

DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA ACTUALIZACIÓN CATASTRO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES

VERSION 0



Diciembre 2012



CLIENTE	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE			
CONTRATO N°	ID N° 1588-28-LP10. (Actualización)			
NOMBRE DEL CONTRATO	-			
TITULO DEL DOCUMENTO	Catastro de ecosistemas acuáticos continentales			
Rev.	Fecha	Preparó	Revisó	Aprobó
0	28/12/2012	Fernanda Díaz <i>Cartógrafa</i> Camila Navarro <i>Geógrafo (e)</i> Gabriel Letelier <i>Ingeniero Civil.</i> M^a Fernanda Baladrón <i>Ingeniera Civil, MSc</i>	Cecilia Gasic <i>Ingeniero Agrónomo</i> Manuel Contreras <i>Biólogo, MSc, PhD</i>	Manuel Contreras <i>Biólogo, MSc, PhD</i>

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVO	3
3	ANTECEDENTES DISPONIBLES	5
3.1	imágenes satelitales multiespectrales.....	5
3.2	Base de imágenes satelitales Google Earth.....	6
3.3	Cartografías preexistentes	7
4	METODOLOGÍA	8
4.1	tipos de ecosistemas acuáticos continentales identificados.....	8
4.2	Identificación de ecosistemas acuáticos continentales mediante información remota	9
4.2.1	Selección de imágenes	10
4.2.2	Pre-procesamiento de imágenes	10
4.2.3	Pos-procesamiento de imágenes	10
4.3	Delimitación de ecosistemas acuáticos continentales: Fotointerpretación.....	17
4.4	aplicación de la metodología a nivel país.....	18
5	RESULTADOS	21
6	VALIDACION	38
7	DISCUSION DE RESULTADOS	39
7.1	Respecto de los objetivos del trabajo.....	39
7.2	Respecto de los resultados obtenidos	39
7.3	Respecto de los antecedentes futuros a considerar	39
	REFERENCIAS	41

1 INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, desde 1981 Chile ratifica y transforma en Ley de la República, mediante el Decreto Supremo N° 771 del Ministerio de Relaciones Exteriores, su adhesión a la Convención Ramsar, cuerpo internacional más sólido sobre conservación de humedales. El año 2005 las iniciativas en torno a la implementación de la Convención Ramsar se validaron y consolidaron institucionalmente a través de la conformación del Comité Nacional de Humedales y la aprobación de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de Humedales, herramientas públicas que dan las directrices para emprender una acción coordinada a nivel nacional en la conservación de este recurso (MMA, 2011).

A nivel internacional existe ya un interesante historial de proyectos en países de Europa, América, Asia, Oceanía que dan cuenta de una larga trayectoria en la implementación de sistemas de integración en la gestión de humedales incluso de orden transnacional, todos ellos contando de base con inventarios nacionales. La Convención Internacional de Ramsar destaca en su manual N° 12 “Inventario de Humedales” las iniciativas de MedWet Humedales Mediterráneos (desde 1991), Inventario Nacional de Humedales de los Estados Unidos (desde 1950), Programa Nacional de Humedales de Uganda (desde 1999), Inventario de Humedales de Asia (desde 1954), Inventario de Humedales del Ecuador (desde 1996). En el marco de la misma Convención, desde la primera reunión de las partes contratantes en 1971 (1981 Chile ratifica su adhesión y la transforma en ley) se define como de importancia fundamental para el desarrollo de las políticas nacionales destinadas a la conservación o protección de Recursos Naturales, el contar con un inventario del mismo orden. Complementariamente, uno de los últimos elementos incorporados en la promoción de aquellos, se relaciona con orientaciones respecto al método e insta a las partes a incorporar el uso de teledetección y SIG como herramientas de optimización de resultados (MMA, 2011).

2 OBJETIVO

En base a la importancia de contar con un catastro actualizado de los ecosistemas acuáticos continentales existentes en el país, se busca realizar una revisión y actualización respecto de los resultados del primer catastro nacional de humedales, realizado el año 2011.

De este modo, el objetivo general de este trabajo es realizar una actualización y revisión del primer catastro del inventario de humedales (MMA, 2011), para lo cual se confeccionará un catastro físico de los ecosistemas acuáticos continentales a escala regional presentes en el país. Por medio del presente documento se entregan los lineamientos generales de la metodología utilizada para cumplir con este objetivo. Para esto se han definido los siguientes objetivos específicos:

- a) Describir los ecosistemas acuáticos continentales que son identificados a nivel nacional, considerando las clases de cuerpos, ríos y otros humedales.
- b) Describir las fuentes de información consideradas para realizar este catastro.

- c) Describir la metodología usada para identificar y delimitar los ecosistemas acuáticos continentales, basado en análisis remoto de imágenes multiespectrales, y fotointerpretación, basado en la galería de imágenes de la plataforma Google Earth®.
- d) Generar cartografías y archivos vectoriales (*.kml, *.shp, *.pdf, *.mxd) respecto de la ubicación y cobertura nacional de los ecosistemas acuáticos continentales, considerando cada una de las clases mencionadas en el objetivo (a).

3 ANTECEDENTES DISPONIBLES

Los antecedentes disponibles para el catastro de ecosistemas acuáticos continentales, corresponden a tres fuentes de información:

- Imágenes satelitales Landsat, de alta resolución temporal, al año 2012.
- Imágenes de alta resolución espacial, pertenecientes a Google Earth ®,
- Cartografías de coberturas espaciales preexistentes, respecto de la distribución y ubicación de humedales, drenes y vegetación azonal.

A continuación se entrega el detalle de cada una de estas fuentes.

3.1 IMÁGENES SATELITALES MULTIESPECTRALES

La interpretación digital de imágenes de satélites se basa principalmente en el análisis del comportamiento espectral de los distintos elementos presentes en el ambiente (Chuvieco, 2002), es en base a este comportamiento diferenciado que remotamente se puede identificar distintos elementos a la distancia. Particularmente, la respuesta espectral de un sistema del tipo humedal está determinada por sus características intrínsecas (calidad de las aguas, profundidad, sustrato, presencia de macrófitas, sólidos disueltos, etc.) y a su vez, estas características se ven influenciadas por factores externos tales como topografía, altitud, longitud y latitud.

Dado que existe una mayor cobertura de imágenes, respecto de las consideradas hasta la fecha del primer catastro 2011 del Inventario Nacional de Humedales, es posible realizar una actualización de la cobertura de humedales en Chile considerando esta nueva y actualizada fuente de información. Al igual que en el primer catastro de inventario de humedales, se optó por imágenes del sensor Landsat debido a su cobertura a nivel de país, alta resolución temporal, presentar información de 7 bandas espectrales (tres en el espectro visible, una en el infrarrojo, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo térmico), la gratuidad de éstas y la adecuada resolución espacial del pixel de 30 metros para la identificación de sistemas con cobertura espacial superior a 2.5 há. (MMA, 2011). En la **Tabla N° 3.1** se describen las principales características de los sensores de las imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+. En ella se indica la resolución espacial del tamaño de pixel (30 metros en el modo multiespectral), radiométrica y temporal de cada uno.

Las imágenes fueron descargadas desde los portales de la División de Generación de Imágenes del Ministerio de Ciencia y Tecnología, Brasil (DGI, 2012) y del United States Geological Survey (USGS, 2012), los cuales tienen un carácter gratuito.

Tabla N° 3.1: características de imágenes satelitales Landsat

Sensor	Modo espectral	Resolución espacial (metros)	Resolución espectral (micras)	Resolución Radiométrica (bits)	Resolución Temporal (días)	
Landsat 5						
TM	Multiespectral	30	Banda 1 azul	0,45-0,52	8	16
			Banda 2 verde	0,52-0,60		
			Banda 3 rojo	0,63-0,69		
			Banda 4 infrarrojo cercano 1	0,76-0,90		
			Banda 5 infrarrojo cercano 2	1,55-1,75		
			Banda 7 infrarrojo medio	2,08-2,35		
	Termal	120	Banda 6 infrarrojo térmico	10,4-12,5		
Landsat 7						
ETM +	Pancromática	15	Banda 8 pancromática	0,52-0,90	8	16
	Multiespectral	30	Banda 1 azul	0,45-0,515		
			Banda 2 verde	0,525-0,605		
			Banda 3 roja	0,63-0,69		
			Banda 4 Infrarroja cercano 1	0,75-0,90		
			Banda 5 Infrarrojo cercano 2	1,55-1,75		
			Banda 7 infrarrojo medio	2,09-2,35		
	Termal	60	Banda 6 infrarrojo térmico	10,4-12,5		

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la NASA. Sitio web: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

3.2 BASE DE IMÁGENES SATELITALES GOOGLE EARTH

Se dispone para la actualización del inventario de humedales de la galería de imágenes satelitales de alta resolución espacial disponible en la plataforma de Google Earth®. A nivel país, se dispone de una serie de imágenes en esta plataforma proporcionadas por los proveedores DigitalGlobe y Spot Image.

En general, en la zona norte y extremo sur (XI, XII región), se dispone de imágenes entre los años 2002 y 2012. Sin embargo, en la zona central y zona sur (desde la región de Valparaíso hasta la región de los Lagos), las imágenes sólo están disponibles entre los años 2006 al 2012. En la Tabla N° 3.2 se indican los rangos de los periodos en los cuales se dispuso de información de la galería de imágenes de Google Earth®, desde la imagen más antigua hasta la más reciente que se encuentra presente en la región.

No obstante lo anterior, se debe tener presente que la calidad de las imágenes, respecto de su resolución espacial, no es equivalente en todas el país, encontrándose que en la zona sur (X, XI y XII región) las imágenes presentan una resolución de menor calidad respecto de la resolución espacial (correspondientes a Landsat 7, de resolución espacial de 15 metros) que en el resto del país y en general con alta cobertura de nubes y nieve (NASA, 2006).

Tabla N° 3.2: Fecha de galería de imágenes de Google Earth® disponibles por región

Región	Nombre región	Imagen antigua	Imagen reciente
XV	de Arica y Parinacota	2002	2012
I	de Tarapacá	2002	2012
II	de Antofagasta	2002	2012
III	de Atacama	2002	2012
IV	de Coquimbo	2002	2012
V	de Valparaíso	2006	2012
VI	del Libertador General Bernardo O'Higgins	2006	2012
VII	del Maule	2007	2012
VIII	del Bío Bío	2006	2012
IX	de la Araucanía	2009	2012
XIV	de los Ríos	2002	2012
X	de Los Lagos	2006	2012
X	de Los Lagos/ Chiloé	2006	2012
XI	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	2003	2012
XII	de Magallanes y Antártica Chilena	2002	2012
XIII	Metropolitana de Santiago	2003	2012

3.3 CARTOGRAFIAS PREEXISTENTES

Se dispone de información espacial, respecto de coberturas de cuerpos de agua tales como lagunas o lagos, ríos, quebradas, humedales y embalses, entre otros, la cual fue generada entre los años 2005 y 2011, bajo la dirección de diversas instituciones públicas tales como: Ministerio de Agricultura, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Desarrollo y Cooperación. Esta información es considerada de referencia y para el proceso de validación.

De este modo se revisó:

- Catastro de turbales de la región de Magallanes (RUYDO, 2005)
- Base de datos de la red hídrica, cuerpos y otros humedales, a nivel nacional, identificados en el catastro del Ministerio de Planificación (MIDEPLAN 2006).
- Catastro de la cobertura de las Unidades Vegetacionales Azonales en la zona norte del país (SAG, 2007).
- Catastro de turbales de la región de los Lagos (SERNAGEOMIN, 2007).

4 METODOLOGÍA

El catastro de ecosistemas acuáticos continentales fue realizado en base a ciertos criterios de clasificación y metodologías de análisis. Las etapas metodológicas se resumen en tres: etapa de definición de las clases de ecosistemas acuáticos a identificar, etapa de identificación de los ecosistemas y etapa de delimitación de ecosistemas.

A continuación se detallan cada una de las actividades realizadas para llevar a cabo el catastro.

4.1 TIPOS DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES IDENTIFICADOS

En la actualización del catastro de ecosistemas acuáticos continentales serán identificados tres tipos de clases, los que corresponden a:

- **Ríos:** corresponden a sistemas de características lólicas, caracterizados por ríos principales o ríos cuerpos, lo cuales representan aquellos segmentos de ríos principales en los que la caja del río es superior a 15 metros y que son identificados como polígonos. También se identifican los ecosistemas denominados ríos secundarios los que son identificados como líneas, que corresponden a quebradas las cuales pueden o no tener características de permanentes. En la zona norte, la delimitación de ríos consideró las áreas de inundación de éstos, debido a que en esta zona los caudales de los ríos sufren una alta variación estacional, siendo recurrente la ocurrencia de grandes crecidas durante periodos reducidos del año.
- **Cuerpos de agua:** corresponden a aquellos sistemas de características lénticas, representados por lagos y lagunas con espejo de agua libre y permanente. En particular en la zona norte del país, se delimitaron las lagunas presentes dentro de los salares pero no los salares
- **Otros humedales:** estos sistemas corresponden a áreas o zonas con alto contenido de humedad y eventual saturación del terreno, en el cual se observen sectores con espejo de agua libre, pero no necesariamente de manera permanente ni ampliamente visible. En esta clase también se consideran los tranques de agua y embalses con diferentes fines. En la zona norte, se incluyeron vegas, bofedales y las áreas donde la vegetación azonal permitiera inferir presencia de afloramientos de agua lo que incluye las vegas en zonas estuarinas o riberas de ríos.

Estos tres grupos representan coberturas o áreas con disponibilidad o presencia del recurso hídrico. En la Figura N° 4.1 se presenta una serie de imágenes respecto de ejemplo de sistemas identificados en cada clase.

