, lo que sí puede lograrse con la administración adicional de Cl^- sin esperar que el Cl^- requerido sea proporcionado por la dieta habitual.

La acetazolamida es sin duda una profilaxis efectiva contra la enfermedad aguda de la montaña (21-23). Su eficacia puede atribuirse al aumento de la VE, mejor oxigenación durante el sueño y el ejercicio, al aumento del flujo sanguíneo cerebral, disminución en la formación de líquido céfalo raquídeo, excreción de bicarbonato, a su acción diurética, o a la combinación de las posibilidades nombradas. La baja del ion HCO_3^- y al mismo tiempo del Na^+ que sigue a una buena dosis de acetazolamina. Si la excreción de NaHCO_3 se repusiere por NaCl oral, la corrección sería perfecta. Por supuesto que el NH_4Cl oral hace el mismo trabajo sin comprometer al riñón, por los menos así lo creemos.

Una observación interesante es que el cociente respiratorio en sujetos tratados con acetazolamida disminuye (23), lo que concuerda con lo observado en nativos residentes a gran altura muy bien aclimatados a la altura (24). La pregunta que surge es: ¿Cómo se compara la administración de NH_4Cl con el uso de Diamox?

La acetazolamida hace excretar al organismo Na^+ y K^+ con bicarbonato, de modo que el efecto que tiene sobre los iones fuertes del organismo es el de disminuir la fuerte diferencia iónica al reducir estos dos cationes (Na^+ y K^+). La fuerte diferencia iónica se corrige bien por la reducción de cationes, pero el total de iones fuertes en el organismo se reduce bajo los niveles que deberían tener en la altura, entonces el organismo debe esperar al NaCl de la dieta para corregir la diferencia. En contraste, el NH_4Cl provee Cl^- sin requerir un catión fuerte y por lo tanto consigue disminuir la gran diferencia iónica aumentando aniones sin interferir en los cationes. En otros términos, corrige el déficit de Cl^- sin reducir el total de iones fuertes.

El organismo en general trata de mantener muy constantes a sus cationes fuertes: variaciones naturales en la gran diferencia iónica se presentan principalmente en los aniones fuertes y dan una reacción oscilante entre Cl^- y HCO_3^- en la que el HCO_3^- ocupa el espacio dejado por el Cl^- . Nos parece que el NH_4Cl apunta directamente a la médula del problema al mejorar sin más trámites la deficiencia en Cl^- .

En síntesis, el individuo que llega a la altura es deficitario en O_2 y Cl^- . La carencia de O_2 se acompaña de un aumento en la VE produciendo inicialmente alcalosis respiratoria descompensada. Estudios controlados sugieren que bastan 3 semanas para restablecer el equilibrio ácido-básico, con el mayor cambio en la primera semana en la altura (25). La alcalinidad inicial retarda

un mayor aumento de la ventilación, lo que se logra una vez corregido el déficit de Cl⁻ que posibilita compensar la alcalosis respiratoria y consecuentemente elevar la PAO₂. La corrección del déficit de Cl⁻ se obtiene más rápidamente administrando Cl⁻ y la mejor forma de hacerlo es con el NH₄Cl en tabletas entéricas recubiertas. De esta manera se espera alcanzar la óptima corrección de la hipoxia que acompaña a la exposición a la altura y al mismo tiempo evitar la aparición de la enfermedad aguda de la montaña. El hecho que el Diamox[®] mejore a la enfermedad aguda de la montaña, sugiere que el NH₄Cl también podría hacer lo mismo.

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL TRASLADARSE A LA ALTURA

TIPOS DE RESPUESTAS

SISTEMA	INMEDIATAS	A LARGO PLAZO
Pulmonar	Aumenta la VE	Aumento adicional de la VE
Acido-básico	pH se eleva, se altera HO ₃ ⁻ /CO ₂ (baja PACO ₂)	pH se normaliza se normaliza HCO ₃ ⁻ /CO ₂ (excreción renal de bases)
Cardiovascular	Frecuencia cardíaca sube Gasto cardíaco sube Volumen latido no cambia	Frecuencia cardíaca sube Gasto cardíaco baja Volumen latido disminuye
Hematológico	Volumen plasmática baja Aumenta el hematocrito Glóbulos rojos no cambian Hemoglobina no cambia	Volumen plasmático baja Aumenta el hematocrito Glóbulos rojos aumentan Hemoglobina aumenta
Tejidos (nivel celular)	No hay cambios	Capilarización ¿Aumentada? Enzima 2,3-DPG aumenta Mitocondrias aumentan Enzimas aeróbicas aumentan Glicógeno muscular aumenta

REFERENCIAS:

1. Acosta J., 1569. Historia natural y moral de las Indias en que se trata de cosas notables del cielo, de los elementos, metales, plantas y animales. Barcelona.
2. Dill DB, Robinson S, Balke B, Newton JJ., 1964. Work tolerance: age and altitude. J. Appl. Physiol. 19:483-88.
3. Roy SB, Singh I., 1969. Acute mountain sickness in Himalayan terrain: clinical and physiological studies, In: Hegnauer SH, editor. Biomedicine Problems of High Terrestrial Elevations. Natick, MA:US Army Research Institute of Environmental Medicine, 32-41.
4. Hackett PH, Rennie D., 1976. The incidence, importance and prophylaxis of acute mountain sickness. Lancet, 2:1149-55.
5. Anholm JD, Houston CS, Hyres TM., 1979: The relationship between acute mountain sickness and pulmonary ventilation at 2,835 m (9,300 ft). Chest: 75:33-6
6. Moore LG, Harrison GL, MacCullough, *et al.*, 1986. Low acute hypoxic respiratory response and hypoxic depression in acute altitude sickness. J. Appl. Physiol 60:1407-12.
7. Johnson TS, Rock PB., 1988. Acute mountain sickness. New Engl. J. Med. 319:841-45.

8. Montgomery AB, Mills J., Luce JM., 1989. Incidence of acute mountain sickness at intermediate altitude. *JAMA*; 261:732-6.
9. Honigman B, Theis MK, Koziol-McLain J, Roach R, Yip R., Houston C, Moore LG. 1993. Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Ann. Intern. Med.* 118:587-92.
10. Reeves JT., 1995. Aumento de la ventilación pulmonar en las grandes alturas: clave importante para la aclimatación . Actas del Primer Simposio en Salud Ocupacional en Faenas a Gran Altura. Ed. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). Santiago, Chile, pp 65-71.
11. Fencel V, Rossing TH., 1989. Acid-base disorders in critical care medicine. *Ann. Rev. Med.* 40:17-29.
12. Haldane JS., 1922. *Respiration*. London: Yale University Press, pp. 374.
13. Douglas CG, Haldane JS, Henderson Y, Schneider EC: 1913. Physiological observations made on Pike's Peak, Colorado, with special reference to adaptation to low barometric pressures. *Phil. Trans. B.* 203, 185-318.
14. Smythe FS., 1932. *Kamet Conquered*. London: Víctor Gollanez, Ltda.
15. Douglas CG, Greene CR, Kergin FG., 1933. The influence of ammonium chloride on adaptation to low barometric pressure. *J. Physiol.* 78:404.
16. Christensen EW, Smith H., 1936. Fliegeruntersuchungen. 3. Mitt.: Die Wirkung von Ammoniumchlorid auf Hohenflieger. *Skand. Arch. Physiol.* 73: 155.
17. Guzmán- Barron ES, Dill DN, Edwards HT, Hurtado A., 1937. Acute mountain sickness; the effect of ammonium chloride. *J. Clin. Invest.* 14: 541- 46.
18. Cohen JJ., 1970. *Am J. Physiol.* 218: 165.
19. Dempsey JA, Forster HV, Chosy LW, *et al.*, 1978. Regulation of CSF (HCO_3^-) during long-term hypoxic hypocapnia in man. *J. Appl. Physiol.* 44:175-182.
20. Goodman L, Gilman A., 1941. *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. New York Macmillan Company, pp. 631.
21. Schoene RB, Bates PW, Larson EB, Pierson DJ., 1983. Effect of acetazolamide on normoxic and hypoxic exercise in humans at sea level. *J. Appl. Physiol.* 55:306-312.
22. Hackett Ph, Schoene RB, Winslow RM, Peters JR, West JB. 1985. Acetazolamide and exercise in sojourners to 6,300 meters - a preliminary study. *Med Sci Sports Exerc.* 17:593-97.
23. Ellsworth AJ, Larson EB, Strickland D, 1987. A randomized trial of dexamethasone and acetazolamide for acute mountain sickness prophylaxis. *Am. J. Med.* 83:1024-30.
24. Donoso H, Sánchez J, Osorio J. 1990 Cociente respiratorio (RQ) como indicador del sustrato utilizado en ejercicio submáximo a grandes elevaciones terrestres. *Arch. Soc. Chilena Med. Deporte.* 36:85-88.
25. González NC, Albrecht T, Sullivan LP, Clancy RL., 1990. Compensation of respiratory alkalosis induced after acclimation to simulated altitude. *J. App. I Physiol.* 69:1380-86.

PALEOEPIDEMIOLOGIA GENETICA DE POBLACIONES ANDINAS: 8.000 AÑOS DE EVOLUCION

FRANCISCO ROTHHAMMER Y RODRIGO MORENO

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA CELULAR Y GENÉTICA, FACULTAD DE MEDICINA, UNIVERSIDAD DE CHILE.

RESUMEN

En este trabajo se analiza la evolución de la morbilidad obtenida de momias de nueve culturas precolombinas, que se desarrollaron en la región de Arica, desde hace más de 7.000 años, comparada con la actual.

En la población de Arica actual, destacan afecciones del aparato circulatorio, tumorales, respiratorias y las producto de accidentes y violencias, en cambio, en las culturas prehispánicas, prevalecen enfermedades del aparato osteoarticular, infecciosas y las nutricio-metabólicas, que reflejan diferencias en estilo de vida de sobrevivencia.

Los cambios en la prevalencia de la espina bifida, osteoma auditivo, neumonía, enfisema pulmonar y osteoartritis a distintos niveles vertebrales, entre otras enfermedades, permiten ejemplificar cambios étnicos, de actividades productivas y de organización social que se asocian a la evolución humana desde el cazador-recolector hasta el agrícola aldeano.

Las poblaciones prehispánicas de la región de Arica, han permitido evidenciar la evolución de la interacción enfermedad, individuo y cultura, desde la perspectiva desarrollada por la epidemiología genética.

Los primeros cazadores que poblaron la región actualmente habitada por indígenas de habla Aymará vivían en aleros rocosos ubicados en la precordillera a 3000m de altura, hace aproximadamente 10.000 años. Los sitios arqueológicos de Las Cuevas (7590 AC), Tojotojone (7900 AC), Hakenasa (6390 AC) y Patapatane (6210 AC) entregaron evidencia de que estos paleoindios confeccionaban puntas de proyectil de obsidiana, basalto, cuarzo, y cazaban camélidos americanos, que en esa época eran numerosos en la región (Daulsberg, 1983). Hacia 6.000 AC, se produjo un avance glaciar en el Altiplano, que hizo inhabitable esta zona. Aproximadamente en la misma época los primeros pescadores y mariscadores aparecieron en la costa cercana a la desembocadura de los ríos San José y Camarones. Los pescadores usaron primero anzuelos de concha y luego anzuelos confeccionados con espinas de cactus, provistos de carnada, posiblemente en la medida en que la pesca con anzuelo de concha se hacía menos eficiente (Bird, 1963). Se ha postulado que los primeros pescadores eran descendientes de paleoindios cazadores, que adaptaron su tecnología a la explotación de recursos marinos. Particularmente interesante es la existencia de una fase cultural llamada Chinchorro (6000-2000 AC) que se caracterizó por la práctica de la momificación artificial siguiendo una técnica sorprendentemente elaborada. Esta característica e información arqueológica y bioantropológica hacen pensar en contactos con, o migraciones provenientes de la foresta tropical (Rivera and Rothhammer, 1991). Entre los años 2000 y 1000 AC se desarrollaron alrededor del Lago Titicaca las culturas de Pukara, Wankarani y Chiripa, que a su vez dieron origen a la cultura de Tiwanaku, alrededor del año 350 DC. Antes de este período sin embargo, a partir de 1500 AC, grupos altiplánicos posiblemente provenientes de la cultura Pukara, introdujeron en los valles la agricultura incipiente y se miscigenaron con los grupos pescadores que habitaban la cabecera de los valles dando origen a las fases Azapa 1300-500 AC y Alto Ramírez 500 AC-400 DC. La influencia de Tiwanaku comenzó en los valles con las fases culturales de Cabuza y Maitas (400 a 1100 DC). Posteriormente durante las fases culturales de San Miguel y Gentilar (1000 a 1400 DC), se produjo un desarrollo cultural regional. Después de la caída del Imperio Tiwanaku y poco antes de la llegada de los Conquistadores, se desarrolló en el altiplano la cultura Inca, que naturalmente también ejerció influencias sobre los aldeanos del Valle de Azapa. Paralelamente, con el desarrollo de la agricultura y de la artesanía en los valles, siguieron subsistiendo en la zona costera, los pescadores cuyos últimos descendientes fueron descritos por los cronistas españoles como muy primitivos y recibieron el nombre de changos.

Es un hecho sabido que las enfermedades que afectan a un individuo reflejan tanto su constitución genética como el ambiente biogeográfico y sociocultural en que vive, y naturalmente la interacción entre estos factores. Luego, la comprensión cabal de la nosología surge natural e indivisiblemente de la trílogía: enfermedad, individuo y cultura, objetivo de la epidemiología genética y contexto en que se desarrollará este trabajo.

Las exhumaciones de momias de los valles de Arica por diferentes investigadores, ha motivado la realización de descripciones antropológico-físicas y de publicaciones tanto sobre enfermedades específicas, como de morbilidad en general, y aspectos demográficos. La información obtenida, tiene la particularidad de provenir de cuerpos momificados, permitiendo estudiar la estructura mórbida de estas culturas, no sólo en los huesos como es frecuente en la antropología física, sino también en los tejidos y órganos blandos preservados. Además, describe en forma más confiable la estructura poblacional, en cuanto al sexo y edad de los individuos. Este material proporciona una buena oportunidad para estudiar en poblaciones humanas, la relación entre enfermedad, individuo y cultura aplicando un enfoque cronológico.

En este trabajo, se presentan los resultados de un estudio paleoepidemiológico evolutivo basado en los registros de autopsias de momias de las poblaciones prehispánicas de la región de Arica pertenecientes al Departamento de Arqueología de la Universidad de Tarapacá y cedidos gentilmente a uno de nosotros (FR) por el entonces director del Departamento Prof. Guillermo Foracci. Hemos incluido la información disponible sobre la población actual de Arica con fines comparativos.

MATERIAL Y METODO

Las descripciones realizadas por los especialistas del Departamento de Arqueología de la Universidad de Tarapacá, entregan información de 649 momias pertenecientes a nueve culturas: Chinchorro, Azapa, Alto Ramírez Tardío, Cabuza, Tiwanaku, Maitas, San Miguel y Gentilar. Restos no asignados culturalmente son agrupados bajo la denominación «Desconocida», y la población chilena actual se identifica con el nombre de Arica.

Cada grupo muestral fue considerado como una población diferente. La asignación individualizada del sexo y la edad separadas por población, permite obtener información demográfica sobre la distribución etaria segmentaria en porcentajes (menores de un año y en los rangos de edad entre los 1 a 14, 15 a 44 y mayores de 45 años) y la edad máxima en cada una. Además, se hace el cálculo de la esperanza de vida al nacer con técnicas demográficas. La esperanza de vida al nacer y la edad máxima

se expresan en años.

No existiendo consenso sobre los grupos etarios en las descripciones paleodemográficas, en este trabajo se consideran segmentos etarios usados en estudios biomédicos que nos facilitan la comparación y extrapolación de los resultados con poblaciones vivas. Se estimaron otros indicadores demográficos según las siguientes fórmulas: a) Índice de dependencia (ID)=(menores de 15 años + mayores de 45 años)x100, dividido por la población entre 15 y 44, b) Índice de fertilidad (IF)=total niños menores de 5 años x 100, dividido por el total de mujeres entre 15 y 44 años, c) Índice de masculinidad de la población general (IMPG) = total de hombres x 100, dividido por el total de mujeres, d) Índice de masculinidad de la población fértil (IMPF)= total de hombres entre 15 y 44 años x 100, dividido por el total de mujeres entre 15 y 44 años.

Los resultados son presentados en tres tablas sinópticas, que incluyen la información de la mortalidad de la provincia de Arica actual y la distribución por sexo de la población chilena, expresadas y calculadas del mismo modo que en las poblaciones prehispánicas.

Las descripciones de morbilidad de las momias de Arica, fueron agrupadas en categorías, según la clasificación de las enfermedades de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y expresadas en porcentajes para cada cultura. Su ordenación es decreciente según el grado de participación genética en su determinación. Esta es mayor en las tumorales y menor, naturalmente, en las producidas por accidentes y violencias.

El porcentaje de descripciones por individuos, se calculó a partir del número total multiplicado por 100 y dividido por el número de individuos. La frecuencia de morbilidad en categorías para cada cultura, se obtuvo utilizando como numerador el total de afecciones de la categoría y como denominador el número de individuos con descripciones mórbidas de dicha cultura, pudiendo su suma ser mayor de un 100% en culturas con más de una descripción por individuo.

El caudal de información es presentado en dos tablas sinópticas, que incluye además, la información de la mortalidad de la provincia de Arica actual, y la distribución por sexo y las causas de muerte correspondiente a la población chilena general, expresadas y calculadas del mismo modo que en las poblaciones precolombinas, para que sirva de referencia comparativa en el análisis.

RESULTADOS

Las características antropológicas de todas las poblaciones, se describen en la Tabla 1, permitiendo tener una orientación de sus relaciones temporales y especiales, además del desarrollo alcanzado por dichas poblaciones. En la Tabla 2, se señalan las características de las poblaciones en cuanto a la utilización de la información inicialmente obtenida, enmarcando la validez y limitaciones del presente estudio. El buen estado de conservación de los restos estudiados se evidencia en esta Tabla, donde se observa un alto porcentaje de momias estudiadas y con determinación del sexo y un bajo porcentaje en mal estado. Por otro lado, la proporción de momias con descripciones, señaladas en esta Tabla, es variable y no guarda relación evidente con su estado de conservación. La Tabla 3 describe los indicadores demográficos, que identificamos en orden temporal como, Arcaico, Arcaico Tardío, Andino y Moderno.

El Arcaico, incluye las culturas Chinchorro, Azapa y Alto Ramírez. Tiene 14 a 32% de menores de 15 años, más de 50% de población entre 15 y 44 años, una esperanza de vida al nacer de 24 a 32 años, un índice de fertilidad (IF) menor que 53%. Los índices de masculinidad en la población general (IMPG) y en la población fértil (IMPF), son similares en magnitud y menores que 110%. Llama la atención que en Alto Ramírez, no se registran menores de un año de edad.

El Arcaico Tardío incluye sólo a Alto Ramírez Tardío con más de 60% de menores de 15 años, 40 a 45% entre 15 y 44 años, ID entre 250 y 500 %, el IF superior a 250%. El IMPG es mayor que 110% y se duplica en la población El Andino, considera las poblaciones Cabuza, Tiwanaku, Maitas, San Miguel, Gentilar y Desconocida. Posee entre 25 y 51% de menores de 15 años, 25 y 35% en adultos de 15 a 44 años, una esperanza de vida al nacer de 20 a 23 años, ID de 110 a 150% y un IF de 100 a 240%. El IMPG es menor que 110% y disminuye en la población fértil, salvo para la cultura San Miguel y Desconocida en que supera el 110% en la población general y aumenta en la población fértil, remedando lo ocurrido en el patrón Arcaico Tardío.

El Moderno de Arica actual, tiene menos de 10% de menores de 15 años, más de 20% de población entre 15 y 44 años, sobre 70% de mayores de 45 años, la esperanza de vida al nacer es de 58 años, ID mayor que 500% el IF alrededor de 230%. El IMPG es mayor que 110% y se duplica en la población fértil, como en el patrón Arcaico Tardío.

La Tabla 4 consigna las descripciones de morbilidad de las momias estudiadas en cada cultura. Las descripciones por individuo en todas las culturas precolombinas, fue mayor de un 100%, salvo en Chinchorro. Los valores más altos se presentan en Alto Ramírez Tardío, Tiwanakú y Maitas, que a su vez tienen los mayores porcentajes de descripción mórbidas. El promedio de los porcentajes de población menor de 15 años esta disminuída en un 10% y para el sexo incrementada en la misma magnitud, en las momias con descripciones con respecto a la población general; pero con las mismas tendencias en cada cultura. El índice de masculinidad de momias con descripciones, es en un 15% mayor que el total de la muestra (IMPG), siendo menor en las culturas Alto Ramírez, Alto Ramírez Tardío y Tiwanaku, y mayor en San Miguel, Gentilar y Desconocida.

TABLA N° 1
CARACTERISTICAS ANTROPOLOGICAS Y CULTURALES

Nº	CULTURA	DATAACION	HABITAT	DESARROLLO
1	Chinchorro	6000-1500 AC	Costa	Arcaico Cazador Recolector
2	Azapa	1300-500 AC	Valle	Agrícola Temprano Semialdeano
3	Alto Ramírez (A.R.)	500AC-400 DC	Valle	Agrícola Temprano Semialdeano
4	A.R. Tardío ¹	400-550 DC	Valle	Agrícola Temprano Semialdeano
5	Cabuza	400-700 DC	Valle	Agrícola Aldeano
6	Tiwanaku	400-1200 DC	Valle	Agrícola Aldeano
7	Maitas	700-1100 DC	Valle	Agrícola Aldeano
8	San Miguel	1000-1300 DC	Valle Costa	Agrícola Tardío Aldeano
9	Gentilar	1200-1400 DC	Valle Costa	Agrícola Tardío Aldeano
10	Desconocida	400-1300 DC	Valle Costa	Agrícola Aldeano
11	Arica (Contemporáneo)	1987 DC	Valle Costa	Industrial Urbano

Las frecuencias de las categorías de morbilidad de cada cultura, se muestran en la Tabla 5. La población Chinchorro, no incluye patologías de órganos blandos que han desaparecido en el proceso de momificación artificial. Cabe hacer notar que en la población de Chile actual, destacan afecciones del aparato circulatorio, malformaciones y lesiones producto de accidentes y violencias. En cambio, en las culturas prehispánicas, prevalecen enfermedades del aparato osteoarticular e infecciosas.

A continuación señalaremos en las culturas prehispánicas, las afecciones más relevantes por categorías mórbidas según el grado de determinación etiopatogénica.

1. *Alta determinación genética*, alcanzan una frecuencia de hasta un 30%, los tumores son raros, se describen en Azapa (tumor en tibia) y San Miguel (lipoma). Con menor frecuencia en Cabuza (tumor de ojo) y en Maitas (carcinoma metastásico).

Las malformaciones se observan en Maitas, San Miguel y Alto Ramírez, en que predominan el prognatismo y espina bífida. Defectos vertebrales del mismo tipo, se evidencian además en Chinchorro, Azapa, Cabuza y Gentilar, con menor frecuencia. Existe una momia con malformación del paladar, perteneciente a la cultura Maitas.

2. *Multifactoriales, con interacción de factores genéticos y ambientales en forma variable*. Tienen frecuencias de hasta un 76%. Las infecciones respiratorias como la neumonía predominan en Azapa, Alto Ramírez, Cabuza y Tiwanaku, en cambio en Gentilar son más frecuentes las infecciones óseas. Afecciones del aparato osteoarticular son frecuentes. En Chinchorro predomina el osteoma auditivo. Procesos inflamatorios y degenerativos articulares como artritis y osteoartritis, están presentes en Alto Ramírez Tardío, Cabuza, Gentilar y Desconocida; y tienen predilección por la columna cervical en Maitas y de la región lumbar en San Miguel. Llama la atención, que no estén presentes en Tiwanaku. Enfermedades por problemas de nutrición y metabolismo, se manifiestan en Alto Ramírez Tardío. Se observan alteraciones nutricionales óseas, como la hiperostosis esponjosa y cribas que también se observan en Chinchorro y Gentilar; pero con preponderancia secundaria. La patología circulatoria está presente en Alto Ramírez, donde predomina la cardiomegalia. Con respecto al aparato respiratorio,

TABLA N° 2
DISTRIBUCION CULTURAL DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS	CULTURAS *										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N total de momias	91	48	39	40	130	37	144	54	21	45	592
% estudiado	96	100	100	95	98	100	99	94	100	93	100
% sexado	83	88	95	63	80	75	61	81	67	76	100
% descrito	24	58	74	53	62	49	65	52	67	40	95*
% mal estado	33	9	8	27	18	5	17	9	2	20	0
* Ver correspondencia en Tabla 1											
** Causas de muerte para Chile (1987), sin considerar aquellas no evidenciables en momias											

TABLA N° 3
DISTRIBUCION CULTURAL DE LOS INDICADORES DEMOGRAFICOS

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS	CULTURAS*										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
% < 1año	9	15	0	14	14	19	15	16	14	13	6
% 1-14 años	18	17	14	50	33	25	25	26	29	35	3
% 15-44 años	71	57	69	28	43	44	43	46	43	41	19
% > 45 años	2	11	17	8	10	12	17	12	14	11	72
Edad máxima **	50	50	60	50	60	50	55	50	50	50	85
Esperanza	24	25	32	16	22	22	23	22	23	20	58
I. Dependencia	41	74	46	260	132	129	133	117	133	147	757&
I. Fertilidad	50	53	30	567	121	100	118	140	133	240	233&
IMPG*	85	71	106	120	70	67	78	114	100	125	117&
IMPG**	86	80	140	233	56	55	73	120	33	160	216&
* Ver correspondencia en Tabla 1											
** Edad inicial del quinquenio máximo											
* Índice de masculinidad en la población general											
** Índice de masculinidad en la población fértil (15 a 44 años)											
& Chile (1987)											

se observa enfisema en Tiwanaku y antracosis y adherencias en Cabuza. La afección digestiva más frecuente es el megacolon en la cultura Desconocida. Con menor frecuencia se presentan afecciones de órganos hematopoyéticos, como en Alto Ramírez Tardío donde aparece la esplenomegalia, y de órganos genitourinarios, como la hidronefrosis presente en Azapa. Afecciones renales se presentan en Alto Ramírez Tardío y Tiwanaku.

3. *Con predominio medio ambiental.* Constituye hasta un 22% de la morbilidad. Entre las causas maternas, el parto prevalece en San Miguel, Cabuza y Tiwanaku. Entre las afecciones debidas a accidentes y violencia, predominan las producidas por agresiones de carácter grave, siendo frecuentes en las culturas Desconocidas, Azapa y Alto Ramírez. En Maitas predomina la fractura nasal.

4. *La categoría otras y rnal definidas*, no permite la atribución etiológica y alcanza la mayor frecuencia en Alto Ramírez Tardío con un 29%.

Algunas descripciones antropológicas que no corresponden a procesos patológicos y constituyen parte de la variación poblacional, anatómica normal, no se agruparon con las anteriores. No sobrepasan el 20% del total de las descripciones en las culturas donde aparecen, por ejemplo en Alto Ramírez Tardío, Cabuza y Tiwanaku alcanzan el 5%, en Maitas el 20% y en San Miguel el 15%. Entre las más frecuentes tenemos los orejones con un 13% y agujero esternal con un 6% en Maitas. Este último, también está presente en Cabuza (1%). El metopismo, aparece en Cabuza, Maitas, San Miguel y Tiwanaku con frecuencias inferiores al 5%.

DISCUSION

La capacidad descriptiva y explicativa de la paleopatología, ha estado habitualmente restringida entre otros factores por el estado de conservación del material humano a estudiar, las limitaciones del material óseo para informar sobre afecciones de otros órganos, el sesgo cultural y el asincronismo de los restos que generalmente obtenidos de cementerios crean un marco de duda sobre la representatividad del conjunto de evidencias en estudio y naturalmente la confiabilidad de los diagnósticos paleopatológicos. El presente trabajo reúne dos ventajas sobre otros en su género. La primera es que fue realizado en momias, de las cuales se puede obtener una mayor cantidad de información antropológica y patológica. La segunda guarda relación con la metodología utilizada, que considera un análisis conjunto de la estructura poblacional (paleodemografía) y de las enfermedades (paleopatología) de diversas culturas que habitaron una misma región, pudiéndose evidenciar la relación entre factores biológicos y ecológicos, que no siempre pueden ser descritos o reconocidos en individuos o en poblaciones en forma separada. Esto último, aplicado a poblaciones extintas, donde la interrelación genético-ambiental debe haber sido más directa y por ello más importante, constituye la mejor aproximación al enfoque de la epidemiología genética.

No está demás recalcar, que pese a las observaciones anteriores, el material antropológico de poblaciones extintas, tiene restricciones que le son inherentes, como es el hecho de representar a los individuos fallecidos y enterrados en el cementerio en el contexto social y cultural al que pertenece, que permiten en la exhumación su reasignación. Sin embargo, es evidente que sólo pueden morir y ser enterrados individuos presentes en la población, por lo cual, la estructura poblacional de los muertos refleja en cierta medida, la estructura de la población viva. La consideración de estos hechos, debe hacernos evaluar y analizar con una visión distinta la información paleoepidemiológica obtenida.

De la información antropológica, se puede destacar el extenso período de la historia comprendido en este estudio, lo que posibilitó incluir culturas con diversidad en la distribución geográfica y desarrollo cultural alcanzado en la región de Arica. Si bien, la costa y los valles de Azapa, no están muy distantes, la aridez y la escasez del recurso hídrico, deben haber constituido barreras que limitaron la dispersión de las primeras culturas en dicha región, lo que al parecer logró ser superado con el desarrollo agrícola.

Las tres primeras culturas, Chinchorro, Azapa y Alto Ramírez, son las más antiguas y duraderas. Alto Ramírez Tardío, corresponde al período de decadencia de la cultura homónima. Luego, se suceden desarrollos culturales de menor duración, en los cuales se hace evidente la influencia de las culturas altiplánicas que usualmente se asocian con corrientes de migración. Las culturas San Miguel y Gentilar, corresponden a desarrollos regionales post-Tiwanaku, asociados a una mayor distribución geográfica.

La población identificada con el nombre de «Desconocida», incluye un conjunto de momias cuyo contexto no permite su adjudicación a las culturas anteriores. Finalmente la «cultura» de Arica actual, de tipo occidental industrializada, permite su comparación con las culturas prehispánicas, de manera que se puede apreciar mejor la relación enfermedad, individuo y cultura.

Los patrones poblacionales señalados anteriormente, evidencian una estructura etaria de tipo maduro para el patrón Arcaico, alcanzando las mayores esperanzas de vida al nacer y menores índices de dependencia entre las culturas prehispánicas con mejores condiciones aparentes de vida que en los otros períodos precolombinos. Estos podrían ser debido a su medio de subsistencia, basado en la caza y recolección, en un ambiente con abundancia de los recursos alimenticios, que permitiría una dieta más variada y completa.

La ausencia de menores de 1 año de edad en la cultura Alto Ramírez correspondería a un patrón cultural, que ignora a recién nacidos o lactantes fallecidos, no reconocidos en la misma categoría social que el resto de la comunidad. Esta práctica es común entre los aborígenes chilenos.

El patrón Arcaico Tardío, es muy particular, con un cambio notorio del anterior y más aún tratándose de una misma cultura como es la de Alto Ramírez, en su fase de declinación. Representa una explosión demográfica, que se evidencia por su alta proporción de menores de 15 años y alto índice de fertilidad, esto obviamente repercute en un mayor índice de dependencia y disminuye la calidad de vida, lo cual probablemente llevó a su sustitución en el área.

TABLA N° 4

INDICADORES DEMOGRAFICOS DE LAS MOMIAS CON DESCRIPCIONES ANTROPOLOGICO MORBIDAS

INDICADORES DEMOGRAFICOS EN PORCENTAJES	CULTURAS										
	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10	11
Descripciones por momia	100	132	134	157	136	150	143	107	128	133	100
Descripciones mórbidas	24	58	74	53	61	46	60	43	67	40	95
< 15 años	14	29	17	57	34	44	18	25	29	33	9
< 15 años PG&	27	32	14	64	47	44	40	42	42	48	9
Sexo conocido	77	93	97	67	90	83	88	79	93	95	100
Sexo conocido PG	83	88	95	63	80	75	61	81	67	76	100
IM*	89	73	75	75	69	50	82	144	117	240	117
IMPG	85	71	106	120	70	67	78	114	100	125	117

*Alto Ramírez Tardío
&PG: población general
*Indice de masculinidad

TABLA N° 5

PERFIL MORBIDO DE CADA CULTURA EN PORCENTAJES

CATEGORIAS	CULTURAS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tumoral	-	4	0	0	1	0	1	4	0	0	20
Malformación	9	7	10	5	2	6	30	26	7	0	2
Infeciosas	9	46	41	29	30	76	10	9	29	17	4
Nutrición y metabolismo	23	7	14	33	1	0	9	22	21	17	2
Organos hematopoyeticos	-	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0
Aparato circulatorio	-	4	24	0	11	6	0	0	7	11	29
Aparato respiratorio	-	7	3	5	20	29	1	0	0	5	12
Aparato digestivo	-	14	3	0	12	6	2	0	0	17	7
Aparato genitourinario	-	7	0	5	1	6	0	0	0	0	3
Maternas	-	4	3	0	6	6	2	0	7	0	0
Accidentes y violencias	-	14	10	9	7	6	10	4	7	22	12

Alto Ramírez Tardío
No incluye patología de órganos blandos sustraídos en la momificación artificial.

Las culturas con patrón Andino, son bastantes homogéneas y se corresponden con una estructura etaria de transición, con índices moderados de dependencia y fertilidad, salvo la denominada «Desconocida». Esta última tiene un mayor índice de dependencia y fertilidad que las otras, reflejando de esta forma la heterogeneidad de su origen.

Finalmente, la cultura chilena de Arica presenta una estructura etaria que corresponde a una población en envejecimiento, con una mayor población sobre 45 años y la más alta esperanza de vida al nacer, que traduce el efecto de una menor mortalidad infantil.

Existe una correlación entre la duración de cada cultura en el área de Arica, que señalamos en la Tabla 1, y los patrones demográficos descritos. Luego parece existir una correspondencia adaptativa de cada cultura en, su relación biológica y ecológica, con su continuidad como entidad cultural en el área geográfica que utiliza.

Los índices de masculinidad de la población general (IMPG) y de la población fértil (IMPF) incrementan sus valores absolutos desde la población Chinchorro hasta Alto Ramírez Tardío, y nuevamente desde Cabuza hasta Gentilar, señalando una cierta correlación entre estos períodos y la permanencia de un determinado patrón demográfico a través del tiempo.

El envejecimiento de la población, permite su aparición y alta prevalencia. A su vez, las enfermedades circulatorias y los accidentes, traducen el estilo de vida que caracteriza a la civilización occidental. Sin embargo, es preciso considerar para cualquier comparación que la causa de muerte en la población actual, se hace en base a un sólo diagnóstico por individuo obtenido del certificado de defunción.

En las culturas prehispánicas, la mayor preponderancia del componente genético, se expresa en relación a las malformaciones. De éstas, las más difundidas son los defectos vertebrales, del tipo espina bifida de herencia autosómica dominante, que alcanza su mayor frecuencia en la cultura Maitas. Esta afección también es descrita en poblaciones canoeras prehispánicas del Sur de Chile. El prognatismo que también tendría una herencia autosómica dominante, está presente en las culturas Alto Ramírez, Maitas y San Miguel.

Una momia de la cultura Maitas presenta una fisura labiopalatina, que ha sido descrita en otras momias prehispánicas del Norte de Chile. (Munizaga, 1961).

La descripción de un tumor ocular en una momia de una año de edad de la cultura Cabuza, podría corresponder a un retinoblastoma hereditario, por su precocidad. Las afecciones principalmente ambientales son menos variables en frecuencia. Sin embargo, están ausentes en la cultura Chinchorro.

Existe por otro lado un predominio de accidentes y violencias, del tipo infanticidio, en lo que hemos llamado cultura Desconocida. Especialmente la presencia de fracturas nasales, producto de golpe directo a corta distancia o intencional, puede reflejar violencia debida a distensiones sociales o rituales propias de sociedades jerarquizadas como Maitas, en que existía una casta de orejones que aparentemente gozaban de privilegios socio-económicos.

Algunas categorías que presentan etiología multifactorial pueden asociarse en algunos casos con posibles estilos de vida. La presencia del osteoma auditivo que caracteriza a la cultura Chinchorro, se relaciona con un habitat litoral y el uso de sus recursos. Cabe destacar que el buceo ha sido sindicado como factor asociado al desarrollo de esta patología (Standen *et al.*, 1985). En cambio, los procesos osteoartíticos localizados preferentemente en columna cervical en Maitas y lumbar en San Miguel, pueden asociarse a distintas actividades laborales agrícolas y de carga.

La patología infecciosa en Chinchorro, no es tan frecuente como las afecciones de la nutrición y metabolismo y corresponde a lesiones causadas por la treponematosi cuya connotación antropológica y social es distinta a las causas infecciosas como la neumonía, que predomina en las otras culturas, y que se relaciona con el hacinamiento y la mala aireación (Fontana *et al.*, 1983).

En Alto Ramírez, las afecciones más características son las del aparato circulatorio especialmente la cardiomegalia que podrían indicar presencia en los valles de Arica de individuos nacidos y criados en el Altiplano. El aparato respiratorio se ve comprometido en forma característica en dos culturas que se suceden, Cabuza y Tiwanaku; pero no con infecciones respiratorias agudas como la neumonía, sino con patología respiratoria inflamatoria crónica como el enfisema en Tiwanaku, y la antracosis y las adherencias pulmonares en Cabuza. Estas patologías indicarían en el caso actividades de minería con inspiración de polvo y en segundo caso a la presencia de humo en las habitaciones. Ambas actividades están asociadas a estilos de vida sedentarios en el cual se intenta un buen aprovechamiento de los recursos y el espacio urbano. En este contexto, también se inscribe la preponderancia de patología osteoarticular, debida a las exigencias de las actividades agrícolas, o el cargar bultos que cuelgen de la cabeza, cuello o los hombros.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos, este trabajo a la memoria de los indígenas ariqueños que anónimamente permitieron, a través del estudio de las enfermedades en sus cuerpos, obtener esta información que esperamos contribuya a un mejor crecimiento y solución de las dolencias que hoy afectan a sus descendientes.

Financiado a través del Proyecto Fondecyt 1931028.

REFERENCIAS

Bird, J., 1963. The cultural sequence of the northern Chilean coast. In Handbook of South American Indians. J.H., Steward (ed.) pp. 587-594, New York, Cooper.

Daulsberg, 1983. Tojo-Tojone: Un paradero de cazadores arcaicos. Características y Consecuencias. Rev. Chungará, 11:11-31.

Fontana, D., Allison, M. J., Gerszten, E., Arriaza, B., 1993. Enfermedades respiratorias agudas en los habitantes precolombinos del Norte Grande de Chile. Rev. Chungará 11:153-160.

Munizaga, J.R., 1961. Labio leporino en una población precolombina de Chile. Antropol. Fís. Chil. 2:49-51.

Organización Mundial de la Salud (OMS), 1978. Manual de clasificación estadística internacional de enfermedades. Traumatismos y causas de defunción. OPS, Washington.

Rivera, M.A. y Rothhammer, F., 1991. The Chinchorro people of northern Chile 5000 AC-500 DC. A review of their culture and relationships. Int. J. Anthropol., 6:243-255.

Standen, V., Allison, M.J., Arriaza, B., 1995. "Osteoma del conducto auditivo externo: Hipótesis en torno a una posible patología laboral prehispánica. Rev. Chungará, 15: 197-209.

CAPACIDAD DE EJERCICIO Y ACTIVIDAD LABORAL EN CONDICIONES DE HIPOXIA HIPOBARICA INTERMITENTE

PABLO CASANEGRA, JORGE JALIL, SANDRA BRAUN
GASTON CHAMORRO, FERNANDO SALDIAS, ROBERTO RODRIGUEZ, MIGUEL MORALES

DEPARTAMENTO DE ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE

INTRODUCCION

La actividad laboral en grandes alturas, sobre todo relacionada con minería, es cada vez más frecuente en nuestro país. Los sistemas de trabajo están compuestos por turnos con días de trabajo en altura seguidos por un número de días de descanso a nivel del mar o bajo los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Son así comunes, por ejemplo, los esquemas de 4 x 4, 7 x 7 o 10 x 10.

La capacidad de trabajo físico máximo disminuye aproximadamente 1% por cada 100 metros sobre los 1500 msnm y retorna rápidamente a los valores observados a nivel del mar después de un período prolongado en la altura (Levine et al. 1992). A alturas entre 3000 y 4000 msnm el consumo máximo de oxígeno siempre será menor que el alcanzado a nivel del mar (Sutton et al., 1993). La exposición crónica, al igual que la exposición aguda, al ambiente de hipoxia hipobárica intermitente en estos esquemas laborales de altura podría determinar modificaciones en la capacidad de ejercicio de estos sujetos.

Diversos estudios han evaluado la capacidad aeróbica en la altura bajo exposición aguda y han sido conducidos principalmente con el objetivo de optimizar la capacidad aeróbica en atletas (Adams, et al. 1975). Sin embargo, pocos trabajos han evaluado la capacidad aeróbica en sujetos expuestos a hipoxia hipobárica intermitente en forma crónica, como es el caso de trabajadores en minería de altura. En nuestro país, Donoso *et al.* (1971) estudiaron comparativamente la capacidad de ejercicio con bicicleta ergométrica en un grupo de nativos aymaraes de altura, un grupo de obreros urbanos y un grupo de atletas de selección (1) y Santolaya *et al.* (1973) midieron la capacidad aeróbica en nativos aymaraes residentes de altura en el altiplano chileno (2).

En el presente trabajo hemos evaluado la capacidad máxima de ejercicio después de un período prolongado (> 2 años) bajo un mismo régimen de trabajo en la altura en una muestra de trabajadores chilenos en la Primera Región. También hemos estudiado la hipótesis de que existen diferencias significativas entre el primer y último día de trabajo en altura.

METODOS

Diseño del estudio. Los sujetos fueron estudiados en forma prospectiva en tres oportunidades en un período de 6 semanas: a) a nivel del mar (Arica) durante el período de descanso entre el segundo y cuarto día abajo, b) el primer y c) cuarto día en su sitio de trabajo en un laboratorio especialmente acondicionado en la localidad de Choquelimpie en el mineral de Vilacollo a 4500 msnm. Se realizó microhematócrito en reposo en las 3 condiciones.

Sujetos estudiados. Fueron seleccionado 34 sujetos al azar de un grupo de 120 trabajadores del mineral de Choquelimpie, Vilacollo (Arica, Primera Región). Estos sujetos laboraban por al menos 2 años en el mismo sistema de turnos (4 días trabajando a 4500 msnm durante 12 horas y durmiendo a 3500 msnm seguidos de 4 días de descanso en Arica, a nivel del mar).

Las características del grupo están señaladas en la Tabla 1. Se excluyeron sujetos con antecedente de cardiopatía mediante historia clínica y ECG y también sujetos con enfermedad respiratoria, hepática o renal.

Protocolo de ejercicio. Se utilizó un protocolo de ejercicio en treadmill (protocolo de Bruce) hasta un nivel máximo definido por el propio sujeto (sensación de no poder continuar más). Se utilizó un equipo Quinton Q 4000.

Durante la prueba se monitorizó cada 3 minutos presión arterial con manguito de mercurio en el brazo derecho y en forma continua ECG en 3 derivaciones y frecuencia cardíaca. Además se determinó también en forma continua saturación arterial de oxígeno con oximetría transcutánea en el lóbulo de la oreja con un saturómetro Ohmeda II.

Las mediciones se hicieron en ejercicio submáximo (6 minutos) y máximo.

Análisis estadístico. Los datos se presentan como promedio \pm error standard. Se utilizó análisis de varianza para mediciones repetidas con test de Newman-Keuls para comparaciones posteriores y también regresión lineal.

RESULTADOS

Microhematocrito. No se modificó al subir a 4500 msnm (50 ± 0.4 , 49 ± 0.5 y 50 ± 0.5 % a nivel del mar y a 4500 msnm los días

TABLA 1
CARACTERISTICAS DE LOS SUJETOS ESTUDIADOS (N = 34)

Edad (años)	35 ± 1
Peso (Kg)	76 ± 2
Talla (cm)	171 ± 1
Tiempo de trabajo en ese sistema (meses)	28.5 ± 2
Nacidos en altura (%)	7 (21%)

TABLA 2
DURACION DEL EJERCICIO Y SATURACION ARTERIAL DE OXIGENO (% , N = 34)

	nivel del mar	4500 msnm día 1	4500 msnm día 4
Duración (segs)	931 ± 36	775 ± 18•	778 ± 18•
Sat O ₂ reposo	97 ± 0.2	88 ± 3•	91 ± 0.5•
Sat O ₂ 6 min	97.4 ± 0.2	84.6 ± 1•	86 ± 0.7•a
Sat O ₂ ej máx	96 ± 0.3 b	83 ± 0.7•	83 ± 0.8•b

- = p < 0.05 vs nivel del mar
- a = p < 0.05 vs reposo
- b = p < 0.05 vs reposo y 6 minutos

TABLA 3
FRECUENCIA CARDIACA (1/min) EN REPOSO Y EJERCICIO (N = 34)

	nivel del mar	4500 msnm día 1	4500 msnm día 4
Reposo	64 ± 2	79 ± 2 •	73 ± 3 •
6 minutos	113 ± 3 a	126 ± 3 •a	122 ± 3 •a
Ej máximo	179 ± 3 b	164 ± 2 •b	165 ± 2 •b

- = p < 0.05 vs nivel del mar
- a = p < 0.05 vs reposo
- b = p < 0.05 vs reposo y 6 minutos

TABLA 4
PRESION ARTERIAL (mm Hg) EN REPOSO Y EJERCICIO (N = 34)

	nivel del mar	4500 msnm día 1	4500 msnm día 4
Sist reposo	119 ± 2	117 ± 2	119 ± 2
Sist 6 minutos	137 ± 3 a	134 ± 3 a	139 ± 3 a
Sist ej máximo	157 ± 3 b	152 ± 3 b	153 ± 3b
Diast reposo	79 ± 2	78 ± 1	81 ± 1
Diast 6 minutos	81 ± 2	80 ± 2	85 ± 1
Diast ej máximo	85 ± 2 a	90 ± 4c	85 ± 2

- = p < 0.05 vs nivel del mar
- a = p < 0.05 vs reposo
- b = p < 0.05 vs reposo y 6 minutos
- c = p < 0.05 vs 6 minutos

1 y 4, respectivamente).

Saturación Arterial de Oxígeno. La saturación arterial de oxígeno disminuyó significativamente en la altura en condiciones de reposo ($F = 9$, $p < 0.01$), ejercicio submáximo ($F = 128$, $p < 0.01$) y máximo ($F = 156$, $p < 0.01$), con niveles importantes de desaturación en ejercicio submáximo y máximo (Tabla 2).

Capacidad Aeróbica. La capacidad aeróbica medida como duración del ejercicio fue normal en condiciones de normoxia. Hubo disminución significativa de por lo menos 2 minutos en la duración del ejercicio al subir ($F = 21.9$, $p < 0.01$), sin diferencias entre el primer y cuarto día. Aún en la altura la capacidad aeróbica de este grupo sobrepasó los 12 minutos habituales del protocolo de Bruce (Tabla 2).

Frecuencia Cardíaca. A 4500 msnm la FC en reposo fue mayor ($F=17$, $p < 0.01$) y sus incrementos fueron menores en ejercicio submáximo ($F=12$, $p < 0.01$) y máximo ($F=28$, $p < 0.01$). No se observaron diferencias significativas en este parámetro en ejercicio entre los días 1 y 4 en la altura (Tabla 3).

Presión Arterial. La presión arterial en reposo y ejercicio en la altura fue similar a lo observado a nivel del mar, con leve aumento de la presión diastólica en ejercicio máximo el primer día en altura (Tabla 4).

No se observó correlación entre duración del ejercicio y microhematocrito, FC de reposo, PA ni sat O_2 en reposo o ejercicio. La edad y la FC máxima se correlacionaron inversamente con la duración del ejercicio, solamente a nivel del mar ($r=-0.49$, $p = 0.003$ y $r=0.44$, $p=0.009$, respectivamente). Estas correlaciones desaparecieron en la altura.

DISCUSION

Nuestros datos evalúan el impacto de la actividad laboral en condiciones de hipoxia hipobárica intermitente sobre la capacidad de ejercicio a largo plazo en trabajadores. Aún cuando no disponemos de datos basales de los sujetos, al momento de comenzar en la faena conocemos en todos ellos el tiempo total trabajado con el sistema de turnos descrito.

Los principales hallazgos de nuestro estudio se refieren a la excelente tolerancia al ejercicio isotónico después de un período prolongado de hipoxia hipobárica intermitente y a la disminución mínima pero significativa de la capacidad aeróbica en la altura el primero y cuarto día.

No podemos descartar aquí un sesgo de prevalencia-incidencia o estudio exclusivo de los «sobrevivientes», asumiendo que aquellos trabajadores con mala tolerancia a la altura hubieran abandonado el trabajo previamente.

Es interesante la similitud del tiempo de ejercicio y la frecuencia cardíaca máxima entre el primero y cuarto día. Sabemos que el primer día los síntomas de enfermedad aguda de altura son más frecuentes e intensos y la fatiga es de alta prevalencia lo que tiende a disminuir la capacidad de ejercicio. Lo esperado en estos sujetos era una disminución mayor el primer día que el cuarto. Nuestros hallazgos diferentes tienen varias explicaciones: población bastante sana - ninguno de ellos tenía poliglobulia - y habituada a esta actividad. No hemos cuantificado en estos sujetos los síntomas de enfermedad de alturas el primer día, pero podrían haber sido más leves y menos frecuentes que con la exposición aguda a condiciones semejantes. Este fenómeno, un llamativo reporte bajo de síntomas de enfermedad aguda de alturas el primer día de trabajo en altura, lo hemos observado recientemente en otro mineral con altura y condiciones semejantes.

Una consecuencia de esta similitud fisiológica entre el primero y último día desde el punto de vista clínico es que no es necesario ser estrictos en utilizar solamente el primer día como un marcador de adaptación al ejercicio en esta situación, ya que existe una «ventana» de por lo menos 4 días, bajo este sistema de turnos.

REFERENCIAS

Adams WC, Bernauer EM, Dill DB, Bomar JB. 1975. Effects of equivalent sea level and altitude training on VO2 max and running performance. J. Applied Physiol. 39:262-265.

Donoso H, Apud E, Sañudo MC., Santolaya R., 1971 Capacidad aeróbica como índice de adecuación física en muestras de poblaciones (urbanas y nativas de la altura) y en un grupo de atletas de selección. Rev. Méd. Chile, 99:719-731.

Levine, B.D. Roach, R.C, Houston, C.S., 1992. Work and training at altitude. En Hypoxia and Mountain Medicine, Editors Sutton, J.R., Coates G and Houston CS, Queen City Printers Inc, Burlington, Vermont, pp:192-201.

Santolaya R, Donoso H, Apud E, Sañudo MC., 1973. Electrocardiograma y capacidad aeróbica en nativos residentes de altura del altiplano chileno, como índice de aclimatación. Rev. Méd. Chile, 101:433-448

Sutton, JR., 1993. Sea level lessons from high altitude research. En Hypoxia and Molecular Medicine, Editors Sutton JR, Houston CS and Coates G, Queen City Printers Inc, Burlington, Vermont, pp:203-218.

ARTERIAL CHEMORECEPTORS IN TISSUE CULTURE: MORPHOLOGIC AND PHYSIOLOGIC ASPECTS.

J. ALCAYAGA.

LABORATORIO DE NEUROBIOLOGIA, DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE CHILE

INTRODUCTION

Arterial chemoreceptors are involved in the generation of both respiratory and cardiovascular reflexes (for review see Fitzgerald and Lahiri, 1986) in response to changes in the chemical composition of the blood (for review see Eyzaguirre *et al.*, 1983). This sensory system conveys signals from receptor cells (type-I cells), located in the carotid and aortic bodies, to the central nervous system through pathways involving sensory neurons located in the nodose (vagus nerve) and petrosal ganglia (glossopharyngeal nerve). Actually, there is extensive agreement on the idea that generation of chemosensory activity is the result of synaptic control of sensory fibers by neurotransmitters released from type-I cells, initially activated through -at least- two different mechanisms (López-Barneo *et al.*, 1988; Biscoe and Duchon, 1990; González *et al.*, 1992). However, because of the technical difficulties of recording from nerve endings (Hayashida *et al.*, 1980), the ways in which different stimuli converge at the level of sensory endings and sensory fibers are scanty known, thus leaving the understanding of chemosensory encoding at an intuitive stage.

Another possible way to understand chemosensory encoding is to study the responses of sensory neurons both isolated and in close relation with type-I cells (Goldman *et al.*, 1987; Alcayaga and Eyzaguirre, 1990). In this reduced system, synaptic activity generated near the soma could be recorded by means of intracellular electrodes and correlated with natural chemosensory stimuli. The tissue culture technique, capable of placing the cellular components of the chemosensory system in a closer relation, appears as a more promising way to achieve this goal (Goldman *et al.*, 1987; Alcayaga and Eyzaguirre, 1990)

METHODS

Sensory neurons were obtained from rat nodose and carotid bodies were the source of type-I cells. Tissue was extracted, placed in ice-chilled modified Hanks' solution (mHBSS; Ca²⁺Mg²⁺-free), trimmed, rinsed, cut into pieces and dissociated in mHBSS; supplemented with 0.2% collagenase, 0.05% trypsin and 150 U/ml DNase. Dissociation, carried out at 37°C under constant agitation, was ended after 35-60 min by addition of trypsin inhibitor (0.1%) and excess serum (10%), and incubating for 10 min. Cell suspension was centrifuged, suspended in culture medium and seeded in substrate-covered dishes. Carotid body cells and sensory ganglion cells from the same species were mixed directly in the culture dishes. The substrates used were collagen, fibronectin, poly-L-lysine or laminin, while media were either Medium 199 (M199), Ham's F-12 or Eagle's minimum essential medium, all supplemented with 10% horse serum, 10% fetal bovine serum and nerve growth factor (15 ng/ml). The interactions between substrate and media were surveyed in 24-well multiplates, while cultures for recordings were placed in 35 mm Petri-dishes.

Morphological inspection of coarse culture traits and general cellular morphology was achieved by phasecontrast microscopy, while detailed examination was accomplished at the electron microscopy (EM) level.

Electrophysiological recordings, with conventional Current clamp microelectrode (20-70 M Ω) techniques, were performed while superfusing the culture dish with 95% O₂ 5% CO₂ equilibrated Earle's solution (EBSS). Chemosensory stimulation was achieved by local application of buffered (PIPES; 10 mM) acidified EBSS (pH 6.5) from a glass pipette (\approx 10 μ m tip) located near the recorded cell (from 50-100 μ m), and delivered by controlled amplitude and duration pressure pulses.

RESULTS

Morphology of chemosensory constituents in tissue cultures.

A.- Pure sensory ganglia and carotid body cultures.

- i) Sensory neurons: nodose and petrosal ganglion neurons presented similar size and survival rates irrespective of substrate or culture media; M199 enhanced proliferation of non-neuronal cells more than other media. During the first 48-72 hrs, most isolated cultured neurons (>99%) lacked processes remaining round or oval, with 25-100 μ m in major diameter (Fig. 1A). Only a small population of neurons (<0.5%) attached to the substrate in patches devoid of non-neuronal background presented neurites during this period (Fig. 1B). However, unequivocal observation of the processes of neurons laying over non-neuronal background was precluded by cellular background density. After about 4-6 days, the non-neuronal background became confluent, making identification of single neuronal processes uncertain. At this culture time, round to ovoid birefringent neurons over non-neuronal background were frequent (Fig. 1C) and dark, larger neurons could be also observed within the non-neuronal surroundings (Fig. 1D). The number of this last type of neurons was highly variable from dish to dish,

ranging from infrequent to common. After 7-10 days in culture, some patches of confluent background tended to detach from the substrate and retract forming small to large pieces of organized tissue. Cultures could be maintained for up to 60-75 days, with neuronal death occurring throughout this period.

Electron microscopic examination of nodose cultures showed that neurons over non-neuronal background were directly in contact with the culture medium. Deeper in the reorganized tissue, cross-section profiles resembling neuronal processes could be seen, while connective tissue cells and undifferentiated mesenchymal cells constituted the major cellular population.

- ii) Type-I cells: EM examination of rat carotid body cultures showed that type-I cells survived in culture for at least 9 days. Although tissue dissociation times were maintained to obtain isolated cells, type-I cells were always found in small clusters devoid of type-II (sustentacular cells). Longer culture periods (up to 45 days) revealed the presence of type-I-like cells, but almost devoid of dense-cored vesicles. The rest of the cellular population looked much like what was seen in nodose cultures, but neurite profiles were not found.

B.- Sensory ganglia and carotid bodies co-cultures.

Morphologic examination of co-cultures showed characteristics similar to those observed in pure nodose and carotid body cultures. Thus, at the EM level, rat co-cultures appeared as the simple addition of pure culture traits, except for an increase in the number of cross-section profiles appearing as neuronal processes. Membrane densifications, intracellular vesicles or other specializations regarded as indicative of synaptic contacts were not found in any of the cultures, even though no exhaustive examination was conducted.

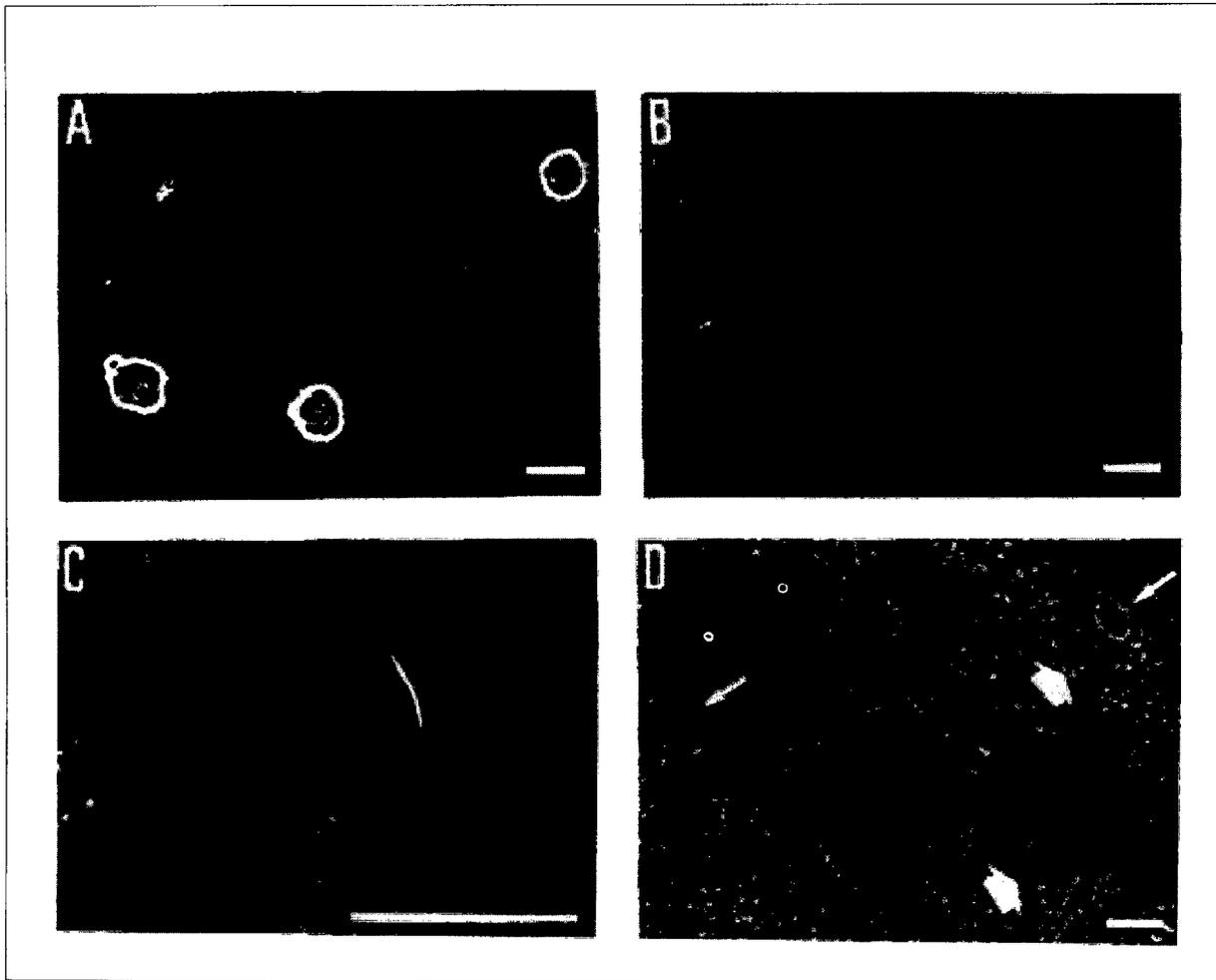


Fig. 1. Petrosal ganglion neurons cultured with M199 on poly-L-lysine substrate. A: 3-day culture neurons lacking processes. B: 3-day culture neuron with a single bifurcated neurite. C: 6-day culture neuron lying over non-neuronal background. The nucleus and nucleolus are prominent. D: 6-day old culture showing both bright (small arrow) and dark (large arrow) neurons. Bar= 100 μ m.

ELECTROPHYSIOLOGY OF SENSORY NEURONS IN TISSUE CULTURES.

A. Pure sensory ganglia cultures.

Nodose and petrosal sensory neurons in culture presented passive and active electrophysiological properties (Fig. 2) similar to those previously reported for whole ganglia, except for a reduction in petrosal neuron afterhyperpolarization (AHP). Action potentials evoked by depolarizing currents could be separated into two distinct categories, based on the presence of an inflection (hump) in the repolarizing phase of the potential. Sensory neurons responded to long lasting depolarizing pulses with single (40%), double (20%) or multiple spikes (40%), uncorrelated to the presence of a hump in the action potential. Most neurons (>97%) were devoid of spontaneous activity, which appeared to be independent of any of the electrophysiologically measured parameters.

Acid stimulation of both petrosal and nodose neurons had inconsistent effects on the membrane potential, ranging from ineffective (Fig. 3C) up to 5-10 mV depolarizations (Fig. 3A) or hyperpolarizations (Fig. 3B). Regardless of these effects on resting membrane potential, acidification also blocked evoked action potentials in a substantial population of neurons (Fig. 3), effect that could be overcome by increasing the depolarizing current.

B. Sensory ganglia and carotid bodies co-cultures.

Passive electrophysiological properties of nodose and petrosal ganglion neurons were largely unaffected by the presence of carotid body cells (Fig. 2), except for a minor significant ($p < 0.05$) change in input resistance and time constant in nodose neurons (not shown) and a larger action potential overshoot (Os) in petrosal neurons (Fig 2B). Conversely, spontaneous activity was 2.5 times higher in co-cultures than in pure nodose ganglia cultures, with action potentials preceded by a slow depolarizing phase, while petrosal ganglion neurons showed low spontaneous activity in both culture conditions. Despite the low spontaneous activity, co-cultured petrosal neurons presented increased repetitive firing (72%) in response to long-lasting pulses, with a reduction of single firing neurons (14%).

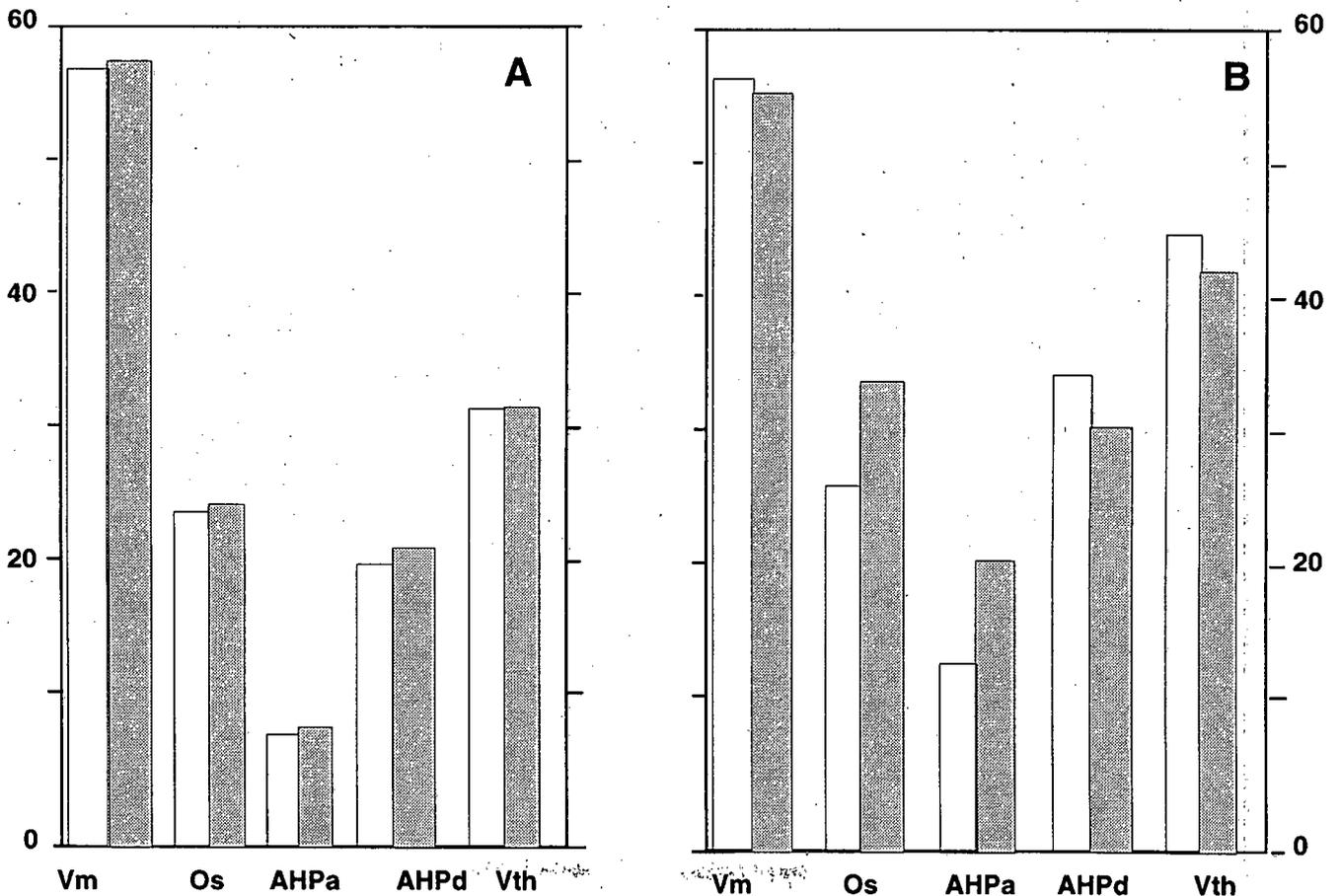


Fig. 2. Electrical properties of nodose (A) and petrosal (B) ganglion neurons cultured (white) or co-cultured with carotid body cells (lined). Resting membrane potential (Vm), action potential overshoot (Os) and threshold (Vth), and after hyperpolarization amplitude (AHPa) measured in mV; after-hyperpolarization (AHPd) measured in ms.

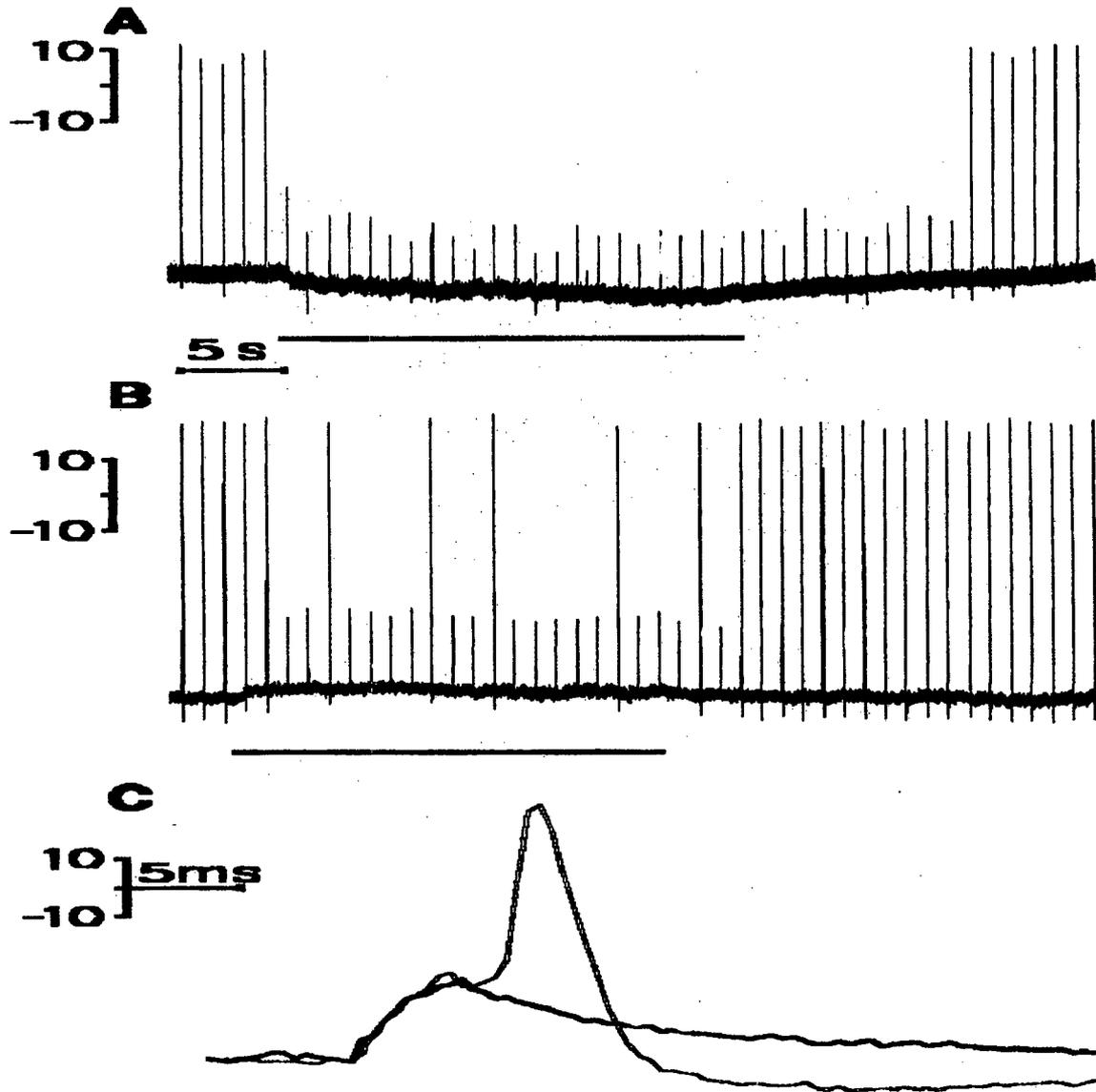


Fig. 3. Effects of acid stimulation (pH 6.5) on Vm and 1 Hz evoked action potentials of cultures nodose neurons. A: acid application (bar) hyperpolarized the neuron and inhibited evoked action potentials; end of stimulation lead to cell repolarization and recovery of activity after 11 s delay. B: a neuron depolarized and partially blocked by acid stimulation, with restitution of Vm and activity short after stimulus cessation. C: Recordings of single depolarizations prior (pale trace) and during (dark trace) acid stimulation. Stimulation blocked evoked action potential, although Vm was not affected and depolarization reached Vth.

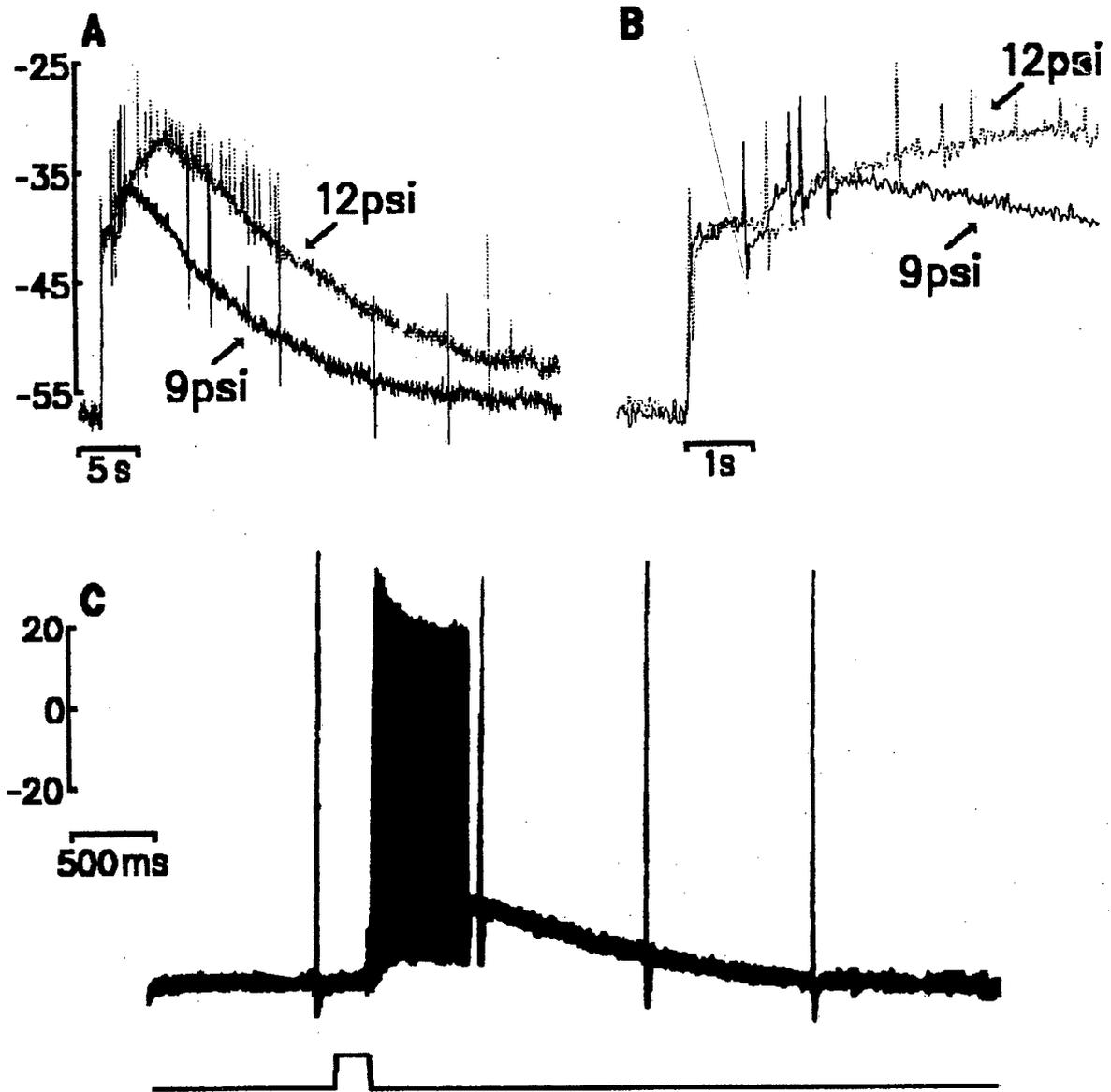


Fig. 4. Acid-evoked (250 ms, pH 6.5.) responses in co-cultured neurons. A: Nodose neuron depolarized by 3 consecutive acid pulses, increasing the maximal depolarization and the repolarization time with increasing ejection pressure. Spikes in record correspond to filtered action potentials, showing higher frequency discharge at higher depolarization (12 psi). B: high speed rendition of data in A, showing similar step depolarization induced by acid despite the increase in ejection pressure (9 vs. 12 psi). Higher acid delivery by increased pressure lengthened the depolarization, and increased frequency of action potentials. C: petrosal ganglion neuron, paced at 1 Hz, stimulated by a single acid pulse (lower panel) depolarized and discharged a train of action potentials. Neuron repolarization was devoid of spontaneous action potentials.