Se destaca el hecho de que no se consideran los tranques y embalses de relaves de faenas mineras como ecosistemas de disponibilidad de recursos hídricos, éstos no solo presentan características fisicoquímicas modificadas respecto de las condiciones prístinas de las aguas, sino que tienen un alto contenido de metales e iones y régimen de escurrimiento variable, lo que los convierte es sistemas antrópicos de cuidado debido a su potencial impacto ambiental. Se deja fuera de la clasificación aquellos esteros y

quebradas menores, las cuales responden sólo a condiciones eventuales de escurrimiento. Del mismo modo, se destaca el hecho que no serán identificadas las áreas con coberturas de vegetación ripariana ni azonal, salvo en las regiones del norte del país (entre la XV y IV región), donde dada la escasez de agua, la presencia de este tipo de vegetación es un indicador de afloramientos de aguas subterráneas o suelos con alto contenido de humedad los cuales son necesario tener de tener en cuenta al momento de evaluar la presencia y disponibilidad de recursos hídricos en la zona.

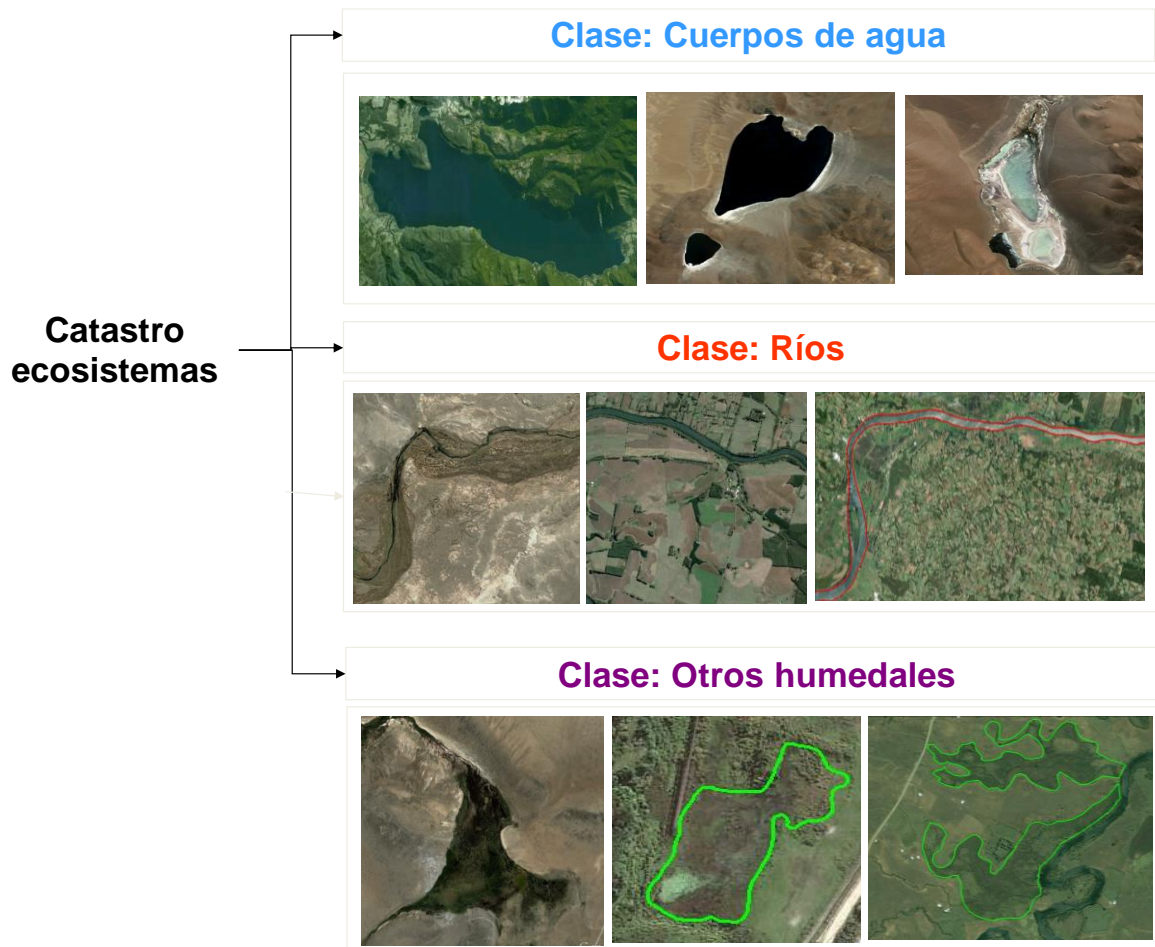


Figura N° 4.1: Ejemplo de ecosistemas incorporados en cada clase

4.2 IDENTIFICACION DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES MEDIANTE INFORMACION REMOTA

La metodología usada para identificar la presencia de humedales corresponde a análisis de imágenes multispectrales remotas de los espejos de agua de ríos y superficies libres de lagos o lagunas, considerados como indicadores de la presencia y extensión espacial de los humedales. Lo anterior, de debido a que el agua refleja la energía en el rango de la luz visible y casi no refleja en el rango del infrarrojo. Estas superficies se distinguen muy bien de otras coberturas, apareciendo claramente delimitadas como áreas oscuras (valores de píxel bajos) en imágenes registradas en el rango cercano al infrarrojo (MMA, 2011).

4.2.1 Selección de imágenes

Las imágenes consideradas corresponden a las imágenes Landsat, tal como se indicó en el apartado 3.1. Los criterios técnicos que se tuvieron en cuenta para seleccionar las imágenes Landsat, 5TM y 7ETM+, a analizar son:

- porcentaje mínimo de nubosidad;
- baja cobertura de nieve;
- calidad de imagen con valores altos, en el rango de 0 a 9; y a la vez,
- las más actuales dentro de las bases de datos de imágenes para dos estaciones del año con mayor contraste, es decir, invierno y verano. De este modo se captura e identifican condiciones o sistemas que presentan variabilidad intra anual.

Por otra parte, la necesidad de imágenes en distinta época del año, invierno y verano, es imprescindible para llegar a la máxima certeza en la etapa de análisis de percepción remota.

4.2.2 Pre-procesamiento de imágenes

Respecto del pre-procesamiento de las imágenes Landsat, éste sigue la misma metodología descrita en el documento Diseño del Inventario Nacional de Humedales y el Seguimiento Ambiental, considerando el modelo de Chávez para la corrección atmosférica de las imágenes (MMA, 2011).

4.2.3 Pos-procesamiento de imágenes

- Generación de índice NDWI en imágenes Landsat

Los índices sirven para mejorar la capacidad de interpretación de los datos, suelen ser utilizados para optimizar la discriminación entre dos cubiertas con comportamiento reflectivo muy distinto entre dos bandas (Chuvienco, 2002). El proceso de análisis de las imágenes satelitales Landsat incluyó la generación del índice NDWI, (*Normalized Difference Water Index*), el cual permite identificar las superficies cubiertas con agua. Este índice es conveniente para detectar la presencia de superficies de agua, dada que ésta tiene una alta reflectividad en la banda 2, del espectro verde (V) y una baja reflectividad en la banda 4, del espectro del infrarrojo cercano (IRC). La aplicación de este índice en la imagen, genera imágenes donde se muestran los cuerpos de agua en forma destacada respecto de otros elementos de la imagen.

El índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) (Gao, 1995; McFeeters, 1996), queda definido como:

$$NDWI = \frac{\rho_i V - \rho_i IRC}{\rho_i V + \rho_i IRC}$$

Los valores del índice NDWI varían entre -1 y 1, asociando los valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre estresada. Sin embargo, la reflectividad del cuerpo de agua, y por ende el valor del índice que se obtenga, varía en función de diversos factores físicos tales como: la profundidad de la columna de agua, nivel de eutrofización del sistema, presencia de material en suspensión como sólidos, coloración o turbidez de las aguas y rugosidad de la superficie del lecho considerando sistemas con nivel de agua muy somero.

- Definición de puntos de control

El objetivo de definir puntos de control en la región se basa en considerar que no todos los ecosistemas presentan las mismas características ambientales, es decir, existen sistemas de aguas transparentes y otros con alta carga de sedimentos en suspensión los cuales tendrán una respuesta espectral diferente, por ejemplo. Así mismo, se debe tener en cuenta que existen otros elementos en el ambiente, diferente a los ecosistemas de interés, que presentan una respuesta espectral similar a la del agua sin necesidad de serlo. Todo lo anterior puede generar confusión al momento de la clasificación, es por ello que para evitar incorporar áreas que no corresponden o dejar fuera otras que sí corresponde a los ecosistemas de interés (cuerpos de agua, ríos u otros humedales), se realiza una descripción del comportamiento de este índice definiendo de puntos de control.

Es por lo anterior que se consideraron una serie de puntos de control en diferentes cuerpos lénticos, ubicados a diferentes posiciones altitudinales y longitudinales, teniendo en cuenta que el origen de las aguas que alimentan estos sistemas es diferente y por ende la respuesta espectral de los ecosistemas puede diferir. Se considera dentro de un cuerpo varios puntos de control, de modo de observar si existen cambios en la respuesta espectral al interior de un mismo sitio.

Del mismo modo, se determinaron una serie de puntos de control a lo largo de los principales ríos de la región, desde su nacimiento y hasta su desembocadura, considerando puntos de control aguas arriba y entre tributarios. De este modo, tiene en cuenta la alimentación y origen de las aguas que alimentan a estos sistemas de características lólicas puede tener variabilidad entre sistemas lólicos y a lo largo del mismo.

En la Figura N° 4.2-a se presenta un ejemplo con los puntos de control de cuerpos lólicos (ríos y esteros) en la Región de la Araucanía; mientras que en la figura b), se presenta una imagen de la región con los puntos de control de cuerpos de agua de características lénticas en la misma región. De la figura se puede observar que la distribución de puntos de control de los cuerpos lólicos recorre los principales ríos de la región y la de los cuerpos de agua se basa en los principales sistemas (de mayor tamaño) que es posible identificar de manera directa en la imagen multiespectral.

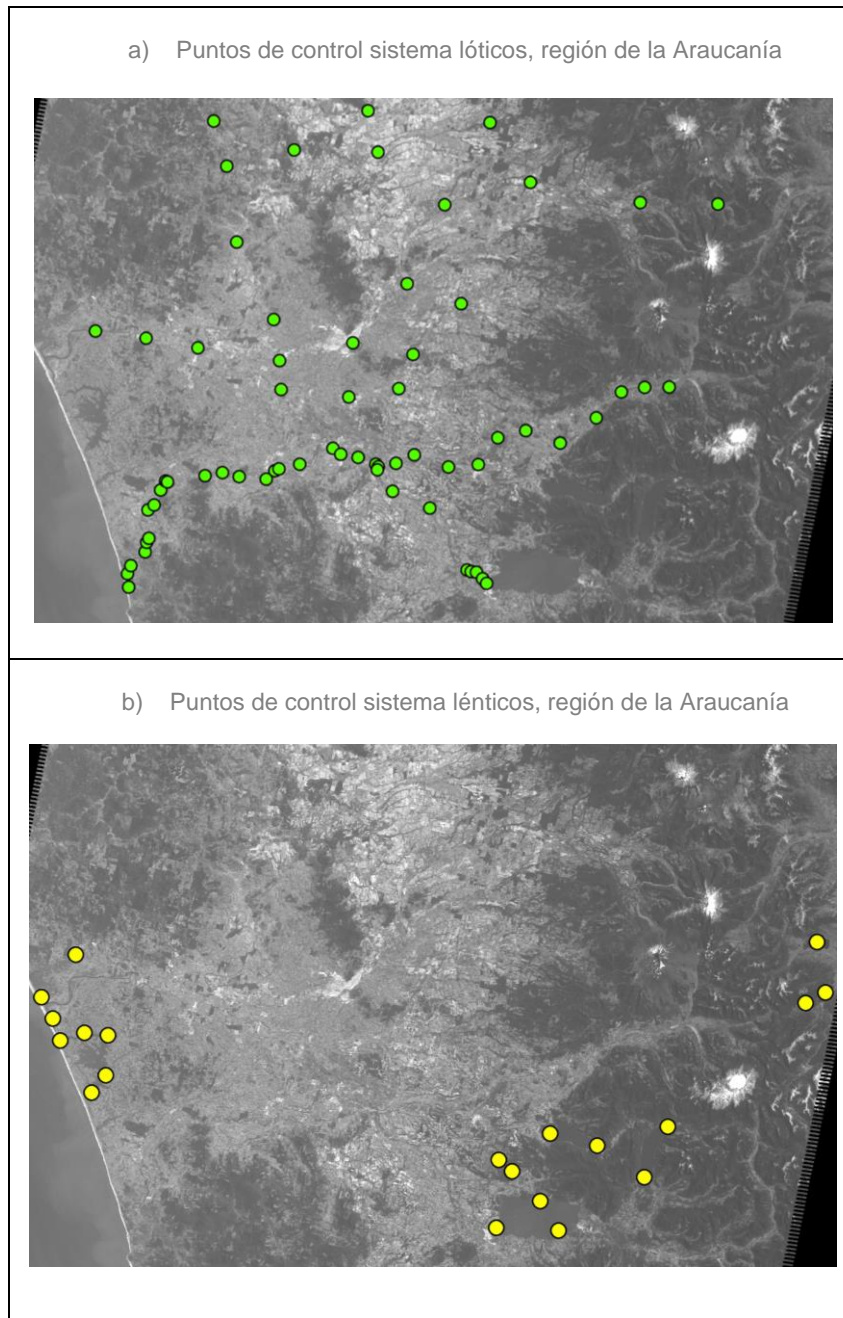


Figura N° 4.2: Puntos de control de sistemas lóuticos y lénticos, en la Región de la Araucanía.