Acid stimulation had similar effects in membrane and evoked action potentials of about 75% of the tested cocultured neurons, with response occurrences similar to those already described for pure cultures. However, the remaining co-cultured neuronal population presented specific acid induced responses, characterized by an increased spontaneous frequency discharge, a large membrane depolarization or both (Fig. 4). In rat co-cultures an increased frequency discharge could be evoked in the absence of membrane depolarization. Both the magnitude of the depolarization (Fig. 4A,B) capable of generating action potentials once threshold was attained (Fig. 4) and the repolarization rate, depended on the amount of acid delivered (Fig. 4A,B). However, petrosal neurons showed a rapidly adapting response (Fig. 4C) whose maximal amplitude depended on the amount of acid solution applied to the cellular surroundings; within 500 ms it reached a stable membrane potential slightly higher than the pre-stimulation level, that was maintained during the rest of the stimulation period. Occasionally, co-cultured petrosal neurons did not respond to the first acid pulse, developing the response from the second pulse on. In rat co-cultures acid-evoked responses appeared after 10-15 days, while in cat petrosal neurons they were present as early as after 6 days.

DISCUSSION

Carotid body cells and both nodose and petrosal ganglion neurons could successfully withstand the dissociation process and the culture conditions used in these studies. Although the cells survived for extended periods (up to 75 days), some morphological properties of type-I cells (dense-core vesicle count) and the number of neurons decreased during the culture period. Type-I cells from carotid body explants maintained their main morphological traits (Goldman *et al.*, 1987) and histochemical properties in tissue culture (Nurse, 1987, 1990).

Thus, the observed morphological decay (reduced dense-cored vesicles count) may reflect a lack of necessary growth factors or nutrients in the environment, because culture conditions were not fully optimized. It should be mentioned, though, that previous studies were based on rat and rabbit neonatal tissue cultures (Goldman *et al.*, 1987; Nurse, 1987, 1990), while our cultures were prepared from adult animals. Hence, species and age differences may account, at least in part, for the discrepancy. On the other hand, EM examination of co-cultures never revealed the presence of synaptic contacts between neurons and type-I cells, thus reducing possible trophic influences between the carotid body and the sensory neurons (Monti-Bloch *et al.*, 1983). Despite the lack of synaptic contacts, the number of cross-section profiles resembling neuronal processes was increased in nodose-carotid body co-cultures, suggesting that glomus tissue enhances neurite extension. Neuronal processes growth enhancement by glomus tissue has been also reported in nodose-carotid body pairs transplanted into the chicken choriollantoic membrane (Gual *et al.*, 1991).

Electrophysiological properties of cultured neurons were similar to those reported for in vitro cat nodose (Gallego and Eyzaguirre, 1978; Puizillot and Gambarelli, 1989) and petrosal ganglion neurons (Belmonte and Gallego, 1983), thus indicating that surviving neurons retain most of their fully developed properties. The presence of fast and «humped» action potential neurons indicate that the cultures were representative of the ganglia population (Gallego and Eyzaguirre, 1978; Belmonte and Gallego, 1983), although the distribution of the population responses was not studied. The most striking difference was the absence of long-lasting AHP in petrosal ganglion neurons, but the reduction of AHP duration is one of the known effects of peripheral axotomy in petrosal neurons (Gallego *et al.*, 1987; Belmonte *et al.*, 1988). Thus, the reduced AHP duration may reflect the lack of target tissue reinnervation by sensory neurons, a fact also revealed by EM inspection of co-cultures. The firing characteristics of nodose neurons in culture were unaffected by the presence of carotid body cells, while the number of repetitive-firing petrosal neurons increased in the co-culture. Petrosal chemoreceptor-related neurons with myelinated fibers (A) respond with single action potentials, while the non-medulated chemoreceptors (C) fire repetitively (Belmonte and Gallego, 1983). The reduction of single firing neuron population in petrosal ganglion co-cultures may reflect a reduction of A-chemoreceptor neurons or a change in their electrophysiological characteristics by effect of glomus tissue. The latter appears as the most likely explanation because of the presence of specific acid-induced responses in the co-cultures. Moreover, it has been shown that electrophysiological properties of dorsal root ganglion neurons are related to their sensory modality (Koerber *et al.*, 1988).

Acid stimulation produced inconsistent effects on membrane potential but blocked evoked action potentials in a substantial population of neurons in both culture conditions. This blockage of evoked action potentials, overridden by increased depolarizing stimuli, has been described in other cultured neurons (Gruol *et al.*, 1980) as well as in Ranvier's nodes (Hille, 1968). A small population of co-cultured neurons responded to acid stimulation in quite a distinct way increasing their spontaneous activity when present, or being depolarized up to threshold were they began to discharge. The depolarizing responses, resembling receptor potentials, are similar to those recorded from spontaneously discharging sensory terminals within the carotid body (Hayashida *et al.*, 1980). However, both sensory neurons responded with multiple action potentials when threshold was attained resembling carotid C-chemoreceptor neuron responses (Belmonte and Gallego, 1983). Thus, the slow acid induced responses recorded in the co-cultures could be the result of the activation of C-type neurons synaptically related to carotid body type-I cells. Nevertheless, a change in electrophysiological properties of cultured A-type neurons cannot be ruled out.

ACKNOWLEDGEMENTS

Work supported by Grant FONDECYT 1133-92, Grants NS05666 and NS07938 from the National Institutes of Health, and Grant AHA 860662 from the American Heart Association.

REFERENCES

- Alcayaga, J. and Eyzaguirre, C. (1990). Electrophysiological evidence for the reconstitution of chemosensory units in co-cultures of carotid body and nodose ganglion neurons. *Brain Res.* 534: 324-328.
- Belmonte, C. and Gallego, R. (1983). Membrane properties of cat sensory neurones with chemoreceptor and baroreceptor endings. *J. Physiol. (Lond.)*. 342: 603-614.
- Belmonte, C., Gallego, R. and Morales, A. (1988). Membrane properties of primary sensory neurones of the cat after peripheral reinnervation. *J. Physiol. (Lond.)*. 405: 219-232.
- Biscoe, T.J. and Duchon, M.R. (1990). Monitoring PO_2 by the carotid chemoreceptor. *News Physiol. Sci.* 5:229-233.
- Eyzaguirre, C., Fitzgerald, R.S., Lahiri, S. and Zapata, P. (1983). Arterial Chemoreceptors. In: J.T. Shepherd and F.M. Abboud (Eds.). *Handbook of Physiology. Sect. 2: The Cardiovascular System. vol. 3: Peripheral Circulation and Organ Flow*, American Physiological Society, Baltimore: Williams & Wilkins, pp 557-621.
- Fitzgerald, R.S. and Lahiri, S. (1986). Reflex responses to chemoreceptor stimulation. In: N.S. Cherniack and J.G. Widdicombe (Eds.). *Handbook of Physiology. Sect. 3: The Respiratory System. vol. 2: Control of Breathing*. American Physiological Society, Baltimore: Williams & Wilkins, pp 313-362.
- Gallego, R. and Eyzaguirre, C. (1978). Membrane and action potential characteristics of A and C nodose ganglion cells studied in whole ganglia and in tissue slices. *J. Neurophysiol.* 41: 1217-1232.
- Gallego, R., Ivorra, I. and Morales, A. (1987). Effects of central or peripheral axotomy on membrane properties of sensory neurones in the petrosal ganglion of the cat. *J. Physiol. (Lond.)*. 391: 39-56.
- González, C., Almaraz, L., Obeso, A. and Rigual, R. (1992). Oxygen and acid chemoreception in the carotid body chemoreceptors. *Trends Neurosci.* 15: 146-153.
- Goldman, W.F., Sato, M., Stensaas, L.J. and Eyzaguirre, C. (1987). Acetylcholine- and dopamine-induced excitation of cultured newborn rabbit nodose ganglion neurons: effects of co-culture with carotid body fragments. In: J.A. Ribeiro and D.J. Pallot (Eds.) *Chemoreceptors in Respiratory Control*. London: Croom Helm, pp 284-295.
- Gruol, D.L., Barker, J.L., Huang, L.-Y.M., MacDonald, J.F. and Smith Jr., T.G. (1980). Hydrogen ions have multiple effects on the excitability of cultured mammalian neurons. *Brain Res.* 183: 247-252.
- Gual, A., Eugenin, J., Alcayaga, J., Stensaas, L.J. and Eyzaguirre, C. (1991). The chick chorioallantoic membrane promotes survival of co-transplanted rat carotid bodies and nodose ganglia. *Brain Res.* 556: 139-144.
- Hayashid, Y., Koyano, H. and Eyzaguirre, C. (1980). An intracellular study of chemosensory fibers and endings. *J. Neurophysiol.* 44: 1077-1088.
- Hille, B. (1968). Charges and potentials at the nerve surface: divalent ions and pH. *J. Gen. Physiol.* 51: 221-236.
- Koerber, H.R., Druzinsky, R.E. and Mendell, L.M. (1988) Properties of somata of spinal dorsal root ganglion cells differ according to peripheral receptor innervated. *J. Neurophysiol.* 60: 1584-1596.
- López-Barneo, J., López-López, J.R., Ureña, J. and González, C. (1988). Chemotransduction in the carotid body: K^+ current modulated by PO_2 in type I chemoreceptor cells. *Science* 241: 580-582.
- Monti-Bloch, L., Stensaas, L.J. and Eyzaguirre, C. (1983). Carotid body grafts induce chemosensitivity in muscle nerve fibers of the cat. *Brain Res.* 270: 77-92.
- Nurse, C.A. (1987). Localization of acetylcholinesterase in dissociated cell cultures of the carotid body of the rat. *Cell Tissue Res.* 250:2127.
- Nurse, C.A. (1990). Carbonic anhydrase and neuronal enzymes in cultured glomus cells of the carotid body of the rat. *Cell Tissue Res.* 261: 65-71.
- Puizillout, J.J. and Gambarelli, F. (1989). Electrophysiological and morphological properties of type C vagal neurons in the nodose ganglion of the cat. *J. Auton. Nervous Syst.* 29: 49-58.

MODULATION OF ARTERIAL CHEMORECEPTOR ACTIVITY AND ITS CONTRIBUTION TO THE HYPOXIC RESPONSE

P. ZAPATA AND R. ITURRIAGA

LABORATORY OF NEUROBIOLOGY,
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE

ABSTRACT

The increased ventilation of mammals exposed to high altitude is a reflex response to hypoxia, since it is absent after cutting the afferences from the arterial chemoreceptors (carotid and aortic bodies). The carotid body afferents have a resting level of chemosensory discharges under normoxic conditions, which is transiently suppressed by breathing pure oxygen for a few seconds. On the contrary, the rate of chemosensory discharges is exponentially increased by reducing the partial pressure of oxygen.

Dopamine is present within the glomus cells of the carotid bodies of all mammals, from where it is released when the entire animal or the isolated carotid bodies are acutely exposed to hypoxia. We have observed that application of dopamine (or dopamine analogues) to carotid bodies (*in situ* or superfused *in vitro*) briefly decreases or suppresses their chemosensory discharges, although a delayed excitation may be observed after desensitization or blockade of the inhibitory effect. The intravenous administration of dopamine results in a transient reflex reduction of ventilatory movements in humans, cats, dogs, rabbits, goats and rats. On the contrary, application of dopamine antagonists transiently increases the frequency of chemosensory discharges recorded from carotid bodies and also induces a transient reflex increase in ventilation in the entire animals.

The above observations point to an apparent discrepancy: while dopamine appears to be an inhibitor of chemoreceptor activity, its release is increased when carotid body chemoreceptor discharges and reflex ventilation are stimulated by hypoxia. We observed that after blockade by domperidone of dopamine effects, the excitatory chemosensory responses to cyanide were not reduced or suppressed, but -on the contrary- slightly enhanced. This supports the idea that dopamine is a modulator released from glomus cells exposed to hypoxia, that brakes the degree of excitation of the carotid body and thus limits the extent of the reflex hyperventilation of the animal.

Key words: arterial chemoreceptors, carotid body, chemoreflexes, dopamine, modulation, ventilation.

RESUMEN

El aumento de la ventilación de los mamíferos expuestos a la altura es una respuesta refleja a la hipoxia, que desaparece al cortar las aferencias desde los quimiorreceptores arteriales (cuerpos carotídeos y aórticos). Las aferencias carotídeas presentan descargas en condiciones normóxicas, que desaparecen transitoriamente al respirar oxígeno puro por pocos segundos, pero que aumentan exponencialmente al reducir la presión parcial de Oxígeno.

Hay dopamina en las células glómicas de los cuerpos carotídeos de todos los mamíferos, desde donde se libera cuando el animal o la preparación aislada se expone agudamente a la hipoxia. Hemos observado que la aplicación de dopamina y sus análogos a cuerpos carotídeos (*in situ* o superfundidos *in vitro*) disminuye o suprime brevemente sus descargas quimiosensoriales, aunque puede haber excitación retardada después de la desensibilización o bloqueo del efecto inhibitorio. La dopamina intravenosa produce hipoventilación transitoria refleja en humanos, gatos, perros, cabras y ratas. Por el contrario, los antagonistas dopaminérgicos producen aumentos transitorios de la frecuencia quimiosensorial carotídea y de la ventilación.

Las observaciones anteriores muestran una discrepancia aparente entre los efectos inhibitorios de la dopamina sobre la actividad quimiorreceptora y su liberación cuando las descargas quimiosensoriales y la ventilación refleja son estimuladas por la hipoxia. Observamos que después del bloqueo por domperidona de los efectos de la dopamina, las respuestas quimiosensoriales excitatorias al cianuro no estaban reducidas o suprimidas, sino -por el contrario- discretamente potenciadas. Esto apoya la idea que la dopamina es un modulador liberado por las células glómicas expuestas a la hipoxia, que frena la excitación del cuerpo carotídeo y así limita la hiperventilación refleja del animal.

Palabras Claves: Cuerpo carotídeo, dopamina, modulación, quimiorreceptores arteriales, quimiorreflejos, ventilación.

THE ARTERIAL CHEMORECEPTORS AND REFLEX ADJUSTMENTS IN VENTILATION

Ventilation is acutely increased when animals are subjected to a decrease in the availability of oxygen to the tissues. Thus, when sea-level resident mammals are exposed to high altitude, they increase their ventilation to compensate for the reduced oxygen pressure (hypobaric hypoxia).

The hyperventilatory response to any kind of hypoxia (hypoxic, hypoxemic, stagnant or cytotoxic) is absent when the neural afferences from the arterial chemoreceptors (carotid and aortic bodies) have been severed (see Serani & Zapata, 1981; Fitzgerald & Lahiri, 1986; also Fig. 2). Thus, this is a reflex response to arterial chemoreceptor stimulation by hypoxia.

Recordings from the carotid body afferent nerve supply (carotid nerve or Hering's sinus nerve, a tiny branch of the glossopharyngeal nerve) reveal a resting level of chemosensory discharges under normoxic conditions (Eyzaguirre & Zapata, 1984). They are transiently suppressed by breathing pure oxygen for a few seconds (Dejours, 1962). On the contrary, the rate of chemosensory discharges is exponentially increased by reducing the arterial pressure of oxygen, either by reducing its concentration in air inhaled or decreasing the barometric pressure (Eyzaguirre & Zapata, 1984; Fig. 1). The relationship between the frequency of chemosensory discharges and the arterial pressure of oxygen may be modified by other chemical constituents of the blood (carbon dioxide, hydrogen ions) or physical conditions of the circulation through the carotid bodies (flow, osmolarity, temperature) (Eyzaguirre & Zapata, 1984).

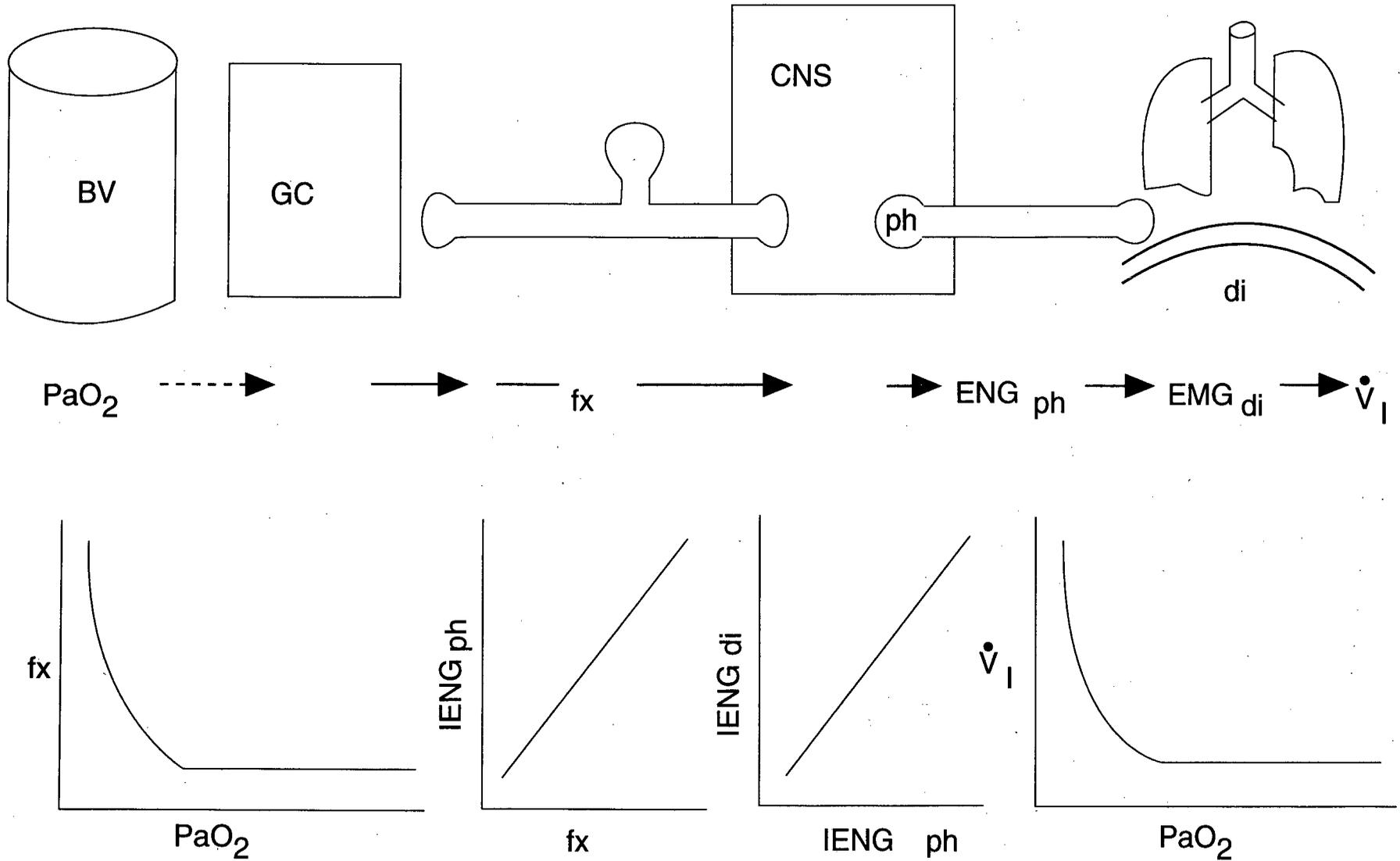


Fig 1. Sequential events between arterial chemoreceptor excitation and pulmary ventilation. Top, anatomical diagram; middle, flow chart; bottom relationships between events. **BV**, blood vessel; **CNS**, central nervous system; **di**, diaphragm; **EMG**, electromyogram; **ENG**, electroneurogram; **fx**, frequency of chemosensory discharges; **GC**, glomus cell; **IEMG**, integrated electromyogram; **IENG**, integrated electroneurogram; **PaO₂**, arterial pressure of oxygen; **ph**, phrenic nervi; **VI**, inspiratory minute volume; **x**, chemosensory neuron.

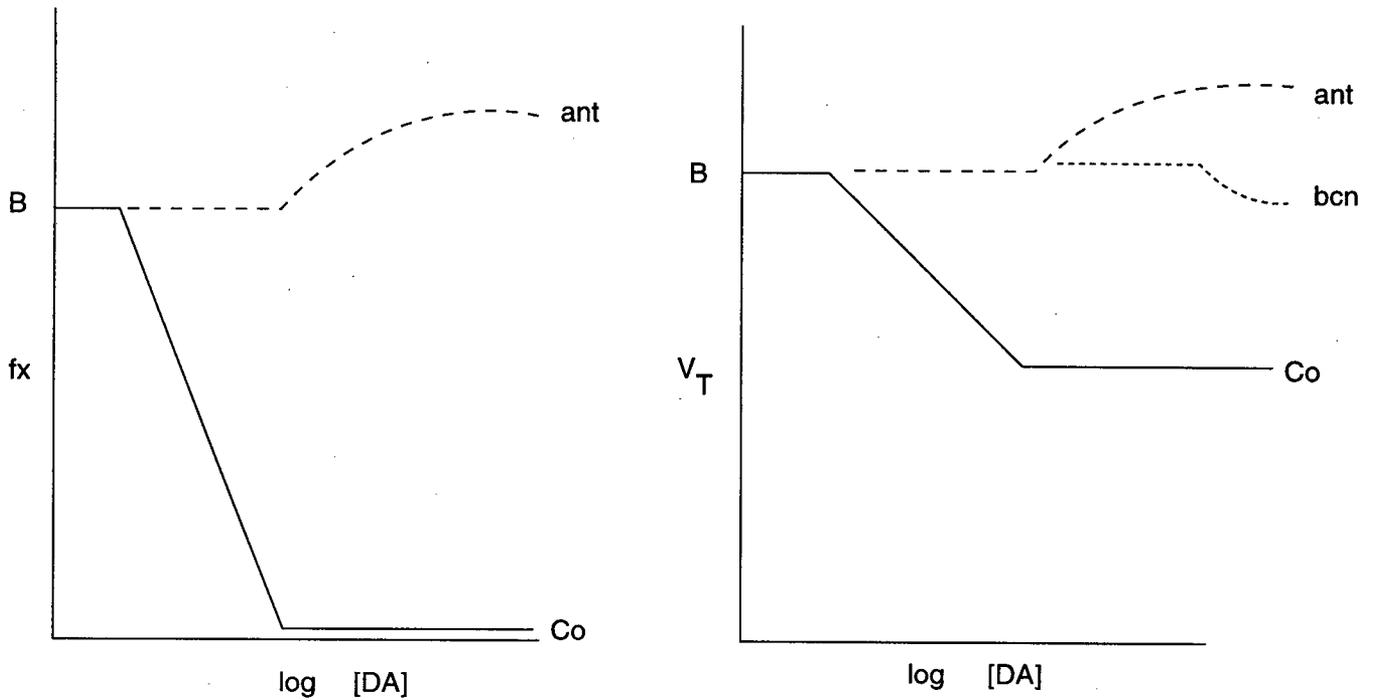


Fig 2. Dose-response curves for chemosensory (left) and ventilatory (right) effects of dopamine (DA; abscissae, in logarithmic scales). Ordinates, frequency of chemosensory discharges (f_x) and tidal volume (V_T) B, basal levels. Co, control conditions, ant, after treatment with dopaminergic antagonists; bcn, after bilateral carotid neurotomy. The slight depression of ventilation observed in response to large doses of dopamine after bcn (and persistent after bilateral aortic neurotomy, thus attaining complete peripheral chemo- and barodenervation) is a consequence of increased pressure of cerebrospinal fluid (Cushing's effect).

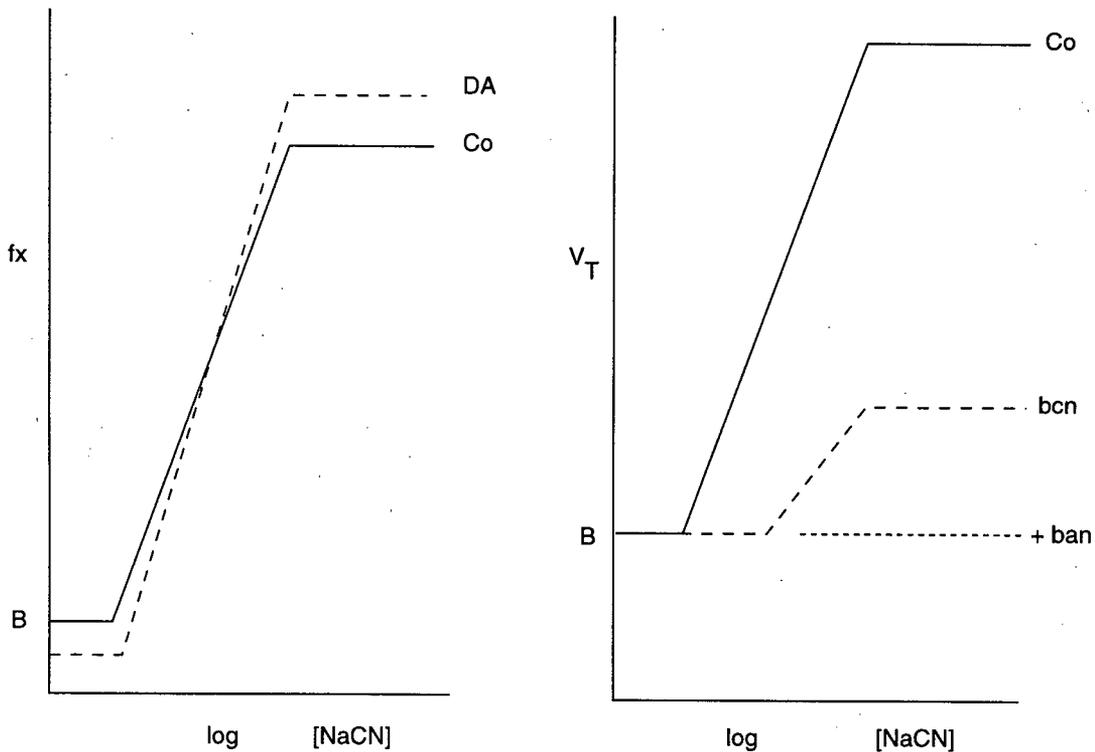


Fig 3. Dose-response curves for chemosensory (left) and ventilatory (right) effects of sodium cyanide (NaCN; abscissae, in logarithmic scales). Ordinates, frequency of chemosensory discharges (f_x) and tidal volume (V_T) B, basal levels. Co, control conditions; DA, during intravenous infusion of dopamine; bcn, after bilateral carotid neurotomy; + ban, after additional bilateral aortic neurotomy.

The carotid and aortic bodies are very small organs, but they are extremely well vascularized and innervated. The parenchyma is constituted essentially by glomus cells, nerve terminals and sustentacular cells (Eyzaguirre *et al.* 1983). Although the carotid body blood vessels receive sympathetic innervation, the nerve endings making synapses with the glomus cells were confirmed to be of sensory nature (Hess & Zapata, 1969). Thus, the carotid body is conceived of as a composite receptor, where the natural stimuli act upon the glomus cells, which in turn release a transmitter that excites the chemosensory nerve endings (Fig. 1).

Several substances which serve as transmitters elsewhere have been found in carotid body tissues, mostly stored within glomus cells. The presence, release and actions of acetylcholine have been well documented (Eyzaguirre & Zapata, 1968a, b, c). The presence of catecholamines within carotid body tissues has also been demonstrated (Zapata *et al.*, 1969); in most species, dopamine is predominant over noradrenaline and adrenaline (Zapata, 1982). This leads us to focus our attention on the role that dopamine may play in the control of the generation of chemosensory discharges within the carotid bodies.

DOPAMINE ACTIONS WITHIN THE CAROTID BODY

Dopamine is present in the carotid bodies (precisely within glomus cells) of all mammalian species so far studied. It is present there even after interrupting the sensory and sympathetic innervation of these organs, (Hanbauer & Hellström, 1978). Glomus cells are endowed with all the enzymes required for dopamine synthesis (Fidone *et al.*, 1983). Dopamine is released from glomus cells when the entire animal or the isolated carotid bodies are acutely exposed to hypoxia of whichever nature (Fidone *et al.*, 1982b; Hanbauer & Hellström, 1978). Moreover, prolonged hypoxia results in large increases in carotid bodies dopamine content, consistently more pronounced than those of other chemical constituents (Hanbauer *et al.*, 1981).

Only after 3 hours of exposure of rabbits to an hypoxic environment (10 or 14% O₂) in N₂, their carotid bodies exhibit an increase in the rate of dopamine synthesis when ³H tyrosine is used as precursor, but not when ³H DOPA is used as precursor (Fidone *et al.*, 1982a). This points to an activation of tyrosine hydroxylase activity within the glomus cells. This enzymatic activation has been found to be due to an hypoxic stimulation of gene expression, revealed by an increased concentration of the messenger RNA for tyrosine hydroxylase (Czyzyk-Krzeska *et al.*, 1992).

The possibility that dopamine could play the role of the excitatory transmitter between glomus cells and chemosensory nerve terminals was indeed attractive. Initial attempts to explore this possibility consisted of testing the effects of systemic intravenous or local intraarterial injections of dopamine upon the rate of chemosensory discharges recorded from the carotid nerve or upon ventilation (Fig. 2). However, the direct effects of dopamine upon the chemosensory nerve endings may be masked by its vasoconstrictor and vasodilating effects upon carotid body blood vessels. This was solved by using a superfused carotid body preparation *in vitro*, where vascular effects are absent. Working with carotid bodies excised from cats, we observed that bolus injections of dopamine into the superfusing fluid evoked transient reductions in the resting rate of chemosensory discharges, an adequate dose producing a brief arrest of chemosensory impulses (Zapata, 1975). However, when dopamine intrastream injections were repeated at short intervals or given in large doses, a desensitization of the inhibitory effect was observed in the *in vitro* preparation, after which large doses of dopamine were able to induce excitatory effects.

In order to attain a pharmacological characterization of the receptors involved in the chemosensory effects of dopamine, we moved to carotid body preparations *in situ*, where desensitization does not occur. There, we observed that the inhibitory effects of dopamine were mimicked by its analogues apomorphine and amantadine (Llados & Zapata, 1978a), but not by adrenaline, noradrenaline or adrenergic agonists (Llados & Zapata, 1978b). Otherwise, the inhibitory effects of dopamine were not reversed by either alpha-(phenoxybenzamine, phentolamine) or beta-adrenergic (propranolol, dichloro-isoproterenol) blockers (Llados & Zapata, 1978b). However, the inhibitory actions of dopamine were reversed by phenothiazines (chlorpromazine, perphenazine) and butyrophenones (haloperidol, spiroperidol, well known dopaminergic antagonists (Llados & Zapata, 1978a; Fig. 2). Thus, the inhibitory effects of dopamine upon chemosensory activity are not mediated by alpha- or beta-adrenoceptors, but by specific dopaminoreceptors. However, delayed excitatory chemosensory responses to large doses of dopamine may be observed after treatment with dopaminergic blockers, these excitatory responses are partly explained by alpha-mediated vasoconstriction of carotid body blood vessels.

Later observations contributed to a further characterization of the dopaminoreceptors involved in the carotid body inhibition by dopamine. Specific D-2 blockers, such as benzamides (metoclopramide, sulpiride) (Zapata *et al.*, 1983), thioxanthenes (alpha-flupenthixol) (Docherty & McQueen, 1978) and aralkylpiperidines (pimozide, domperidone) (Aminoff *et al.*, 1978; Zapata & Torrealba, 1984) were effective antagonists of dopamine induced chemosensory inhibition.

The fact that the frequency of chemosensory discharges is immediately increased after application of spiroperidol (Llados & Zapata, 1978a), sulpiride (Zapata *et al.*, 1983) and domperidone (Zapata & Torrealba, 1984) suggests that the generation of carotid body sensory impulses is under a tonic inhibitory influence exerted by a continuous release of dopamine from glomus cells.

MODULATORY ROLE OF DOPAMINE

The above observations point to an apparent discrepancy with regard to the role of dopamine in the control of chemosensory discharges. Dopamine appears to be mostly an inhibitory agent of chemoreceptor activity, but its release is increased when the carotid body chemoreceptor discharges and reflex ventilation are stimulated by hypoxia. The release of an excitatory agent from glomus cells exposed to hypoxia may be well understood, but that of an inhibitory agent is difficult to seize.

The effects of dopamine infusions upon carotid chemosensory responses to hypoxic stimuli have been studied in pentobarbitone-anesthetized cats (Cárdenas & Zapata, 1980). Basal chemosensory activity was maintained at reduced levels during dopamine infusions. Hypoxic reactions were tested by dose-response curves to cyanide, a substance that produces cytotoxic hypoxia through interference with the electron transport chain within cells. While the sensitivity to NaCN was not modified, the reactivity to this hypoxic agent was reduced for small doses, but enhanced for large doses (Fig. 3). This dual action of dopamine suggests a modulatory role, by which the carotid chemosensory responses to slight hypoxic stimuli are inhibited, while those to intense hypoxic stimuli are potentiated. The modulatory role exerted by dopamine at the level of arterial chemoreceptors had been proposed previously (Zapata, 1977).

The above hypothesis has been sustained by experiments of Hsiao *et al.* (1989), in which they recorded chemosensory discharges from single carotid nerve fibers in chloralose anesthetized cats successively exposed to hyperoxia, normoxia and hypoxia. In the three conditions, the basal frequencies of chemosensory impulses were increased after treatment with the dopaminergic antagonist domperidone.

Recently, we (Iturriaga *et al.*, 1993) have been studying the effects of domperidone upon the strength and time course of the carotid body chemosensory excitation provoked by brief inhalations of 100% N₂ (to displace O₂ from the airways and blood) and intravenous injections of cyanide. After domperidone blockade of the effects of dopamine (exogenous or released from glomus cells), the chemosensory responses to cyanide were not reduced or suppressed, but -on the contrary- slightly enhanced. This supports the idea that dopamine is a modulator released from glomus cells exposed to hypoxia, that brakes the degree of excitation of the carotid body and thus limits the extent of the reflex hyperventilation of the animal.

DOPAMINE ACTIONS UPON VENTILATION

The impulses generated from the carotid and aortic bodies are continuously impinging upon the medullary ventilatory centers (Fig. 1) and thus they contribute to establish the level of ventilation under resting conditions. This so called «peripheral chemosensory drive» can be abruptly interrupted by ventilating the animal with pure O₂ (a test proposed by Dejours, 1962) or by injecting dopamine intravenously (Zapata & Zuazo, 1980). The Chemosensory drive is mostly dependent on the afferent activity from the carotid bodies, with a negligible contribution of the aortic bodies under normoxic eucapnic conditions (Eugenin *et al.*, 1989). Thus, the brief reduction in ventilation of the entire animal evoked by the sudden withdrawal of the peripheral chemosensory drive may be used as an indirect evidence of the inhibition of carotid chemosensory impulses.

In the intact pentobarbitone-anesthetized cat, the intravenous infusion of dopamine results in a reflex reduction in the amplitude of ventilatory movements, an effect which is no longer observed after severance of the carotid nerves (Zapata & Zuazo, 1980; Fig. 2). A similar reduction in ventilation has been observed in humans receiving infusions of dopamine within a clinical dosage range (Welsh *et al.*, 1978), an effect that is reversed after administration of haloperidol (Bainbridge & Heistad, 1980). A transient reduction in ventilation is also observed in pentobarbitone-anesthetized rats in response to intravenous injections of dopamine, an effect which is no longer observed after bilateral section of the carotid nerves (Cárdenas & Zapata, 1981). Contrariwise, the injections of spiroperidol (Zapata & Zuazo, 1982) and domperidone (Zapata & Torrealba, 1987) to intact cats are followed by immediate but transient reflex increases in ventilation, which are ascribed to the sudden blockade of the tonic inhibition exerted by dopamine at the level of the carotid bodies.

Brief hypoxic challenges -such as those induced by short periods of inhalation of 100% N₂ (hypoxic hypoxia) or intravenous injections of boluses of NaCN (cytotoxic hypoxia)- result in brief increases in pulmonary ventilation. By studying the changes in the dose-response curves of the ventilatory effects of NaCN in intact cats and after sections of the aortic and carotid nerves, in different sequences, it has been shown that ventilatory reactions to hypoxic excitation are entirely reflex responses originated from the arterial chemoreceptors and that the carotid bodies are their main sources (Serani & Zapata, 1981; Fig. 3). Therefore, a comparison of the dose-response curves describing the ventilatory chemoreflexes induced by NaCN in intact cats before and after administration of domperidone, a dopaminergic blocker that does not cross the blood-brain barrier will reveal if these ventilatory reactions are limited or shortened by the release of endogenous dopamine by the carotid bodies challenged by hypoxic episodes.

MODULATION OF CHEMORECEPTORS BY EXPOSURE TO HIGH ALTITUDE

Now, what about prolonged hypoxic challenges, like those that occur after climbing to high altitude and sojourning for weeks or months over there?

The initial hyperventilation exhibited by lowlanders on their first ascents to high altitudes is mainly derived from the hypoxic stimulation of their carotid bodies. However, awake cats exposed for 3-4 weeks to isocapnic hypoxia (simulated altitude of 5.5 km) present respiratory alkalosis during room air breathing, but their hypoxic ventilatory responsiveness becomes reduced (Tatsumi *et al.*, 1991). When these cats were anesthetized (with chloralose and urethane) and subjected to simultaneous recordings of carotid chemoreceptor activity and ventilation during progressive hypoxia, reduced chemoreceptor responsiveness and attenuated chemosensory translation into ventilation were found. Thus, the diminished hypoxic ventilatory response observed in chronic hypoxia is contributed by both peripheral and central factors. The attenuation of chemoreceptor function in humans after long term exposure to high altitude is well known. Thus, after 3 to 39 years of residency at an altitude of 3,100 m (Leadville, Colorado, USA) the parameter A, defining the hyperbolic regression of minute ventilation on alveolar pressure of O₂, is reduced to 43% of that observed in residents at an altitude of 1,600 m (Denver, Colorado, USA); interestingly, the value was further reduced to 9.6% in natives living at 3,100 m altitude (Weil *et al.*, 1971). The blunted respiratory response to hypoxia of native highlanders is well known.

Both rabbits exposed to hypobaric hypoxia (raised in Cerro Pasco, Peru, 4,300 m altitude) and to normobaric hypoxia (kept in a chamber) for 3-6 months exhibit a pronounced enlargement of their carotid bodies (Smith *et al.*, 1986). When animals are transferred from sea level to high altitude, the carotid bodies are enlarged in cattle, guinea-pigs and rabbits, but not in llamas and alpacas (Heath *et al.*, 1985). Long-term exposure of rats to hypoxic hypoxia (atmosphere of 10% O₂ + 90% N₂) produces within 2 days a sizeable increase in the dopamine content of their carotid bodies, which attains 5.4 times basal levels after 4 weeks, at which time the protein content of those carotid bodies has increased only to 2.8 times normal values (Hanbauer *et al.*, 1981). Significant increases in rat carotid bodies size and weight are observed within 1 week of exposure to this atmosphere. They result from cell hypertrophy and hyperplasia.

Which is the meaning of the increased content of dopamine -an inhibitory agent- within an enlarged and highly stimulated organ? It appears that the restraining of chemosensory discharges may become more important for the functioning of the arterial chemoreceptors during the adjustment of ventilation to a chronically hypoxic environment. Searching for the chemosensory and ventilatory effects of dopaminergic blockers under those circumstances might contribute to provide an answer.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks are due to Mrs Carolina Larraín for her help during the preparation of this document and the illustrations.

Work supported by grant 1930645 from FONDECYT.

REFERENCES

- Aminoff MJ, Jaffe RA, Sampson SR, Vidruk EH (1978). Effects of droperidol on activity of carotid body chemoreceptors in cat. *Br. J. Pharmacol.* 63: 245-250.
- Bainbridge CW, Heistadd D (1980). Effect of haloperidol on ventilatory responses to dopamine in man. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 213:13-17.
- Cárdenas H, Zapata P (1980). Dual effects of dopamine upon chemosensory responses to cyanide. *Neurosci. Lett.* 18: 317-322.
- Cárdenas H, Zapata P (1981). Dopamine-induced ventilatory depression in the rat mediated by carotid nerve afferents. *Neurosci. Lett.* 24:29-33.
- Czyzyk-Krzeska MF, Bayliss DA, Lawson EE, Millhorn DE, (1992) Regulation of tyrosine hydroxylase gene expression in the rat carotid body by hypoxia. *J Neurochem* 58: 1538-1546.
- Dejours P (1962) Chemoreflexes in breathing. *Physiol Rev* 42: 335-358
- Docherty RJ, McQueen DS (1978). Inhibitory action of dopamine on cat carotid chemoreceptors. *J. Physiol. London* 279: 425-436.
- Eugenin J, Larraín C, Zapata P (1989). Correlative contribution of carotid and aortic afferences to the ventilatory chemosensory drive in steady-state normoxia and to the ventilatory chemoreflexes induced by transient hypoxia. *Arch. Bio. Med. Exp.* 22: 395-408.
- Eyzaguirre C, Zapata P (1968a). Pharmacology of pH effects on carotid body chemoreceptors in vitro. *J Physiol, London* 195:557-588.

- Eyzaguirre C, Zapata P (1968b). The release of acetylcholine from carotid body tissues. Further study on the effects of acetylcholine and cholinergic blocking agents on the chemosensory discharge. *J. Physiol.*, London 195: 589-607.
- Eyzaguirre C, Zapata P (1968c). A discussion of possible transmitter or generator substances in carotid body chemoreceptors. In: RW Torrance, ed: *Arterial Chemoreceptors*- Oxford: Blackwell., pp 213-25.
- Eyzaguirre C, Zapata P (1984). Perspectives in carotid body research. *J. Appl. Physiol.* 57: 931-957.
- Eyzaguirre C, Fitzgerald RS, Lahiri S, Zapata P (1983). Arterial chemoreceptors. In: American Physiological Society (ed) *Handbook of Physiology*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins Sect 2, vol 3, pp 557-621.
- Fidone S, Gonzalez C, Yoshizaki K (1982a). Effects of hypoxia on catecholamine synthesis in rabbit carotid body in vitro. *J Physiol*, London 333: 81-91.
- Fidone S, Gonzalez C, Yoshizaki K (1982b). Effects of low oxygen on the release of dopamine from the rabbit carotid body in vitro. *J Physiol*, London 333: 93-110.
- Fidone SJ, Stensaas LJ, Zapata P (1983) Sites of synthesis, storage, release and recognition of biogenic amines in carotid bodies. In: Hacker, Rgo'Regan, eds: *Physiology of the Peripheral Arterial Chemoreceptors*. Amsterdam: Elsevier/North-Holland. pp21-44.
- Fitzgerald RS, Lahiri S (1986). Reflex responses to chemoreceptor stimulation. In: American Physiological Society (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 3, Vol 2. Baltimore, MD: Waverly. pp 313-362.
- Hanbauer I, Hellstrom S (1978). The regulation of dopamine and noradrenaline in the rat carotid body and its modification by denervation and by hypoxia. *J. Physiol*, London. 282: 21-34.
- Hanbauer I, Karoum F, Hellstrom S, Lahiri S (1981). Effects of hypoxia lasting up to one month on the catecholamine content of the rat carotid body. *Neuroscience* 6: 81-86.
- Heath D, Smith P, Fitch R, Harris P (1985). Comparative pathology of the enlarged carotid body. *J Comp Pathol* 95: 259-271.
- Hess A, Zapata P (1972). Innervation of the cat carotid body: Normal and experimental studies. *Fed Proc* 31: 1365-1382.
- Hsiao C, Lahiri S, Mokashi A (1989). Peripheral and central dopamine receptors in respiratory control. *Respir. Physiol.* 76: 327-336.
- Iturriaga R, Larraín C, Zapata P (1993). Efecto del bloqueo dopaminérgico por domperidona sobre la quimiorrecepción en el cuerpo carotídeo. *Notic. Biol. I* (2): 107 (Abstract).
- Llados F, Zapata P (1978a). Effects of dopamine analogues and antagonists on carotid body chemosensors in situ. *J. Physiol.*, London, 274: 487-499.
- Llados F, Zapata P (1978b). Effects of adrenoceptor stimulating and blocking agents on carotid body chemosensory inhibition. *J. Physiol*, London. 274: 501-509.
- Serani A, Zapata P (1981). Relative contribution of carotid and aortic bodies to cyanide-induced ventilatory responses in the cat. *ArchIntl. Pharmacodyn. Thé.* 252: 284-297.
- Smith P, Heath D, Fitch R, Hurst G, Moore D, Weitzenblum E (1986). Effect on the rabbit carotid body of stimulation by almitrine, natural high altitude, and experimental normobaric hypoxia. *J. Pathol.* 149: 143-153.
- Tatsumi K, Pickett CK, Weil JV (1991). Attenuated carotid body hypoxic sensitivity after prolonged hypoxic exposure. *J. App.I Physiol.* 70: 748-755.
- Weil JV, Bynre-Quinn E, Sodal IE, Filley GF, Grover RF (1971) Acquired attenuation of chemoreceptor function in chronically hypoxic man at high altitude. *J. Clin. Invest.* 50: 186-195
- Welsh MI, Heistad DD, Abboud FM (1978). Depression of ventilation by dopamine in man. Evidence for an effect on the chemoreceptor reflex. *J. Clin. Invest.* 61: 708-713.
- Zapata P (1975). Effects of dopamine on carotid chemo- and baroreceptors in vitro. *J. Physiol*, London. 244: 235-251.
- Zapata P (1977.) Modulatory role of dopamine on arterial chemoreceptors. *Adv Biochem Psychopharmacol* 16: 291-298.

Zapata P (1982). Arterial chemoreceptors: searching for transmitter and modulator substances. In: S Kalsner, ed: Trends in Autonomic Pharmacology, vol 2. Baltimore, Md: Urban & Schwarzenberg. pp 343-361.

Zapata P, Torrealba F (1984). Blockade of dopamine-induced chemosensory inhibition by domperidone. *Neurosci Lett* 51:359-364.

Zapata P, Torrealba F (1987). Interference by domperidone on chemosensory and ventilatory responses to dopamine. In: JA Ribeiro, DJ Pallot, eds: Chemoreceptors in Respiratory Control. London: Croom. Helm. pp 322-333.

Zapata P, Zuazo A (1980). Respiratory effects of dopamine-induced inhibition of chemosensory inflow. *Respir. Physiol.* 40: 79-92.

Zapata P, Zuazo A (1982). Reversal of respiratory responses to dopamine after dopamine antagonists. *Respir. Physiol.* 47: 239-255.

Zapata P, Hess A, Bliss EL, Eyzaguirre C (1969). Chemical, electron microscopic and physiological observations on the role of catecholamines in the carotid body. *Brain Res.* 14: 473-496.

Zapata P, Serani A, Lavados M (1983). Inhibition in carotid body chemoreceptors mediated by D-2 dopaminoreceptors: antagonism by benzamides. *Neurosci. Lett.* 42: 179-184.

DYNAMICS AND ENDOCRINE COMPONENTS OF THE CARDIOVASCULAR RESPONSE TO ACUTE HYPOXAEMIA IN THE LLAMA FETUS COMPARED TO THE SHEEP FETUS

DINO A. GIUSSANI*, RAQUEL A. RIQUELME#, HUGH H. MCGARRIGLE*, FERNANDO A. MORAGA, CRISTIAN R. GAETE, EMILIA M. SANHUEZA, MARK A. HANSON* & ANIBAL J. LLANOS.

DEPTO. DE MEDICINA EXPERIMENTAL, CAMPUS ORIENTE, FACULTAD DE MEDICINA.

#DEPTO. DE BIOQUIMICA-BIOLOGIA MOLECULAR, FACULTAD CIENCIAS QUIMICAS FARMACEUTICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE, CASILLA 16038, SANTIAGO 9, CHILE, AND

*DEPARTMENT OF OBSTETRICS & GYNAECOLOGY, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, LONDON WC1E 6HX, U.K.

INTRODUCTION

A major stimulus for high altitude perinatal research has come from the clinical observations that at altitude newborn babies are generally small in size (Kruger and Arias-Stella, 1970; Tejerina *et al.*, 1971) and the rates of prematurity and neonatal mortality are high (McClung, 1969). Although other characteristics determining birthweight and neonatal outcome in man also vary with altitude, such as socio-economic status and availability of medical care, several studies in man controlling for these variables (Grahn *et al.*, 1963; Mazess, 1966) and animal studies (Chiodi, 1962; Johnson & Roofe, 1965) have provided evidence supporting the concept of direct effects of the hypoxia of life at high altitude.

The fetus obtains its oxygen through the utero-placental and umbilical circulations and achieves tissue oxygenation via the distribution of oxygenated blood to the different organs within its body. Much physiological and clinical research has therefore been focused on the control and development of the fetal cardiovascular system. Our current understanding of the effects of the hypoxia of life at high altitude on the fetus has thus been gained from comparisons of the fetal cardiovascular responses to acute hypoxaemia between highland and lowland species. Much of this knowledge in lowland species has been obtained from experiments in the sheep fetus and in highland species from experiments in the llama fetus.

CARDIOVASCULAR RESPONSES TO ACUTE HYPOXAEMIA IN THE SHEEP FETUS

The late-gestation sheep fetus mounts a coordinated response to an episode of hypoxaemia which is characterized by a gradual increase in arterial blood pressure with a transient bradycardia (Boddy *et al.*, 1974) and an increase in fetal heart rate variability (Dalton *et al.*, 1977; Parer *et al.*, 1980). In addition, the combined ventricular output (CVO), the sum of right and left ventricular outputs, is redistributed towards the cerebral, myocardial and adrenal circulations, shunting blood flow away from the peripheral circulations (Cohn *et al.*, 1974; Peeters *et al.*, 1979). Umbilical and placental blood flow is maintained during hypoxaemia (Cohn *et al.*, 1974).

Control of the fetal cardiovascular responses to acute hypoxaemia involves neural responses, which are usually rapid in onset, and endocrine responses which develop more slowly. Greater information relating to the control of any specific cardiovascular response may thus be obtained, in the first instance, by determining its rate of onset.

Continuous measurement of heart rate responses during hypoxaemia has revealed that the bradycardia occurs within 2-3 minutes of the start of the challenge. Initially, measurements of the redistribution of CVO occurring during hypoxaemia were achieved by the use of radio-labelled microspheres. Because blood flow determined in this way can only be measured at the time when the microspheres impact in the tissue, this technique only gives the experimenter a snapshot of the blood flow through that organ at the time of the injection. In contrast, continuous measurements of blood flow in specific circulations may now be obtained via implanted transit-time flow transducers (see Burton and Gorewit, 1984). These Transonic flow probes (Transonics, Inc. Ithaca, NY) give a direct and continuous measure of flow, independent of flow profile and vessel cross-sectional area. Rapid changes in blood flow which may occur, for example at the onset of a hypoxaemic challenge, may be studied in detail using them.

Through implantation of Transonic flow transducers around a carotid and a femoral artery in the late gestation sheep fetus it has been possible to demonstrate that, whilst calculated carotid vascular resistance (blood pressure/ carotid blood flow) is maintained during hypoxaemia, there is a large, fast increase in femoral vascular resistance soon after the onset of the hypoxaemic challenge (Giussani *et al.*, 1993a; Fig. 1). Furthermore, femoral vascular resistance remains increased throughout the duration of the hypoxaemic period.

The rapidity with which the initial bradycardia and the abrupt increase in femoral vascular resistance occur, suggests that they are reflex in nature. This has been confirmed and extended by studies involving the characterization of the afferent and the efferent pathways through which these responses may be mediated. Denervation techniques have revealed that aspects of the

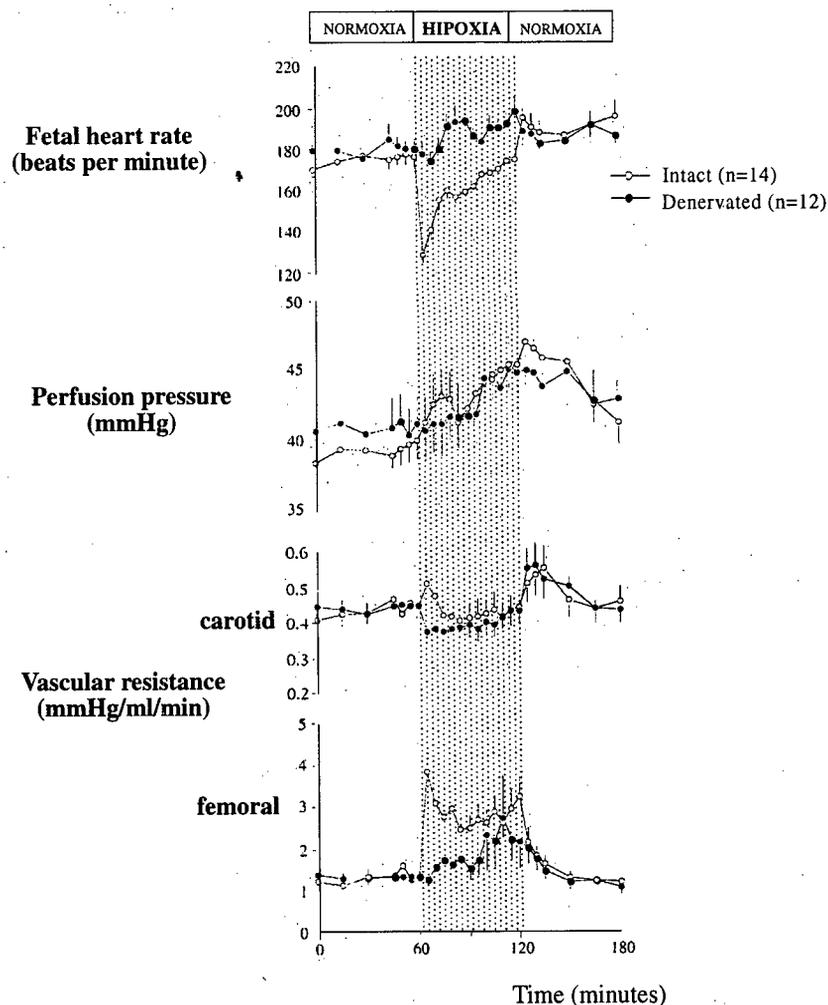


Fig. 1. Fetal heart rate, perfusion pressure and vascular resistance in intact and carotid-sinus denervated fetuses during acute hypoxaemia. Values shown are mean+S.E.M. From Giussani *et al.* (1993a) *Journal of Physiology* 461, 431-449, with permission.

fetal cardiovascular responses to hypoxaemia are mediated principally via the carotid, and not the aortic, chemoreceptors since section of the carotid sinus nerves alone prevented the initial bradycardia and the fast increase in femoral vascular resistance at the onset of hypoxaemia (Giussani *et al.*, 1993a; Fig. 1), but these responses persisted in aortic denervated fetuses (Bartelds *et al.*, 1993). In addition, it has been shown that the bradycardia is mediated via vagal, cholinergic efferents using pharmacological blockade in animals (Parer, 1979; Giussani *et al.*, 1993a) and even in man (Caldeyro-Barcia *et al.*, 1966) and the initial femoral vasoconstriction via sympathetic, a adrenergic efferents (Giussani *et al.*, 1993a)

Maintenance of the peripheral vasoconstriction during hypoxaemia in the fetus involves endocrine components (see Hanson, 1989; Giussani *et al.*, 1994a) Several investigators have shown that during hypoxaemic stress there is an increase in plasma concentrations of vasoconstrictors such as catecholamines (Jones and Wei, 1985), arginine vasopressin (Piacquadio *et al.*, 1991), angiotensin II (Broughton-Pipkin *et al.*, 1974), neuropeptide Y (Petraglia *et al.*, 1989) and endothelin-1 (Isozaki *et al.*, 1991).

In addition, the effects of hypoxaemia on the peripheral circulation may be direct. However, the role played by factors such as adenosine, PGI₂ and NO have currently only been discussed in the adult and neonatal circulation (Marriott and Marshall, 1990; Tenney, 1990; Walker and Brizzee, 1990).

CARDIOVASCULAR RESPONSES TO ACUTE HYPOXAEMIA IN THE LLAMA FETUS

The llama (*Lama glama*), a species adapted to the hypoxia of life at high altitude, demonstrates genetic adaptations which persist even after generations at sea level. Among other adaptations the adult has a leftward shift in its oxygen dissociation curve to a position near that of the fetal llama curve (Meschia *et al.*, 1960). This shift increases the O₂ affinity of adult haemoglobin at lower O₂ partial pressures and increases the blood O₂ content but it also necessitates a lower PO₂ in the tissues for unloading the O₂ carried. In addition, the llama fetus will be exposed to hypoxaemia if its mother is resident at altitude. It has been shown that high-altitude newborn infants display evidence of enhanced erythropoiesis (Ballew and Hass, 1986) supporting the suggestion that the high-altitude fetus has a lower arterial PO₂ than the low-altitude fetus. Teleologically, it is therefore reasonable to speculate that the llama fetus may have strong, protective neuro-endocrine responses to acute hypoxaemia, ensuring a powerful redistribution of the CVO to the vital organs.

Recent microsphere studies have reported that the llama fetus responds to acute hypoxaemia at 0.8 of gestation with a pronounced fall in peripheral blood flow (Riquelme *et al.*, 1992). Since the peripheral vasoconstriction in hypoxaemia in the llama fetus is pronounced compared to that observed in the sheep fetus either a stronger chemoreflex and/or greater endocrine response, shunting blood flow away from the periphery, is implicated. Recent studies have therefore adopted a strategy which concentrates on three different, but related issues: a) the dynamics of the peripheral vasoconstriction during acute hypoxaemia, to examine the rate of onset of the response, in the llama fetus; b) arterial blood samples have been taken during hypoxaemia to assay for concentrations of vasoconstrictor hormones such as vasopressin and angiotensin II, and for plasma concentrations of adrenocorticotrophic hormone (ACTH) and cortisol which have been reported to modulate vasoconstrictor action at the peripheral blood vessels; c) finally, these studies have been performed in llama fetuses at 0.6-0.7 of gestation to assess whether the peripheral vasoconstriction is present earlier in gestation.

Changes in heart rate and blood pressure. Reductions in fetal PaO₂ by ca 50% and haemoglobin oxygen saturation to <20% by maternal inhalational hypoxia in the llama at 0.6-0.7 of gestation results in a rapid, transient bradycardia and an increase in perfusion pressure (Giussani *et al.*, 1993b). This hypoxaemic response is similar to that observed in the late-gestation sheep fetus but contrasts with the cardiovascular response measured in the sheep fetus at 0.6-0.7 of gestation in which a tachycardia or no change in heart rate and no increase in arterial blood pressure are observed during hypoxaemia (Iwamoto *et al.*, 1989). This suggests a mature cardiovascular response to hypoxaemia in the llama fetus, even at 0.6-0.7 of gestation.

Redistribution of the CVO. Measurement of organ blood flow by microspheres and regional blood flow by chronically implanted ultrasonic flow transducers has demonstrated that the CVO in the 0.6-0.7 gestation llama fetus does undergo centralization. Microsphere studies in the 0.6-0.7 gestation llama fetus confirmed that whilst cerebral vascular resistance is maintained, a fall in myocardial and a pronounced increase in peripheral vascular resistance is observed during hypoxaemia (Giussani *et al.*, 1993b; see Figs. 2 & 3). However, whilst adrenal blood flow remains unchanged in the 0.8 gestation llama fetus, (Riquelme *et al.*, 1992), this increases significantly in the 0.6-0.7 gestation llama fetus (Giussani *et al.*, 1993b)

Continuous measurements of carotid vascular resistance in the llama fetus have demonstrated that this tends to increase during hypoxaemia and thus contrasts with the fall in carotid vascular resistance calculated in the sheep under the same conditions (Fig. 2; see Giussani *et al.*, 1993a). The carotid arteries supply blood to circulations in the head in addition to the cerebral vasculature. Although the contribution from blood flow changes in muscle and skin in the head were not assessed separately, an increase in common carotid vascular resistance may result from the combined effects of a vasoconstriction in the head carcass with an initial hyperaemia to the brain, driven by an increase in perfusion pressure, which is not maintained during hypoxaemia.

The ability of the llama fetus to redistribute blood flow away from the periphery during hypoxaemia is further underlined by examining continuous changes in the femoral circulations. Femoral blood flow falls and femoral vascular resistance increases rapidly following the onset of the hypoxaemic period. The rate of onset of this femoral vasoconstriction is similar to that seen in the sheep fetus and suggests that it is neurally-mediated (Fig.3). In addition, since the femoral vasoconstriction in the 0.6-0.7 gestation llama fetus is 5 times greater than that in the late gestation sheep fetus, either a stronger chemoreflex and/or mature endocrine response is implicated.

ENDOCRINE CHANGES DURING HYPOXAEMIA IN THE 0.6-0.7 GESTATION IN LLAMA FETUS

ACTH and cortisol. During hypoxaemia fetal plasma ACTH increases without a significant increase in maternal plasma ACTH, even though both maternal and fetal Pa, O₂'s were reduced significantly. In contrast similar increases in plasma concentrations of cortisol were measured in the maternal and fetal llama circulations during hypoxaemia. Both the increases in plasma ACTH and cortisol in the llama fetus at 0.6-0.7 of gestation during hypoxaemia are within the range obtained in the sheep fetus during late gestation (Giussani *et al.*, 1993c) suggesting a comparatively strong adrenocorticotrophic response in the llama fetus earlier in gestation. Furthermore, the dissociation between the maternal and fetal adrenocorticotrophic response to hypoxaemia in the llama suggests that the increase in fetal ACTH is not due to increased maternal ACTH. That ACTH does not cross the placenta has been reported by Jones and Robinson (1975) in sheep. Since maternal and fetal cortisol increased to similar concentrations in the llama during hypoxaemia, a greater sensitivity of the maternal over the fetal adrenal cortex to circulating levels of plasma ACTH is suggested. Alternatively, increases in fetal plasma cortisol levels may occur during hypoxaemia via pathways in addition to those involving increases in plasma ACTH levels such as the direct action of hypoxaemia on the adrenal

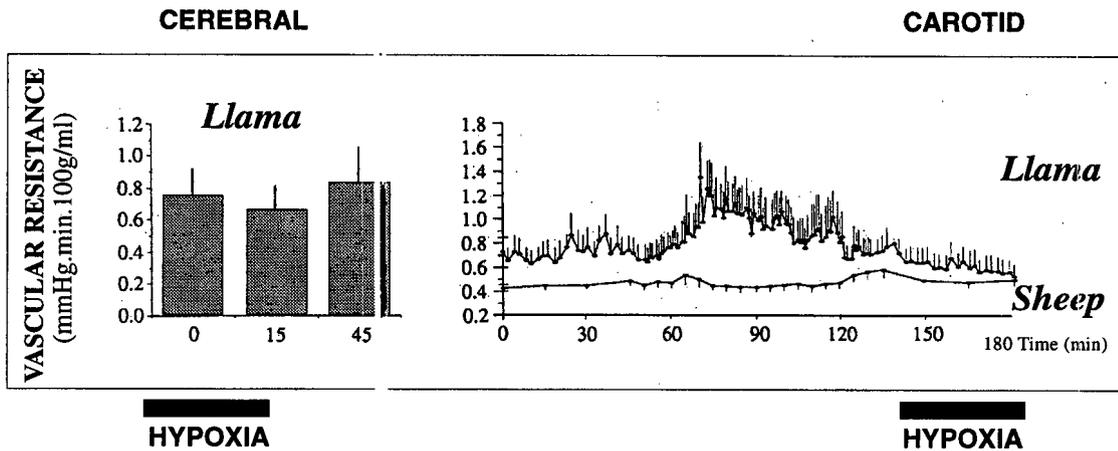


Fig. 2. Changes in cerebral and carotid vascular resistance in the llama fetus during acute hypoxaemia. Diagram on the left shows the results obtained from microsphere measurement and diagram on the right from continuous measurement of blood flow with ultrasonic flow transducers. Fetal sheep data taken from Giussani *et al.*, (1993a) and fetal llama data taken, in part, from Guissani *et al.*, (1993c).

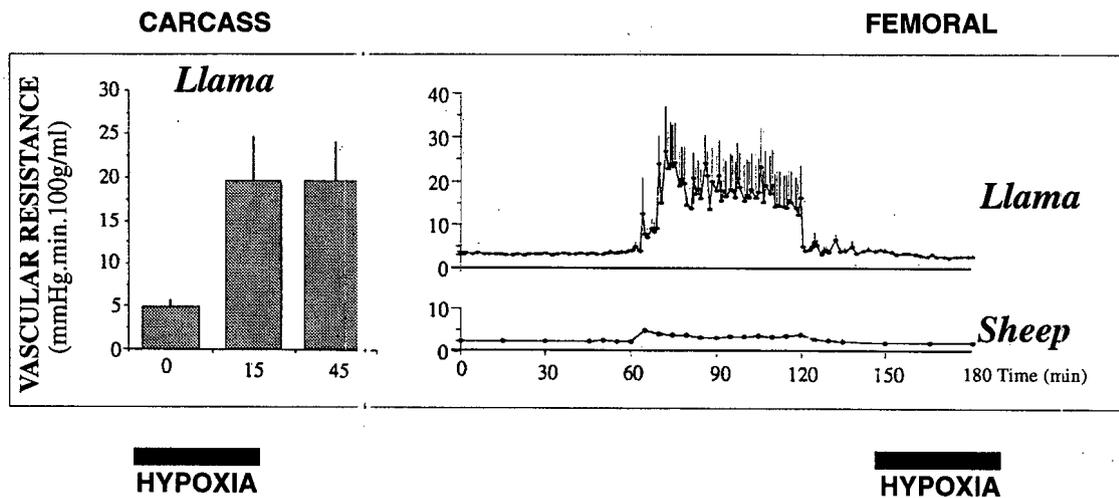


Fig. 3. Changes in carcass and femoral vascular resistance in the llama fetus during acute hypoxaemia. Diagram on the left shows the results obtained from microsphere measurements and diagram on the right from continuous measurement of blood flow with ultrasonic flow transducers. Notice that the increase in femoral resistance in the sheep fetus is itself significant when the scale of the drawing is expanded as in fig.1. Fetal sheep data taken from Giussani *et al.*, (1993a) and fetal llama data taken, in part, from Giussani *et al.*, (1993c).

cortex and or due to stimulation of cortisol release during acute hypoxaemia via an ACTH-independent carotid chemoreflex (see Giussani *et al.*, 1994b)

Although a cardiovascular role for increased plasma concentrations of ACTH and cortisol during acute hypoxaemia has not been demonstrated conclusively, there is some evidence suggesting that increased plasma cortisol levels modulates the action of other vasoconstrictor hormones such as catecholamines and, in particular, angiotensin II at the peripheral blood vessels (Tangalakakis *et al.*, 1992; Walker *et al.*, 1992).

Vasopressin and Angiotensin II. In sheep plasma, AVP circulates in low concentrations in the fetus but its concentration is increased greatly in hypoxaemia (Raff *et al.*, 1991; Giussani *et al.*, 1994c). In contrast, resting plasma renin activity and plasma All concentrations are high in the fetus (Broughton-Pipkin *et al.*, 1974) and although renin secretion is increased in the sheep fetus during periods of hypoxaemia and asphyxia (Wood *et al.*, 1990), the magnitude of the response of the renin-angiotensin system is small compared to other vasoconstrictor systems.

In the 0.6-0.7 gestation llama fetus a pronounced increase in plasma AVP concentration, without a significant rise in maternal plasma AVP, was measured during acute hypoxaemia (Giussani *et al.*, 1993c Fig. 4). In the 0.6-0.7 gestation llama fetus resting plasma concentrations of AVP were ca. 4 times, and the maximum concentration in plasma AVP during hypoxaemia was ca.7 times, that in the sheep fetus, even in late gestation (Fig. 4). In contrast, although resting and hypoxaemic plasma concentra-

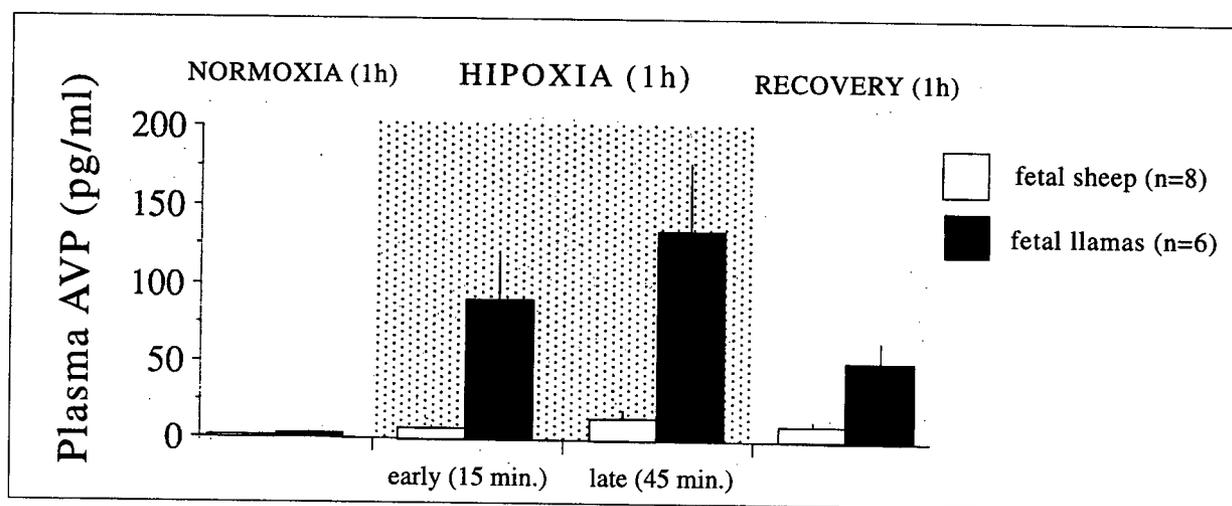


Fig. 4. Plasma concentrations of AVP (pg/ml) in 0.6-0.7 gestation llama fetuses and in 0.8-0.9 gestation sheep fetuses using the same RIA and with fetuses subjected to the same degree of hypoxaemia. Samples were taken after 45 minutes of normoxaemia, after 15 (early) and 45 (late) minutes of hypoxaemia and after 45 minutes of recovery. Fetal sheep data from Giussani et al., 1994c and fetal llama data from Giussani et al., 1993c.

tions of All were much higher in the llama fetus than in the adult llama, neither maternal or fetal plasma All increased significantly during the hypoxaemic episode. Both resting and hypoxaemic plasma All concentrations were similar between llama and sheep fetuses. These findings suggest that plasma AVP and All concentrations during hypoxaemia in the fetal circulation are not due to increases in maternal plasma AVP and All respectively. Furthermore, that the pronounced increase in fetal plasma AVP, and not in All, may contribute to the intense peripheral vasoconstriction observed in the llama fetus during acute hypoxaemia. If this is true one would expect a greater effect of AVP-receptor antagonists than All-receptor antagonists on the peripheral vasoconstrictor response during acute hypoxaemia. In accordance with this we found that pre-treatment of fetuses with the All-receptor antagonist sar¹-ala⁸-angiotensin II did not affect the increase in perfusion pressure or the femoral blood flow response during hypoxaemia. The effects of AVP-receptor antagonist pre-treatment on the cardiovascular response to acute hypoxaemia in the llama fetus await investigation.

In summary, the cardiovascular response to acute hypoxaemia in the llama fetus appears to be mediated by similar but stronger neuroendocrine mechanisms to those operating in fetal sheep. The rapidity with which the bradycardia and the increase in femoral resistance occur suggests a carotid chemoreflex component. Furthermore, since the peripheral vasoconstriction is much greater in the llama fetus than in the sheep fetus a strong chemoreflex and/or endocrine response is implicated. The pronounced increase in plasma AVP, but not in All, may contribute to the intense peripheral vasoconstriction, ensuring a powerful redistribution of the CVO as part of a protective mechanism against the reduced oxygenation of high altitude.

D.G.A. was supported by an Astor Foundation Fellowship and The Royal Society. Support was also obtained from Fondecyt (grant No. 1931033) and The Wellcome Trust. We are grateful for the excellent technical assistance of Carlos Muñoz, Francisco Barahona, Daniel Prado, Hernán Riquelme and Bernardo Barrales.

REFERENCES

- Ballew, C. & Hass, J.D. (1986). Hematologic Evidence of fetal hypoxia among newborn infants at high altitude in Bolivia. *Am J. Obstet, Gynecol* 155: 166-169.
- Bartelds, B., Vanbel, F., Teitel, D. & Rudolph, A.M. (1993). Carotid, not aortic, chemoreceptors mediate the fetal cardiovascular responses to acute hypoxemia in lambs. *Ped. Res.* 34: 51-55.
- Boddy, K., Dawes, G.S., Fisher, R., Pintors, S. & Robinson, J.S. (1974). Foetal respiratory movements, electrocortical and cardiovascular responses to hypoxemia and hypercapnia in sheep. *J. Physiol.* 243: 599-618
- Broughton-Pipkin, F., Kirkpatrick, S.M.L., Lumbers, E.R. & Montt, J.C. (1974). Factors influencing plasma renin and angiotensin II in the conscious pregnant ewe and its foetus. *J. Physiol* 243:619-637.
- Burton, R.G & Gorewit, R.C. (1984). 'Ultrasonic Flowmeter'- uses transti-time techniques. *Medical Elecetronics* 15 (2): 68-73.
- Caldeyro-Barcia, R., Mendez-Bauer, C., Poseiro, J. J., Escarcena, L. A., Pose, S. V., Bieniarz, J., Arnt, 1., Gulín, L. & Althabe, O.