- Índice NDWI en puntos de control

Determinado el índice de agua (NDWI) en toda la imagen y definidos los puntos de control, se determinan los valores del índice en cada uno de los puntos de control.

En la Tabla N° 4.1 se presenta un ejemplo con los valores del índice NDWI obtenidos para distintos puntos de control en cuerpo lenticos, en la región del Maule para sistemas ubicados en la zona costera, de depresión y cordillerana (UFRO, 2007).

- Criterios para determinación límite NDWI para clasificación

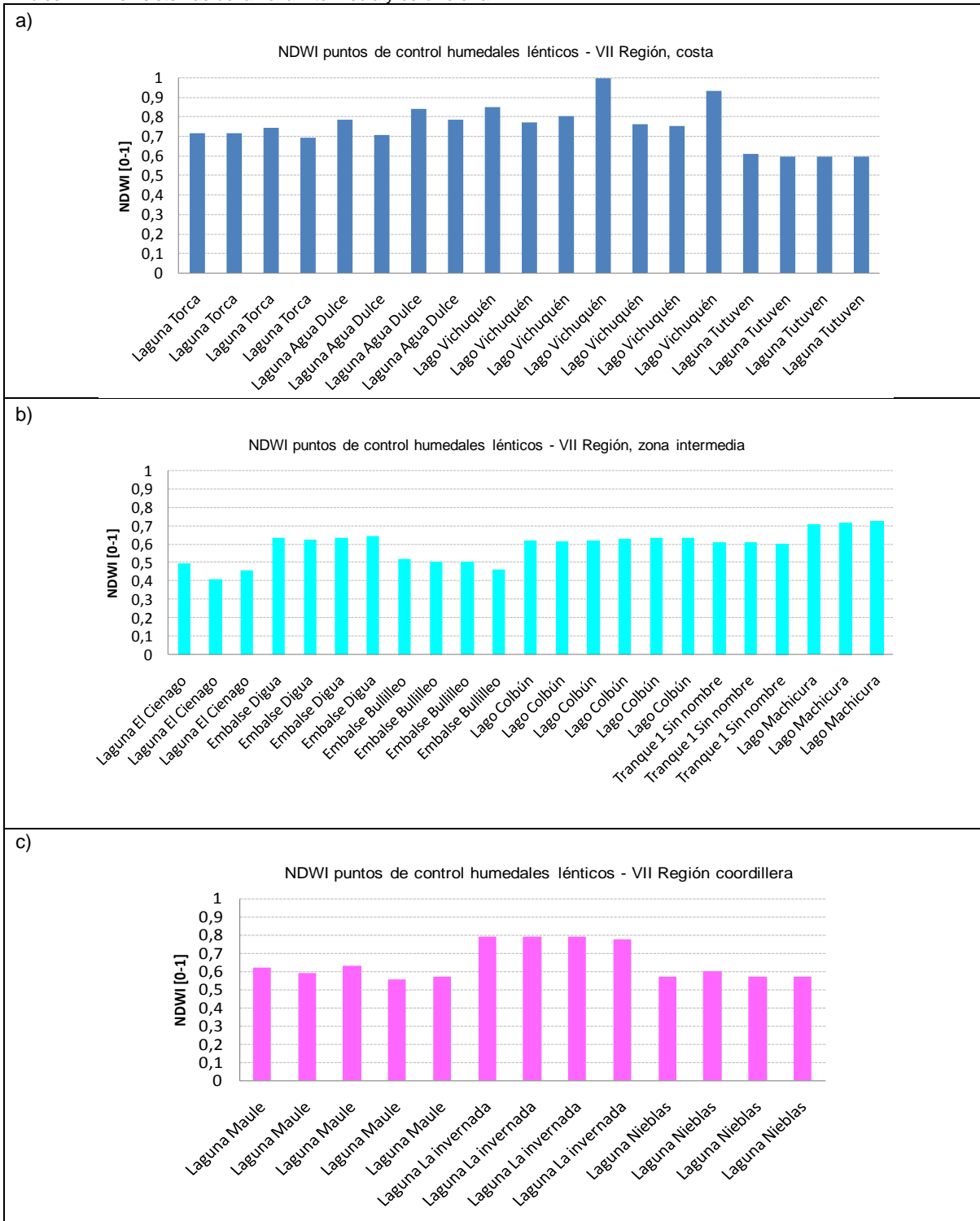
Al tener en cuenta los rangos de NDWI para cuerpos y ríos, se evalúa si existen diferencias entre la respuesta de los lagos geográficamente y físicamente distintos. Una vez revisados los valores del índice NDWI en los puntos de control se establecen los valores del $NDWI_{lim}$ que serán considerados y si el criterio será por cuenca hidrográfica, piso altitudinal para la delimitación.

- Identificación y clasificación de de ecosistemas acuáticos continentales

Considerandos los criterios recién descritos y el límite de detección de los ecosistemas, se realizó el filtro y se mapean en la imagen todos los sectores que presentan un valor del índice NDWI superior al del $NDWI_{lim}$. De este modo, se generan polígonos de humedales (distinguiéndolos por cada una de las tres clases de humedales, ya descritas) que representan la presencia e identificación de los ecosistemas en búsqueda.

En la Figura N° 4.3 se presenta un ejemplo de la diferencia al clasificar la imagen con valor del $NDWI_{lim}$ diferenciado por sector altitudinal y con un valor de $NDWI_{lim}$ absoluto y único para toda la región.

Tabla N° 4.1: Índice NDWI para puntos de control de cuerpos lénticos, en la Región del Maule (VII región). En la figura a) se presenta el índice NDWI en sistemas presentes en la zona de costa. Mientras que en la figura b) y c) se presenta el índice NDWI en sistemas de la zona intermedia y cordillerana.



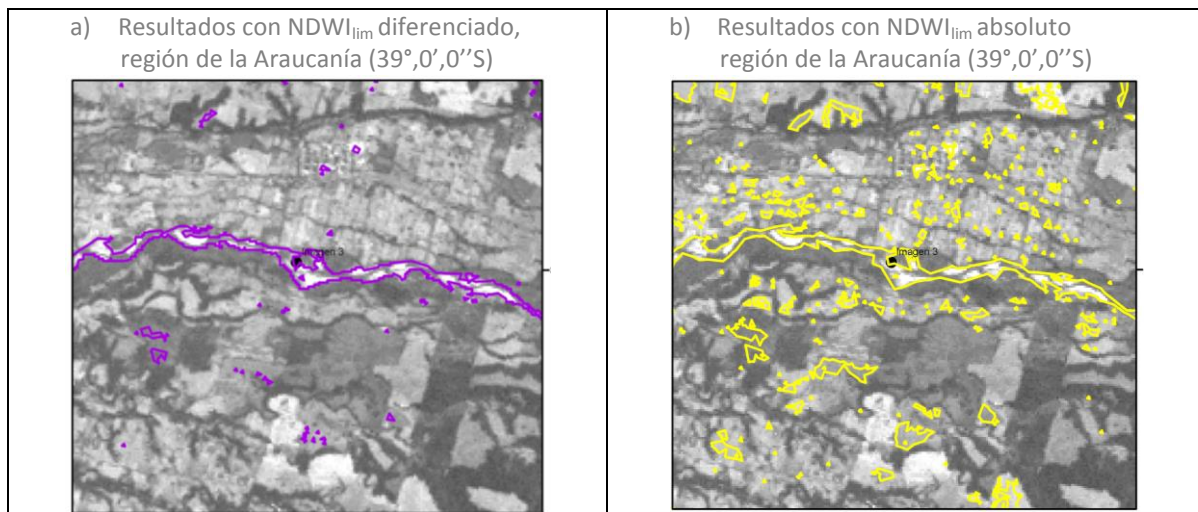


Figura N° 4.3: Ejemplo de resultados de clasificación de agua, considerando criterios de clasificación diferenciados y absolutos del índice NDWI_{lim}

En la Figura N° 4.4 se presenta un resumen de los pasos asociados a la metodología de la etapa de identificación de ecosistemas mediante información remota.

Finaliza esta etapa de identificación de ecosistemas mediante información remota, se dispone de una cartografía de información vectorial de polígonos clasificados por cada una de las clases ya indicadas. Estos polígonos se obtuvieron producto de la clasificación del índice NDWI en la imagen multispectral. En la etapa que sigue, de fotointerpretación, se trasladan todos estos polígonos a la plataforma de Google Earth®, manteniendo la distinción por clase y se inicia el proceso de delimitación de los bordes de cada uno de los polígonos identificados.

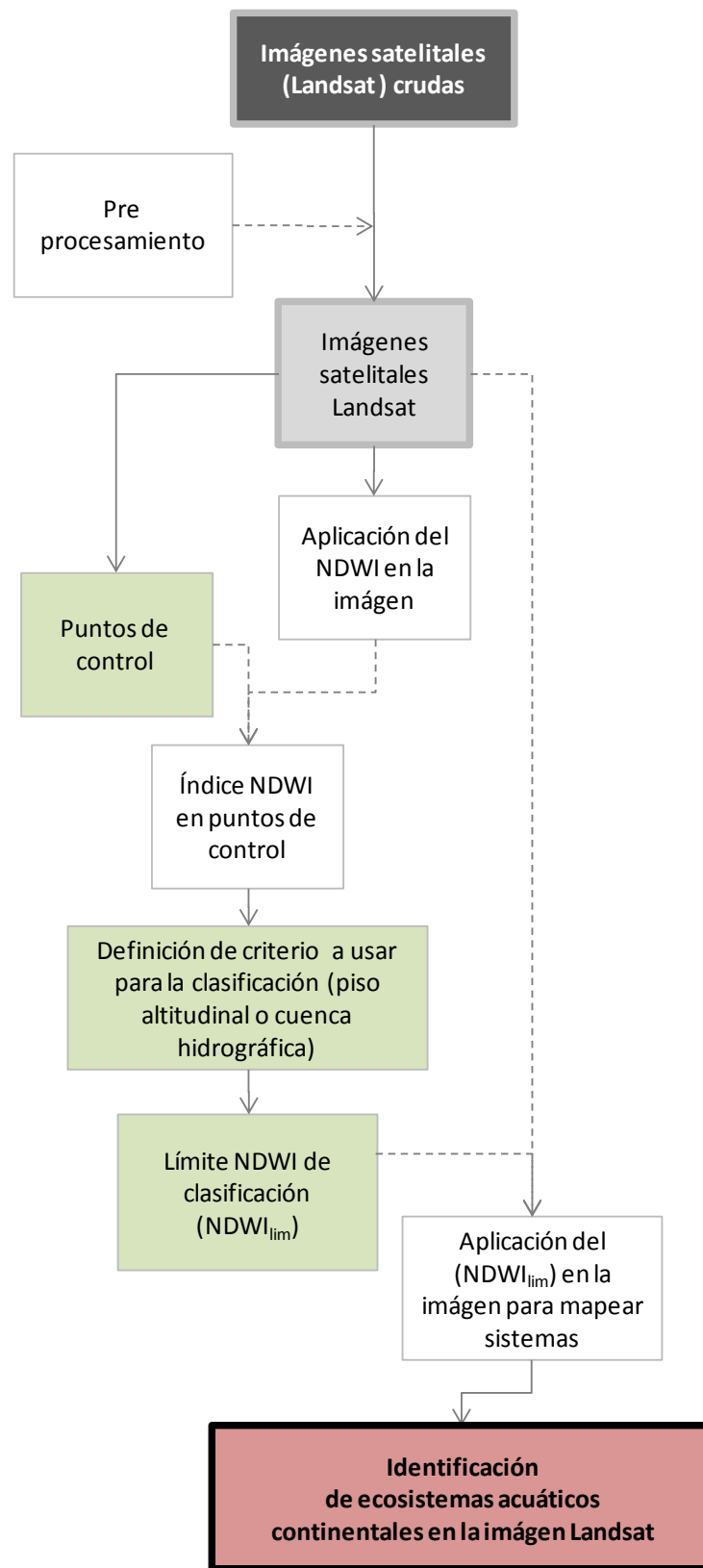


Figura N° 4.4: Pasos de la etapa de identificación de ecosistemas acuáticos continentales mediante información remota

4.3 DELIMITACION DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES: FOTOINTERPRETACIÓN

Una vez identificados los sistemas de cada clase (ríos, cuerpos y humedales), siguiendo lo descrito en el apartado 4.2, se considera el proceso de delimitación y ajuste de los contornos de los polígonos identificados mediante el proceso de fotointerpretación.

De modo que la fotointerpretación se realice de manera óptima, es necesario disponer de herramientas que entreguen una imagen de alta resolución espacial, de modo de poder entregar la precisión adecuada a los contornos para cada uno de los sistemas identificados. Es por lo anterior que se utilizó la herramienta de Google Earth, la cual presenta una alta calidad de resolución espacial de la imagen en gran parte del país. En el caso de los sistemas de características lóxicas, se consideró de manera adicional la información de coberturas cartográficas preexistentes mencionada en el apartado 3.3, referente a ríos principales y quebradas, de modo de complementar el proceso de fotointerpretación.

De modo adicional, en el proceso de fotointerpretación se incorporan sistemas de menor tamaño a los que es factible de identificar mediante el procesamiento de las imágenes multispectrales Landsat, debido a la mayor resolución de las imágenes de Google Earth®.

Es así como mediante la fotointerpretación no sólo se realizó la delimitación de los bordes de los sistemas, sino que también se mejoró la resolución al detectar sistemas no identificados por medio de las imágenes Landsat. La validación de este procedimiento mediante inspección visual, se basa en que es solamente una metodología de interpretación directa y no un proceso de inducción.

En la Figura N° 4.5 se presenta un resumen de los pasos metodológicos correspondiente a la etapa de delimitación de ecosistemas mediante fotointerpretación.

Finalmente, a partir de fotointerpretación se delimitaron los polígonos de cada área identificada, clasificando cada ecosistema en su respectiva clase. Como regla general, se utilizó la imagen más reciente para delimitar los humedales, sin embargo, fue necesario recurrir a otras fechas, debido a sombra, presencia de nubes, sequias u otro factor que influyera en la correcta delimitación, como la variación estacional de la superficie.

En esta última etapa ya se dispone de una cartografía de la cobertura de ecosistemas acuáticos continentales a nivel regional.

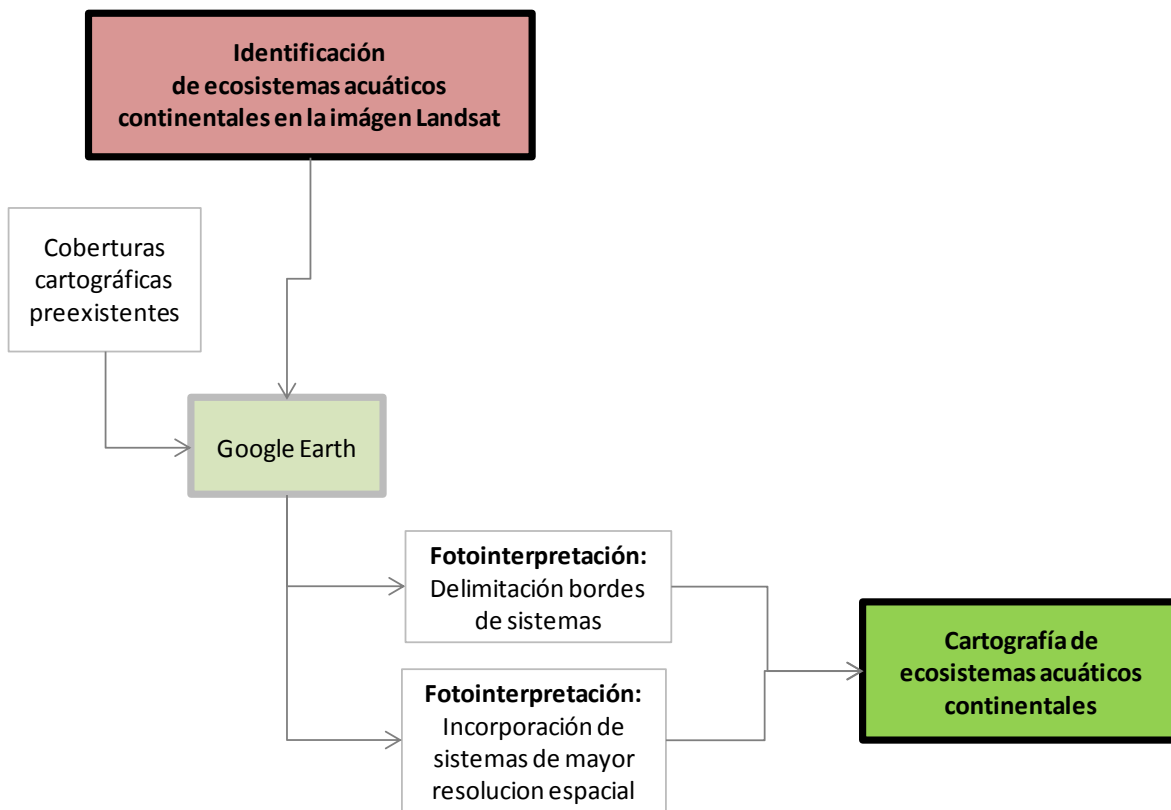


Figura N° 4.5: Pasos de la etapa de delimitación de ecosistemas acuáticos continentales mediante fotointerpretación

4.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A NIVEL PAIS

Se han distinguido tres grupos geográficos: **zona norte** que abarca desde la Región de Arica y Parinacota (XV región), hasta la Región de Coquimbo (IV región); el segundo grupo corresponde a la **zona centro** que abarca desde la Región de Valparaíso (V región), hasta la Región del Biobío (VIII región); el tercer grupo corresponde a la **zona sur** que abarca desde la Región de la Araucanía (IX región), hasta la Región de Magallanes (XII región).

La distinción de tres grupos geográficos se debe a que la distribución y comportamiento de los ecosistemas no presentan el mismo patrón en todo el país, sino que se encuentran condicionados por diversos factores, tales como: condiciones climáticas, régimen hídrico de la cuenca, características de escurrimiento, características topográficas, disponibilidad del recurso hídrico, usos y tipo de suelo, entre otros factores. Por lo anterior, y dada la gran variabilidad que presentan estos factores a lo largo del país, que no es posible establecer criterios absolutos y únicos.

En la zona norte del país se consideró sólo la metodología de fotointerpretación, para lo cual se consideró la información cartográfica preexistente y las imágenes de la plataforma google Earth®. En esta zona del país no se analizó información remota, debido a que en el tamaño promedio de los ecosistemas a identificar se concentra bajo las 5 há. de cobertura (tal como se presentará en el desglose de resultados) por ello la identificación que puede lograr con la imagen multiespectral es solo para una menor número de los ecosistemas.

En la zona centro y sur para la identificación y delimitación de humedales se siguió la metodología indicadas en el apartado 4.2 y 4.3, es decir identificación de ecosistemas a partir de imágenes multiespectrales Landsat y fotointerpretación. Lamentablemente la falta de imágenes de calidad (bajo los requisitos descritos en el apartado 4.2.1) en el extremo sur (las regiones X, XI y XII) imposibilitó el desarrollo de la metodología de identificación bajo el análisis de información remota y sólo fue posible trabajar bajo la etapa de fotointerpretación, con imágenes de calidad regular. Lo anterior, debido a que la plataforma de Google Earth tampoco dispone de imágenes de alta resolución espacial ni te toda la zona sin obstrucción por cobertura de nubes por lo que el proceso de fotointerpretación se considera sujeto a revisión.

En la Figura N° 4.6 se presenta la metodología usada en cada región del país, considerando fotointerpretación en la zona norte y extremo sur y análisis remoto más fotointerpretación en la zona centro-sur (desde la V a la XIV región).

- Resolución espacial de identificación

Para la identificación de ecosistemas, se realizó una revisión intensiva de las imágenes disponibles, abarcando una altura del campo de visión entre 1 y 2 km., aproximadamente. Lo anterior, permitió identificar sistemas con una extensión diametral media desde los 40 metros. Sin embargo, en zonas donde se presenta un alto contraste entre el ecosistema y el suelo circundante y la calidad de la imagen es adecuada para la fotointerpretación, fue posible identificar humedales de menor tamaño (hasta 15-20 metros de extensión diametral). En base a lo recién descrito se logró identificar ecosistemas de un área inferior a 0,25 há. a nivel país.

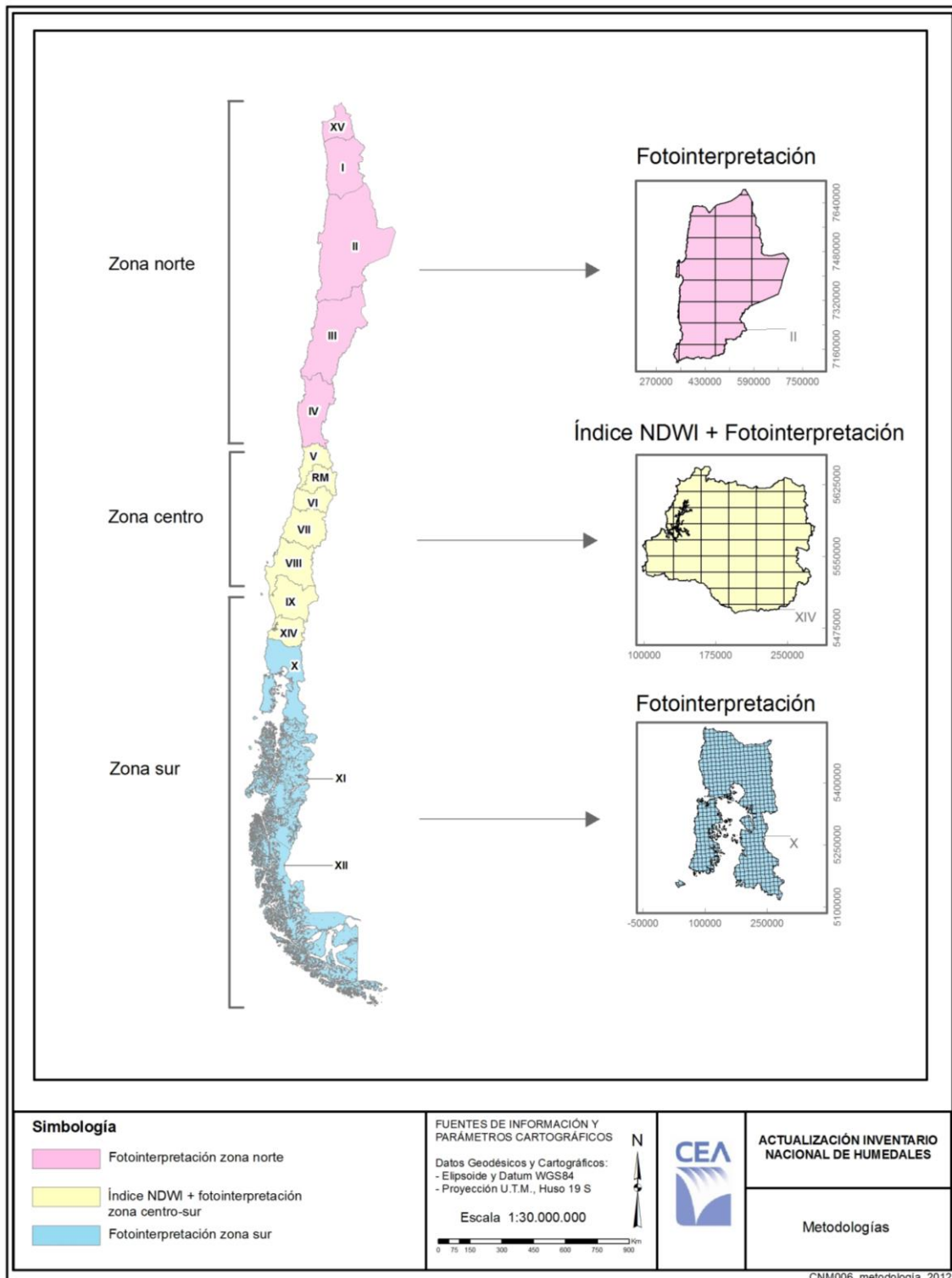


Figura N° 4.6: Metodología aplicada para cada región. Zona norte y extremo sur consideran sólo el proceso de fotointerpretación. Zona centro y sur considera el proceso de análisis remoto y fotointerpretación.

5 RESULTADOS

Los resultados se entregan de manera digital en el disco magnético adjunto. En éste se presentan los resultados para cada región, siguiendo el siguiente formato:

Archivos resultados (*.shp - *.kml): los resultados obtenidos, para cada una de las 3 clases, se entregan en formato *.kml y *.shp. El primero con el objeto de tener un archivo de fácil manejo y revisión a través de Google Earth y el segundo con el objeto de disponer de la información geográfica.

Archivos complementarios: se entregan los archivos complementarios que permiten contextualizar los resultados. Estos corresponden a una base de información de MIDEPLAN (nombres de los principales ríos y lagos, límite de región y red hídrica)

Proyectos *.mxd: para cada región se entrega un proyecto de trabajo para ejecutar en Arcgis con una cartografía en tamaño A2 con los resultados para cada región. Cada proyecto se conforma por los archivos de resultados.

Figuras (*.pdf): De modo complementario se entrega una figura en formato *.pdf correspondiente al proyecto *.mxd de la cartografía A2

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a nivel país respecto de la actualización del catastro de los ecosistemas acuáticos, considerando las tres clases ya indicadas en el apartado 4.1. (cuerpos de agua, ríos y otros humedales) para cada una de las zonas geográficas recién descritas. A continuación se describe de manera general los principales resultados obtenidos por zona geográfica.

5.1 Zona norte

Las Figuras N° 5.2 y 5.3 muestran los resultados obtenidos de la identificación de ecosistemas de la zona norte. La cartografía muestra cada clase (cuerpos de agua, ríos principales, secundarios y otros humedales) para cada una de las regiones de la zona norte del país.

Se observa que en la zona norte los ecosistemas se encuentran mayormente densificados en el sector altiplánico, lo que se explica en la diferencia climática que presenta este sector con respecto al resto de la región, donde se observan escasas áreas de interés.

En la zona norte, se presenta un reducido número de cauces. Se concentran en la zona altiplánica y son muy pocos los que desembocan en el océano de forma permanente. Son frecuentes las cuencas endorreicas, donde los ríos desembocan en salares y sus aguas son infiltradas o evaporadas.

En la Figura N°5.4 se presentan los resultados asociados a las clases de ecosistemas del tipo: cuerpos de agua, otros humedales y ríos cuerpos y su área de cobertura en km² en cada región de la zona norte. Destaca el hecho que en las regiones XV, I y IV, predominan las coberturas de otros humedales, mientras que en la II y III región, la cobertura de cuerpo es de una magnitud similar a otros humedales, lo que se explica en que estas regiones presentan un elevado número de salares, los que presentan a su vez lagunas en su interior.