- (1966). Control of human fetal heart rate during labour. in: The heart and circulation in the newborn and infant. ed. Cassels, D. E., PP. 7-36. New York and London: Grune and Stratton.
- Chiodi, H. (1962). Action of high altitude chronic hypoxia on newborn animals. In: The physiological effects of high altitude. ed. Weihe, W.H. New York: Pergamon Press.
- Cohn, E.H., Sacks, E.J., Heymann, M.A. & Rudolph, A.M. (1974). Cardiovascular responses to hypoxemia and acidemia in fetal lambs. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 120: 817-824.
- Dalton, K.J., Dawes, G.S. & Patrick, J.E. (1977). Diurnal, respiratory and other rhythms of fetal lambs. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 127: 414-424.
- Giussani, D.A., Spencer, J.A.D., Moore, P.J., Bennet, L. & Hanson, M.A. (1993a). Afferent and efferent components of the cardiovascular reflex responses to acute hypoxia in term fetal sheep. *J. Physiol.* 461: 431-449
- Giussani, D.A., Riquelme, R.A., Gaete, C.R., Moraga, F.A., Sanhueza, E.M., Hanson, M.A. & Llanos, J.A. (1993b). Rapid, intense peripheral vasoconstriction in the llama fetus in utero during acute hypoxaemia at 0.6-0.7 of gestation. *Proceedings of the Physiological Society, University College London.*
- Giussani, D.A., McGarrigle, H.H.C., Riquelme, R.A., Moraga, F.A., Gaete, C.R., Sanhueza, E.M., Hanson, M.A. & Llanos, A.J. (1993c). Endocrineresponses of the Llama fetus in utero during acute hypoxaemia at 0.6-0.7 of gestation. *proceedings of the Physiological Society. Southampton.*
- Giussani, D.A., Spencer, J.A.D. & Hanson, M.A. (1994a) fetal cardiovascular reflex responses to hypoxaemia. *Fetal Medicine Reviews.* 6: 17-37
- Giussani, D.A., McGarrigle, H.H.C., Bennet, L., Moore, P.J., Spencer, J.A.D. & Hanson, M.A. (1994b) Carotid sinus nerve section delays the increase in plasma cortisol during acute hypoxia in chronically prepared fetal sheep. *J. Physiol.* 477 (1) 75-80.
- Giussani, D.A., McGarrigle, H.H.C., Spencer, J.A.D., Moore, P.J., Bennet, L. & Hanson, M.A. (1994c) Carotid sinus nerve section does not affect plasma vasopressin levels during acute isocapnic hypoxia in term fetal sheep. *J. Physiol* 477 (1) 81-87.
- Grahn, D. & Kratchman, J. (1963). Variation in neonatal death rate and birth weight in the United States, and possible relations to environmental radiation, geology and altitude. *American Journal of Human Genetics* 15, 329-352.
- Hanson, M.A. (1989). The importance of baro- and chemoreflexes in the control of the fetal cardiovascular system. *J. of Develop. Physiol.* 10,491-511.
- Isozaki, Y., Kojima, T., Hirata, Y., Ono, A., Sawaragi, S., Sawaragi, I. & Koyabashi, Y. (1991). Plasma immunoreactive endothelin-1 concentration in human fetal blood: its relation to asphyxia. *Ped. Res.* 30 (3), 244-247.
- Iwamoto, H.S., Kaufman, T., Keil, L.C. & Rudolph, A.M. (1989). Responses to acute hypoxemia in fetal sheep at 0.6-0.7 gestation. *Am. J. Physiol* 256, H613-H620.
- Johnson, D &Roofe, P.G. (1965). Blood constituents of normal newborn rats and those exposed to low oxygen tension during gestation: weight of newborn and litter size also considered. *Anat. Rec.* 153, 303-309.
- Jones, C. T. & Wei, G. (1985). Adrenal medullary activity and cardiovascular control in the fetal sheep. in: *Fetal heart rate monitoring.* ed. Kunzel, W., pp. 127-135. Berlin: Springer-Verlag.
- Jones, C.T. & Robinson, R.O. (1975). Plasma catecholamines in fetal and adult sheep. *J. Physiol* 248, 15-33.
- Krueger, H. & Arias-stella, J. (1970). The placenta and the newborn infant at high altitude *Am. J. Obstet. et. Gynecol.*, 106, 586-590
- Marriott, J.F. & Marshall, J.M. (1990). Effect of hypoxia upon contractions evoked in isolated rabbit pulmonary artery by potassium and noradrenaline. *J. Physiol.* 422, 15-28.
- Mazess, R.B. (1966). Neonatal mortality at altitude in Peru. *American Journal of Physiology and Anthropology* 23, 209-214.
- McClung, J. (1969). *Effects of high altitude on human birth.* Harvard University Press. Cambridge Massachussets.

- Meschia, G., Prystowsky, H., Hellegers, A., Huckabee, W., Metcalfe, J. & Barron, D. (1960). Observations on the oxygen supply to the fetal llama. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 45, 284-291.
- Parer, J.T. (1979). Effect of atropine on heart rate and oxygen consumption of the hypoxic fetus. *Gynecological Investigations* 8,50.
- Parer, J.T., Dijkstra, H.R., Vredereg, P.P.M., Harris, J.L., Krueger, T.R. & Reuss, M.L. (1980). Increased fetal heart rate variability with acute hypoxia in chronically instrumented sheep. *Eur. J. of Obstetrics Gynecology and Reprod Biol* 10,393
- Peeters, L.L.H., Sheldon, R.E., Jones, M.D., Makowski, E.L. & Meschia, G. (1979). Blood flow to fetal organs as a function of arterial oxygen content. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 135, 637-646.
- Petraglia, F., Coukos, G., Battaglia, C., Bartolotti, A., Volpe, A., Nappi, C., Segre, A. & Genazzani, A. (1989). Plasma and amniotic fluid immunoreactive neuropeptide Y level changes during pregnancy. Labour and at parturition. *J. Clin Endocr and Metab* 69 (2), 324-328.
- Piacquadio, K.M., Brace, R.A. & Cheung, C.Y. (1990). Role of vasopressin in mediation of fetal cardiovascular responses to acute hypoxia. *Am. J. Obstet.* 163,1294-1300.
- Raff, H., Kane, C.W. & Wood C.E. (1991). Arginine vasopressin responses to hypoxia and hypercapnia in late-gestation fetal sheep. *Am. J. Physiol.* 260, R1077-R1081.
- Riquelme, R.A., Gaete, C.R., Garay, F., Carrasco, J., Espinoza, M., Cabello, G., Serón-Ferre, M., Parer, J.T. & Llanos, A.J. (1992). Lack of response of brain and adrenal blood flows to hypoxemia in the fetal llama. *Ped. Res.* 32, 737.
- Tangalakis, K., Lumbers, E.R., Moritz, K.M., Towstoles, M.K. & Wintour, E.M. (1992). Effect of cortisol on blood pressure and vascular reactivity in the ovine fetus. *Experimental Physiology* 77, 709-717.
- Tejerina, M.R., Ríos J.D., Acha, A. & Linares J.G. (1971). Estudio sobre la placenta y el recién nacido en la Paz (Bolivia). *Revista Clínica Española*.
- Tenney, S.M. (1990). Hypoxic vasorelaxation. *NIPS* 5, 40.
- Walker, B.R. & Brizzee B.L. (1990). Cardiovascular responses to hypoxia and hypercapnia in barodenervated rats. *J. Appl. Physiol.*, 68, 678-686.
- Walker B.R., Connacher, A.A. Webb, D.J. & Edwards, C.R. (1992). Glucocorticoids and blood pressure: a role for the cortisol/cortisone shuttle in the control of vascular tone in man. *Clinical Sciences* 83, 171-178
- Wood, C.E., Kane, C. & Raff, H. (1990). Peripheral chemoreceptor control of fetal renin responses to hypoxia and hypercapnia. *Circ. Res.* 67 : 722-732.

ONTOGENY OF CORTISOL SECRETION BY THE ADRENAL GLAND IN THE FETAL LLAMA (*Lama glama*)

RAQUEL RIQUELME**, GERTRUDIS CABELLO c, MARCELA VERGARA a, MICHELLE TOWSTOLESS d,
MARELYN WINTOUR b, ANIBAL LLANOS* AND MARIA SERON-FERRE a.

- * Departamento de Medicina Experimental, Campus Oriente, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- ** Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.
- a Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica.
- b Howard Florey Institute, University of Melbourne, Victoria 3052, Australia.
- c Departamento de Biología y Salud, Facultad de Ciencias Universidad de Tarapacá.
- d Department of Chemistry and Biology, Victoria University of Technology, Footscray, 3011, Australia.

ABSTRACT

Fetal glucocorticoids play a key role in the differentiation and maturation of several fetal organs and tissues and prepare the fetus for extrauterine life. A great deal of information has been gathered regarding the pattern of glucocorticoid production and its regulation in fetuses of lowland species. In contrast, the adrenal function in fetuses of species that have evolved at high altitude is unknown. Due to the hostile environment where the newborn of a high altitude species has to live, we hypothesized that the fetal adrenal function of these animals should have an important role in the adaptation of the neonate to this harsh milieu. As a first step towards establishing this hypothesis, we studied the ontogeny of fetal adrenal function on the llama (*Lama glama*) a domestic species that lives and reproduces at high altitude. In order to reach our aim we firstly identified cortisol, corticosterone and possibly aldosterone as corticoids synthesized by the fetal adrenal gland *in vitro*. Secondly, we determined fetal adrenal cortisol secretion *in vitro* from very early in gestation up to 0.8 of gestation. Lastly we measured *in vivo* plasma concentrations of cortisol and ACTH during the last third of gestation in catheterized llama fetuses. These measurements show that ACTH is present in the fetal circulation and cortisol plasma concentration rises as gestational age increases. Our data suggest that fetal adrenal cortisol secretion in the fetal llama shows a basal temporal pattern similar to that observed in other species, particularly in the fetal sheep. Whether a stressful situation elicits a more pronounced cortisol response in the llama fetuses remains to be elucidated.

INTRODUCTION

In fetuses of lowland species, fetal corticosteroids play a major role during gestation by participating in the differentiation and maturation of most fetal tissues and organs that prepare the fetus for extrauterine life (Liggins, 1976). In addition, a lot is known about patterns of glucocorticoid production and its regulation throughout gestation (Wintour *et al.*, 1975, Silver and Fowden, 1989). In contrast, the adrenal function in fetuses of species that have evolved at high altitudes is unknown. The low atmospheric oxygen partial pressure and the major changes in ambient temperature during the day constitute a hostile environment for the animal species that live at 4000 meters or more over sea level. Therefore, we hypothesized that in fetuses of species that have evolved in high altitudes the fetal adrenal gland should have an important role in the adaptation of the neonate to this harsh milieu. As a first step towards establishing this hypothesis, we studied the ontogeny of fetal adrenal function in the llama (*Lama glama*), a domestic species that lives and reproduces at high altitude. Since this species has a very long gestation (345 days) (Condorena *et al.*, 1938, Fowler, 1989) we followed three experimental strategies to reach our aim. Firstly, we identified cortisol as a glucocorticoid synthesized by the fetal adrenal gland *in vitro*. Then we measured fetal adrenal cortisol secretion *in vitro* from very early gestation to about 80% gestation. Lastly we measured *in vivo*, plasma concentration of cortisol and ACTH during the last third of gestation in catheterized llama fetuses.

MATERIAL AND METHODS

In vitro studies.

Llama fetal adrenals were obtained from llamas sacrificed at the slaughterhouse in Arica. (Llamas are an important source of meat in the north of Chile, Perú and Bolivia). The fetuses were rapidly removed and were carried in ice to the laboratory. There, the fetuses were weighed and thereafter the fetal adrenals were dissected and weighed. In all cases the time interval between the killing of the animal and processing of the samples was less than 90 min. A total of 29 fetuses were used in these experiments.

a) Identification of glucocorticoids secreted by the fetal llama adrenal.

Two fetuses, weighing 2380 and 5100 g respectively, were used in this experiment. About 100 mg of adrenal glands minces from each fetus were incubated separately during two hours at 37 °C in 2 ml Krebs-Ringer-glucose 95% O₂, 5% CO₂ buffer (KRBG) with 10 x 10⁶ cpm of ³H-pregnenolone (New England Nuclear, Boston, MA). At the end of two hours the reaction was stopped by freezing. Before assaying, the samples were thawed and known amounts of cold steroids (aldosterone, cortisol, corticosterone, progesterone, 18-OH corticosterone, deoxycortisol, 11-OH progesterone, DOC, 17-OH progesterone, 11-OH progesterone, 11,20-diOH progesterone and 11-OH androstenedione) were added to the incubation medium as internal standards. The medium was extracted, washed and evaporated and the extracts were dissolved in 100 µl of mobile phase and chromatographed in an HPLC Waters model 441, equipped with a Bondapak C-18 or Alltech columns and an UV

detector with a 254 nm filter, following a procedure previously described (Ravanal *et al.*, 1987). The eluate was collected in 1 min fractions. The fractions that contained radioactive peaks that coeluted with the internal standards were evaporated to dryness, resuspended and rechromatographed. The criteria used to identify a radioactive peak as corresponding to a particular steroid was co-migration with the respective cold standard in the two different chromatographic systems.

b) *In vitro* production of cortisol.

Adrenal glands from 29 fetuses, weight range 17 to 6300 g were used in this experiment. Once the glands were dissected free of connective tissue, they were weighed in an analytical balance. The glands were finally minced with a razor blade and 2 aliquots from 20 to about 100 mg of tissue were weighed and then incubated at 37 °C with 2 ml of KRBG. The incubation lasted 30 min, and the medium was changed at 15 and 30 min. Cortisol was measured in the incubation medium by RIA. Results were expressed as cortisol production (ng per 30 min per 100 mg of tissue). The optimal weight of tissue to be used in the incubation was determined by incubating separately 20, 30, 50, 100 and 200 mg of fetal adrenal minces from a large fetus. It was found that production of cortisol was linear between 20 to 100 mg of tissue.

In vivo studies.

These studies were performed in catheterized fetal llamas. The llamas were purchased in Arica and brought to Santiago, upon arrival they were housed in a open yard and they had access to food and water ad libitum. Prior to starting the experiments they were accustomed to the study cart and to the laboratory. Twenty six llamas and their fetuses (fetal weight 2200 - 7800 g) were catheterized under anesthesia and strict aseptic conditions as previously described (Aller *et al.*, 1989, Benavides *et al.*, 1989).

Fetal arterial blood samples for hormone analysis (3 ml) were collected without anticoagulant during surgery and from 1-10 days after surgery using sterile procedures and transferred into chilled polypropylene tubes with EDTA (1 mg/ml). The blood samples were centrifuged in a microcentrifuge Eppendorf (12000 rpm x 1 min). Plasma was separated, aliquoted and stored at -20 °C until the hormones were assayed by radioimmunoassay (RIA). All samples were collected between 0900-1200 hrs.

All animal care procedures and experimentation were conducted in conformity with Guiding Principles for Research Involving Animals and Human Beings of the American Physiological Society.

Hormone assays.

Cortisol was measured by RIA using a method previously described (Parraguez *et al.*, 1989). The assay was performed directly in aliquots 50 μ l of plasma diluted with 0.1 M phosphate-buffered saline, pH 7.4, and heated at 60 °C to destroy the transcortin. The assay range was 0.06-2.00 ng of cortisol per tube. Interassay and intraassay coefficients of variations were 11.9 and 4.8% respectively.

ACTH was measured directly in 100 μ l plasma with an adrenocorticotrophic hormone radioimmunoassay kit (ACTH-PR, CIS Bio International, France), that uses an antiserum against ACTH 1-24. Interassay and intraassay coefficients of variations were 5.0% and 5.8% respectively.

Statistical Analysis.

All results are expressed as mean \pm SEM. Cortisol and ACTH changes during gestation were tested by one way ANOVA followed by a Newman-Keuls test. A difference was considered significant when the P value was equal or less than 0.05.

RESULTS.

In vitro studies.

a.- Identification of corticoids secreted by fetal llama adrenal gland.

Fig. 1 shows the separation by HPLC of the mixture of internal standards added to one fetal adrenal incubated with 3 H-pregnenolone. As shown in Fig. 2, the adrenal of the youngest fetal llama studied (2380 g, about 60% gestation), actively transformed tritiated pregnenolone into several radioactive steroids. There were several radioactive peaks, some of them coeluting with some of the standards. Similar results were obtained in the incubation of the second fetal adrenal gland (not shown). Table 1 shows the retention time of the standards and the coeluting counts, before and after rechromatography in a second system differing in the mobile phase, or column or in both for both fetal adrenals. This table shows that cortisol and corticosterone and probably aldosterone comigrated with their respective standards in the two chromatographic systems. This allows to identify synthesis of cortisol and corticosterone and probably aldosterone and 11, 20-diOH progesterone by the two fetal llama adrenal glands studied. The peaks that initially coincide with 11-OH progesterone and 17-OH progesterone on the second chromatography moved very differently from the internal standards. No attempt was made to identify progesterone.

TABLE N° 1.

³H-STEROIDS SYNTHESIZED BY FETAL LLAMA ADRENAL GLANDS INCUBATED WITH, ³H-PREGNENOLONE AFTER HPLC SEPARATION.

Fetal adrenal 1 (Fetal weight 2380 g)

Steroids	I chromatography (1)		II chromatography (2)		Steroid Synthesized
	Standard	Retention time (min) ³ H-Steroid	Standard	3H-Steroid	
Aldosterone	14.2	13.2	11.08	12.7	+-
Cortisol	23.9	22.8	6.1	6.5	yes
11-OH-A4	28.0	26.3	27.7	27.7	+-
Corticosterone	27.6	26.5	47.7	47.7	yes
11,20-diOH-P4	50.8	46.8	41.6	41.3	+-
11-OH-P4	76.7	70.6	63.7	61.0	no
17-OH-P4	81.2	74.9	74.5	56.5	no

Fetal adrenal 2 (Fetal weight 5100 g)

Steroids	I chromatography (3)		II chromatography (4)		Steroid Synthesized
	Standard	Retention time (min) ³ H-Steroid	Standard	3H-Steroid	
Aldosterone	11.4	11.5	19.8	19.0	+-
Cortisol	19.6	19.2	36.8	37.0	yes
11-OH-A4	24.0	23.5	33.2	41.0	no
Corticosterone	27.6	26.5	47.7	47.7	yes
11,20-diOH-P4	38.9	37.9	70.5	70.5	+-
11-OH-P4	45.5	43.9	—	—	no
17-OH-P4	53.5	51.4	139.3	111.6	no

Mobil phase (1): MeOH:H₂O (50:50).

Mobil phase (2): MeOH:H₂O (45:55), THF 2.0%.

Mobil phase (3): MeOH:H₂O (45:55), THF 2.5%.

Mobil phase (4): MeOH:H₂O (40:60), THF 2%.

Flow rate was 1 ml/min in all cases.

For further details see text.

MeOH: methanol

THF : tetrahydrofurane

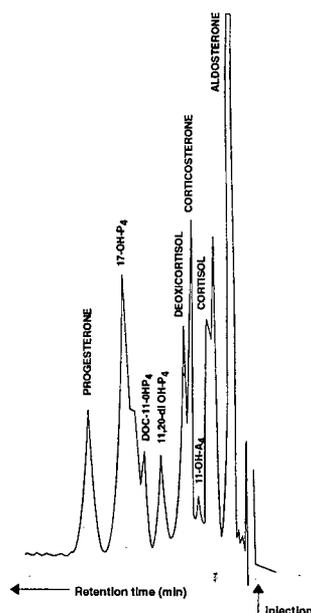


Figure 1. Optical density at 254 nm of the internal steroid standards after HPLC of the extract of adrenal gland incubation from a llama fetus weighing 5100 g.

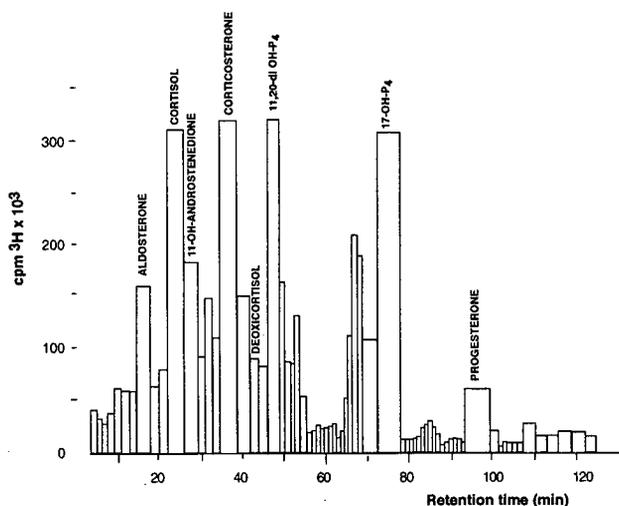


Figure 2. Radioactivity pattern of ^3H -steroids eluted after HPLC of the extract from the incubation of fetal adrenal gland minces of same fetus shown in Fig. 1 with 10×10^6 cpm of ^3H -pregnenolone.

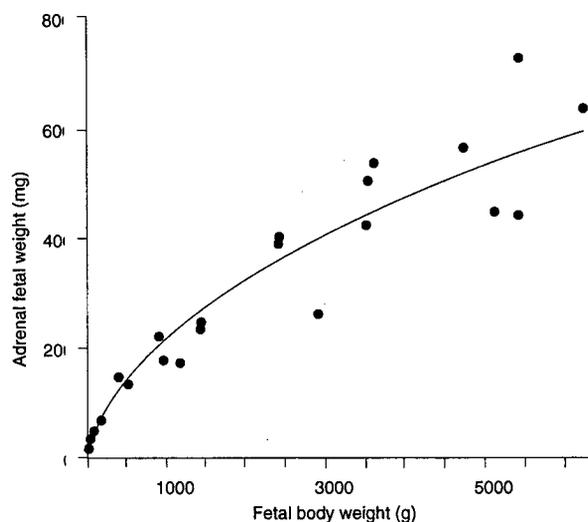


Figure 3. Relation fetal body weight and fetal adrenal gland weight in llama fetuses during gestation. Best fitting equation by curvilinear regression was $y = 8.3124 \sqrt{x} - 57.8444$; $r = 0.949$; $n = 46$; $P < 0.05$.

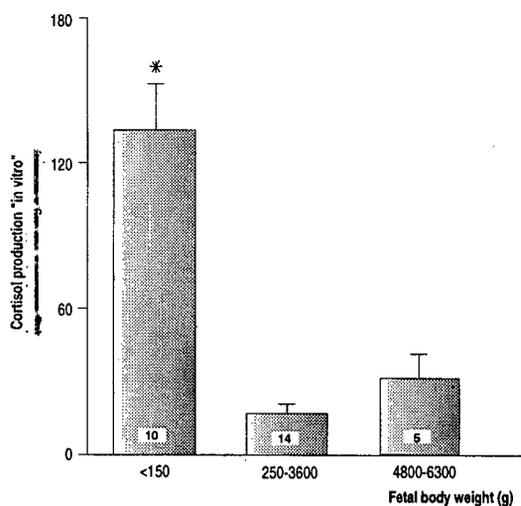


Figure 4. Cortisol production «in vitro» by fetal adrenal minces in three groups of llama fetuses, grouped by ranges of fetal body weight. Bars represents mean \pm SEM cortisol production $\times 100$ mg tissue $\times 30$ min in each group. Production cortisol by the youngest fetuses (< 150 g) is higher than the other groups * $P < 0.05$. Equivalency between body weight and gestational age: $< 18\%$, $48 - 66\%$ and $72 - 81\%$ respectively.

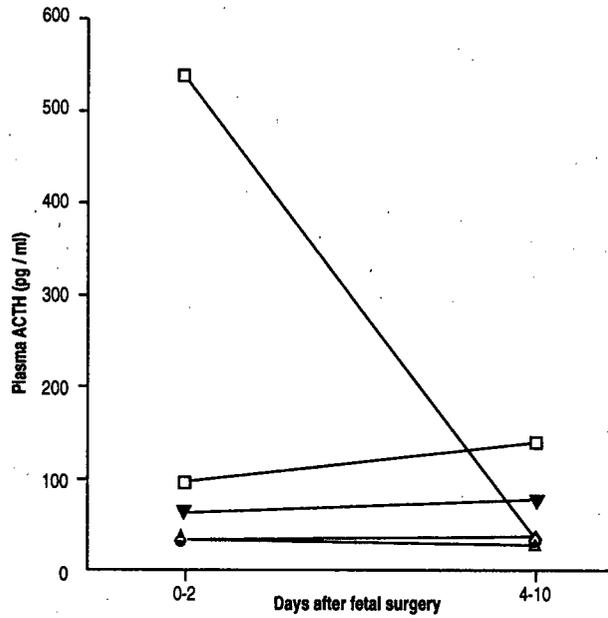


Figure 5- Plasma ACTH concentration of catheterized fetal llamas (weight range 4800-6450 g, 69-79% gestation, n = 5) 0-2, and 4-10 days after fetal surgery.

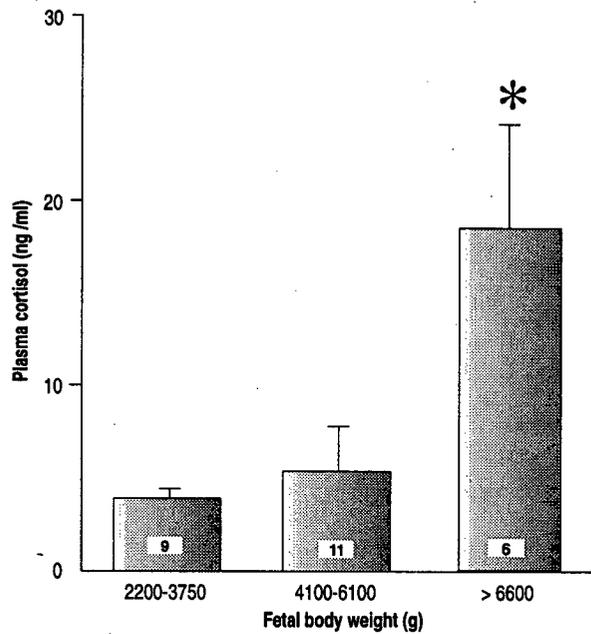


Figure 6.- Plasma cortisol concentration of catheterized fetal llamas 0-2 days grouped after surgery up according to fetal weight. Approximate gestational ages are: 58-67%, 69-79% and > 82%. Bars represent mean \pm SEM plasma cortisol. Older fetuses had higher plasma cortisol concentration compared with the others groups * $P < 0.05$.

b.- *In vitro* production of cortisol by the fetal llama adrenal.

To assess changes in adrenal weight with gestational age we constructed a relationship between fetal adrenal weight and fetal weight. As seen in Fig. 3, there is a faster growth of the fetal adrenal early in gestation, that follows the equation $y = 8.3124 \sqrt{x} - 57.8444$ in which y = fetal adrenal weight in mg, and x = fetal body weight in g. The fetal llama adrenal gland produces an important amount of cortisol expressed by unit of tissue from early in gestation (Fig. 4). In addition, the production of cortisol decreases throughout gestation. We arbitrarily grouped the fetuses in three groups according to their weights: less than 150 g (range 17-137 g, less than 48% gestation n=10); between 250-3600 g, about 48%-66% gestation (n=14) and between 4800-6300 g, 72-81% gestation (n=5). Cortisol production in younger fetuses was higher than in the

two other groups ($P < 0.05$).

In vivo studies.

Measurements of plasma ACTH and cortisol in the fetal circulation show that both hormones are present in fetuses at about 60% gestation. Fetuses weighing 2200 to 3050 g, about 58-67% gestation ($n=3$) had 260 ± 126 pg of ACTH/ml between 0-2 days after surgery. Similar values were obtained in older fetuses (weight range 4800 to 6450 g, about 69-79% gestation $n=5$) (Fig. 5). These fetuses were followed several days after surgery. We found that plasma ACTH decreases in only one fetus (Fig. 5). In the same fetuses, the plasma concentration of cortisol remained constant during this time interval (data not shown). When fetal cortisol was measured 0 to 2 days after surgery (Fig. 6), the plasma concentration of cortisol was higher in fetuses > 6600 g, over 79% gestation, indicating that fetal plasma cortisol increases with gestational age as assessed by body weight.

DISCUSSION

Our study addresses several aspects of the fetal llama adrenal function throughout gestation. Firstly, we showed that the fetal llama adrenal has the steroidogenic capability to transform pregnenolone into cortisol, corticosterone and probably aldosterone. Consistent with these findings, the fetal llama adrenal synthesizes and secretes cortisol very early in gestation. Proportionately to the weight of the gland, the secretion is maximal early in gestation and decreases thereafter, remaining at relatively low values throughout most of gestation. Measurements of cortisol in plasma show that concentration of cortisol remains more or less constant between 58% and 79% gestation, to increase again as term approaches. In addition, our data show the presence of ACTH in plasma at 58% gestation.

This communication represents the first paper addressing the issue of steroid secretion by the fetal llama adrenal. We demonstrate synthesis of cortisol, corticosterone and tentatively aldosterone. Other possible intermediates were detected but not identified conclusively. Overall these results show that about 48% gestation, the enzymes necessary to synthesize cortisol and aldosterone are present in the llama fetal adrenal gland. The presence of 4-3 keto steroids suggest an active 3 β -ol dehydrogenase, and the presence of cytochromes P450-11 OH and P450-17 OH. The previous findings show that the llama fetal adrenal gland has the capacity to synthesize cortisol. In addition, it secretes cortisol very early in gestation. The pattern of secretion of cortisol changes with gestational age. The youngest llama fetuses studied showed a very large secretion of cortisol. This secretion of cortisol remained low throughout most of gestation. Although we detected a tendency to increase in the older fetuses (>6 kg) we could not obtain enough fetuses of this weight or larger to confirm the data. This pattern of cortisol production agrees with observations in other species. In sheep, Wintour *et al.*, (1975) showed that cortisol and aldosterone are secreted by fetal adrenals at 30% gestation. In the fetal sheep the triphasic pattern of cortisol biosynthetic capacity correlates with changing levels of messenger RNAs for P-450_{17 α} and P-450_{11 β} (Tagalakis *et al.*, 1989). Murphy (1982), proposed that the human fetal adrenal also secretes more cortisol /g weight at early gestation (16 weeks, 40% of gestation). In sheep and humans, secretion of cortisol decreases thereafter to increase again at term (Wintour *et al.*, 1975, Murphy, 1982).

The results obtained by measuring plasma cortisol in the llama fetus are consistent with the former interpretation. Although the samples were taken very close to surgery and therefore are affected by the stress caused by the procedure, they all were under comparable conditions. If we look at plasma cortisol concentration 0-2 days after surgery, at three gestational ages (assessed by body weight) we observe an increase in plasma cortisol in the older fetuses. It is not known whether cortisol crosses the llama placenta. However, on thirteen occasions, on which maternal and fetal samples were collected simultaneously, 0-2 days post-surgery, there was no correlation between cortisol values in maternal and fetal plasma. This increase can be interpreted as indicating an increased capacity of the fetal adrenal to secrete cortisol. This is consistent with the limited *in vitro* data in cortisol production obtained at this age. An additional explanation, that does not contradict the former one is that the fetal adrenal of older fetuses is able to respond to the ACTH released by stress. These findings are similar to the increase in fetal adrenal function at late gestation found in sheep (Llanos *et al.*, 1979, Wintour *et al.*, 1975, Challis *et al.*, 1984), human (Murphy, 1982) and rhesus monkeys (Serón *et al.*, 1985). Measurements of ACTH show a high concentration in the days following surgery. We cannot tell from these data whether the llama fetuses responds to surgery with an increase in ACTH, since the concentration of ACTH did not decrease after surgery. Responses to stress with ACTH secretion has been shown to be present in the fetal sheep since 53% gestation (Rose *et al.*, 1981). In the fetal sheep, at this age the increase in ACTH is not followed by an increase in cortisol (Jones *et al.*, 1977, Brooks and Challis, 1987). During the period in which the ovine fetal adrenal is quiescent, in terms of cortisol production, ACTH must be infused for twelve to twenty-four hours in order to increase mRNA levels for P-450_{11 β} and P-450_{17 α} , and to increase plasma cortisol concentrations in ovine fetal plasma (Tagalakis *et al.*, 1990, 1992). The zona fasciculata cells at this period are cytologically immature, but can be matured by a 24h infusion of ACTH (Perry *et al.*, 1992). Specific experiments should be designed to answer the question of the fetal llama ACTH response to stress.

In summary, our data shows that the llama fetal adrenal gland synthesizes and secretes cortisol since early in gestation. In addition our data suggests that fetal adrenal cortisol secretion shows a temporal pattern similar to that observed in other species, particularly in the fetal sheep.

ACKNOWLEDGEMENTS.

We thank Mr. Carlos Muñoz for technical assistance, Mr. Juan Scarpa for doing the HPCL separation and Ms. Susana Alfaro for typing the manuscript.

REFERENCES

- Aller, F.R., Carrasco, J., Gaete, C., Germain, A., Espinoza, M., Cabello, G., Riquelme, R., Seron-Ferre, M., Parer, J. T., Llanos A.J., 1989. Cateterización de vasos sanguíneos fetales y maternos en llama (*Lama glama*). *Avances en Ciencias Veterinarias* 4: 69 - 74.
- Benavides, CE., Pérez, R., Espinoza, M., Cabello, G., Riquelme, R., Parer, J.T., Llanos A.J., 1989. Cardiorespiratory functions in the fetal llama. *Respiration Physiology* 75: 327 - 334.
- Brooks, A.N. & Challis, J.R.G., 1988. Regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in birth. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 66: 1106- 1112.
- Challis, J.R.G., Mitchell, B.F. & Lye, S.J. 1984. Activation of fetal adrenal function. *J. of Develop. Physiol.* 6:93-105.
- Condorena, N., Sumar, J., Franeo, E., Alarcon, U., 1988. Largo de gestación de llama (*Lama glama*). XI Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Resúmenes Asociación de Médicos Veterinarios del Perú. Agosto 14 - 20, Lima, Perú.
- Fowler, M.E., 1989. *Medicine and Surgery of South American Camelids*. Ed. by Iowa State University Press, pp. 287.
- Jones, C.T., Boddy, K., Robinson, J.S., 1977. Changes in the concentration of adrenocorticotrophin and corticosteroid in the plasma of foetal sheep in the latter half of pregnancy and during labour. *J. Endocr.* 72: 293 - 300.
- Liggins, G.C., 1976. Adrenocortical-related maturational events in the fetus. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 126: 931 - 939.
- Llanos, A.J., Rose, J.C., Creasy, R.K., Green, J.R., Serón-Ferré, M., 1979. Plasma glucocorticoid and adrenocorticotropin concentrations measured serially in growth-retarded fetal lambs. *Ped. Res.* 13: 1089 - 1091.
- Murphy, B.E.P. 1982. Human fetal serum cortisol levels related to gestational age: Evidence of a midgestational fall and a steep late gestational rise, independent of sex or mode of delivery. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 144: 276 - 282.
- Parraguez, V.H., Vergara, M., Riquelme, R., Raimann, R., Llanos, A.J., Serón-Ferré, M. 1989. Ontogeny of the circadian rhythm of cortisol in sheep. *Biology of Reproduction* 40: 1137 - 1143.
- Perry, R.A., Tangalakis, K., Wintour, E.M. 1992. Cytological maturity of zona fasciculata cells in the fetal sheep adrenal following ACTH infusion: an electron microscope study. *Acta Endocrinologica* 127: 536 - 541.
- Ravanel, M., Contreras, P., Serón-Ferré, M. 1987. Separación y caracterización por cromatografía líquida de alta resolución de 4-3- cetoesteroides sintetizados a partir de ³H-pregnenolona por un tumor suprarrenal ectópico tratado con ketoconazol. *Rev. Med. Chile* 115: 129- 134.
- Rose, J.C., Meis, P.J., Morris, M. 1981. Ontogeny of endocrine (ACTH, vasopressin, cortisol) responses to hypotension in lamb fetuses. *Am. J. Physiol.* 240: E656 - 661.
- Serón-Ferré, M., Taylor, N.F., Lindholm, U., Voytek, C. Jaffe, R.B. 1985. Maturational changes in fetal adrenal steroidogenesis throughout gestation in the rhesus monkey. In *Perinatal Endocrinology*. E.D. Albrecht and G.J. Pepe (Eds). Perinatology Press, Ithaca, New York. pp 129 - 137.
- Silver, M., Fowden, A.L., 1989. Pituitary-adrenocortical activity in the fetal pig in the last third of gestation. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 74: 197 - 206.
- Tangalakis, K., Coghlan, J.P., Connel, J., Crawford, R., Darling, P., Hammond, V.E., Haralambidis, J., Penschow, J., Wintour, E.M., 1989. Tissue distribution and levels of gene expression of three steroid hydroxylases in ovine fetal adrenal glands. *Acta Endocrinologica* 120: 225 - 232.
- Tangalakis, K., Coghlan, J.P., Crawford, R., Hammond, V.E., Wintour, E.M., 1990. Steroid hydroxylase gene expression in the ovine fetal adrenal gland following ACTH infusion. *Acta Endocrinologica* 123: 371 - 377.
- Tangalakis, K. Roberts, F.E., Wintour, E.M., 1992. The time- course of ACTH stimulation of cortisol synthesis by the immature ovine foetal adrenal gland. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 42: 527 - 532.
- Wintour, E.M., Brown E.H., Denton, D.A., Hardy, K. J., Mc Dougall, J.G., Oddie, C.J., Whipp, G.T., 1975. The ontogeny and regulation of corticosteroid secretion by the ovine foetal adrenal. *Acta Endocrinologica* 79: 301 - 316.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FUNCION RESPIRATORIA EN NIÑOS BOLIVIANOS DE LA ALTURA Y DEL TROPICO. INFLUENCIA DEL ESTADO NUTRICIONAL Y ANTROPOMETRICO

ENRIQUE VARGAS PACHECO+, MERCEDES VILLENA CABRERA+, HILDE SPIELVOGEL+,
PHILIPPE OBERT++, ANA MARIA DE QUIROGA+, GUY FALGAIRETTE++++, ESPERANZA CACERES+,
HAN C.G. KEMPER++++, JEAN COUDERT++, CRISTINA GONZALES+.

+ INSTITUTO BOLIVIANO DE BIOLOGÍA DE ALTURA.
++ LABORATOIRE DE PERFORMANCE MOTRICE, AUBIERE, FRANCE
+++ UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM, 1081 BT, THE NETHERLANDS
++++ LABORATOIRE DE BIOMÉCANIQUE ET DE BIOLOGIE, NICE, FRANCE.

ABSTRACT

The present paper has two aims: firstly, to analyse the factors which contribute to the respiratory function of children who are exposed to different ecological environments, altitude and tropics, and of different nutritional status; secondly to verify normal values previously established, by means of a comparative study, for functional exploration in the pulmonary pathology of children.

Lung volumes of 4 groups of children are compared. The children are of prepubertal age and live at high altitude (La Paz, 3.700 m, barometric pressure 495 mm Hg) and in the lowlands (Santa Cruz, 420 m, barometric pressure 760 mm Hg).

The high altitude group GA (n=67) was studied at the Instituto Boliviano de Biología de Altura (I.B.B.A.) and divided into 2 subgroups: GA1 which consisted of children of high socio-economic level (n=23) and GA2 with children of low socio-economic level (n=44). The lowland group GB (n=71) was studied at the Centro Nacional de Enfermedades Tropicales (CENETROP) and also divided into 2 subgroups: GB1 consisting of children with high socio-economic level (n=43) and GB2 with 28 children of low socio-economic level.

Anthropometric measurements include: Weight (P), Height (T) upper arm circumference (CSB) and Skin folds taken at 4 different locations. Based on these measurements the following parameters were calculated: Body fat mass, lean body mass, and body mass index (IMC = Weight Kg/height m²). Sexual maturation was assessed according to the Tanner stages, by orchidometry and by quantification of testosterone in saliva.

Spirometry includes measurements of vital capacity (CV), maximal expiratory volume per one second (FEV1), functional residual capacity (CRF), residual volume (VR), total pulmonary capacity (CPT) and the different percentages of comparison used for physiological interpretation.

The results show higher values for the lung volumes of the 2 groups of high altitude children (GA1 and GA2) in comparison to the 2 lowland groups (GB1 and GB2, p<0.001) as well as compared in percent of normal sea level values (p<0.001).

On the other hand it has to be pointed out that the 2 groups of low socio-economic level children (GA2 and GB2) are significantly smaller than the high socio-economic level children (GA1 and GB1), in fact their overall growth is delayed by 2 years.

The anthropometric measurements suggest that the physical development of prepubertal children depends rather on socio-economic level and nutritional status than on exposure to hypobaric hypoxia.

It seems that high altitude hypoxia per se does not affect the growth of prepubertal Andean children and that the development of pulmonary function is accelerated due to structural adaptation to the hypoxic environment starting at an early age. The influence of nutritional factors, however, should not be excluded and more exhaustive studies relating.

Key words: High altitude - Tropics - Prepuberty - Lung volumes - Socio-economic level - nutrition - anthropometry - growth.

RESUMEN

Nuestro propósito tiene una doble finalidad, en primer lugar hacer un análisis de los factores que contribuyen en la función respiratoria de niños expuestos a diferentes ambientes ecológicos, altura y trópico y de diferente estado nutricional; en segundo lugar, un estudio comparativo permite ratificar los valores de referencia establecidos con el fin de efectuar una exploración funcional en patología respiratoria infantil.

Se comparan los volúmenes pulmonares de 4 grupos de niños en edad pre-puberal habitantes de altura, (La Paz, 3.700 m. sobre el nivel del mar, Presión Barométrica: 495 mmHg) y de tierras bajas (Santa Cruz, 420 m.s.n.m., Presión Barométrica: 760 mmHg).

El grupo de la altura GA (n = 67) fue estudiado en el Instituto Boliviano de Biología de Altura (I.B.B.A.), y dividido en 2 subgrupos: GA1 que corresponde a niños de nivel socio-económico alto (n=23) y GA2 de nivel socio-económico bajo (n = 44). El grupo de tierras bajas GB (n = 71) fue estudiado en CENETROP, y dividido en 2 subgrupos: GB1 formado por niños de nivel socio-económico alto (n = 43) y GB2 de nivel socio-económico bajo (n = 28).

Las medidas antropométricas incluyen: Peso (P), talla (T), circunferencia superior del brazo (CSB), y el pliegue cutáneo tomado en 4 localizaciones diferentes. A partir de estas medidas fueron determinadas: la masa grasa corporal, masa magra corporal e índice de masa corporal (IMC = Peso Kgs/ talla en m²). El grado de maduración sexual fue obtenido de acuerdo con Tanner, por orquidometría y la cuantificación de testosterona en saliva.

El estudio realizado por espirometría, incluye la medida de la capacidad vital (CV), el volumen espiratorio máximo por segundo (VEF), la capacidad residual funcional (CRF), el volumen residual (VR), la capacidad pulmonar total (CPT), y los diferentes porcentajes de comparación entre estos parámetros, válidos para una interpretación fisiológica.

Los resultados evidencian cifras mayores para los volúmenes pulmonares en los dos grupos de niños de altura (G1 y G2), tanto en comparación con los 2 grupos de tierras bajas (GB1 y GB2, P<0,001), como en comparación porcentual de los valores de referencia para el nivel del mar (p=<0,001). Por otra parte, es de remarcar que los dos grupos de niños pertenecientes a familias de bajo nivel socio-económico (GA2 y GB2) son significativamente más pequeños comparados con los grupos GA1 y GB2, su crecimiento en términos generales es menor en 2 años.

Por los datos antropométricos parece ser que el desarrollo físico en niños en edad pre-puberal depende más del nivel socio-económico y nutricional que de la exposición a la hipoxia hipobárica.

Parece ser que la hipoxia de altura per se no afecta el crecimiento de los niños andinos en edad pre-puberal y que el desarrollo de la función pulmonar tiene una aceleración en función a la adaptación estructural al ambiente hipóxico desde edad temprana. Además consideramos que los factores nutricionales no pueden ser excluidos siendo necesario futuros estudios más completos de la función pulmonar.

Palabras Claves: Altura - Trópicos - Pre-pubertad - volúmenes pulmonares - niveles socio-económicos - malnutrición - antropometría y crecimiento

INTRODUCCION

La homeostasis representa la más alta capacidad biológica, pues en su mecanismo principal, facilita las condiciones óptimas de funcionamiento celular (Claude Bernard, 1866). Esta cualidad de los seres humanos permite que el habitante nativo, residente permanente de la altura cuente con un perfecto equilibrio fisiológico a pesar de la hipoxia ambiental, resultante de la baja presión barométrica, la baja temperatura y sequedad del ambiente, características predominantes del clima altiplánico durante la mayor parte del año (1).

Entre esta numerosa población que habita por encima de los 3.000 m sobre el nivel del mar, y cuyo mayor porcentaje mundial se halla en Los Andes, se encuentran obviamente los niños que en una gran proporción deben hacer frente a contrastes de orden socio-económico, además de los factores ambientales mencionados.

Al igual que en la etapa perinatal, los periodos pre-puberales, son épocas donde el niño es particularmente vulnerable, pues su organismo debe soportar un desarrollo ponderal, gonadal y psicomotriz al mismo tiempo.

Hasta el presente, muchos trabajos han sido publicados sobre la función respiratoria en la infancia y adolescencia a nivel del mar, (3), (4), (14), (30). Por el contrario, pocos trabajos han sido realizados en niños habitantes de altura (2), (10), (11), (15), (31), (35), (38) y tal vez menos aún comparándolos con datos de niños del nivel del mar (14), (30), (42). Nuestro propósito tiene una doble finalidad, en primer lugar hacer un análisis de los factores que tienen parte en la función respiratoria de niños expuestos a diferentes ambientes ecológicos, altura y trópico y de diferente estado socio-económico y nutricional. En segundo lugar, dados los hallazgos previos, se impone la necesidad de sentar las bases para establecer valores de referencia que permitan efectuar una evaluación funcional respiratoria en niños habitantes de altura.

GRUPOS HUMANOS Y METODOS

Se comparan los volúmenes pulmonares de 4 grupos de niños en edad prepuberal habitantes de altura, (La Paz, 3.700 m sobre el nivel del mar, Presión Barométrica: < 75 mmHg, temperatura ambiental media 16°C) y de tierras bajas tropicales, (Santa Cruz, 420 m. sobre el nivel del mar, Presión Barométrica: 760 mmHg, temperatura ambiental media 26°C). El estudio fue realizado en época de invierno (meses de Julio-Agosto).

El grupo de la altura (GA) comprendió 67 niños los que fueron estudiados en el Instituto Boliviano de Biología de Altura (I.B.B.A.) y fue dividido en 2 subgrupos GA1 que corresponde a niños de nivel socio-económico alto y GA2 de nivel socio-económico bajo.

El grupo de tierras bajas (GB) fue estudiado en el Centro Nacional de Enfermedades Tropicales (CENETROP) y dividido a su vez, en 2 subgrupos: GB1 formado por niños de nivel socio-económico alto y GB2 de nivel socio-económico bajo.

El pasado y el presente estado nutricional de éstos 4 grupos fue motivo de una encuesta especializada, complementada por una serie de medidas antropométricas. Estas incluyen: la talla en centímetros, el peso en kilogramos, la circunferencia superior del brazo (CSB). Se utilizó un calibre de Harpenden para medir los pliegues cutáneos a nivel del bíceps, tríceps y regiones subescapular y suprailíaca. La masa grasa corporal (MGC) fue calculada mediante la ecuación de Durnin y Rahaman (9), a partir de esta variable y del peso corporal se pudo cuantificar la masa magra corporal (MMC). El índice de masa corporal (IMC), fue obtenido de la relación: $\text{Peso Kgs/Talla en m}^2$. El grado de maduración sexual fue determinado de acuerdo con Tanner (39) y solo los niños en edad prepuberal (estadio I de Tanner, orquidometría < 6 ml) fueron incluidos. Por otra parte 11 niños obesos del grupo GB1 fueron excluidos del estudio.

Los parámetros hematológicos fueron obtenidos de una muestra de sangre venosa mínima del pliegue del codo, la concentración de la hemoglobina fue medida según el método de Drabkin y el hematocrito por el método del microhematocrito.

En todos los niños seleccionados se realizó un estudio espirométrico completo con el objeto de conocer la función respiratoria a través de los volúmenes y capacidades pulmonares. Previamente los niños se familiarizaron con la metodología del laboratorio y especialmente con el espirómetro (marca Collins de 9 litros, tipo modular con analizador de Helio incorporado). Para el examen, cada niño estaba sentado cómodamente para ejecutar las maniobras respectivas. El mejor de tres trazados obtenidos para cada volumen, fue escogido para su análisis.

En todos los niños se midieron los siguientes parámetros respiratorios: la capacidad vital pulmonar (CV), el volumen espiratorio

forzado en un segundo (VEF₂), la capacidad residual funcional (CRF), con la cual se calculó el volumen residual (VR), finalmente se obtuvo la capacidad pulmonar total y las relaciones útiles entre éstos parámetros expresados en porcentajes, como ser el VEF₁/CV y VR/CPT.

La interpretación de los valores absolutos de todos los datos obtenidos se realizó en función de la talla, y también fueron expresados en porcentaje de los valores de referencia obtenidos para niños del nivel del mar (33) según las ecuaciones de regresión establecidas por Geubelle para la CV, CPT, VR y la CRF, de acuerdo con Thieman para el VEF₁. La relación VR/CPT fue corregida según Strang y VEF₁/CV según Solymar. Las comparaciones entre los diferentes grupos fueron realizadas por análisis de varianza (ANOVA) sobre los datos expresados en porcentaje de los valores de referencia. El criterio de significación fue fijado en $p < 0.05$.

La temperatura ambiente y la del espirómetro, así como la presión barométrica fueron registradas para cada maniobra de manera a efectuar el cálculo del factor de corrección respectivo para las condiciones BTPS.

Cinco niños de los grupos GB fueron excluidos del análisis estadístico de los valores espirométricos, porque, nacidos en la altura recientemente migraron a tierras bajas.

Con el objeto de cumplir con las normas de ética y lograr una mejor cooperación, fue necesario obtener un consentimiento escrito de los padres.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS (Respiration 43: 330-335, 1982)

GRUPO	GA1	GA2	GB1	GB2	ANOVA
n	23	44	43	28	
Talla(cm)	140(7)	131(5)	141(5)	132(6)	A:NS,ESE<0.001 AxESE:NS
Peso(kg)	37(9)	30(4)	36(5)	31(4)	A;NS,ESE<0.001 AxESE:NS
MGC(%)	21.3(5.8)	16.5(3.3)	21.3(4.5)	17.8(3.6)	A:NS,ESE<0.001 AxESE:NS
MMC(kg)	29(5)	25(2)	28(3)	25(3)	A:NS,ESE<0.001 AxESE:NS
CSB(cm)	19.5(2.2)	17.4(1.2)	18.7(1.3)	17.8(1.3)	A:NS,ESE<0.001 AxESE<0.05
IMC(kg/cm ²)	18.6(2.9)	17.2(1.7)	17.9(1.8)	17.6(2.2)	A:NS,ESE<0.05 AxESE:NS

Valores medios \pm DS. n = número de sujetos. A = Altura. ESE = Estado Socio Económico. MGC = Masa Grasa Corporal. MMC = Masa Magra Corporal. CSB = Circunferencia Superior del Brazo. IMC = Indice de Masa Corporal. ANOVA = Análisis de varianza. NS = No estadísticamente significativo.

TABLA 2
VALORES HEMATOLÓGICOS

GRUPO	GA1	GA2	GB1	GB2	ANOVA
n	23	44	43	28	
Hematocrito %	45.9 \pm 2.8	45.7 \pm 2.1	42.4 \pm 2.3	39.9 \pm 2.1	GA1 vs GA2 N.S. GB1 vs GB2 * GA1 vs GB1 ** GA2 vs GB2 **
Hemoglobina, g/l	150 \pm 9	153 \pm 8	135 \pm 9	128 \pm 12	GA1 vs GA2 N.S. GB1 vs GB2 N.S. GA1 vs GB1 ** GA2 vs GB2 **

Valores medios \pm DS. n = número de Sujetos. * $P < 0,01$ ** $P < 0,001$

Fig. 1

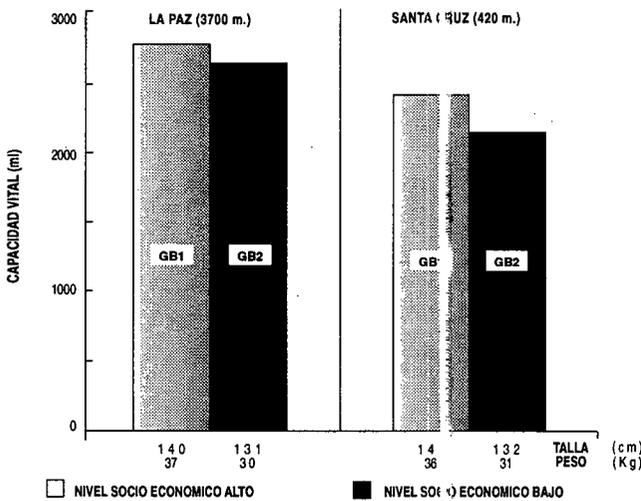
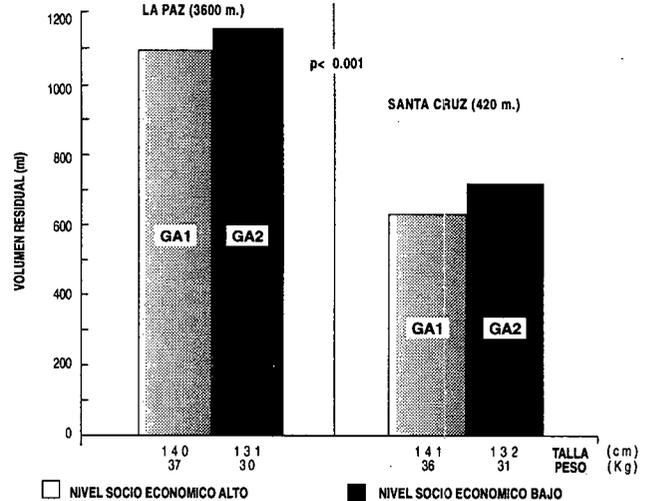


Fig. 2



No se realizaron tests específicos sobre el origen étnico, sin embargo basados en el apellido de los niños se puede afirmar que son niños mestizos (español o aymara o español o quechua) con un predominio español en los niños de nivel socio-económico alto.

RESULTADOS.

Las características antropométricas de los 4 grupos de niños son presentados en la Tabla 1. En ambos grupos (GA y GB) los niños de nivel socio-económico alto fueron más robustos y con mayor masa muscular que los niños de bajo nivel socio-económico.

La masa grasa corporal (MGC) en porcentaje y la masa grasa corporal en kilogramos fueron idénticas en los niños de nivel socio-económico alto en ambas alturas. Estos hallazgos muestran que el efecto del status socio-económico es altamente significativo ($p < 0.001$) y que la altura no tiene efecto sobre las dimensiones antropométricas en los niños en edad pre-puberal. Altura y nivel socio-económico no tienen interacciones significativas excepto sobre la circunferencia superior del brazo (CSB).

Los resultados de los exámenes hematológicos que se presentan en la Tabla 2, muestran un hematocrito en porcentaje y una hemoglobina en g/l significativamente superiores ($p < 0.001$) en los niños de la altura (GA) comparados con el grupo de niños de tierras bajas (GB). Por el contrario no hubo diferencia significativa entre los grupos GA1 y GA2 para las cifras de hematocrito y de hemoglobina, mientras que si observamos los valores comparando GB1 y GB2 la hemoglobina no tiene mayor diferencia, pero para el hematocrito los valores son más elevados en el grupo GB2 ($p < 0.01$).

El análisis de los resultados de la función pulmonar (Tablas 3y4 y Figuras 1y2) muestra lo siguiente:

Los valores de los volúmenes pulmonares difieren significativamente entre los grupos de altura (GA) y los de tierras bajas (GB), tanto en valores absolutos como cuando se hace la comparación con los valores de referencia del nivel del mar (Tabla 3). Las cifras muestran un marcado aumento de la capacidad vital, cuyos valores absolutos son netamente mayores en los grupos GA1 y GA2, en la tabla 3 se aprecian incluso los valores de referencia del nivel del mar (33) marcados en paréntesis, a pesar de la diferencia de talla, que en términos de porcentaje (Tabla 4) tiene una diferencia muy significativa ($p < 0,001$).

El parámetro que muestra más diferencia es el volumen residual, tanto en valores absolutos como en términos de porcentaje ($p < 0,001$), aquí también debe ser motivo de análisis la diferencia de superficie corporal (peso y talla) de los niños estudiados y muy especialmente, la influencia que parece tener el nivel socio-económico.

Los niños de nivel socio-económico alto de tierras bajas (GB1) tienen valores de la función pulmonar que son muy próximos de las cifras standard del nivel del mar, como podría esperarse ($P = N.S.$), mientras que los niños del grupo GB2 muestran un aumento tanto del volumen residual (VR), como de la capacidad residual funcional (CRF) cuando se los compara con los niños del grupo GB1 ($p < 0,001$).

DISCUSION

Tanto en la altura como en tierras bajas, los criterios para establecer una clasificación del nivel socio-económico de cada grupo seleccionado fueron: un conocimiento del lugar de residencia del niño, el tipo de hábitat familiar, la situación profesional y económica de la familia y el tipo de establecimiento escolar frecuentado por el niño (escuela privada o pública), estos criterios son los más utilizados en los países en desarrollo para establecer una buena correlación entre nivel socio-económico y nutrición.

TABLA 3
VALORES ABSOLUTOS DE LA FUNCIÓN PULMONAR EN FUNCIÓN DE LA TALLA
(DATOS DE LOS 4 GRUPOS CORREGIDOS A BTPS)

GRUPO	GA1	GA2	GB1	GB2
n	23	44	43	28
CV ml	2758 ± 450 (2319)	2634 ± 343 (1938)	2403 ± 308 (2319)	2140 ± 295 (1978)
VR ml	1103 ± 231 (636)	1160 ± 208 (526)	640 ± 120 (636)	739 ± 194 (573)
CRF ml	1920 ± 363 (1277)	2079 ± 383 (1048)	1462 ± 239 (1277)	1510 ± 257 (1072)
CPT ml	3861 ± 681 (3001)	3794 ± 551 (2497)	3043 ± 428 (3001)	2879 ± 489 (2550)
VR/CPT %	28,5 ± 3,9 (17.1)	30,5 ± 3,0 (17.1)	19 ± 4,5 (17.1)	25,2 ± 4,9 (17.1)
VEF1 ml	2282 ± 371 (1831)	2253 ± 332 (1536)	2072 ± 237 (1831)	1792 ± 279 (1567)
VEF1/CV %	84.5 ± 4.2 (84.6)	85.9 ± 4.2 (84.6)	86.3 ± 4.4 (84.6)	84.7 ± 4.5 (84.6)

Valores medios ± DS, n = número de sujetos

CV : Capacidad Vital

VR : Volumen Residual

CRF : Capacidad Residual Funcional

CPT : Capacidad Pulmonar Total

VEF1 : Volumen Respiratorio Máximo por segundo

Entre paréntesis valores de referencia del nivel del mar

TABLA 4
VOLÚMENES PULMONARES DE LOS 4 GRUPOS
(PORCENTAJE CON RELACIÓN A LOS VALORES DE REFERENCIA DEL NIVEL DEL MAR, SEGÚN LA TALLA*)

GRUPO	GA1	GA2	GB1	GB2
n	23	44	43	28
CV ml	118 ± 10 <0,001	135 ± 13	103 ± 11 N.S.	107 ± 10
VR ml	175 ± 37 <0,001	220 ± 37	100 ± 19 <0,001	138 ± 34
CRF ml	151 ± 28 <0,001	198 ± 37	113 ± 1 <0,001	140 ± 19
CPT ml	129 ± 13 <0,001	151 ± 15	101 ± 10 <0,001	113 ± 12
VR/CPT %	134 ± 22 N.S.	145 ± 18	89 ± 26 <0,01	119 ± 29
VEF1 ml	124 ± 12 <0,001	146 ± 18	112 ± 9 N.S.	111 ± 8
VEF1/CV %	104 ± 5 N.S.	108 ± 5	107 ± 5 N.S.	107 ± 5

Valores medios ± DS, n = número de sujetos

CV : Capacidad Vital

VR : Volumen Residual

CRF : Capacidad Residual Funcional

CPT : Capacidad Pulmonar Total

VEF1 : Volumen Espiratorio Máximo por segundo

* : Quanjor, P.H. y Colaboradores (33)

Las medidas antropométricas utilizadas son las clásicamente utilizadas en antropometría nutricional. El análisis estadístico del peso y de la talla muestra que ambos lugares, altura y llano, los niños de nivel socio-económico alto fueron significativamente ($p < 0,001$) de mayor estatura y peso y tuvieron un índice de masa corporal más elevado ($p < 0,05$) que los niños de nivel socio-económico bajo. La comparación del peso y la talla de GA1, GA2, GB1 y GB2 con las cifras estándar de los percentiles dados por el NHCS (19) y de las normas latino americanas al respecto (25), muestra que los niños de los grupos GA1 y GB1 se encuentran en el rango normal de los niños correctamente alimentados de la misma edad.

En cambio, los niños de los grupos GA2 y GB2 son más pequeños y más delgados que los standards mencionados, en realidad se llega a establecer que su crecimiento físico está retrasado aproximadamente en 2 años. A pesar del nivel socio-económico ($p < 0,05$), el índice de masa corporal (IMC) para todos los niños de nuestro estudio se encuentra en el rango normal (34), (36),

Algunos autores coinciden en señalar que en niños con bajo peso y talla en relación con su edad pero con peso relacionado a su talla, el retardo de crecimiento sería el resultado de un pasado de malnutrición, el cual puede haber ocurrido en la primera infancia (5), (28), (29), (37), (40). Este puede ser el caso de los niños de los grupos GA2 y GB2 en nuestro estudio.

La circunferencia superior del brazo y el pliegue cutáneo tomados en sitios seleccionados (biceps, tríceps y áreas subescapular y supraílica) reflejan reservas proteino-energéticas (13), (23), (24) y son ampliamente usados en antropometría nutricional.

Varios estudios realizados en niños han demostrado que estas reservas se encuentran deprimidas en la restricción proteino-energética (6), (12), (17), (24), (32). En nuestro estudio y en ambos ambientes de altura los niños de los grupos con alto nivel socio-económico tienen una circunferencia inferior del brazo y una masa corporal (calculada de los 4 pliegues cutáneos mencionados) mayores que en los niños de bajo nivel socio-económico ($p < 0,001$).

Probablemente la mejor y más simple forma conocida de aclimatación a la altura es la eritrocitosis fisiológica o aumento de los glóbulos rojos por unidad de volumen sanguíneo. En nuestro estudio los 2 grupos de niños de altura muestran un aumento significativo tanto de hemoglobina como del hematocrito con relación a los niños de tierras bajas, es de remarcar que entre los grupos GB1 y GB2 se aprecia una diferencia muy significativa ($p < 0,001$), especialmente cuando se toman en cuenta los valores relacionados a la superficie corporal y en porcentaje de acuerdo a los valores del nivel del mar.

Si comparamos los valores de CV y VR el aumento de éste último es mayor, como ya fuera demostrado en estudios realizados en adultos (7), (8), (21), (22), (41) y (42) considerando incluso, que se produce primariamente y constituye un verdadero proceso estructural de adaptación (21) El aumento de éstos dos parámetros condiciona una elevación tanto de la capacidad pulmonar total (CPT) como de la capacidad residual funcional (CRF), ambos parámetros favorecerían directamente una adecuada ventilación alveolar y por lo tanto una mejor difusión alvéolo-capilar que en niños residentes de altura es mayor que en niños del nivel del mar (42). Tratándose de niños normales, el incremento de la relación volumen residual/capacidad pulmonar total (VR/CPT) no significa un fenómeno de atrapamiento aéreo, pues paralelamente existe un volumen espiratorio forzado (VEF_1) y un índice de permeabilidad bronquial (VEF_1/CV) normales, por lo tanto, probablemente se relaciona con un aumento de la superficie de contacto alveolar.

En nuestros grupos GA2 y GB2, de bajos recursos económicos, se encuentran niños de origen aymara y quechua en forma predominante a los mestizos, mientras que los grupos GA1 y GB1 son más bien de origen europeo predominante. En este sentido nuestros resultados concuerdan con los hallazgos de Greska y Haas y colaboradores (16), (18).

Nosotros pensamos que el aumento de la capacidad vital y del volumen residual en los niños de los grupos GA1 y GA2 puede ser atribuido a una aceleración en el desarrollo de la función pulmonar relativa a la estatura, en efecto, nuestros resultados muestran una diferencia significativa ($p < 0,001$) entre los grupos GA y GB especialmente para VR y la CRF.

Ahora bien, cuando comparamos los valores de VR y CRF en función de la talla dentro del grupo de niños de altura encontramos que para GA2 el aumento de estos parámetros es también significativo ($p < 0,001$).

Un hallazgo sorprendente fue que esta misma diferencia existe entre los grupos de la zona tropical. Esta diferencia en parte, podría ser atribuida, a un predominio del origen aymara quechua entre los niños de bajos recursos económicos; por otro lado, la influencia de los factores nutricionales no puede ser excluida puesto que existen estudios que mencionan los efectos de la malnutrición sobre la estructura pulmonar en animales de experimentación (20), (26), (27), y los datos antropométricos de nuestro estudio muestran que los niños de bajos recursos económicos, tanto en La Paz como en Santa Cruz sufren de una deficiencia nutricional marginal, pero de ninguna manera son malnutridos. Sin embargo, es necesario complementar estos estudios con tests genéticos y especialmente, con la medida de índices de la retracción elástica pulmonar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Director de CENETROP en Santa Cruz, Dr. Benjamín Rivera y a los Directores y Padres de Familia de los Colegios: Franco Boliviano y la Unidad Educativa «Hernando Siles» de La Paz, así como del Colegio La Salle y Colegio Amboró de Santa Cruz.

REFERENCIAS

- 1- Antezana, G., 1988. La vida en grandes alturas. Bodas de Plata I.B.B.A. Impresiones MASTER. 7-11.
- 2- Beall, C.M., P.T. Baker, T.S. Baker y J.D. Haas, 1977. The effects of high altitude on adolescent growth in southern Peruvian Ameridians. *Hum Biol.* 49; 109-124.
- 3- Beall; C.M., Strohl K.P., Gothe, B., Brittenham, C.M., Barragan y M. Vargas, E., 1990. Respiratory and Hematological adaptation of young and older Aymara men native to 3.600 m., *Am. J. Hum. Biol. U.S.A.*
- 4- Beard, J., Hurtado, L., Villena, M., y Vargas, E., 1979. Transporte de oxígeno y hematología en niños de altura. *Anuario del IBBA, La Paz.*
- 5- Behar, M., 1981. What is marginal malnutrition? In: *Nutrition in Health and Disease International Development: Symposia from the XII International Congress of Nutrition*; A.R. Liss, Inc. 150 Fifth Avenue, New York, NY 10011, pp 237-246.
- 6- Buschang, P.H. y R.M. Malina, 1983. Growth in height of mild-to-moderately undernourished Zapotec school children. *Hum. Biol.* 55: 587-597.
- 7- Coudert, J., Paz Zamora y, M., Vargas, E., 1973. Volumes pulmonaires, ventilation et pression des gaz du sang chez les résidents de haute altitude transférés a basse altitude. *J. Physiol., Paris*, 67, 3, 336 A.
- 8- Chiodi, H., 1957. Respiratory adaptation to chronic high altitude hypoxia. *J. Appl. Physiol.* 10, 81-87.
- 9- Durnin, J.V.G.A. y Rahaman, M.M., 1969. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J.Nutr.* 21:681-689.
- 10- Frisancho A.R. y P.T. Baker, 1970 Altitude and growth: a study of the patterns of physical growth of a high-altitude Peruvian Quechua population. *Am. J. Phys. Anthropol.* 32: 179-292.
- 11- Frisancho A.R., 1978. Human growth and development among high-altitude populations in: Baker P.T. and M.A. Little, eds. *The biology of high altitude peoples International Biological Programme 14*, Cambridge University Press. pp 117- 171. 1978.
- 12- Frisancho, A.R., 1981. New norms of upper limb fat and muscle areas for assessment of nutritional status. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 2540-2545.
- 13- Frisancho, A. R. y S.M. Garn, 1971. Skinfold thickness and muscle size. Implications for developmental status and nutritional evaluation of children from Honduras. *Am. J. Clin. Nutr.* 24: 541-546.
- 14- Greksa, L.P., Spielvogel, H. y Cáceres, E., 1985. Effect of altitude on the physical growth of upper class children of European ancestry. *Ann. Hum Biol.* 12: 225-232.
- 15- Greksa, L.P. Spielvogel, H. Paredes-Fernández, Paz Zamora, M. y Cáceres, E., 1984. The physical growth of urban children at high altitude. *Am. J. Phys. Anthropol.* 65: 315-322.
- 16- Greksa, L.P., Spielvogel, H. Cáceres, E. y Paredes Fernández I., 1987. Lung function of young Aymara highlanders. *Ann. Hum. Biol.* Vol. 14, N° 6, 533-542.
- 17- Gurney, J.M., Jelliffe, D.B. y Neill, J., 1972. Anthropometry in the differential diagnosis of protein-calorie malnutrition *J. Trop. Pediat. Env. Child. Health* 18:1-2.
- 18- Haas, J.D., Moreno-Blach, G., Frongillo, E.A., Pabon, J., Pajera, G., Ibarnegaray, J. y Hurtado, A., 1982. Altitude and infant growth in Bolivia: A longitudinal study. *Am. J. Phys. Anthropol.* 59: 251-262.
- 19- Hamill, P.V.V., Drizz, T.H., Johnson, C.L., Reed, R.B., Roche, A.F. y Moore, W.M., 1979. Physical growth: National Center for Health Statistics percentiles. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 607-629.
- 20- Harkema, J.R., Mauderly, J.L., Gregory, R.E. y Pickrell, J.A., 1984. A comparison of starvation and elastase models of emphysema in the rat. *Am. Rev Respir.* 129: 584-9
- 21- Hurtado, A., Velasquez, G., Reynafarge, C., Lozano, R., Chavez, y Aste Salazar, 1958. Mechanism of natural acclimatization. *Air University School Prepor.* 56, 1, U.S.A.

- 22- Instituto Boliviano de Biología de Altura. 1980. Parámetros Biológicos del Habitante de la ciudad de La Paz y otras poblaciones del Altiplano Boliviano (Capítulo respiratorio). Publicaciones del IBBA. Edit. Casa Municipal de la Cultura, Biblioteca Paceña, La Paz-Bolivia.
- 23- Jellife, D.B., 1966. The assessment of the nutritional status of the community. Geneva: World Health Organization, Monograph N° 53, p. 245.
- 24- Jellife, E.F.P. y Jellife, D.B., 1969. Thoracic circumference as a public health index of protein-calorie malnutrition of early childhood. *J. Trop. Pediat. Monograph* N° 8, vol 15.
- 25- Johnston, F.E., Borden, M. y McVean R.B., 1973. Height, weight and their velocities in Guatemalan private school children of high socio-economic class. *Hum. Biol.* 15: 627-641.
- 26- Kalenga, M. y Henquin J.C., 1987. Protein deprivation from the neonatal period impairs-calorie malnutrition in weaned rats. *Respir. Physiol.* 68:29-39.
- 27- Kerr, J.S., Riley, D.J., Lanza-Jakoby S., Berg, R.A., Spilker, Yu Sy, y Edelmann NH, 1985. Nutritional emphysema in the rat. Influence of protein depletion and impaired lung growth. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 131:644-50.
- 28- Manocha, S.L., 1972. Malnutrition and retarded human development. Thomas, C.C., Springfield, Illinois.
- 29- Martorell, R., 1985. Child growth retardation: a discussion of its causes and its relationship to health. In *Nutritional Adaptation in Man*. Blaxter, K. and J.C. Waterlow, eds, London Libbey, pp. 13-30.
- 30- Mortola, J., Rezonico, R., Fisher, J., Villena, M. Vargas, E. Gonzales, R. y Peña, F., 1990. Compliance of the respiratory system in infants born at high altitude. *Am. Rev. Respir. Dis.* 142:348.
- 31- Mueller, W.H., Schull, V.N., Soto, P. y Rothhammer, F., 1978. A multinational Andean genetic and health program: Growth and development in a hypoxic environment. *Ann. Hum. Bio.* 5: 329-352.
- 32- Post, G.B., Kemper, H.C.G., Lujan, C., Parent, G. y Coudert, J., 1988. Comparison of 10-12 year old school boys living at high (4.100m) and low (450m) altitude in Bolivia. *Int. J. Sports Med.* 13:88 (abstr.)
- 33- Quanjer, P.H., Stocks, J. Polgar, G. Wise, M. Karlberg, G.B., y Borsboom, G., 1989. Compilation of reference values for lung function measurements in children. *Eur. Respir. J.* 2 Suppl. 4: 184S-261S.
- 34- Rolando-Cachera, M.F., Cole, T.J., Sempe, M., Tichet, J., Rossignol, C. y Charraud, A., 1991. Body mass index variations: percentiles from birth to 87 year. *Europ. J. Clin. Nutr.* 45: 13-21.
- 35- Schutte, J.E., Lilljeqvist, R.E. y Johnson, 1983. Growth of lowland native children of European ancestry during sojourn at high altitude. *Am. J. Phys. Anthropol.* 61: 221-226.
- 36- Sempe, M., 1979. Auxologie, méthodes et sequences. Theraplix. Eds. 1,205 p.
- 37- Spurr, G.B., Reina, J.C. y Barac-Nieto, 1983. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: anthropometry and maturation. *Am. J. Clin Nutr.* 37: 119-132.
- 38- Stinson, S., 1980. The physical growth of high altitude Bolivian Aymara children. *Am. J. Phys. Anthropol.* 52: 377-385.
- 39- Tanner, J.M., 1962. Growth and adolescence. Oxford Blackwell Scientific Publication, 2nd edition, 325 p.
- 40- Towbridge, F.L., Marks, J.S., López de Romana, G., Madrid, S., Boutton, T.W. y Klein, P.D., 1987. Body composition of Peruvian children with short stature and high weight for height. II implications for the interpretation of weight for height as an indicator of nutritional status. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 411-418.
- 41- Vargas, E., y Villena, M., 1989. La vida Humana en haute altitude: Mythes et réalités. *Bull. Soc. Path. Wx.* 82, 701-719. Paris.
- 42- Vargas, E., Beard, J.L., Haas, J.D., y Cudkowicz, L., 1982. Pulmonary Diffusing Capacity in young Andean Highland children. *Respiration* 43: 330-335
- 43- Villena, M., y Vargas, E., 1990. Aportes de la pletismografía corporal total al estudio de la adaptación respiratoria a la vida en altura. *Anuario del IBBA, La Paz.*

PATOLOGIA DEL SISTEMA NERVIOSO EN LAS GRANDES ALTITUDES

ZDZISLAW JAN RYN

UNIVERSIDAD JAGUELLONA, COLLEGIUM MEDICUM, CRACOVIA-POLONIA

ADAPTACION DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso se caracteriza por su alta sensibilidad para la hipoxia. La hipoxia crónica, que existe durante una larga permanencia en las alturas, produce cambios de adaptación de carácter biológico. Como resultado se observa un aumento de la tolerancia del organismo para hipoxia y también una disminución de la sensibilidad por la falta del Oxígeno.