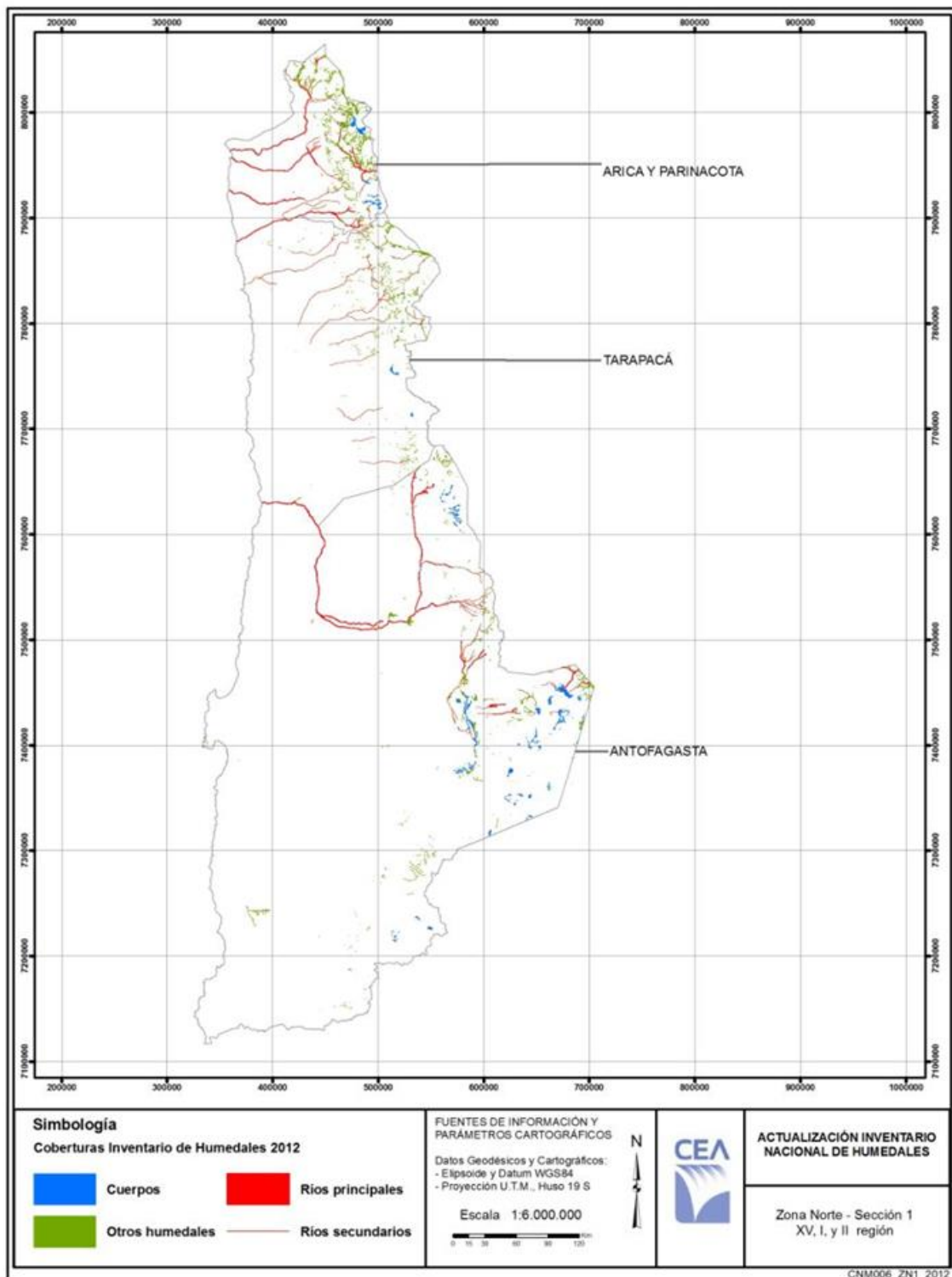


Figura N° 5.1: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona norte (sección 1, Regiones XV, I, II)

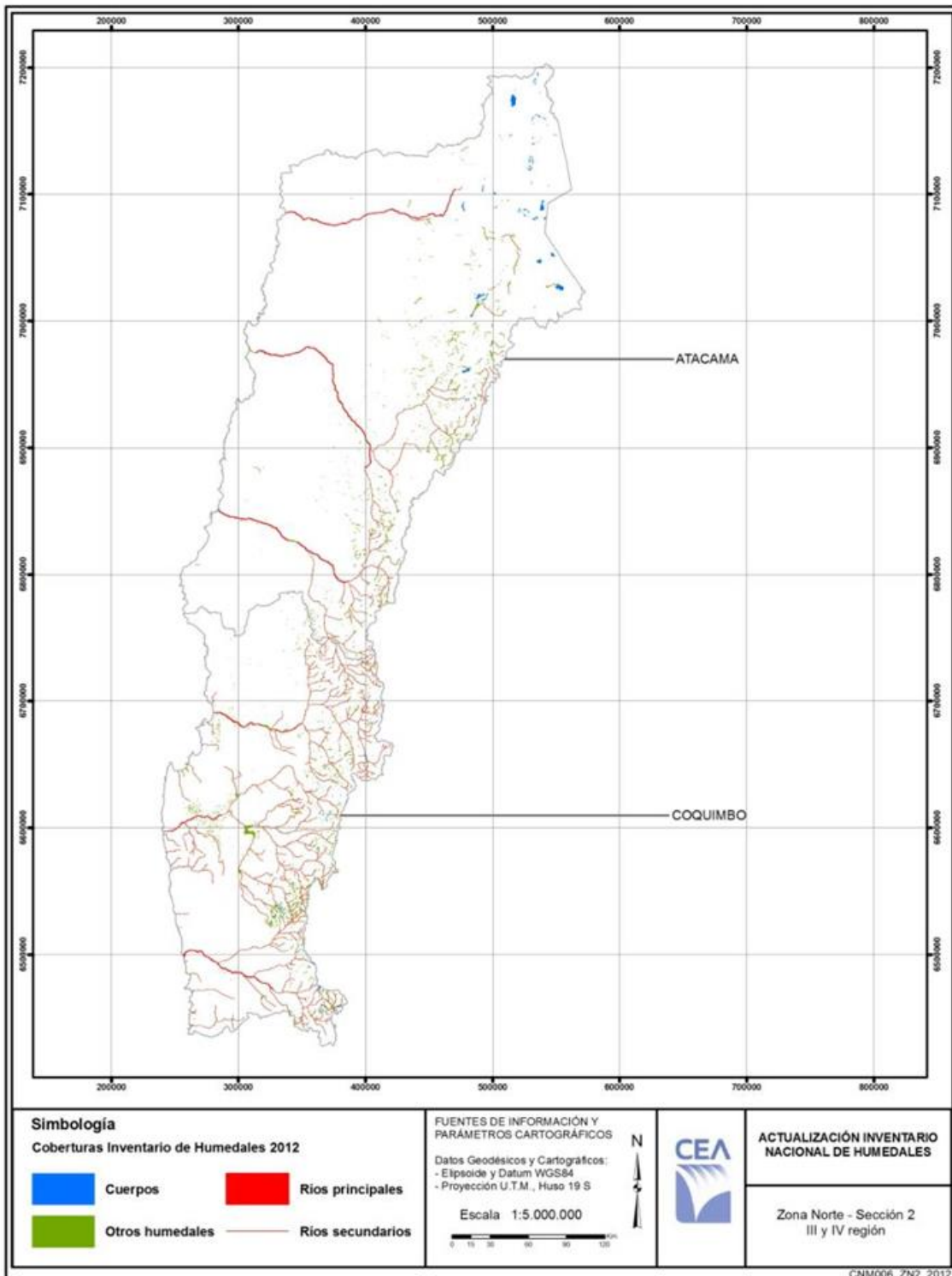


Figura N° 5.2: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona norte (sección 2, Regiones III, IV)

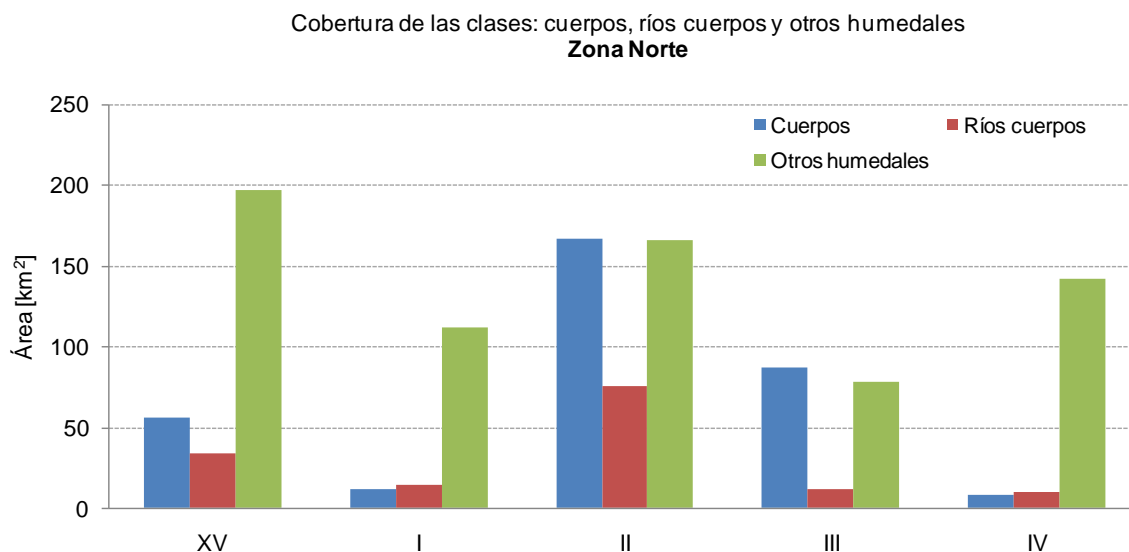


Figura N° 5.3: Áreas [km²] de coberturas de las clases cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales en la zona norte

La Figura N°5.5 presenta la distribución del tamaño de las coberturas de cuerpos de agua y otros humedales (histograma) de la zona norte. Para el histograma se han analizado 5 rangos de cobertura: 0-0,25 há, 0,25 -1 há., 1-4 há, 4-16 há, 16-64 há, 64-256 há y mayor a 256 há., de modo de evaluar la distribución de cobertura de los polígonos identificados en cada una de estas clases. La II región es la que presenta la mayor cobertura de cuerpos, los que se encuentran en el rango 0 a 0,25 há.

En términos generales, la distribución de tamaños de las coberturas de ecosistemas sigue una distribución tipo Poisson, con máximos en los rangos 0 a 0,25 há o 0,25 a 1 há. La excepción está dada por la categoría otros humedales, en la XV región. Cabe mencionar el sistema de lagunas en el sector de Cotacotani y lago Chungará, en la XV región, donde existe un elevado número de bofedales con amplia extensión areal, lo que explicaría la diferencia en la distribución.

La cobertura total de ecosistemas en la zona norte, no supera el 2,5% del área total de la región (ver Figura N°5.15). Estos rangos no son directamente comparables con los del resto del país, ya en la zona norte se incorporan, por ejemplo, áreas asociadas a vegetación azonal que no son consideradas en otros sectores del país.



Figura N° 5.4: histograma del tamaño de las clases cuerpos y otros humedales identificados en la zona norte. a) histograma XV región. b) histograma I región, c) histograma II región. d) histograma III región. e) histograma IV región.

5.2 Zona centro

En la Figura N° 5.5 se presentan una cartografía para la zona centro del país con los resultados obtenidos respecto de la identificación de ecosistemas, distinguiendo según clase (cuerpos de agua, ríos principales y secundarios y otros humedales).

Se observó que existe una densa identificación de la clase ríos (principales y secundarios) la cual se distribuye desde las nacientes, en la Cordillera Andina y de la Costa, hasta su desembocadura en el borde costero. Respecto de las coberturas cuerpos y otros humedales, éstos se distribuyen en diferentes latitudes y longitudes, sin presentar una distribución geográfica exclusiva. No obstante lo anterior, es posible identificar una mayor densificación y envergadura de la cobertura de cuerpos y otros humedales en los sectores de la cordillera de los Andes y en la zona de desembocadura cerca del borde costero del Océano Pacífico; en la zona intermedia (depresión intermedia) se presenta en mayor abundancia la presencia de tranques y cuerpos de menor tamaño.

En la Figura N° 5.6 se presenta un resumen de los resultados de la zona centro asociados a las clases de ecosistemas: cuerpos de agua, otros humedales y ríos cuerpos, indicando el área de cobertura de cada clase para cada región en km². En términos netos las coberturas totales de los ecosistemas asociadas aumentan en magnitud de área desde norte al sur, siendo las regiones del Maule (VII) y del Bío Bío (VIII) las que presentan los máximos de cobertura de cuerpos de agua y ríos cuerpos.

Se observó que la distribución de las coberturas es similar en todas las regiones, presentándose una mayor de coberturas de las clases ríos cuerpos y otros humedales, versus la clase cuerpos de agua. Sólo en la VIII región se presenta un cambio en la tendencia y comienzan a dominar la clase cuerpos de agua versus la cobertura de otros humedales. En términos netos en la zona central se tiene que la clase cuerpos alcanzan las 340.000 há., otros humedales 380.000 há., mientras que la máxima cobertura en esta zona está representada por la clase ríos cuerpos alcanzando las 640.000 há. debido principalmente a la cobertura presente en la VIII región.

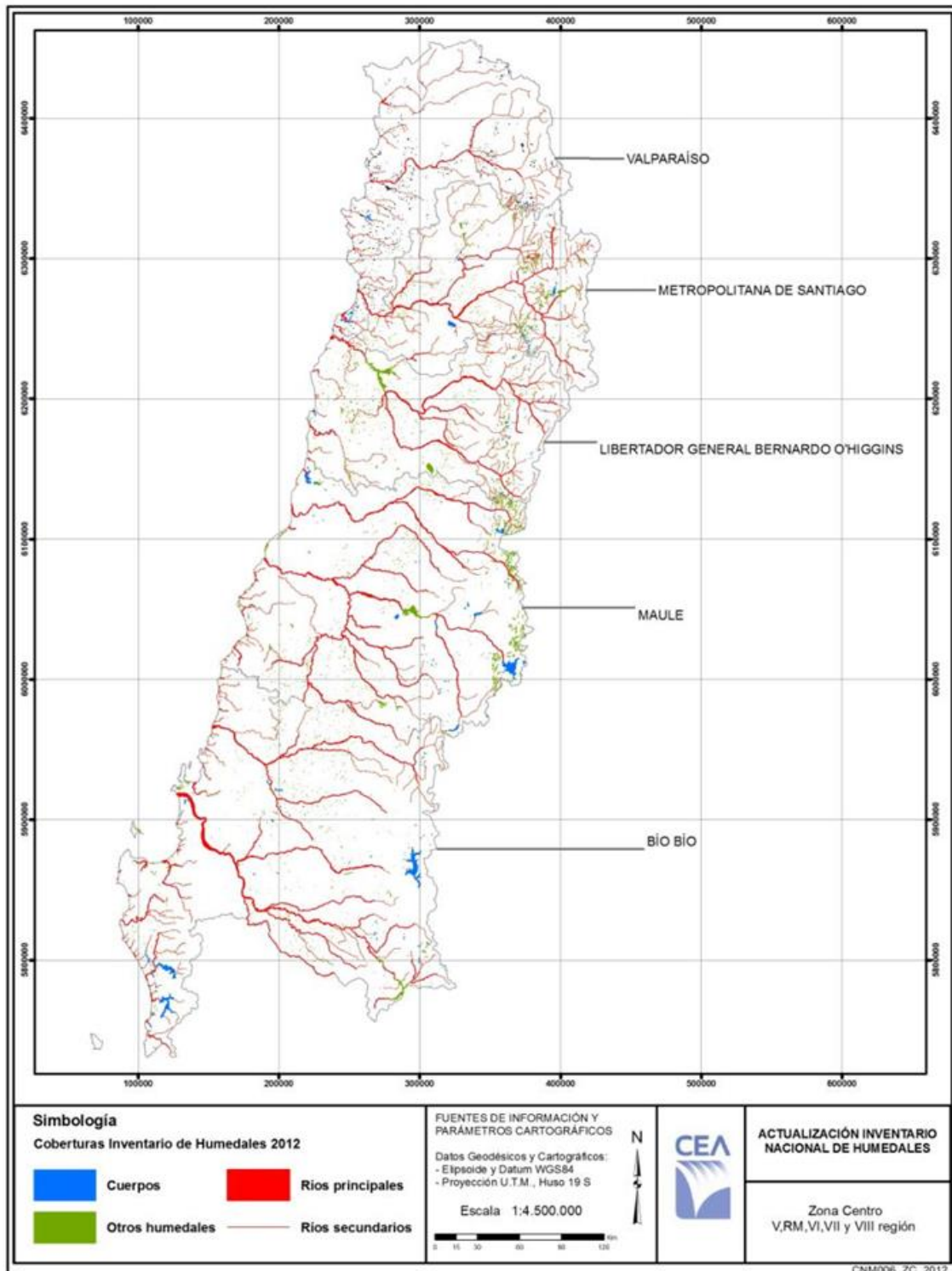


Figura N° 5.5: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona centro (Regiones V, XIII, VI, VII, VIII)

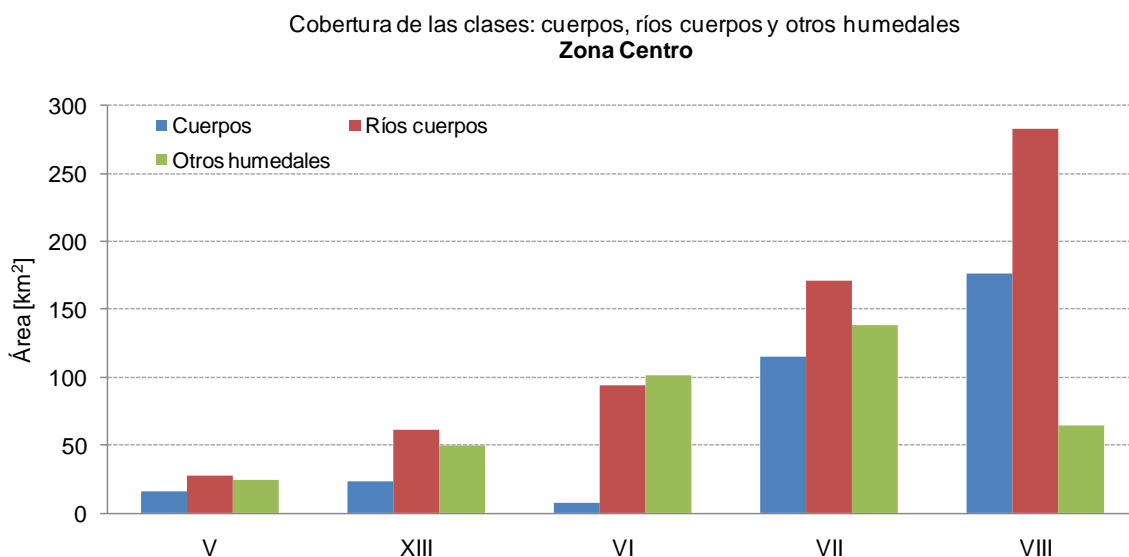


Figura N° 5.6: Áreas [km²] de coberturas de las clases cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales en la zona centro

En la Figura N° 5.7 se presenta el histograma del tamaño de los ecosistemas identificados como polígonos asociados a la clase cuerpos de agua y otros humedales para la zona centro del país. Para el histograma se han analizado 5 rangos de cobertura: 0-0,25 há, 0,25 -1 há., 1-4 há, 4-16 há, 16-64 há, 64-256 há y mayor a 256 há., de modo de evaluar la distribución de cobertura de los polígonos identificados en cada una de estas clases.

En general, en todas las regiones de la zona central, sobre el 80% de los polígonos identificados en la cobertura otros humedales presentan un tamaño inferior a 1 há, es decir que la fotointerpretación fue parte fundamental de la identificación de esos sistemas debido al menor tamaño que presentan.

Los polígonos identificados en la cobertura de cuerpos de agua, presenta un comportamiento diferente al de la clase otros humedales. Lo anterior, se debe a que sólo en la región Metropolitana (XIII región) y del General Libertador Bernardo O'Higgins (VI región) se presentan una mayor cantidad de ecosistemas (cerca del 70% de polígonos identificados en esas regiones) que se concentran en áreas inferior a 1 há. Caso diferente se observa en la región de Valparaíso (V región), del Maule (VII región) y del Bío Bío (VIII región), ya que sobre un 10% de los polígonos identificados en cada región presentan magnitudes de hasta 16 há.

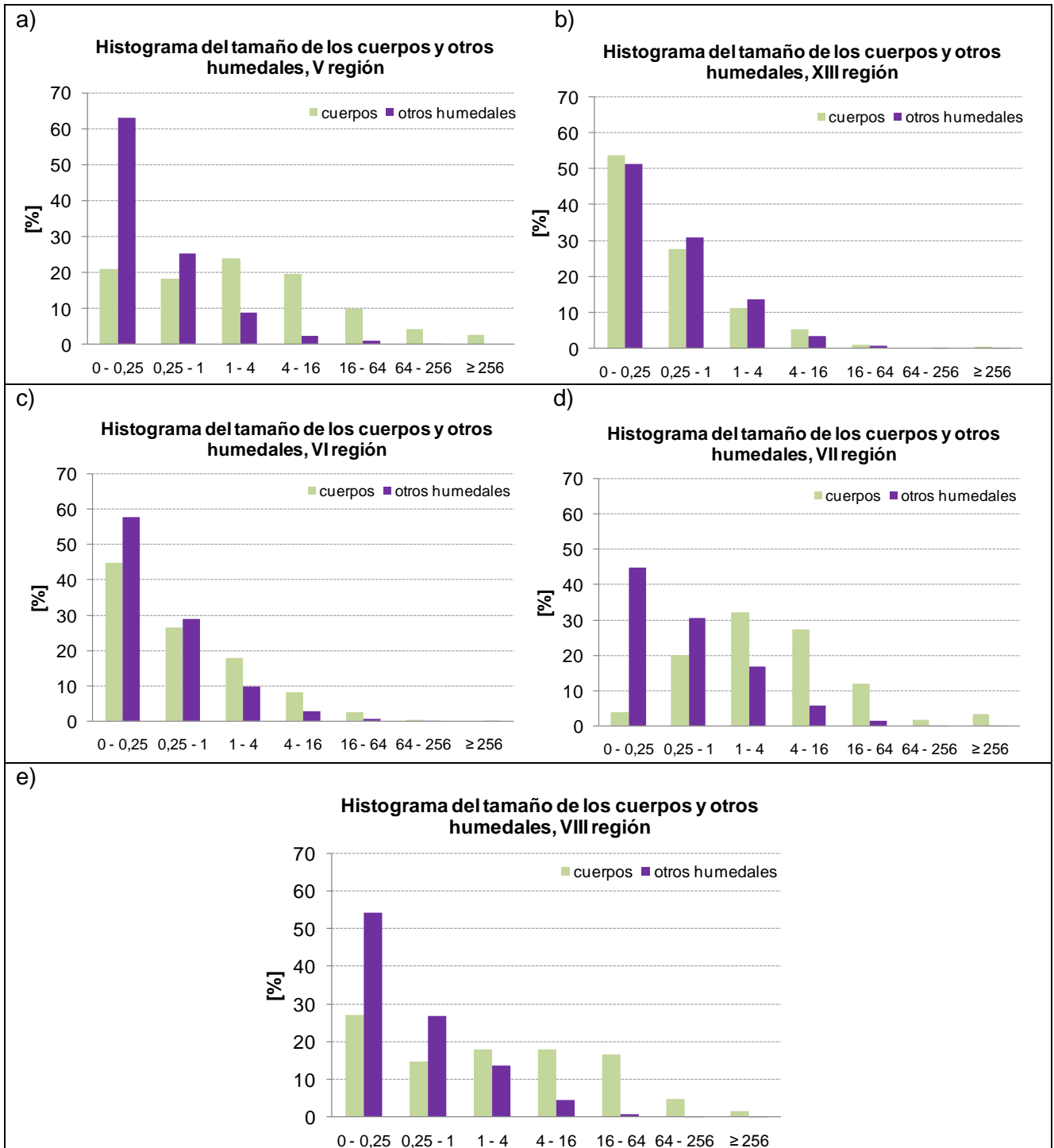


Figura N° 5.7: histograma del tamaño de las clases cuerpos y otros humedales identificados en la zona centro. a) histograma V región. b) histograma XIII región, c) histograma VI región. d) histograma VII región. e) histograma VIII región

5.3 Zona sur

En la Figura N° 5.8, Figura N° 5.9 y Figura N° 5.10 se presentan cartografías con los resultados obtenidos de la identificación de ecosistemas de la zona sur, considerando cada clase (cuerpos de agua, ríos principales, secundarios y otros humedales).

En esta zona se observa que la distribución de cuerpos se encuentra en toda la región, siendo estos de mayor a los registrados en el resto del país. En las regiones IX, XIV y X se observa una densa red de la clase ríos (principales y secundarios) los cuales se distribuyen a lo largo de toda la región. En las regiones XI y XII esta red se ve interrumpida por la presencia de canales en la zona de fiordos. Lo anterior condiciona a que la clase ríos sólo se desarrolle en los sectores continentales de continuidad de territorio.

En la Figura N° 5.11 se presentan los resultados en términos del área de cobertura asociado a las clases: cuerpos, otros humedales y ríos cuerpos. En toda la zona se observa un aumento de las magnitudes de la cobertura total de cada clase respecto de las otras zonas del país.

La cobertura de ecosistemas del tipo cuerpos de agua se presenta con mayor importancia en esta zona del país, seguido por ríos cuerpos y en menor magnitud la clase otros humedales. La máxima cobertura de cuerpos se presenta en la región de Aysén alcanzando las 400.000 há., la región de Magallanes llega a casi 300.000 há. La región de Los Lagos alcanza las 200.000 há., mientras que la región de los Ríos y de la Araucanía llega a cubrir cerca de 100.000 y 50.000 há. respectivamente. Lo anterior debido a la gran disponibilidad de recursos hídricos existentes, permitiendo la formación de una gran cantidad de lagos y lagunas que se encuentran distribuidos en gran número y en toda la región.

Respecto de la cobertura asociada a los ecosistemas del tipo ríos cuerpos, éstos se presentan de manera similar en todas las regiones de este sector, cercano a 20.000 há. en cada región. La cobertura asociada a la clase otros humedales es la que se presenta menor magnitud, alcanzando en promedio 8.000 há. en cada región.

En términos porcentuales, la Región de los Ríos es la que presenta una mayor cobertura respecto del área total de la Región (cerca del 7%). La Región de los Lagos y Aysén supera el 4% de cobertura respecto de la superficie total de la región. La cobertura total de ecosistemas acuáticos de la Región de la Araucanía cubre un 2,5% de la superficie total de la región, mientras que la que presenta menor cobertura respecto del total de área Región es la de Magallanes (0,2% de la región cubierta por ecosistemas acuáticos).

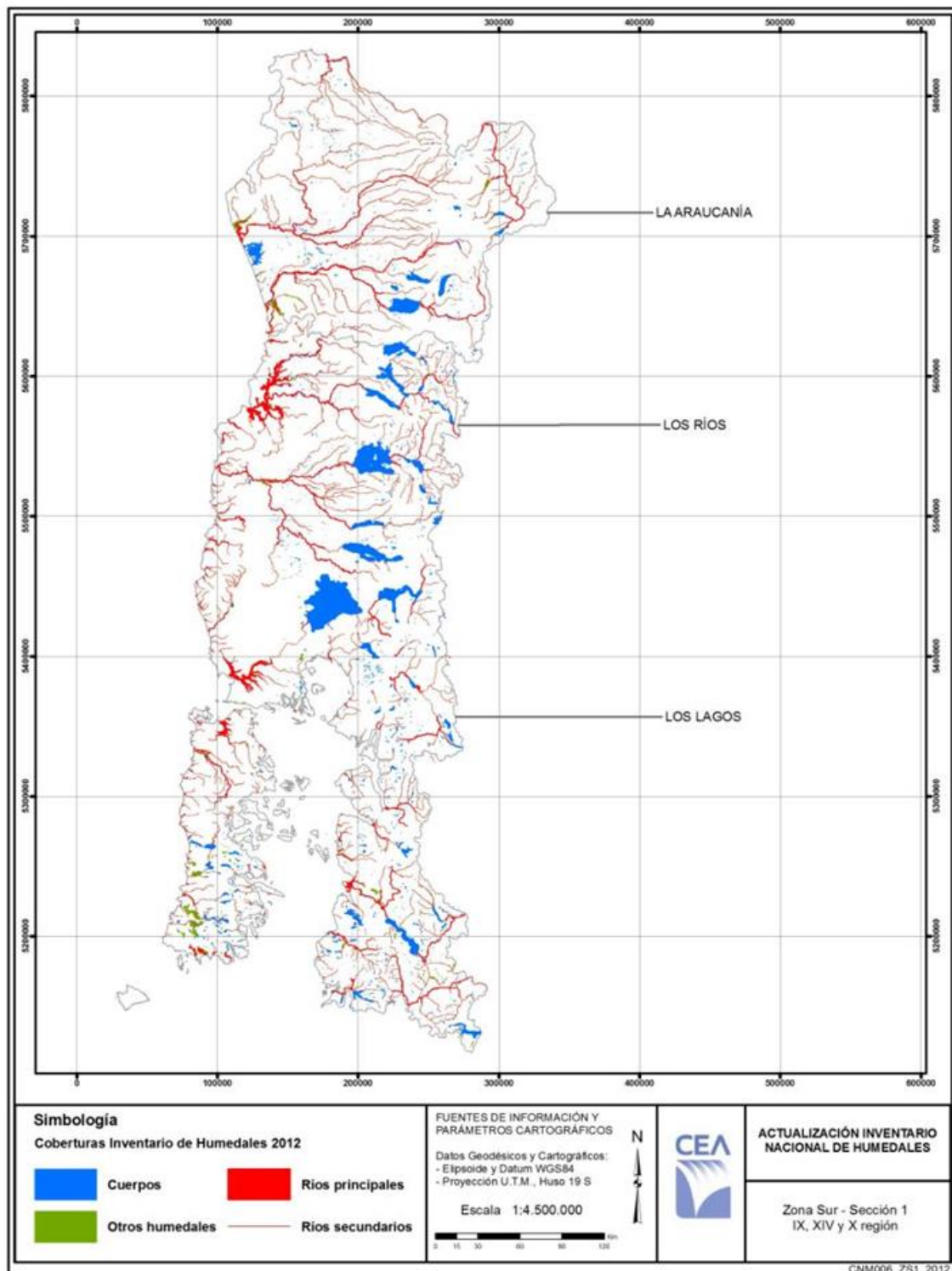


Figura N° 5.8: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona sur (sección 1, Regiones IX, XIV, X)

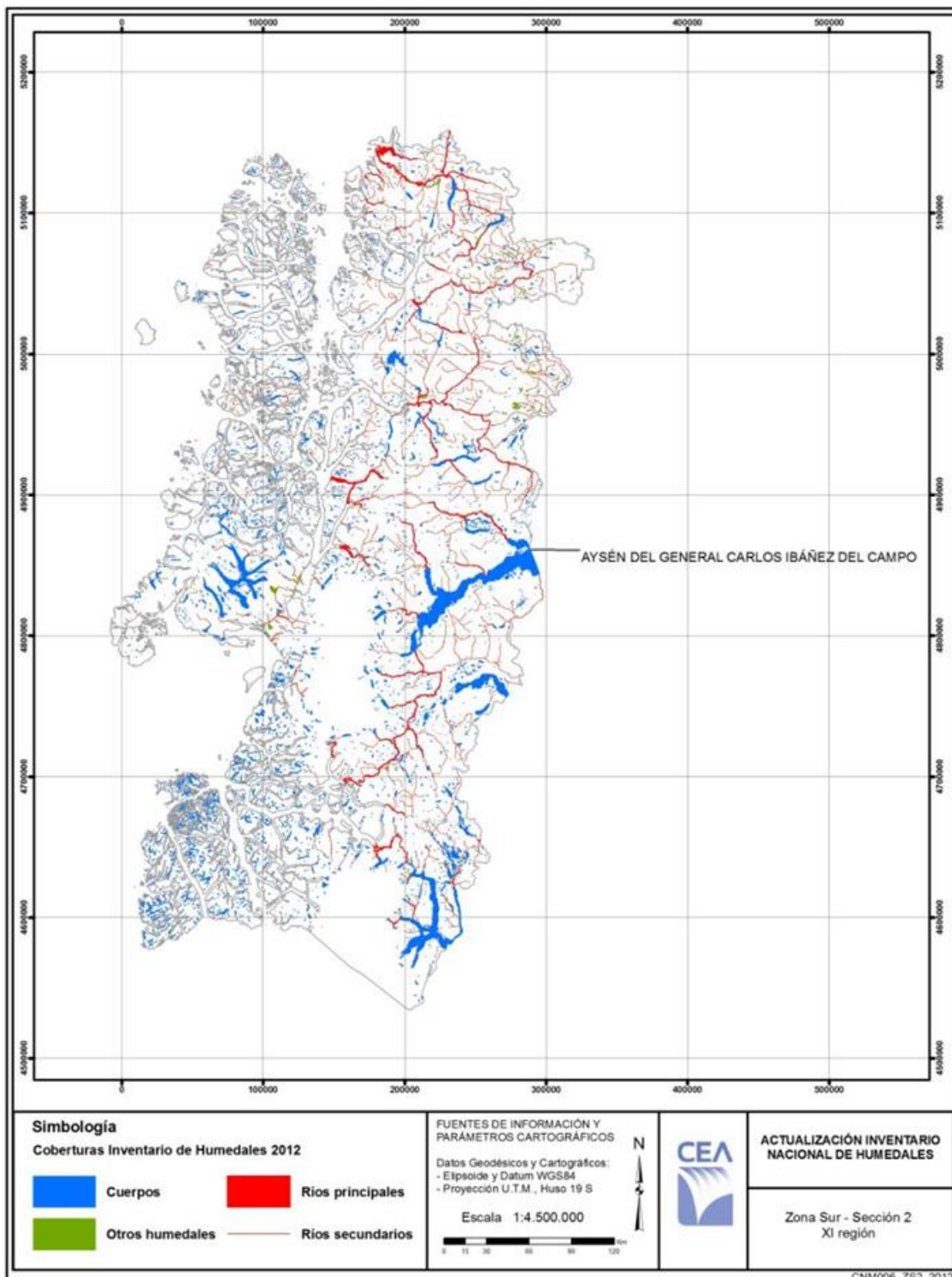


Figura N° 5.9: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona sur (sección 2, Regiones XI)

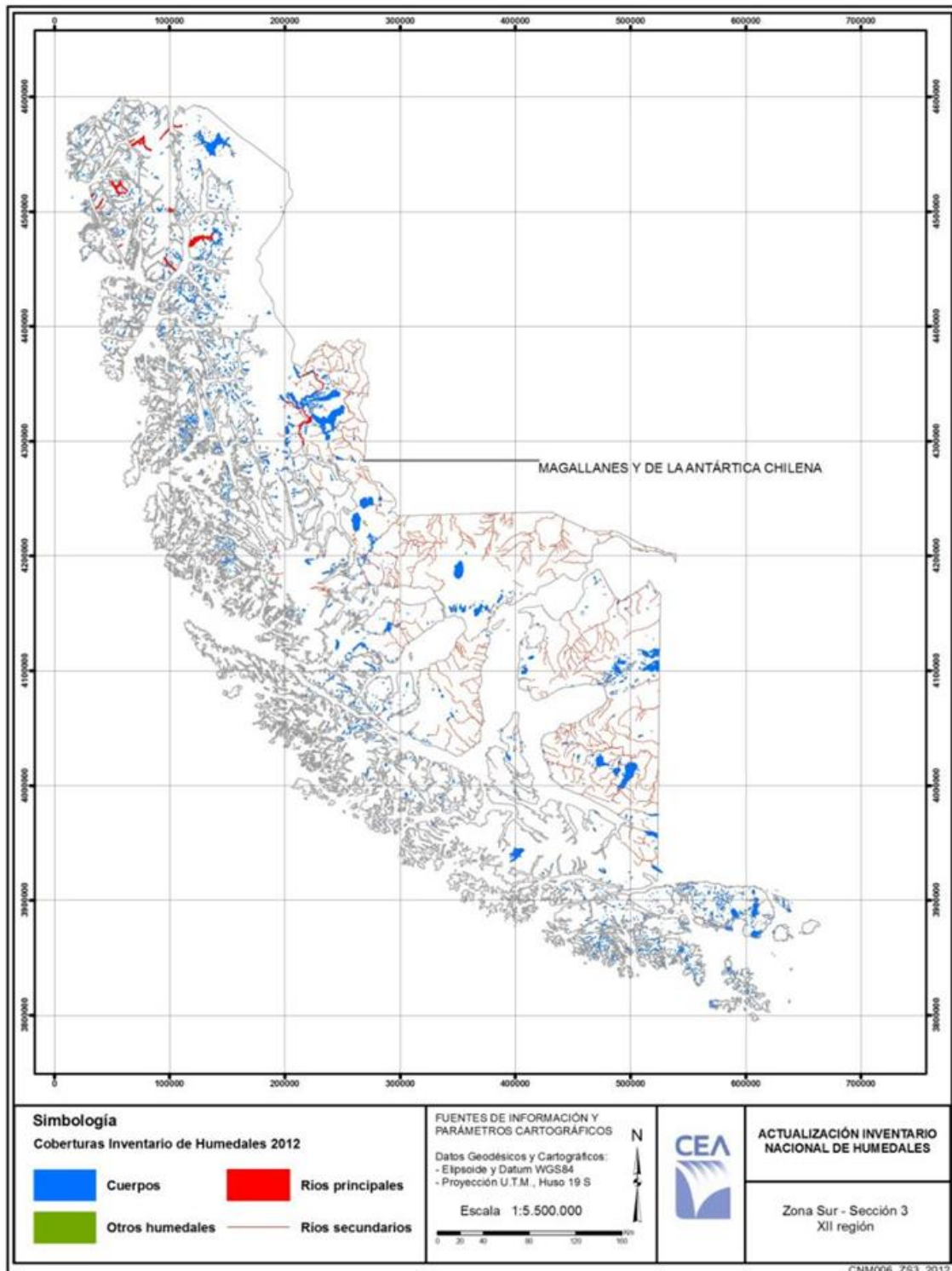


Figura N° 5.10: Cobertura de ecosistemas (cuerpos, ríos principales y secundarios, otros humedales), zona sur (sección 3, Región XII)

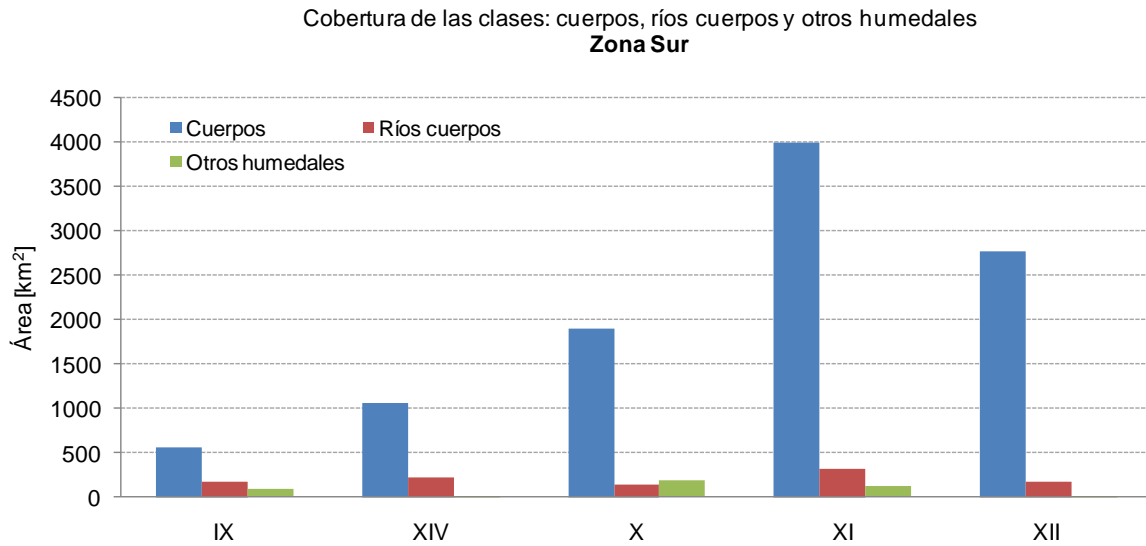


Figura N° 5.11: Áreas [km²] de coberturas de las clases cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales en la zona sur

En la Figura N° 5.12 se presenta el histograma del tamaño de los ecosistemas identificados como polígonos asociados a la clase cuerpos y otros humedales para la zona sur del país. Para el histograma se han analizado 5 rangos de cobertura: 0-0,25 há, 0,25 -1 há., 1-4 há, 4-16 há, 16-64 há, 64-256 há y mayor a 256 há. de modo de evaluar la distribución de cobertura de los polígonos identificados en cada una de estas clases.

A diferencia de lo observado en la zona central, se tiene que los sistemas identificados en la clase otros humedales presenta una concentración de polígonos que fluctúan entre 1 y 64 há. de superficie, superando el rango de tamaño más frecuente de la zona central. El mínimo magnitud se encuentran los sistemas de menor tamaño y bordean solo entre el 5% y 10% del total.



Figura N° 5.12: histograma del tamaño de las clases cuerpos y otros humedales identificados en la zona sur. a) histograma IX región. b) histograma X región, c) histograma XIV región. d) histograma XI región. e) histograma XII región

En la Figura N° 5.13 se presentan las coberturas de área de cada clase en cada región observándose la tendencia e importancia de una mayor cobertura neta en las regiones de la zona sur. En la Figura N° 5.14 se presentan los porcentajes de cobertura de los ecosistemas respecto del área total de la región (SIIT, 2012). Para esto se ha considerado todos los ecosistemas identificados como polígonos (es decir, de la suma de las coberturas de cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales).

En la zona norte los porcentajes de cobertura de ecosistemas fluctúan entre el 1%, en la Región de Coquimbo, y 2,5%, en la Región de Antofagasta. Mientras que en la zona central se observa un menor porcentaje de cobertura, el cual fluctúa entre 0,4%, en la Región de Valparaíso, y 1,4% en la Región del Maule y Bío Bío. Se observa que las regiones de la zona sur (Araucanía, de los ríos, de los Lagos y Aysén) presentan el mayor porcentaje de cobertura de ecosistemas a nivel país (entre el 2,6% y 7,1% del área total de la región). Sólo la Región de Magallanes presenta un porcentaje inferior al observado en esta zona, siendo también el mínimo de cobertura a nivel país, cercano al 0,2%.

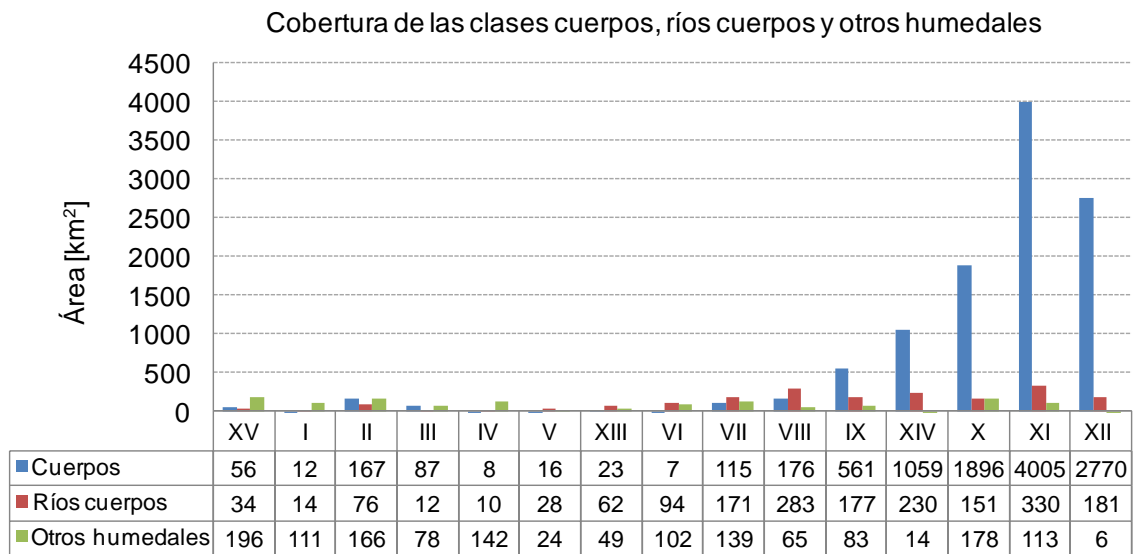


Figura N° 5.13: Áreas [km²] de coberturas de las clases cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales para todas las regiones del país

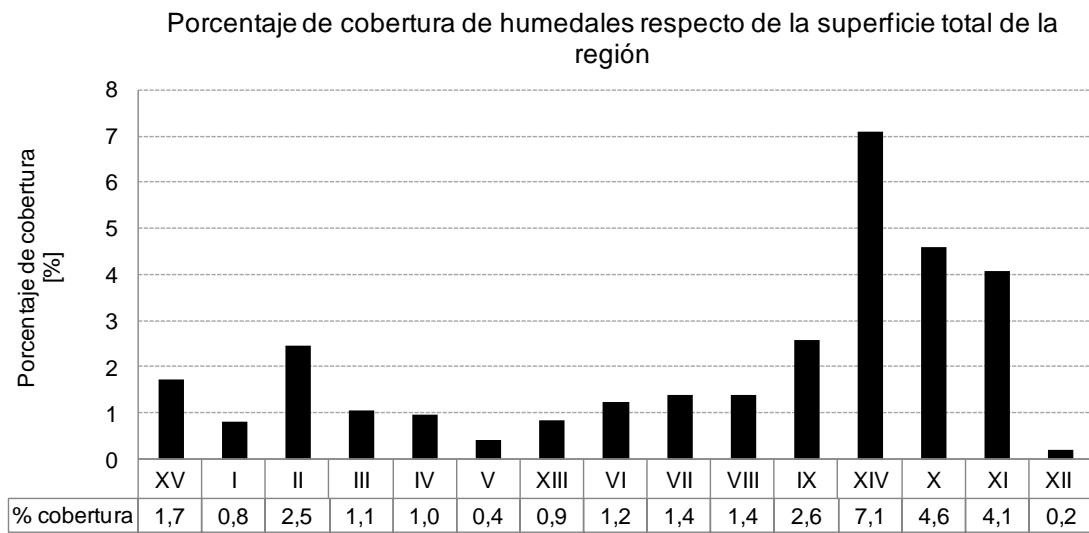


Figura N° 5.14: Cobertura total [km²] presente en cada región, asociada a la suma de las coberturas de las clases cuerpos, ríos cuerpos y otros humedales.

6 VALIDACION

Con el fin de validar los resultados obtenidos, se contrastaron las coberturas de humedales generadas en la actualización 2012, con la cobertura de la base cartográfica del MIDEPLAN, (MIDEPLAN, 2006). Para poder comparar dichas bases cartográficas, fue necesario unificar los criterios de clasificación, por lo que se compararon las clases cuerpos de agua y otros Humedales, del catastro de ecosistemas acuáticos continentales, con las clases Lagos, Lagunas, Embalses, Tranques, Vegas y Bofedal de la base cartográfica del MIDEPLAN.

Se buscaron las correspondencias de ambas coberturas a lo largo de todas las regiones, es decir, aquella información que coincide en su ubicación en ambas cartografías más no necesariamente en la delimitación exacta ni en las clases de clasificación de cada cobertura.

Considerando lo anterior, se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla N° 6.1, de la que se desprende un alto ajuste, es decir, de los 16.045 polígonos presentes en la base cartográfica de MIDEPLAN, al menos 14.105 se superponen con el nuevo inventario de humedales (correspondiente al 87,9%). Las diferencias pueden ser explicadas en la utilización de distintos criterios de clasificación, falencias en la georreferenciación entre otros. Sin embargo, cabe mencionar que la actualización del inventario contiene un total de 56.105 polígonos.

Tabla N° 6.1: Comparación entre las coberturas MIDEPLAN y actualización del catastro de ecosistemas acuáticos continentales 2012.

Región	Número de Polígonos MIDEPLAN	Número de polígonos Inventario de Humedales	Número de coincidencias	Porcentaje (Coincidencias respecto a MIDEPLAN)
XV	135	1.044	89	65,9%
I	47	1.625	16	34,0%
II	104	1.726	95	91,3%
III	215	2.083	152	70,7%
IV	162	8.937	123	75,9%
V	271	3.015	234	86,3%
XIII	167	4.523	131	78,4%
VI	190	3.609	159	83,7%
VII	339	4.682	290	85,5%
VIII	221	3.479	191	86,4%
IX	372	1.108	316	84,9%
XIV	174	786	164	94,3%
X	749	2.288	670	89,5%
XI	6.910	9.371	5.993	86,7%
XII	5.989	7.826	5.482	91,5%
Total áreas	16.045	56.102	14.105	87,9%

7 DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 RESPECTO DE LOS OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo de disponer de un catastro físico de la ubicación de los ecosistemas acuáticos continentales existentes en el país se realizó de manera adecuada con una resolución espacial superior a 0,25 há.

Si bien la metodología aplicada no busca validar un modelo de análisis espacial, ésta es adecuada para realizar un catastro de los ecosistemas acuáticos. Así mismo, la metodología tampoco comprende un proceso de validación ni calibración, ya que ésta no busca ser un procedimiento establecido para reproducirse en otras áreas, sino que se plantea como una herramienta efectiva para determinar e identificar los ecosistemas acuáticos que existen en nuestro país.

En un trabajo futuro, se espera complementar y revisar el catastro de ecosistemas basado en campañas de terreno y en actualización de imágenes aéreas de alta resolución espacial y adecuada visualización respecto de la cobertura de nubes y nieves, con énfasis para la zona austral de Chile.

7.2 RESPECTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la zona norte, debido a la escasez del recurso hídrico, los sistemas suelen ser altamente dinámicos, por lo que se pueden generar diferencias considerables a lo largo del tiempo, tanto en la extensión como en contenido de humedad de las distintas áreas identificadas (u otras no identificadas). Si bien se intentó minimizar esta falencia con la utilización de imágenes con distintas fechas de captura para la identificación, no siempre fue posible contar con imágenes de la calidad adecuada, siendo altamente probable que no hayan sido identificadas todas las áreas de interés o la existencia de falsos positivos, por lo que se recomienda ir afinando esta herramienta con ayuda de identificación in situ, en la medida de lo posible.

Si bien las galerías de imágenes de Google Earth® cubren todo el país, parte de la zona sur (Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y Antártica Chilena) no presenta imágenes de alta resolución espacial ni de calidad adecuada, es decir, con baja cobertura de nubes. Lo anterior, condiciona que la identificación y delimitación no sea adecuada en estas regiones y se puede subestimar coberturas.

7.3 RESPECTO DE LOS ANTECEDENTES FUTUROS A CONSIDERAR

Se observó una alta correspondencia entre las cartografías MIDEPLAN y de la actualización, cercano al 92%; sin embargo se espera que el bajo porcentaje de cobertura identificado en la región de Magallanes, alejado de la tendencia observada en la zona sur del país, pueda ser revisado y mejorado con visitas a terreno e imágenes o fotografías aéreas que permitan una adecuada identificación de los sistemas en esta zona del país. Antecedentes que no pudieron ser considerados en esta etapa ya que no se dispone de imágenes de la calidad esperada y sin coberturas de nubes que permitan una adecuada visualización de la región completa. Del mismo modo en las regiones XV y I, donde también existe baja correspondencia respecto de las coberturas MIDEPLAN y de la actualización, puede asociarse a que existe un número importante de áreas MIDEPLAN

que no corresponderían a humedales según las imágenes que se tenían disponibles a la fecha de la actualización. Por ejemplo, se observan salares o áreas históricamente secas, otro factor que influye en la diferencia observada en la XV región, corresponde a las lagunas Cotacotani, las que varían notablemente su tamaño entre estaciones del año, razón por la cual la fecha utilizada para demarcar en esta actualización podría no coincidir con la considerada en la delimitación de MIDEPLAN.

Se verifica que el proceso de análisis de información remota en conjunto con fotointerpretación son adecuadas para lograr una identificación de ecosistemas adecuada.

A partir de fotointerpretación se delimitaron los polígonos de cada área identificada, clasificando cada ecosistema en su respectiva clase. Como regla general, se utilizó la imagen más reciente para delimitar los humedales, sin embargo, existen casos donde se recurrir a otras fechas, debido a sombra, presencia de nubes, u otro factor que influyera en la correcta delimitación, como la variación estacional de la superficie.

REFERENCIAS

- MMA - Centro de Ecología Aplicada. 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago.Chile.164 pp.
- CIREN 2010. Caracterización Base de Vegas y Bofedales Altoandinos para una Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos. Primera Parte: Región de Antofagasta.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Edit. Ariel Ciencia. España.
- DGI, 2012. División de Generación de Imágenes. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Brasil. <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>
- GAO,B.C. (1995). Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Proceedings of SPIE 2480: 225-236.
- McFEETERS, (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote Sensing, Vol. 17, No. 7, 1425-1432.
- MIDEPLAN, 2006. Fuentes cartográficas de la información asociada a las clases: red hídrica, cuerpos de agua y otros humedales. Ministerio de Desarrollo y Cooperación (MIDEPLAN), Chile.
- NASA, 2006. http://landsat.gsfc.nasa.gov/news/news-archive/dyk_0002.html
- RUYDO, 2005. Catastro y caracterización de los turbales de Magallanes. Ruiz & Doberti Ltda. Punta Arenas, 2005
- SAG, 2007. Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del altiplano. Biota Gestión y Consultorías Ambientales Ltda. por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. Ministerio de Agricultura, Chile.
- SERNAGEOMIN, 2007. Servicio Nacional de Geología y Minería. Oficina Técnica de Puerto Varas. Mella, Mauricio. 2007.
- SIIT, 2012. Sistema Integrado de información territorial (SIIT), biblioteca del congreso nacional. <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/regiones.htm>
- UFRO, 2007. Universidad de la frontera, portal de geografía. Información SIG de Chile continental subdivisión administrativa de 2007.
- U.S. Geological Survey. <http://glovis.usgs.gov/>. Imágenes satelitales Landsat.