El cerebro humano desarrolla diferentes mecanismos de compensación y adaptación. Hensel y Hildebrandt (1964). presentan la opinión, de que la esencia de la aclimatación se ubica exactamente en los cambios en el sistema nervioso. Los habitantes de las grandes alturas son menos sensibles a la estimulación oxigenia en comparación con los habitantes de los valles (Lefrancois *et al.*, 1968, 1970; Paz-Zamora *et al.*, 1974). Estas características tienen naturaleza permanente y hereditaria.

El ascenso a una altura moderada de 2000-3000 metros sobre el nivel del mar provoca normalmente una reacción en el sistema nervioso central, que se manifiesta solamente en la esfera emocional. Se observa entonces las reacciones apático-depresivas (en 80% de los sujetos) o eufórico-impulsivas (en 20%). Los disturbios en esta esfera son, por lo común, los únicos síntomas de la hipoxia que no podemos confirmar en otras pruebas y parámetros fisiológicos o clínicos (Ryn, 1971).

En la primera fase de aclimatación dominan los síntomas de la activación del sistema simpático. Después crece la tensión en ambas partes del sistema autónomo y solamente en los habitantes de las grandes alturas se observa una constante prevalencia en el sistema parasimpático. Es este uno de los más importantes mecanismos de adaptación para la vida en ambiente montañoses.

En la primera fase de aclimatación en las alturas el flujo sanguíneo cerebral aumenta, después disminuye (desde 77 mililitros por minuto por 100 gramos hasta 57 mililitros, según Poy, 1969). Pero esto no significa una hipoxia cerebral. El cerebro, gracias a otros mecanismos de compensación, recibe una adecuada cantidad del oxígeno necesario para su funcionamiento normal, hasta una altura de 4000 m.s.n.m.

EDEMA CEREBRAL DE ALTURA

En la patología cerebral de altura indudablemente el edema cerebral de altura (ECA) se presenta como aspecto más serio. Según Pennie (1975), el edema cerebral y pulmonar de altura (EPA) son las formas extremas del mal de montaña agudo (MMA), que causan la muerte en las alturas a la gente joven, sana y capaz de realizar un gran esfuerzo. Con frecuencia se menciona la presencia simultánea de edema pulmonar y cerebral de altura (Houston, 1960, 1972; Hultgren *et al.*, 1962).

CUADRO CLINICO

El edema cerebral de altura se desarrolla en las personas jóvenes, que suben a las alturas de 4 a 5 mil metros s.n.m. en un corto tiempo. La velocidad de ascensión favorece el desarrollo de esta enfermedad (Clarke y Duff, 1976). Entre los factores que predisponen al edema cerebral se menciona el gran esfuerzo físico, la baja temperatura y alta humedad del ambiente y también la sensibilidad individual para la hipoxia.

El comienzo del ECA es rápido y su curso agudo. La mayoría de las descripciones de los casos refieren un final fatal (Singh y Roy, 1957; Clarke y Duff, 1976; Ryn, 1977, 1977a). El diagnóstico es relativamente fácil. Aparte de los síntomas de mal estado general y diferentes molestias físicas, dominan los disturbios mentales y neurológicos. Con mucha frecuencia se observan fuertes dolores de cabeza, vértigo, náuseas, aversión a la luz, ataques de excitación motora, insomnio, miedo, amnesia, alteraciones en la orientación en el espacio, tiempo y situación, alucinaciones visuales o auditivas, temblor o convulsiones, ataxia, paresis o parálisis. La última fase es el coma. La muerte puede ocurrir inesperadamente sin graves síntomas somáticos (Hajdukiewicz y Ryn, 1983).

Según Clarke (1983,1985) ECA se presenta en dos formas clínicas: edema durante aclimatación y edema por extrema altitud. De esta la primera es más frecuente y se presenta en el 1 a 2% de los visitantes a las alturas entre 4500 y 5500 metros s.n.m. El síntoma más común es un fuerte y continuo dolor de cabeza que paraliza la actividad motora y mental. A menudo los primeros síntomas se relacionan con la esfera psíquica: desequilibrio emocional, intranquilidad, irritabilidad, conductas inadecuadas, ilusiones y alucinaciones, desorientación. En fase avanzada predominan somnolencia, estupor y coma. Con frecuencia se presenta la respiración irregular de tipo Cheyne- Stokel particularmente en la noche. La recuperación es posible, pero los estados de coma conducen a la muerte en 60-70%. Se conocen casos mortales durante el sueño, sin síntomas antecedentes.

Un criterio práctico sería: si una persona en la altura parece ebria, esto significa con gran probabilidad, que sufre edema cerebral.

Las observaciones y experiencias de los médicos de muchas expediciones muestran que acetazolamida (Diamox), es el único medicamento que facilita aclimatación, previene el mal de montaña agudo y edema cerebral de altura. Normalmente se recomienda tomar oralmente 250 mg. de Acetazolamida, dos veces por día, durante 3-4 días antes de ascensión (Bradwell, 1984). En el tratamiento de ECA se recomienda también oxígeno y Dexamethasone (o Betamethasone) (Rennie, 1975; Clarke, 1988). No se recomienda los diuréticos, tampoco opiáceos y depresores respiratorios.

La experiencia alpinista muestra que el método más efectivo es bajar al paciente lo más pronto posible. A veces un descenso de unas centenas de metros puede salvar la vida.

PREVENCIÓN

Los factores comunes en el desarrollo del ECA son ascenso rápido y excesivo esfuerzo físico, por eso se recomienda una aclimatación gradual y buena preparación física antes de la expedición.

ASTENIA CEREBRAL DE ALTURA

Muchos autores y médicos de las expediciones a altas montañas señalan la posibilidad de diferentes alteraciones mentales y neurológicas también después de la expedición (Ryn 1977, 1988; Clarke, 1988). Estos datos justifican la sugerencia que los alpinistas afectados por los traumas de altura pueden desarrollar daños cerebrales permanentes. Estas observaciones controvertidas motivan formular la pregunta ¿Si escaladas a las extremas alturas sin el uso de Oxígeno pueden causar daños cerebrales o no? (West, 1986).

Ochenta eminentes alpinistas polacos, participantes en las expediciones al Hindu Kush, Karakorum, Himalaya y a Los Andes, fueron examinados en el Departamento de Psiquiatría de la Academia de Medicina en Cracovia, en los años 1971-1985.

Los resultados de estas investigaciones indican, que los factores traumáticos de las grandes alturas provocan no solamente alteraciones funcionales en el sistema nervioso central, sino también en algunos casos, daños permanentes. Este síndrome, que se puede definir como astenia cerebral de altura (ACA), representa una forma particular de lesión orgánica del sistema nervioso central.

CAUSAS

Los factores más importantes en el desarrollo de astenia cerebral de altura son: hipoxia como resultado de baja presión parcial del oxígeno en el aire. Las condiciones necesarias predisuestas son: duración de estancia en las grandes alturas, tiempo de practicar alpinismo, el síndrome orgánico cerebral agudo y la respiración de tipo Cheyne-Stokes en el curso del mal de montaña agudo y también la deterioración de altura.

FORMAS CLÍNICAS

Los síntomas axiales de ACA se relacionan con la esfera intelectual, emocional e instintiva. El cuadro psicopatológico permite diferenciar tres formas clínicas: caracteropática, encefalopática y neurológica. En el tipo caracteropático el compromiso fundamental es de la esfera temperamental y caracterológica en forma de agitación, irritabilidad, explosividad, desequilibrio emocional, dificultades en la concentración de la atención y problemas sexuales. El tipo encefalopático se caracteriza por presencia de síntomas de lesión focal del cerebro: asimetría de los reflejos tendinosos, asimetría palpebral, nistagmo y limitaciones en el campo visual. En los casos con el cuadro neurológico se observa síntomas de disfunción en el sistema nervioso periférico.

El carácter orgánico de estos síndromes fue confirmado no solamente por su cuadro y su dinámica, sino también en los resultados de las pruebas psicológicas y los registros electroencefalográficos.

En conclusión se puede afirmar, que el mal de montaña agudo conduce a edema cerebral de altura, o al revés esta complicación en casos severos puede producir lesión orgánica del cerebro. Los resultados de estos estudios, todavía únicos, representan un gran valor práctico, especialmente para la prevención en los alpinistas. Confirman ellos la opinión expresada por Jack Longland, de que las grandes alturas matan lentamente al ser humano.

ASPECTO PSICOLÓGICO

En el Himalaya pereció casi toda la generación de destacados alpinistas polacos. Hasta los años noventa en más de 120 expediciones polacas, 39 personas perdieron la vida. La causa más frecuente de la muerte eran los disturbios del organismo causados por el mal de altura (EPA o ECA).

Por eso, una gran importancia tiene el aspecto psicológico del alpinismo, pues es el deporte de más alto riesgo. Lo está practicando la gente que posee las predisposiciones psíquicas especiales. Ocurre que para muchos alpinistas la vida no constituye el máximo valor. Ellos realizan los ascensos para satisfacer a sus extraordinarias necesidades de emociones fuertes, para acercarse al límite entre la vida y la muerte, y a veces, para vivir, una vez en la cumbre, el éxtasis de altura. Resulta que la satisfacción de estas necesidades es más fuerte que el instinto de autoconservación. Es difícil no emitir una paradójica reflexión sobre que es la muerte y no la vida lo que representa para los alpinistas el valor supremo.

En la práctica del alpinismo se ponen de relieve dos contradictorios comportamientos y necesidades humanas: el heroísmo y el masoquismo. No es fácil comprender la intrepidez del alpinista, en el fondo solitario, que con un piolet se propone escalar el Everest, si no existe el objetivo superior de tal acción. El fuerte elemento místico y religioso en las sensaciones de los alpinistas abre ante nosotros nuevas posibilidades para conocer y comprender los verdaderos motivos de la práctica de este deporte.

Como consecuencia de la permanencia en grandes alturas se producen las sensaciones negativas, físicas y psíquicas, a veces muy dolorosas. Liberarse de ellos, huir del tormento al éxtasis, es sólo posible en las situaciones extremas, en el estado de «vértigo» de gran altura, a menudo cuando el conocimiento está perturbado. El alcance a esta dimensión de sensaciones - ambivalentes del tormento y del éxtasis - constituye uno de los más fuertes motores empujando al hombre a la práctica del alpinismo. Y así se expresa la dimensión psicósomática de este deporte.

REFERENCIAS

- Bradwell, A.R., 1984. The use of acetazolamide at altitude. UIAA Mountain Medicine Data Centre, St. Bartholomew's Hospital London ECI.
- Clarke, C., Duff, J., 1976. Mountain sickness, retinal haemorrhages, and acclimatization on Mount Everest in 1975. *Brit. Med. J.* 2:495-502
- Clarke, C., 1988. High Altitude Cerebral Oedema. *Int. J. Sports Med.* 9:170-174.
- Hajdukiewicz, J., Ryn, Z. 1983. Höhenhirnödeme. In: *Medizinische Probleme bei Bergfahrten in Grossere Höhen.* 7. Internationale Bergrettungsärzte - Tagung, Innsbruck, 15 November 1980. Innsbruck: Eigen-Verlag G. Flora: 88-92.
- Hensel, H., Hildebrandt, G., 1964. Organ systems in adaptation: The nervous system. In: D.B.Dill, E.F. Adolph, C.G. Wilber (eds.), *Handbook of Physiology: Adaptation to the environment*, section 4. Washington: 55-72.
- Houston, C.S., 1960. Acute pulmonary edema of high altitude. *New Engl. J. Med.* 263:478-480.
- Houston, C.S., 1972. High-altitude pulmonary and cerebral edema. *The American Alpine Journal* 16:83-92.
- Hultgren, H.N., Spickard, W., López C., 1962., Further studies of high altitude pulmonary edema. *Brit. Heart Journal* 24:90-95.
- Lefrancois, R., Gauthier, H., Pasquis, P., 1970. Interactions des effets ventilatoire de l'hypoxie et des injections de KCN. In: *Anuario del IBBA, La Paz:* pp.43-44.
- Lefrancois, R., Gauthier, H., Pasquis, P. 1968., Ventilatory oxygen drive in acute and chronic hipoxia. *Respiratory Physiology* 4.
- Paz-Zamora, M., Ergueta, J., Antezana, G., Vargas, E., Coudert, J., Haftel, W., Valot, J.L. 1974., Parámetros biológicos normales (La Paz 3500 m). IBBA, La Paz. Publicación del Comité Organizador de los VIII Juegos Deportivos Bolivarianos.
- Rennie, D. 1975. High altitude oedema: cerebral and pulmonary. In: C. Clarke, M. Ward, E. Williams (eds.), *Mountain medicine and physiology.* London: Alpine Club: 85-90.
- Roy, S.B., 1969. Circulatory and ventilatory effects of high altitude. *Acclimatization and deacclimatization of Indian Soldiers. Five Year Report (1964-1969).* New Delhi: Indian Council of. Med. Res.
- Ryn, Z., 1977. Central nervous system and altitude: brain asthenia syndrome. The habilitation thesis. Medical Academy in Krakow: pp.257 (manuscrito en polaco y en inglés).
- Ryn, Z., 1977a. Edema cerebral de altura. *Apuntes de Medicina Deportiva* 53:7-10.
- Ryn, Z., 1971. Psychopathology in alpinism. *Acta Médica Polona* 12: 455-469.
- Ryn, Z., 1988. Psychopathology in Mountaineering: Mental disturbances under high-altitude stress. *Int. J. Sports Med.* 19: 163-169.
- West, J.B., 1986. Do climbs extreme altitude cause brain damage? *Lancet* II:387-388.

NUESTRA EXPERIENCIA EN RESIDENTES PERMANENTES DE ALTURA: " CALIDAD DE LA ACLIMATACION "

RAIMUNDO SANTOLAYA B., LUIS SALAZAR C., MARIO SANDOVAL M.,
RAIMUNDO SANTOLAYA C. RUBÉN ALFARO T.

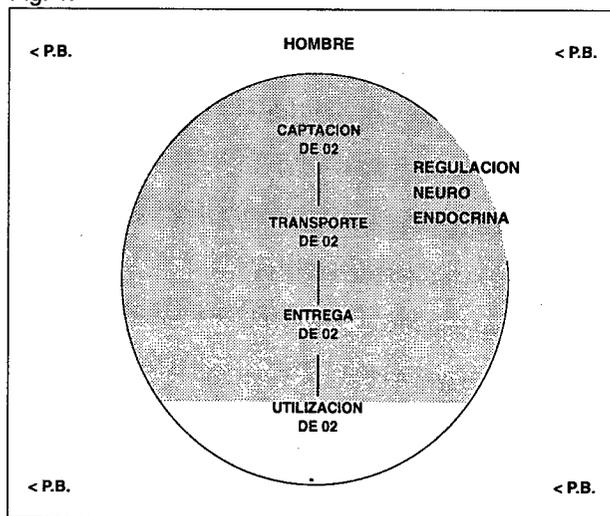
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECOBIOLÓGICAS Y MÉDICAS DE ALTURA (CIEMA).
CODELCO- CHILE. DIVISIÓN CHUQUICAMATA.

El trabajo que presentamos muestra los resultados de algunos parámetros obtenidos por nuestro Centro desde 1977, y otros recogidos con anterioridad, trabajando entonces para la Universidad de Chile y apoyados por CORFO. El orden de la presentación pretende sistematizar nuestras investigaciones, en relación al concepto de **calidad de la aclimatación**, natural o adquirida, en grupos de residentes permanentes de altura.

Todos nuestros trabajos son programados y prospectivos, no utilizan datos de fichas clínicas, y en la mayoría de ellos se mantiene el seguimiento de las poblaciones estudiadas, añadiendo investigaciones complementarias. Aunque en algunos trabajos se persigan objetivos específicos, siempre se privilegia el estudio abarcador, existiendo un protocolo mínimo de investigación: historia y examen físico completos; antropometría; exámenes completos de sangre venosa; gases y equilibrio ácido-base en sangre arterial; Radiografía de Tórax; ECG de reposo y espirometría completa, lo que nos permite comparaciones cruzadas individuales o grupales.

En la Figura 1 enfatizamos la compleja ecuación hombre-altura, que obliga a una adecuada definición de sus elementos. Aunque existen otras características en los diversos ecosistemas de altura según su ubicación geográfica, que determinan el clima local (temperatura, humedad, régimen de lluvias, etc.), lo definitorio es el descenso de la presión barométrica y su consecuencia, la disminución de la presión inspirada de Oxígeno, dependientes del nivel de altura.

Fig. 1.



Las experiencias que hoy esbozamos se desarrollaron en la I y II Región de Chile (Tarapacá y Antofagasta), en asentamientos humanos ubicados a distintos niveles de altitud: pueblos del bofedal de Isluga (I Región, 3650 a 4100 m), con laboratorio ubicado en Colchane (3650 m.); Socaire, pueblo del Salar de Atacama (II Región, 3450 m.); Caspana (II Región, 3260 m), Ollagüe, pueblo ferroviario en el altiplano chileno-boliviano (II Región, 3818 m.); Aucanquilcha, mina de Azufre, (II Región, 5960 m.), con campamento en Amincha (4100 m.), vecino a Ollagüe; y Chuquicamata (2800 m), gran enclave minero de cobre de CODELCO-CHILE, ubicado en el desierto marginal de altura de la II Región en donde se encuentra nuestro laboratorio base.

Pero además del nivel de altura, es el hombre estudiado el que debe ser acabadamente definido: nativo o no de ella; desarrollo total o parcial en la altura; perteneciente o no a las razas andinas ancestrales, con mayor o menor apego al estilo andino tradicional; rural o urbano; pastor, agricultor o minero; residente permanente de altura o con descensos de frecuencia variable a tierras bajas o a la Costa.

Las poblaciones estudiadas en Isluga, Ollagüe, Socaire, Caspana y Aucanquilcha responden a la definición de nativos andinos indígenas con desarrollo total en la altura y residencia permanente en ella. Sin embargo, sus estilos de vida y actividades son diversas: Isluga, pastores nómadas y agricultores; Caspana y Socaire agricultores atacameños tradicionales; Ollagüe, funcionarios municipales y del ferrocarril, agricultores, trabajadores de las Borateras de Ascotán; Aucanquilcha, mineros del Azufre.

Los escolares de Chuquicamata estudia los son todos nativos con desarrollo total en la altura y residencia casi permanente en ella, pero ajenos casi en su mayoría a la razas andinas y con un fuerte mestizaje indoeuropeo. Su estilo de vida es occidental, en un ambiente con niveles variables de contaminación ambiental. Los adultos de Chuquicamata son un grupo heterogéneo de trabajadores o familiares residentes casi permanentes de altura, en un 60% nativos de ella, con clara definición de su actividad laboral (mineros y no mineros). Este grupo presenta un fuerte mestizaje, característico de las poblaciones del Norte de Chile. Su estilo de vida es el propio de un enclave minero y su nivel económico social es muy superior a los estándares nacionales, particularmente en lo referido a cobertura de salud. El grupo de Chuquicamata corresponde a residentes permanentes de altura, situación distinta a la que ocurre con los hombres que laboran en muchos enclaves mineros, habitualmente residentes a nivel del mar y que acceden a la altura por períodos variables: diariamente, 4 días en altura y 4 a nivel del mar, y otros modelos.

La aclimatación natural, individual o racial, o la adquirida por muchos años de residencia en la altura, es un proceso holístico, integral. No se juega a un sólo parámetro, sino que es un mosaico de variaciones delicadas, con tendencias genéricas y variables individuales, que aportan sus cuotas para mejorar la eficiencia de todo el organismo en su exigente hábitat, y es, como decía Hurtado⁽¹⁰⁾ "probablemente en los niveles moleculares, bioquímicos, celulares y tisulares donde se encuentran los aspectos más importantes de este eficiente comportamiento", englobadas en una particular integración neuroendocrina.

En el hábitat de altura todo el hombre se modifica, pero los cambios más relevantes y mejor conocidos ocurren en el "sistema respiratorio", entendiéndose por tal todas las estructuras y funciones vinculadas directamente con la respiración⁽²⁰⁾, proceso bioquímico y celular, generador de energía para la vida, dependiente del aporte de oxígeno. La respiración, utilización de O₂ y depuración de CO₂, es vital para todas las células del organismo y ocurre en la intimidad de su citoplasma y organelos. Este proceso fundamentalmente vinculado a la mitocondria, es un concepto que es necesario enfatizar cuando se analiza la aclimatación y/o adaptación a la altura. El sistema respiratorio, así planteado, puede sistematizarse en los siguientes niveles:

1. **Captación de Oxígeno** : El factor tórax-corazón-pulmón, bajo regulación ventilatoria neurohumoral.
2. **Transporte de Oxígeno** : sangre-circulación.
3. **Entrega Tisular de Oxígeno** : capilarización-intersticio.
4. **Utilización celular de Oxígeno** : mitocondria.

La dificultad de investigar los niveles tisulares hacen que la mayoría de los estudios se refieran a los niveles de captación y transporte de O₂. Estas investigaciones, generalmente puntuales, pretenden muchas veces interpretar y explicar la globalidad del proceso oculto a través de la punta visible de un iceberg.

Finalmente, los análisis se realizan utilizando los valores promedios de las poblaciones estudiadas, lo que muestra tendencias grupales, pero la dispersión respecto de esta cifra obliga a recordar que la aclimatación es un proceso individual, con equilibrios particulares en cada caso.

En este resumen destacaremos los parámetros más importantes de nuestros estudios.

CAPACIDAD VITAL

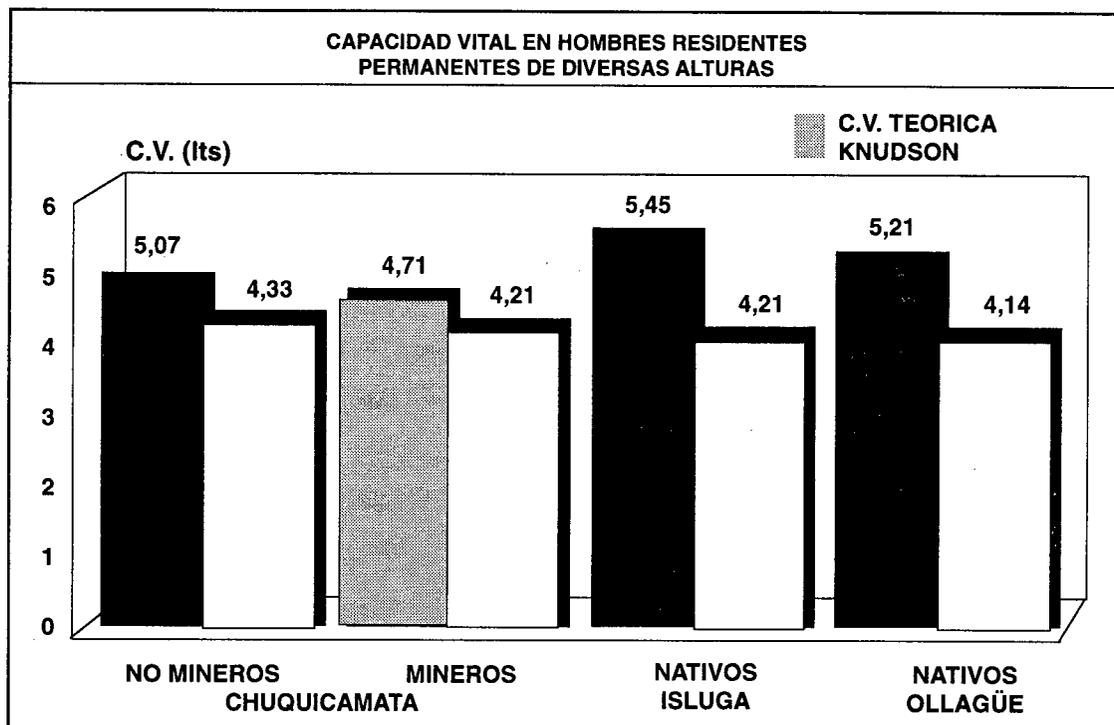
En 4 poblaciones adultas de sexo masculino estudiadas, constituidas por residentes permanentes de Chuquicamata, (trabajadores mineros y no mineros), Isluga y Ollagüe, los valores de Capacidad Vital (C.V.) superaron ampliamente las cifras consideradas normales a nivel del mar (teórico de Knudson, según talla y edad para cada caso)^(11, 17). Los grupos presentaban un rango amplio de edades a excepción de los nativos de Ollagüe que eran menores de 40 años. Los valores promedios se entregan en la Tabla 1 y Figura 2.

TABLA N° 1

CAPACIDAD VITAL (ml BTPS Y COMO % DEL VALOR TEORICO DE KNUDSON) EN POBLACIONES RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

	n	C.V. ml BTPS	C.V. % Knudson	D.E.
Chuquicamata				
No Mineros	276	5070	117.1	13.9
Mineros	132	4710	111.3	13.2
Isluga	57	5450	129.5	12.7
Ollagüe	33	5210	126.0	11.8

Fig. 2



Hallazgos similares se encontraron en 2 poblaciones de mujeres adultas normales:

	n	C.V. ml BTPS	% Knudson	D.E.
Chuquicamata	327	3610	116,5	13.2
Isluga	423	790	121,6	15.0

Al comparar el grupo de mineros de Chuquicamata con los no mineros entre los 30 y 69 años, cuyas tallas y edades eran similares, se observó una C.V. significativamente mayor en los no mineros ($p < 0.0005$). Esta diferencia se evidenció en todos los decenios de edad ($p < 0.0001$), con un deterioro progresivo con la edad, mayor en los mineros. El grupo minero está constituido por trabajadores normales de la fundición y concentradora del mineral de Chuquicamata, reiterando que no obstante el deterioro de su Capacidad Vital respecto de los no mineros, ésta sigue siendo francamente superior a la norma internacional de nivel del mar.

Estos valores elevados de C.V. forman parte de un incremento de la Capacidad Pulmonar Total (C.P.T.) de los residentes permanentes de altura y de sus nativos. Esto se ratificó en un grupo de 45 hombres nativos residentes de Chuquicamata que presentaron los siguientes valores promedios: C.V. 128% respecto de Knudson, Ventilación Voluntaria Máxima (V.V.M.) 141% y una C.P.T. de 7520 ml BTPS (130% del teórico), con un Volumen Residual (V.R.) aumentado, estudiado con la técnica del Helio: V.R./C.P.T. 106%.⁽²¹⁾

Finalmente al comparar los nativos de Ollagüe con nativos del Nepal residentes a 3.800 y 3.700 m respectivamente, con tallas y edades similares, los valores de C.V. no demostraron diferencias significativas (5195 y 5250 ml BTPS respectivamente), pero el volumen calculado del tórax fue significativamente superior en los nativos de Ollagüe ($p < 0,0045$).⁽²⁾

CAPACIDAD DE DIFUSION PULMONAR

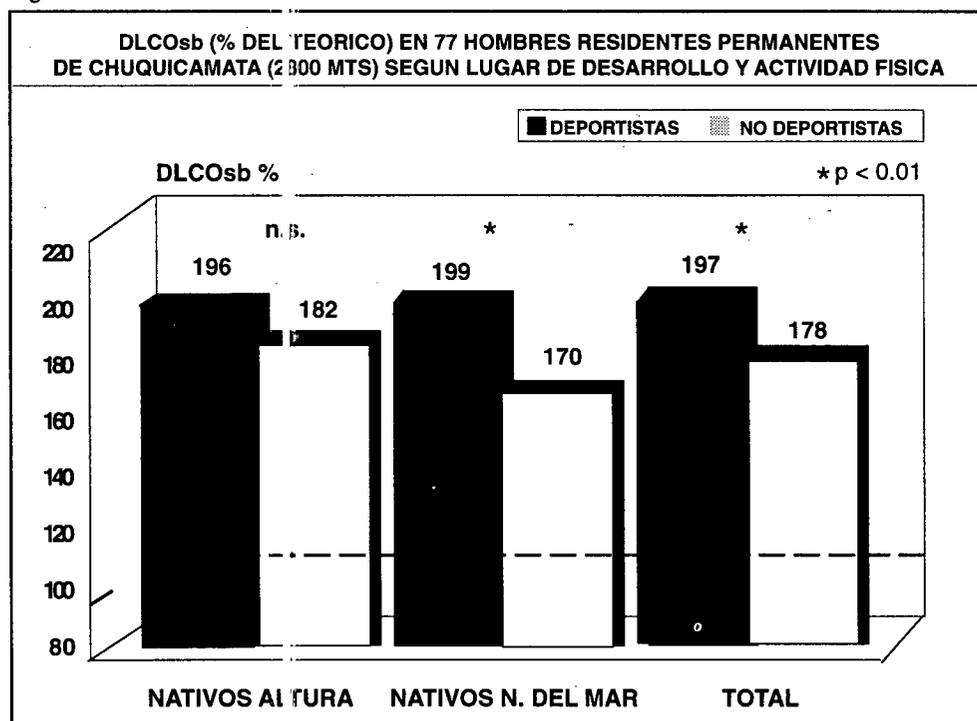
La Difusión Pulmonar (DLCO) fue estudiada en 77 hombres (edad promedio 36.8 años, rango 18-73) y 20 mujeres (edad promedio 32 años, rango 13-47) residentes permanentes de Chuquicamata. La muestra de hombres corresponde a trabajadores y ex-trabajadores del mineral de Chuquicamata, sin descartar a los fumadores, siendo 22 de ellos deportistas con entrenamiento habitual (ciclistas y andinistas).⁽²¹⁾

El estudio se realizó en un equipo Collins DL 520 computarizado, que incluyó el estudio completo en cada caso: Volumen residual, capacidad pulmonar total, etc. Los valores de DLCO reales, según la técnica de la respiración única (sb), consideraron la corrección para hemoglobina según Dittakara. La fórmula de Ferris utilizada por el computador del equipo introduce el factor presión barométrica. Los resultados se expresan en unidades absolutas ml/min/mm Hg y como porcentaje del valor teórico según Gaensler.

	DLCO ml/min/mm Hg	% Gaensler	rango
Hombres	55.0	183	133 - 260
Mujeres	42.4	198	149 - 264

Se dividió el grupo de hombres entre nativos de altura con desarrollo total en ella (45) y los de desarrollo a nivel del mar (32) sin que hubiera d.e.s en sus valores de DLCO expresados como porcentaje del valor teórico (184% y 183% respectivamente). Al dividir el grupo total entre los deportistas (22) y el resto (55) se observó una d.e.s ($p < 0.01$) en la DLCO (197% y 178% respectivamente). Esta diferencia se debió fundamentalmente al hallazgo de DLCO significativamente mayores ($p < 0.01$) en los sujetos deportistas con desarrollo a nivel del mar ($n = 14$; DLCO 199%) respecto de los no deportistas con desarrollo a nivel del mar ($n = 18$; DLCO 170%) (Figura 3).

Fig. 3



Estos resultados demuestran que todos los residentes permanentes estudiados en Chuquicamata poseen DLCO muy superiores a los considerados normales a nivel del mar y que en ellos el entrenamiento físico sistemático aumenta la DLCO, alcanzando niveles muy significativos en particular en los que hicieron su desarrollo a nivel del mar. Este hallazgo avalaría la práctica de ejercicio físico en la altura para lograr una mejor calidad de aclimatación, especialmente en el nacido y desarrollado a nivel del mar.

Es atinente recordar aquí que el incremento de la DLCO en el residente permanente de altura no se debe exclusivamente a un factor de membrana (mayor superficie con un intersticio más fino) sino que también al componente de difusión intracapilar que es proporcional al volumen de sangre en los capilares pulmonares.

Los hallazgos señalados a nivel pulmonar deben interpretarse asociados a lo relatado por otros autores: discretas a moderadas elevaciones de la presión de arteria pulmonar (Peñaloza; Cerro de Pasco 4320 m)⁽¹⁴⁾ (Cudkowicz; La Paz 3600 m)⁽⁹⁾; mejoría del cociente ventilación-perfusión de vértice a base (Cudkowicz), debido a la hiperventilación clásica del hombre de la altura en equilibrio con la hipertensión pulmonar descrita.

Por lo tanto el pulmón del nativo residente permanente de altura posee características que le permiten enfrentar mejor su rol de capacitación e intercambio de Oxígeno, siendo clásico el estudio de Velásquez⁽²⁵⁾ que demuestra que la gradiente alvéolo-arterial de oxígeno en Morococha (4650 m) es apenas de 1 a 2 mm Hg, comparada con 6.5 o más a nivel del mar.

GASES Y EQUILIBRIO ACIDO-BASE EN SANGRE ARTERIAL

Estos parámetros, tan relevantes en los estudios de altura, fueron evaluados en diversos grupos de hombres y mujeres normales residentes permanentes de altura⁽¹⁹⁾:

Lugar	n	Edad Promedio (años)	rango
Chuquicamata 2800 mts.			
Hombres No Mineros	314	40	18 - 77
Hombres Mineros	130	43	30 - 59
Mujeres	396	38	16 - 76
Nativos Indígenas			
Ollagüe 3818 mts.	18	25	16 - 37
Aucanquilcha 5960 mts.	6	32.8	19 - 54

El grupo de Aucanquilcha corresponde a trabajadores de la mina azufrera de Aucanquilcha, que laboran a 5960 m., lugar donde se realizaron las muestras de sangre arterial. Estos trabajadores residían en el campamento de Amincha a 4100 m. y subían diariamente a sus faenas en la cumbre.⁽¹⁸⁾

En la Tabla 2 y Figura 4 se resumen los valores promedio y la desviación estándar entre parentesis de los parámetros más importantes: pH, presión arterial de oxígeno (PaO₂ en mm Hg), presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂ en mm Hg) y exceso de base (B.E. en mmol/lit). En este resumen no se anotan los demás parámetros estudiados, ni la distribución según grupos etarios.

TABLA N° 2

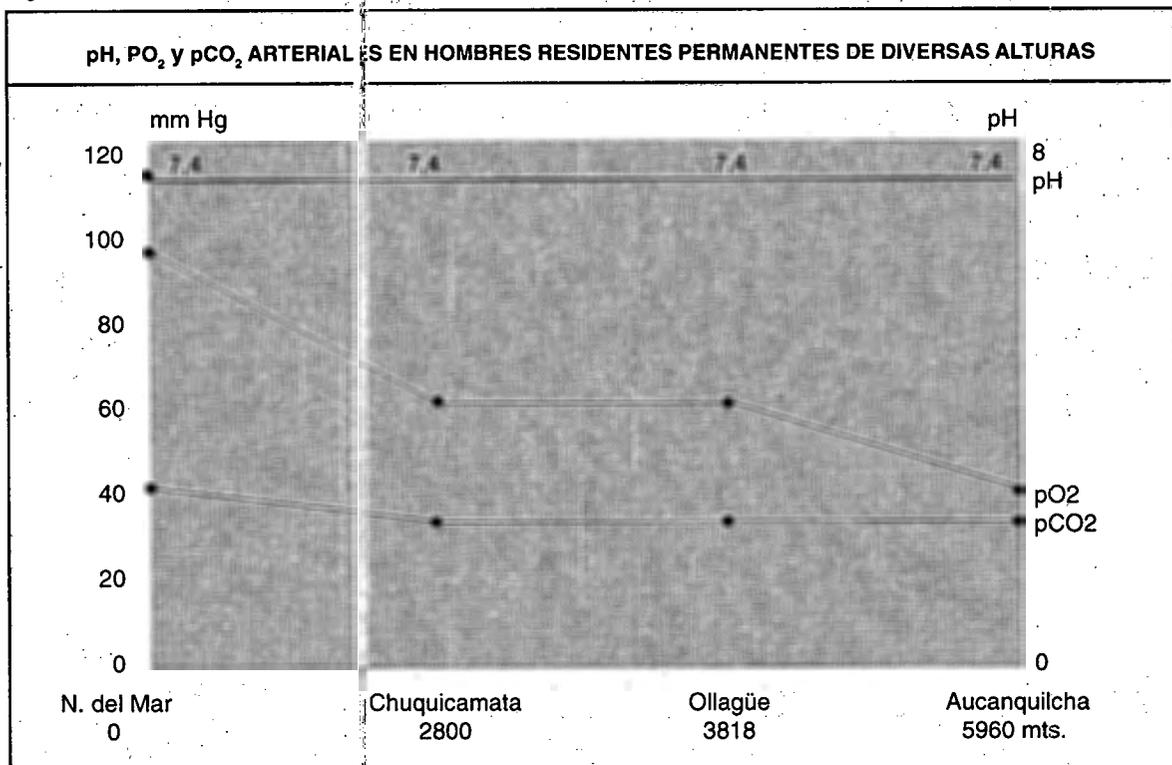
VALORES PROMEDIO DE pH, PaO₂, PaCO₂ Y B.E. ARTERIALES EN RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

Lugar	pH	PaO ₂	PaCO ₂	B.E.
Chuquicamata				
No Mineros	7.4 (0.018)	61.1 (4.2)	29.5 (2.2)	-4.8 (-1.45)
Mineros	7.4 (0.021)	60.9 (4.8)	28.3 (2.4)	-5.4 (-1.48)
Mujeres	7.4 (0.019)	61.4 (4.8)	28.35 (2.5)	-5.5 (-1.44)
Ollagüe	7.4 (0.022)	58.0 (4.2)	29.4 (3.2)	-5.2 (-1.69)
Aucanquilcha	7.4 (0.029)	34.5 (3.4)	27.6 (2.4)	-5.9 (-1.0)

Entre los muchos comentarios que se deducen de esta experiencia deseamos destacar lo siguiente:

1. Todos los grupos presentaron un pH similar, idéntico al normal de nivel del mar, lo que es concluyente para definir su condición de perfecto equilibrio con el medio ambiente de altura.
2. Los niveles de presión arterial de oxígeno presentan significativas diferencias entre los grupos, dependiendo de la altura de residencia. Todos los individuos estudiados realizaban vida normal sin limitaciones de actividad física, a pesar de poseer valores de PaO_2 muy inferiores a los normales de nivel del mar. Ello es particularmente impactante en los trabajadores de la mina de Aucanquilcha, quienes realizaban trabajo pesado a 5960 m con PaO_2 promedio de 34.5 mm Hg en reposo (rango 30-39), valores que a nivel del mar son casi incompatibles con la vida. Podemos concluir que cuando se trata de residentes permanentes de altura, la PaO_2 baja refleja el impacto del descenso de la presión barométrica por un lado y el ahorro de gradiente a nivel pulmonar por otro: Sin embargo, no indica necesariamente que exista hipoxia a nivel celular, puesto que existen fundamentales modificaciones en las etapas siguientes del sistema respiratorio, que aseguran un aporte satisfactorio de O_2 a nivel mitocondrial.
3. La PaCO_2 no mostró diferencias significativas entre los grupos residentes en las diversas alturas, inclusive después de la corrección etaria, presentando todos ellos valores francamente inferiores a los considerados normales a nivel del mar (Figura 5). Sin embargo, existió diferencia significativa en el promedio de la PaO_2 , entre los residentes de Chuquicamata respecto de los de Ollagüe. Ello refleja el distinto patrón ventilatorio del residente permanente de altura, que presenta una mayor ventilación alveolar respecto de la fisiología de nivel del mar. Sin embargo, es sorprendente que la ventilación alveolar reflejada en la PaCO_2 , no presente en estos residentes permanentes de altura un descenso proporcional al nivel de altitud.
4. Todos los grupos estudiados presentaron valores promedios negativos de B.E., sin llegar a 0 en ningún individuo (Figura 6). Este hecho, unido a los antes expuestos representa un patrón característico del residente permanente de altura que mirado desde la fisiología de nivel del mar se le rotulaba como una alcalosis respiratoria (PaCO_2 baja) compensada completamente (pH 7.4) por una acidosis metabólica (B.E. negativo ó déficit de base).

Fig. 4



TRANSPORTE DE OXIGENO

El transporte de Oxígeno depende de la cantidad y calidad de la hemoglobina y del débito cardíaco, y, obviamente, de la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma, que se equilibra con el Oxígeno transportado por la hemoglobina. Esta

Fig. 5

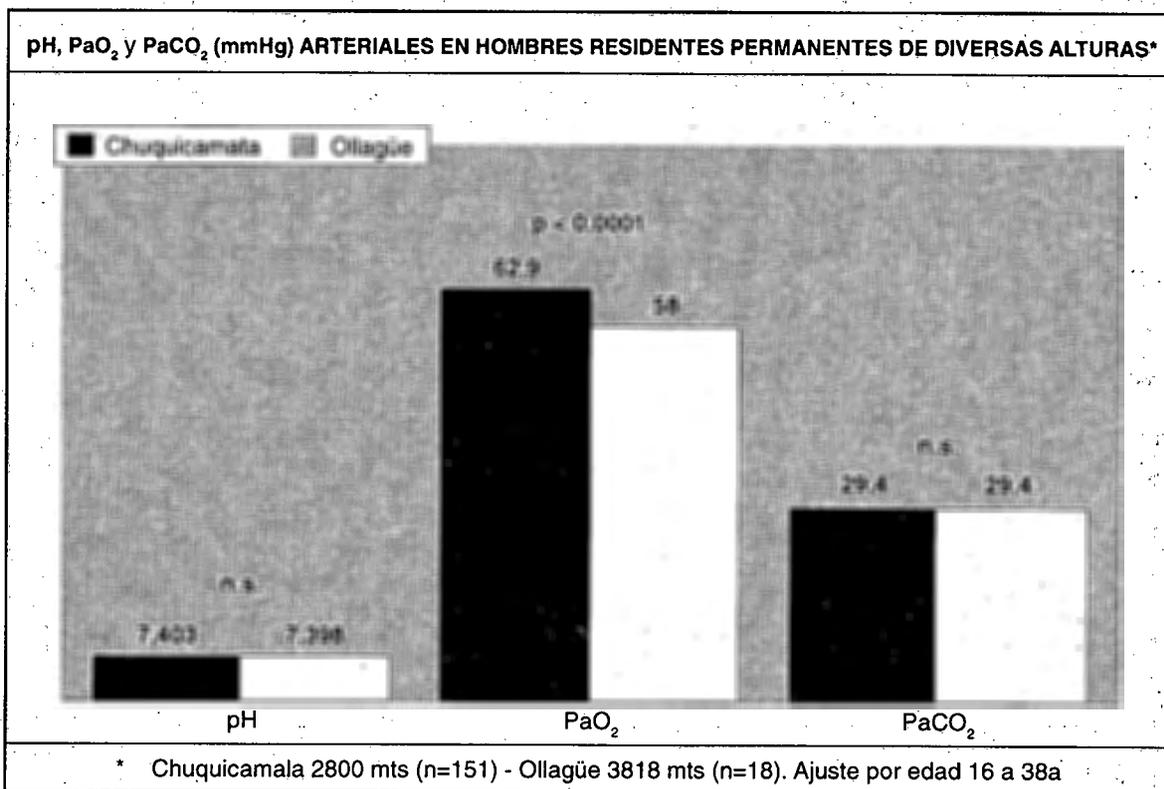
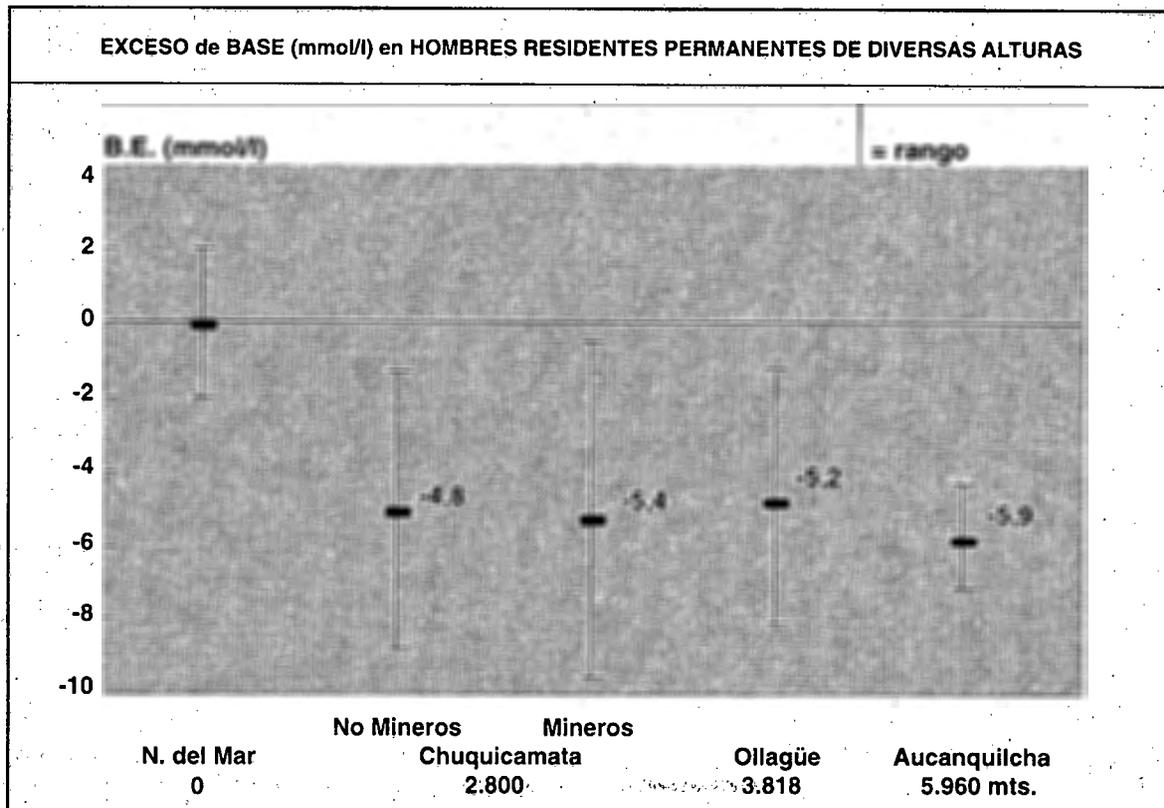


Fig. 6



relación está dada por el particular comportamiento de la curva de disociación de la hemoglobina, que se modifica, como es bien conocido, por numerosos factores fisiológicos y patológicos. En la altura, ya Hurtado⁽⁹⁾ describió la desviación a la derecha de esta curva, que años después Torrance⁽²³⁾ y Lenfant⁽¹²⁾, demostraron era debida al incremento del 2,3 DPG del glóbulo rojo. Los estudios realizados en residentes permanentes de altura han demostrado que el débito cardiaco es semejante al observado en residentes de nivel del mar.

En todas nuestras investigaciones realizamos sistemáticamente la evaluación de hemoglobina, macro y microhematocrito. En este resumen sólo nos referimos a los valores de microhematocrito dado que en las primeras investigaciones (pueblos del Bofedal de Isluga. Socaire) fue el único parámetro analizado.

En la Tabla N° 3 entregamos los resultados de microhematocrito en poblaciones de hombres residentes permanentes de diversas alturas⁽¹⁶⁾:

TABLA N° 3.
MICROHEMATOCRITO (%) EN HOMBRES NORMALES RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS

Lugar	Altura m	n	Prom. %	D.E.	Rango %	
Chuquicamata	2800	-Escolares	78	48.1	3.1	41.0-55.3
		-No Mineros	359	52.4	3.4	41.8-63.8
		-Mineros	138	52.1	3.3	41.5-61.0
Caspana	3200	42	52.4	4.0	45.3-70.0	
Socaire	3400	21	49.2	3.1	44.0-56.5	
Isluga	3600-4100	62	47.9	3.6	37.0-55.0	
Ollagüe	3800	29	53.2	4.7	46.7-64.0	
Aucanquilcha	4100-5900	6	62.0	7.3	54.0-75.0	

Existe la tendencia a asumir, como hecho inexorable y dogmático, el alza del hematocrito en forma proporcional a la altura de la residencia. En nuestra opinión esta visión ha "hipertrofiado" el rol del hematocrito en la aclimatación a la altura, desconociendo o subvalorando otras modificaciones. Además, ha pretendido correlacionar en forma matemática, el valor del hematocrito para una altura determinada sin definir la población estudiada, sus particulares hábitos y estilo de vida, como asimismo las condiciones de su medio ambiente.

Nuestros estudios de poblaciones nos han llevado a plantear, desde hace muchos años, que en un mismo nivel de altura se encuentra una fuerte dispersión de los valores de hematocrito en los individuos estudiados y que los mejor aclimatados no son aquellos que poseen los valores más altos del mismo.

De los datos anotados en la Tabla N° 3 resulta destacable que los nativos indígenas del Altiplano de Isluga, que representan el modelo ancestral de pastores nómadas, poseen valores de Hto similares a los de nivel del mar e inferiores a los encontrados en Chuquicamata ($p < 0.001$), que residen 1000 m más abajo, aunque con modelo de vida distinto y expuestos a contaminación ambiental (Figura 7). Reafirma nuestra tesis de que se trata de un grupo de óptima aclimatación, los resultados obtenidos en la prueba de ejercicio máximo que se comentarán más adelante.

PRUEBA DE EJERCICIO MAXIMO

De todas las actividades que puede realizar un individuo, la actividad muscular (ejercicio físico) es la de mayor gasto energético y por lo tanto, la que demanda un mayor consumo de Oxígeno. La prueba de ejercicio máximo es la única evaluación fisiológica que permite valorar la función integral del sistema respiratorio antes descrito, tanto a nivel del mar como en la altura. Esta prueba, que obliga a la medición de múltiples parámetros para una interpretación adecuada, refleja tanto la normalidad o

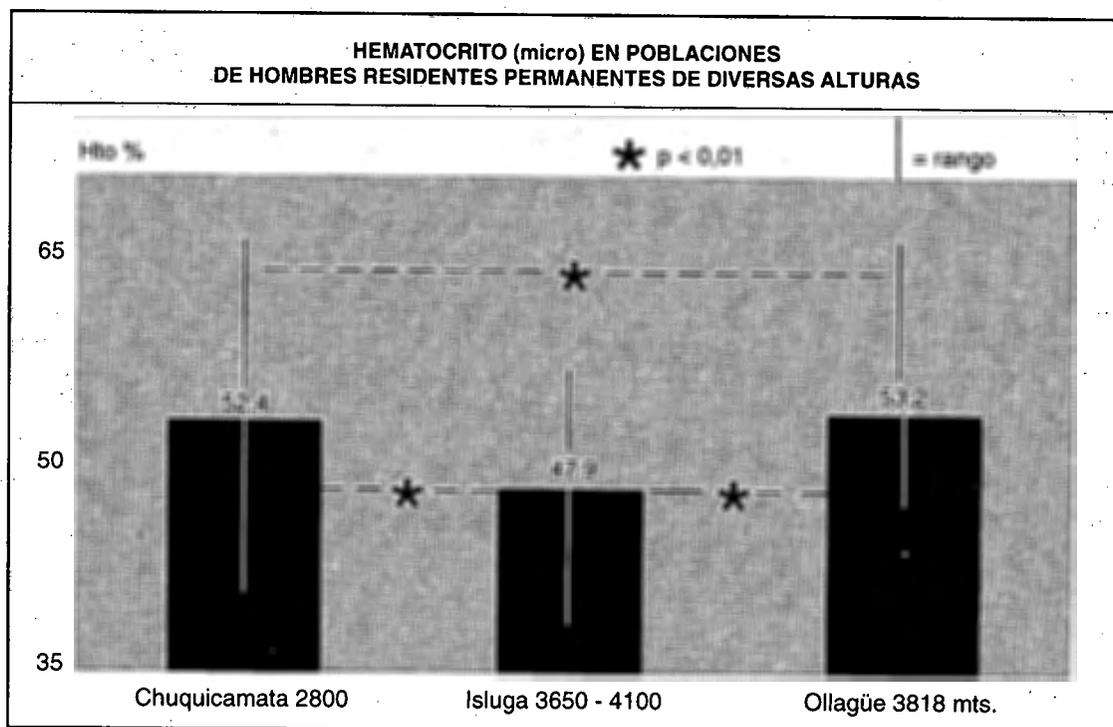
deterioro de los niveles antes analizados en este resumen (captación y transporte de Oxígeno) como los niveles tisulares y celulares a cuya intimidad no nos referiremos. Mencionaremos 2 ejemplos para destacar la trascendencia de estos niveles tisulares: el incremento de la mioglobina en los nativos residentes permanentes de altura (Hurtado 1937)⁽¹⁷⁾ y el franco incremento de la capilarización en tejido muscular demostrada en diversas poblaciones de nativos de altura⁽²⁴⁾. Estas modificaciones aseguran un aporte de oxígeno mitocondrial más abundante y eficiente que el que podría inferirse a partir de los valores de PO₂ arterial, analizada con criterio de nivel del mar.

En nuestra rutina la prueba de ejercicio máximo contempla la medición de frecuencia cardíaca (F.C.), frecuencia respiratoria, volumen espirado, consumo de Oxígeno (VO₂), eliminación de anhídrido carbónico, cuociente respiratorio y rendimiento (W expresado en Watt). A estas mediciones realizadas en cada carga se agrega la medición de ácido láctico venoso al comenzar y finalizar la prueba. El objetivo fundamental de nuestro protocolo es la medición directa, a nivel del máximo trabajo realizable (W Máx), de todos estos parámetros, fundamentalmente de la F.C Máx alcanzada y del consumo de Oxígeno máximo (VO₂ Max) o capacidad aeróbica.

Una capacidad aeróbica disminuida puede deberse a una enfermedad en cualquiera de los niveles del sistema (enfermedad bronquial obstructiva; estenosis mitral, anemia, etc..) o a una mala "adecuación física" ("fitness") (obesidad, sedentarismo). En la altura, la disminución de la misma puede deberse también a una mala aclimatación a ella en el residente permanente y, al impacto agudo hipóxico, en el recién llegado.

En la Tabla N° 4 se anotan los valores promedio más importantes y la desviación estándar () obtenidos en 24 nativos indígenas de Isluga y en 20 de Ollagüe; en 25 choferes de extracción de Chuquicamata y en 21 trabajadores de Chuquicamata que practican deporte competitivo en forma habitual^(15,22).

Fig. 7



Durante el desarrollo de la conferencia se analizó en detalle, en numerosas diapositivas, el comportamiento de los diversos parámetros entre los grupos estudiados y los valores considerados normales por Astrand a nivel del mar⁽¹⁾.

De nuestras experiencias resulta evidente que los nativos indígenas estudiados en el bofedal de Isluga y en Ollagüe, residentes permanentes en un nivel de altura semejante (alrededor de 3800 m.), ostentan valores de consumo de Oxígeno máximo (VO₂ Máx) similares a los considerados normales por Astrand en poblaciones sanas de nivel del mar. Cifras semejantes se obtuvieron en trabajadores deportistas de Chuquicamata que residen 1000 metros más abajo. Sin embargo, el grupo de choferes de extracción del mineral de Chuquicamata muestra valores promedio muy inferiores tanto en términos absolutos como por Kg de peso. Como se aprecia en las figuras 8 y 9, los nativos de Isluga presentan escaso deterioro de su VO₂ Máx con la edad, comportamiento muy distinto al observado en los choferes. Como señalamos con anterioridad, el grupo de nativos de Isluga presentaba valores de hematocrito similares a los de nivel del mar, lo que

asociado a los valores de consumo de O₂ obtenidos reflejan su excelente estado de aclimatación. Si este hematocrito "bajo" hubiera correspondido a "anemia" por carencias nutricionales, esta condición habría impedido alcanzar este rendimiento a ese nivel de altura.

TABLA N° 4
ALGUNOS PARAMETROS OBTENIDOS EN PRUEBA DE EJERCICIO MAXIMO
EN RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

	CHUQUICAMATA		ISLUGA	OLLAGÜE
	Choferes	Deportistas	Nativos	Nativos
Edad años	40.1 (6.7)	32.4 (9.8)	30.8 (10.6)	26.4 (6.0)
Indice P/T (%)	119.3 (11.1)	106.0 (9.9)	94.2 (6.9)	97.6 (12.1)
VO ₂ Máx ml/minSTPD	230 (40)	3020 (518)	2664 (257)	2300 (300)
VO ₂ Máx ml/min/Kg	29.1 (5.6)	43.3 (8.0)	44.8 (4.8)	43.8 (9.5)
W Máx Watt	161 (24)	229 (31)	195 (12)	
W Máx Watt/Kg	2.1 (0.3)	3.3 (0.53)	3.3 (0.25)	
FC Máx	171 (12.3)	179 (9.4)	179 (10.3)	

Fig. 8

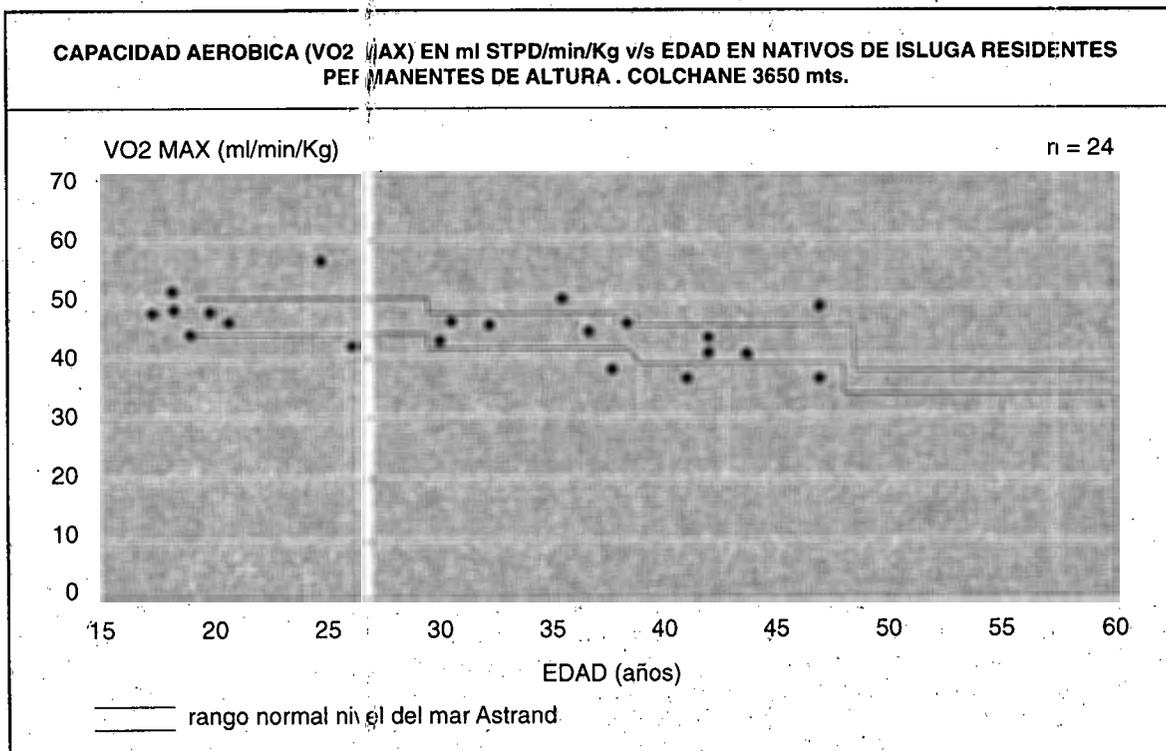
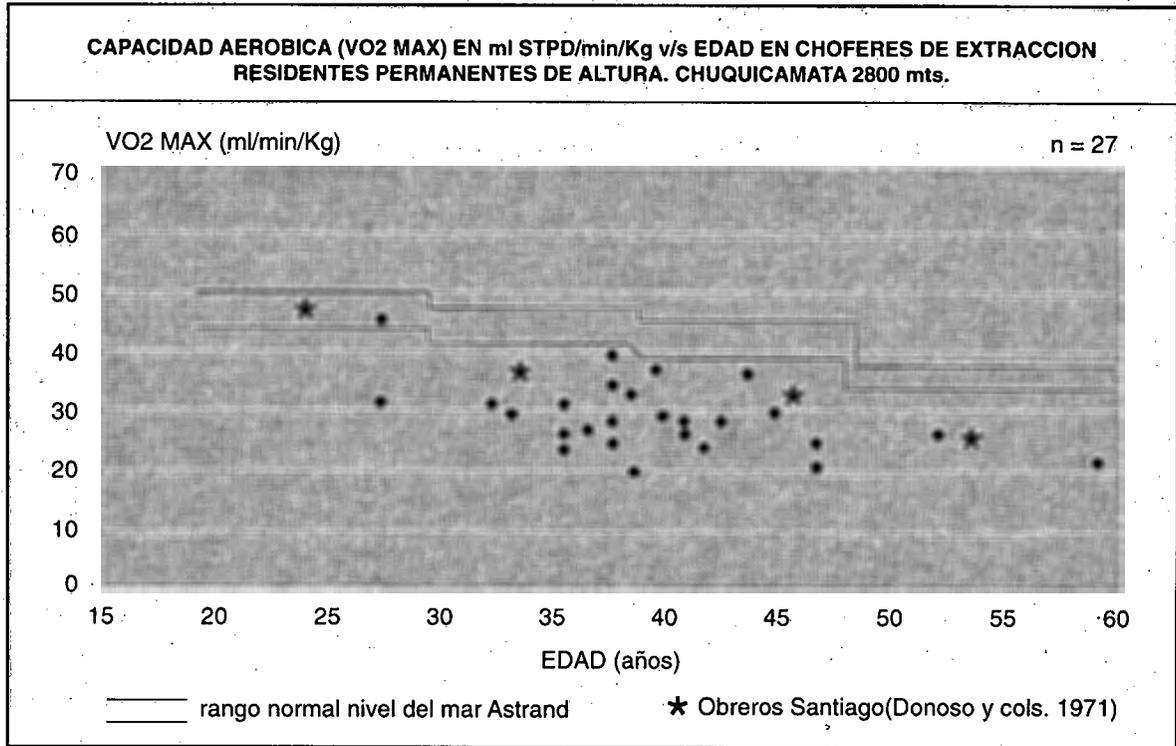
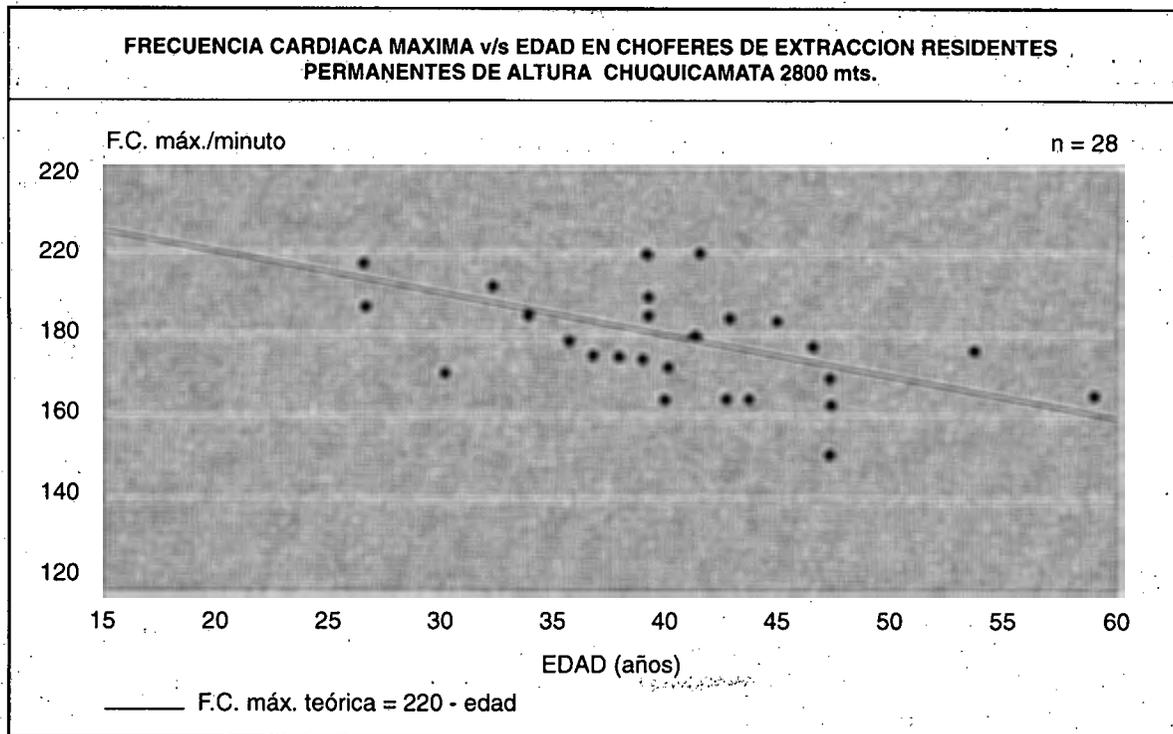


Fig. 9



En el grupo de choferes (Figura 9) la mala capacidad aeróbica no es imputable a la residencia en altura (impacto hipóxico), dado los valores descritos en los grupos de nativos del Altiplano y en los trabajadores de Chuquicamata que realizan actividad física sistemática. La deficiente capacidad aeróbica de los choferes se explica por su mala adecuación física, debida a su sedentarismo extremo y a sus malos hábitos de alimentación. Esta condición, su mala capacidad aeróbica, es compartida con trabajadores chilenos de Santiago, como quedó demostrado por Donoso⁽⁵⁾ y cols. (4) y cuyos valores promedio según grupo

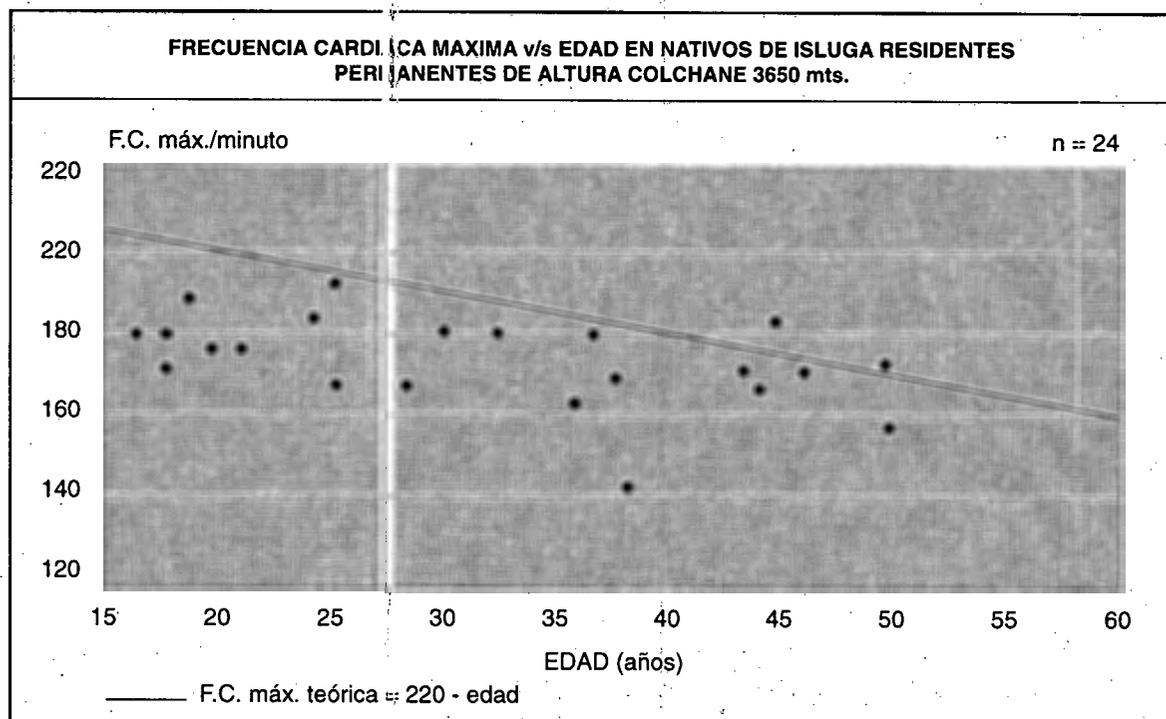
Fig. 10



etario se inscriben en la Figura 9. Los deleñeros hábitos de vida de los choferes se reflejan también en sus valores de Índice peso/talla (Índice P/T), cuyo promedio está francamente alterado (119.3%), respecto de los demás grupos. En su oportunidad, realizamos un estudio antropométrico completo (peso, talla, masa grasa, perímetro muscular braquial) en los 437 choferes de extracción demostrando en el 64 % de ellos, niveles de sobrepeso y obesidad, asociado a un incremento progresivo de su masa grasa con la edad, lo que no ocurrió con los nativos indígenas.

Finalmente en la Figura 10 se demuestra que el comportamiento de la frecuencia cardíaca máxima en relación a la edad fue similar al de nivel del mar en los sujetos de peor rendimiento (choferes). En los nativos indígenas las frecuencias cardíacas máximas tendieron a valores inferiores a los de nivel del mar, fundamentalmente en las poblaciones más jóvenes y con mejores rendimientos (Figura 11). Este comportamiento impide la aplicación del nomograma de Astrand en estas poblaciones, para la medición de la capacidad aeróbica en forma indirecta, a partir de pruebas submáximas.

Fig. 11



Nuestra experiencia nos ha llevado a plantear que la óptima calidad de aclimatación a "las alturas habitables" (Monge Medrano)⁽¹³⁾, se encuentra en los nativos indígenas, apegados a su estilo de vida ancestral. Todo ello obliga a proseguir las investigaciones globales en el hombre andino cuya perfecta aclimatación se identifica también con las particularidades de su estilo de vida tradicional que, en lo substancial, debería imitarse en los residentes permanentes de altura de asentamientos mineros o no mineros.

El progresivo desarrollo de la minería en alturas cada vez mayores plantea numerosas interrogantes tanto fisiológicas como relativas a la salud, calidad de vida y productividad de esos trabajadores. Estas poblaciones, habitualmente de nivel del mar, son sometidas a un modelo de residencia intermitente en la altura y con estilos de vida que en conjunto representan la antípoda del equilibrio alcanzado por el nativo andino.

El estudio global, sistemático y el seguimiento de estas poblaciones representan un reto para la investigación actual, contando con la fisiología del nativo andino como referente insustituible para una evaluación adecuada de la calidad de su aclimatación⁽⁹⁾.

REFERENCIAS:

- 1.- Astrand, P. O., 1960. Aerobic capacity in men and women with the special reference to age. *Acta Pysiol.* (suppl. 169).
- 2.- Blume, F. D., Santolaya, R., Sherpa, M., C.C., 1988. Antropometric and lung volume measurements in Himalayan and Andean natives. *FASES J.* 2 (5): A 1281.
- 3.- Cudkowicz, L., 1970. Mean pulmonary artery pressure and alveolar oxygen tension in man at different altitudes. *Respiration* 27: 417- 430
- 4.- Dinakara, P., Blumenthal, RF., Johnston, RF., Kauffman, LA., 1970. The affect of anemia on pulmonary diffusing capacity with derivation of a correction equation . *Am. Rev. Respir. Dis.* 102:965-969.
- 5.- Donoso, H., y cols., 1971. Capacidad aeróbica como índice de adecuación físicas en muestras de poblaciones (urbanas y nativas de altura) y en un grupo de atletas de selección. *Rev. Med. Chile.* 99:719.
- 6.- Gaensler, EA., Smith , AA., 1973. Attachment for automated single breath diffusing capacity measurement. *Chest* 63:136-145
- 7.- Hurtado, A., 1937. Aspectos fisiológicos y patológicos de la vida en la altura. *Rimac:* 52.
- 8.- Hurtado, A., 1963. Natural acclimatization to the high altitudes: resident man. In: Cunningham, D. J. C., Lloyd, B. B. eds. *The regulation of human respiration.* London: Blackwell Scientific Publications. pp 71-82.
- 9.- Hurtado, A., 1964. Animals in high altitudes: resident man. In: Dill, D. B., Adilph., E. F., Wilber, C. G., eds. *Handbook of Physiology. Adaption to the environment.* Washington, DC. pp 843-860
- 10.- Hurtado, A., 1966. Man and altitude. *American International Hygiene Ass. J.* 27:313-312.
- 11.- Knudson, RJ., Lebowitz, MD., Holberg, CJ., Burrows, B. 1983. Changes in the normal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am. Rev. Respir. Dis.* 127:725.734
- 12.- Lefant, C. et cols., 1968. Efect of altitude on oxygen binding by hemoglobin and on organic phosphate levels. *J. Clin. Invest.* 47:1-15.
- 13.- Monge, MC. 1954. Man, climate, and changes of altitudes. *Meteor. monogr.* 2 (8) 50-60.
- 14.- Peñaloza, A. y cols., 1963. Pulmonary hypertension in healthy men born and living at high altitudes. *Am. J. Cardiol.* 11: 150-157
- 15.- Santolaya, R. y cols., 1973. Electrocardiograma y capacidad aeróbica en nativos residentes de altura del altiplano chileno como índice de aclimatación. *Rev. Med. Chile.* 101: 433-448.
- 16.- Santolaya, R. y cols., 1985. Hematocrito en diferentes poblaciones residentes en distintos niveles de altitud en los Andes del Norte de Chile. *Arch. Biol. Andina, Lima.* 13:152-173.
- 17.- Santolaya, R. y cols., 1988. Inaplicabilidad de los patrones internacionales de capacidad vital (CV) en poblaciones adultas residentes permanentes de alturas: Chuquicamata (2.800 m). *Revista Médica del Cobre.* Vol 1.
- 18.- Santolaya, R. y cols., 1989. Respiratory adaptation in the highest inhabitants and highest Sherpa mountaineers. *Respir. Physiol.* 77: 253-262.
- 19.- Santolaya, R. y cols., 1992. Gases arteriales y equilibrio ácido-base en residentes permanentes sanos a distintos niveles de altura. *Acta Andina* 1: 52.
- 20.- Santolaya, R. y cols., 1993. Desarrollo Minero en la altura, un reto a la Medicina actual. *Minerales* 48 (203): 51-62.
- 21.- Santolaya, R. y cols., 1993. Capacidad de difusión pulmonar en residentes permanentes de altura. *Acta Andina* 2: 23.

- 22.- Santolaya, R. y cols., 1993. Capacidad aeróbica y frecuencia cardíaca máxima en distintos grupos residentes de altura. Acta Andina 2: 45-46.
- 23.- Torrance, J. D. y cols., 1971. Oxygen transport mechanisms in residents at high altitude. Respir. Physio. 11: 1-15.
- 24.- Valdivia, E., 1956. Mechanisms of natural acclimatization. Capillary studies at high altitude. Report. 55-101, School of Aviation Medicine.
- 25.- Velásquez, M. T., 1972. Análisis de la función respiratoria en la adaptación a la altitud (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 89 p

UNIVERSIDAD DE CHILE
VICERRECTORIA ACADEMICA Y ESTUDIANTIL
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTITULO