



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA
CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES EN LA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA



María Pérez Ortega

Tutores

María Eugenia Pérez González
Jose Luis González López

Madrid, 2011

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera han hecho posible la realización de este trabajo.

A mi tutora, la profesora María Eugenia Pérez, por darme la oportunidad de realizar este proyecto y transmitirme su conocimiento y experiencia, haciendo posible la realización de este trabajo.

En especial a mi tutor “Obe”, por su apoyo incondicional, por creer en mí y por descubrirme e implicarme en el apasionante estudio y conservación de los humedales.

A CBC, por su cariño y su colaboración en todo momento.

A Paloma Garzón y Nacho Doadrio, del Museo de Ciencias Naturales, por todo el material aportado en los análisis de aguas realizados.

A Pedro Bustamante, Técnico de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Alcázar de San Juan, por la información proporcionada e interés en la realización de este trabajo.

A Jesús García y Miguel Ángel Rubio, de la Dirección General de Áreas Protegidas y Biodiversidad de la Junta de Castilla La Mancha, por cederme datos de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda.

A todos los investigadores que con sus aportaciones, me han enseñado y guiado en la aplicación de la teledetección en el estudio de los humedales.

Quería dar las gracias a todas las personas que son especiales en mi vida y que me han acompañado y animado en este trabajo. A Fernando, por estar ahí siempre. Pero sobre todo a mis padres, Arturo y Paloma, por ayudarme en este trabajo, por su paciencia en todo momento y enseñarme que el esfuerzo y dedicación siempre es recompensado.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Las Técnicas de Teledetección en Medio Ambiente	5
1.2. Importancia e interés de las Zonas Húmedas. El Convenio Ramsar	6
1.3. El uso de la teledetección en el estudio de Humedales	8
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. ÁREA DE ESTUDIO	15
3.1. La Mancha Húmeda	15
3.2. La Reserva de la Biosfera	17
3.3. Humedales de estudio	18
4. MATERIAL Y MÉTODOS	24
4.1. Inventario de humedales. Realización de itinerario y visitas de campo	24
4.2. Análisis de agua	25
4.3. Trabajo de Gabinete: Teledetección	26
5. RESULTADOS	32
5.1. Identificación y descripción de los humedales	32
5.2. Itinerario de visitas de campo	32
5.3. Contaminación hídrica	33
5.4. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales del Complejo Lagunar de “Las Pedroñeras” (Cuenca)	67
5.5. Estimación de superficie de regadío en el entorno lagunar “Las Pedroñeras”	79

6. DISCUSIÓN	82
6.1. Contaminación hídrica	82
6.2. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales del Complejo Lagunar de “Las Pedroñeras” (Cuenca)	92
6.3. Estimación de la superficie de regadío en el entorno de los humedales y cartografía de su lámina de agua	94
7. CONCLUSIONES	97
7.1. Estudio de la contaminación hídrica	97
7.2. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales	98
8. BIBLIOGRAFÍA	100
9. ANEXOS	107

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Las técnicas de Teledetección en el Medio Ambiente

En los últimos años la Teledetección se ha desarrollado de una manera espectacular, diseñándose aplicaciones para casi todas las áreas de las ciencias de la tierra (Fabregat, 1999) debido a las grandes posibilidades y ventajas que presenta: localización de espacios geográficos, observación de fenómenos temporales e integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G), reduciéndose en muchos casos el tiempo empleado y el dinero invertido en los estudios sobre el terreno (Baker *et al.*, 2006; Shanmugan, 2006).

Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral (Sacristán, 2006).

Su aplicación en los recursos naturales se fundamenta en que los elementos de la naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina signatura espectral. De esta forma estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Entre las ventajas proporcionadas por estos sistemas destacan, la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información (Chuvieco, 2002).

Por todo ello, la teledetección espacial está siendo empleada como complemento y no como un sustituto, a estudios sobre el medio ambiente: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, incendios, producción agrícola, usos del suelo, planificación urbana, etc.

El desafío de conservar la biodiversidad, el funcionamiento ecosistémico y los servicios ambientales exige aproximaciones novedosas tanto para conocer mejor (plano conceptual) como para gestionar mejor (plano aplicado) los sistemas ecológicos (Cabello y Paruelo, 2008) y es la teledetección quien permite incorporar a este aspecto la posibilidad de estudiar los sistemas ecológicos a escalas espaciales y temporales

distintas a las que se acceden desde experimentos controlados, los cuales son también necesarios e imprescindibles, pero a veces insuficientes.

1.2. Importancia e interés de las Zonas Húmedas. El Convenio Ramsar

Los humedales son ecosistemas importantes de gran interés por las diferentes funciones que realizan: almacenan agua y la emanan lentamente recargando aguas subterráneas, mejorando su calidad, actuando como filtros al absorber su contaminación y proporcionando un gran número de hábitat para la fauna y vegetación incluyendo a muchas especies amenazadas o en peligro (Steven and Toner, 2004; Lagos *et al.*, 2008).

Hasta hace pocos años los humedales se consideraban zonas insalubres, transmisoras de innumerables enfermedades que era preciso eliminar o transformar en tierras de labor (Vega, 2006), que se drenaban o sobre las que se pavimentaba a fin de utilizarlas para el desarrollo urbano o la agricultura, provocando graves pérdidas en el patrimonio y medios de sustento (Peck *et al.*, 2011).

En los últimos años, la importancia del rol ecológico de los humedales y los beneficios económicos que generan han ganado un reconocimiento cada vez mayor (Bridgham *et al.*, 2006; Canepuccia *et al.*, 2007). Han empezado a cobrar interés y muchos de estos lugares están protegidos con diversas figuras (parques nacionales, parques naturales, etc.).

Además estas zonas húmedas, son uno de los ecosistemas más productivos del planeta, ya que juegan un papel esencial en el ciclo bioquímico a través de la producción anaeróbica de gases como el metano, siendo la mayor fuente-sumidero de carbono del planeta. También desempeñan un papel importante en el ciclo hidrológico, ya que almacenan agua en los períodos secos mientras que en los episodios de inundación reducen los niveles del agua frenando inundaciones y filtrando los sólidos en suspensión, ayudando así en el control de la calidad del agua y en la recarga de acuíferos. Son lugares potenciales para la acuicultura, la cría de aves o como zonas recreativas y de turismo (Vega, 2006) y forman parte del patrimonio histórico- cultural de la humanidad.

Los humedales, independientemente de los diversos criterios de apreciación, son considerados áreas de interés internacional desde 1962 con la Conferencia MAR (Primera Conferencia Internacional sobre Conservación de Humedales). En 1972, este

interés se plasma en la ratificación de la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, llamado Convenio Ramsar (García *et al.*, 2006).

La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Convenio de Ramsar, fue firmada en la ciudad de Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971 y tiene como misión la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo (www.ramsar.org). España se adhirió a este convenio en 1982, teniendo hasta el momento 73 humedales incluidos en la Lista Ramsar (MARM, 2011).

Según la Convención Ramsar se consideran humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancadas o corrientes dulces, salobres o salados, incluidos las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Art.1 Convenio Ramsar, www.ramsar.org).

Pero a pesar de su gran valor medioambiental y a su mayor reconocimiento con el paso de los años, la pérdida y degradación de humedales a manos del hombre, todavía continua. Son espacios altamente antropizados, en unos casos, para favorecer o mejorar su conservación, y en otros alterando la lámina de agua y sus riberas inmediatas (Pérez y García, 2004).

La creciente necesidad de agua dulce por parte del hombre, acelerada en las últimas décadas, ha llevado a un desequilibrio en los balances hidrológicos en muchos puntos del planeta, produciendo graves alteraciones medioambientales (Pérez y García, 2006).

En el caso concreto de España, en el transcurso de los años se han cambiado los usos agrícolas tradicionales de secano por regadíos, más rentables en términos económicos, a expensas del agua subterránea cuyos ciclos de recarga son muy lentos.

De hecho, la causa más importante de reducción de zonas húmedas en regiones semiáridas como España, es la escasez de suministro de aguas subterráneas, de modo que se produce un cambio en las condiciones hidrodinámicas del humedal y la modificación de los biotopos asociados con la zona húmeda (Vega, 2006).

También se ha producido la contaminación de sus aguas, la salinización y contaminación de suelos, la formación de costras, etc. que unido a las posibles riesgos climáticos (sequías e inundaciones) afectan tanto al humedal en sí, como a los ingresos económicos y salud de los habitantes de esas zonas.

1.3. El uso de la teledetección en el estudio de Humedales

Tradicionalmente, los humedales se han estudiado mediante mapas, fotointerpretación, trabajo de campo y análisis laboratorio, pero las imágenes de satélite ofrecen información adicional a partir de otros canales del espectro electromagnético. Así se obtiene una valiosa información de las características subsuperficiales (humedad, temperatura, presencia de materia orgánica, etc.), no perceptibles en las fotografías aéreas convencionales (García *et al.*, 2006) y permite obtener su delimitación sobre grandes áreas en distintos momentos (De Roeck, *et al.*, 2008).

El disponer de información visual y digital de la superficie terrestre, desde la década de los setenta del pasado siglo, está permitiendo estudios temporales de un amplio conjunto de temas medioambientales en el ámbito de la hidrología como son por ejemplo, la cartografía de humedales, la desecación y salinización de humedales y lagos y el seguimiento de la contaminación hídrica (Pérez y García, 2006).

La interpretación de imágenes de satélite de gran resolución espacial y espectral permite detectar las masas de agua contaminadas y cartografiar con exactitud la extensión, intensidad y variabilidad de los procesos contaminantes (Hodgson *et al.*, 1987, Patience *et al.*, 1993, Jong, 1994, Fraser, 1998; Sydor, 1998; García *et al.*, 1999; Polvorines, *et al.*, 2001; Reese *et al.*, 2002; Ruíz-Verdú, *et al.*, 2003). La utilización de imágenes de distintas fechas permite conocer también la evolución de la contaminación y la respuesta de los humedales a las medidas de restauración y conservación. También se puede analizar la evolución de la vegetación hidrófila que se sitúa en el interior o en los alrededores de la laguna (Pérez y García, 2004).

Además, la teledetección espacial ha demostrado su potencial como herramienta válida para la elaboración de mapas de cultivos en regadío (Barón, 1999; Quintanilla *et al.*, 1997; Montero *et al.*, 2005; Montesinos y Bea, 2008), lo que supone un aspecto clave para tareas de gestión hídrica y planificación hidrológica, fundamental en la conservación de los humedales, ya que es uno de los principales problemas que afecta a estos ecosistemas.

Por otra parte, el Convenio de Ramsar da prioridad a la cartografía de zonas húmedas y recomienda el uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de inventarios de humedales (Vega, 2006) como ya se ha hecho, por ejemplo en el Inventario de la Iniciativa para los Humedales Mediterráneos

MedWet (www.medwet.org), el Programa Nacional para el Inventario Nacional de Humedales (NWI) del United State Fish and Wildlife Service (USFWS) o el Programa Nacional de Humedales de Uganda (Vega, 2006).

Dentro del Marco Ramsar del Inventario de Humedales, el interés de estas técnicas se observa en la presencia de dos apéndices (II y III), donde se recogen los procedimientos y los datos de teledetección disponibles actualmente para su aplicación en los inventarios. Estos datos pueden llegar a convertirse en una herramienta muy versátil para la consecución de los múltiples propósitos incluidos en este marco, entre los que destacan los tres siguientes:

A. La teledetección como método de identificación y delimitación de humedales. La detección e inventario de humedales es esencial para una gestión y planificación de la conservación adecuada de los mismos. Además, permite el seguimiento multitemporal de la lámina de agua, de su calidad, etc.

Por ejemplo, los trabajos de Work y Gilmer en 1976 mostraron como las bandas espectrales de 80 m de resolución de Landsat MSS eran capaces de detectar lagunas menores de 1,6 ha en Dakota, y Verdín en 1996 identificó numerosas superficies de agua pequeñas en Sahel (Níger) con imágenes NOAA-AVHR. En España, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) mediante el empleo de imágenes Landsat-5TM, localizó las superficies de agua existentes en las cuencas del Duero, Guadiana, Júcar y Segura (Soriano, 1996).

B. La teledetección como herramienta para la identificación y seguimiento de los cambios en las características de los humedales. Los problemas derivados del consumo de agua para los regadíos en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel fueron estudiados con imágenes Landsat MSS y ETM desde 1979 a 1989, por parte del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP, 1990). Y desde 2002, el Instituto Geológico y Minero de España junto con la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía está desarrollando el estudio de humedales y usos de suelo del Parque Nacional de Doñana y su entorno mediante técnicas de teledetección con imágenes Landsat-7 (Vázquez, 2002).

C. La teledetección como instrumento de planificación de la conservación y gestión de los humedales. Los planes de gestión de las zonas húmedas son una

herramienta esencial para la protección y conservación de los humedales, siendo un proceso que va más allá de los propios límites de los humedales y que implica una ordenación del territorio y de los usos del agua a nivel de cuenca.

Una parte esencial de esta gestión es asegurar que el agua que llega a los humedales lo haga con la calidad adecuada y en el momento oportuno (*Vega, 2006*). Así, en España destacan los trabajos de Pérez y García (2004 y 2006), sobre el análisis de la contaminación hídrica en humedales de la Mancha empleando técnicas de teledetección desde 1999 hasta 2006, o los realizados sobre la variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores mediante el empleo en ambos casos de imágenes Landsat.

Los diferentes proyectos realizados hasta ahora, demuestran que la integración de los datos obtenidos a partir de imágenes de satélite con datos hidrológicos convencionales en un SIG es una técnica de gran interés para el estudio de la hidrología de humedales (*Vela, et al., 1999*).

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo ha sido, mostrar la utilidad de las técnicas de teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de una parte de los humedales de la Reserva Biosfera de la Mancha Húmeda.

Para llevar a cabo este objetivo general, el presente trabajo se ha estructurado en tres estudios con objetivos específicos.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar, visitar, describir y delimitar los humedales de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda.

2. Estudiar la contaminación hídrica, en concreto la eutrofización de las masas de agua, con el fin de contribuir a mejorar la calidad y el grado de naturalidad de siete humedales manchegos protegidos. Para ello se definieron los siguientes objetivos:
 - 2.1. Diferenciar las algas de la vegetación higro-halófito mediante diversas mezclas de bandas y otras herramientas.
 - 2.2. Cartografiar los aportes antrópicos que reciben los humedales.
 - 2.3. Analizar la calidad del agua *in situ*.
 - 2.4. Evaluar la recuperación de la calidad de las aguas tras la puesta en funcionamiento de depuradoras de agua.

3. Estudiar los cambios en la cubeta, la lámina de agua y el entorno de cuatro humedales manchegos no protegidos, para valorar las posibilidades de su restauración. Para ello se definieron los siguientes objetivos:
 - 3.1. Cartografiar el perímetro de orla de vegetación natural máxima
 - 3.2. Cartografiar el perímetro de máxima inundación.

- 3.3. Evaluar y cartografiar las alteraciones morfológicas e hídricas del humedal.
- 3.4. Estimar la superficie de regadío en el entorno de los humedales y cartografiar la lámina de agua de éstos.

En definitiva, se trata de cartografiar y detectar los posibles cambios producidos en estos humedales, debidos a su gestión y condiciones meteorológicas, desde 1989 hasta 2009. Todo ello supone una herramienta muy útil para la gestión de los humedales con facilidad de actualización continua.

ÁREA DE ESTUDIO

3. ÁREA DE ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA

3.1. La Mancha Húmeda

Se denomina Mancha Húmeda a un conjunto de zonas húmedas naturales que abarca parte de las provincias de Toledo, Cuenca, Ciudad Real y Albacete. Dicho conjunto se asienta sobre la cabecera de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, siendo los acuíferos libres “Campo de Montiel” y “Mancha Occidental” las principales fuentes de recursos hídricos del territorio.

En la Cuenca Alta del río Guadiana, confluyen los ríos Riánsares y Gigüela y allí se ubican humedales de distinta tipología con características ecológicas similares, reguladas en última instancia por el clima, la topografía y la naturaleza del sustrato. Según Cirujano (2001), la Mancha Húmeda se caracteriza por humedales permanentes o semipermanentes subsalinos, humedales fluctuantes con aguas someras y estacionales con mayor contenido en sales, y lagunas hipersalinas en cuyas aguas apenas pueden crecer plantas acuáticas por la elevada concentración de sales.

El clima es semiárido y se caracteriza por precipitaciones medias anuales escasas (entre 350 y 400 mm) y temperaturas estivales elevadas (Sánchez *et al.*, 1999). Predominan los sedimentos arcillosos poco permeables que favorecen un determinado modelo de zona húmeda, que es el de humedales fluctuantes subsalinos o salinos, cuyas recargas dependen en gran parte de las lluvias estacionales (Cirujano, 2001)

Topográficamente, es un relieve muy llano con escasos desniveles que favorece la acumulación de las aguas de escorrentía en las pequeñas depresiones del terreno (Peinado, 1994) donde destaca la gran extensión de la llanura de inundación del río Cigüela que es utilizada para diferentes usos: agrarios, cinegéticos y recreativos (Sánchez *et al.*, 1999).

La vegetación asociada a los humedales comprende formaciones acuáticas y marginales, muy diversas según la salinidad y los periodos de inundación, que desempeñan funciones muy distintas y complementarias (para más información ver Cirujano, 2001; Cirujano, 2011).

En cuanto a la fauna, la Mancha es tierra rica en aves acuáticas, tanto por la variedad de sus especies como por la cantidad de ejemplares que pueden llegar a concentrarse, funcionando como lugar habitual de reposo para gran número de aves en

desplazamiento migratorio (para más información consultar Velasco, 2010). Además, sus aguas presentan una gran riqueza y diversidad de invertebrados acuáticos, algunos endémicos, que dependen tanto de sus condiciones químicas como de su temporalidad (para más información consultar Araujo, 2010).

En reconocimiento a todos estos valores naturales, dentro de este espacio se han designado humedales bajo distintas figuras de protección: Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural, Refugio de Fauna, ZEPA y LIC.)

Estas lagunas manchegas han sido ampliamente estudiadas por su interés y problemática (Dantín Cereceda, 1929; Plan, 1969; Cirujano, 1981; Custodio, 1987; Montes y Martino, 1987; Forné, 1994; Peinado, 1994 y 95; Casado y Montes, 1995; Pérez, 1995; Sánchez *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2000 y 2004, Sáenz, Díaz y Sánchez, 1994)

En la actualidad, la Mancha Húmeda está sufriendo un rápido proceso de deterioro y desaparición (Peinado, 1994). Su principal problema ha sido la explotación intensiva de los acuíferos en los últimos 50 años para satisfacer las demandas agrícolas, ya que hasta entonces la mayoría de los términos municipales presentaban una estructura económica basada en el secano. Así, en 2007 el regadío en la Cuenca Alta del Guadiana, representaba el 50% (303.880 ha aproximadamente), habiendo desaparecido más de una treintena de humedales en la zona.

La magnitud del problema es tal, que la extracción de agua ha provocado un vaciado insostenible de los acuíferos de la Mancha, y consecuentemente la desconexión de la red fluvial del manto freático, alterando la dinámica natural de aguas superficiales y subterráneas y la ecología de los humedales Manchegos (Peinado y Plaza, 2010).

Además del masivo déficit generado sobre los recursos de los acuíferos, es preciso reseñar entre los problemas actuales la contaminación de las aguas, ya sea de forma puntual (procedente de núcleos urbanos) o difusa (derivada de la actividad agrícola), lo que ha provocado la eutrofización de las aguas debido al exceso de materia orgánica; la profunda alteración de la dinámica hidrológica provocada por la proliferación de encauzamientos, presas y embalses; la ocupación del dominio público hidráulico por cultivos, urbanismo e infraestructuras, y por último los cambios de uso del suelo, que también han contribuido a la alteración morfológica y a la invasión, a menudo irreversible, de cauces, vasos lagunares y zonas inundables.

Debido a estos problemas, muchas lagunas han sido drenadas, desecadas, colmatadas y cultivadas y otras, por estar situadas en depresiones salinas en las que el

aprovechamiento agrícola es imposible, fueron utilizadas como basureros o como zonas en las que embalsaban las aguas residuales de los núcleos vecinos (Cirujano, 2001).

En cuanto a la flora y vegetación asociada a estas zonas húmedas, ha desaparecido o está muy alterada por estos cambios acaecidos en el territorio, siendo la desecación de estas zonas y la eutrofización de sus aguas los dos factores que más afectan a su desarrollo (Cirujano, 2001).

Todos estos problemas, junto al pastoreo continuado en los pastizales perilagunares, las molestias humanas directas y la utilización indiscriminada de pesticidas y herbicidas han afectado también de manera muy negativa a las poblaciones de aves acuáticas de la zona, que han disminuido sus efectivos de forma importante desde mediados del siglo pasado (Velasco, 2010).

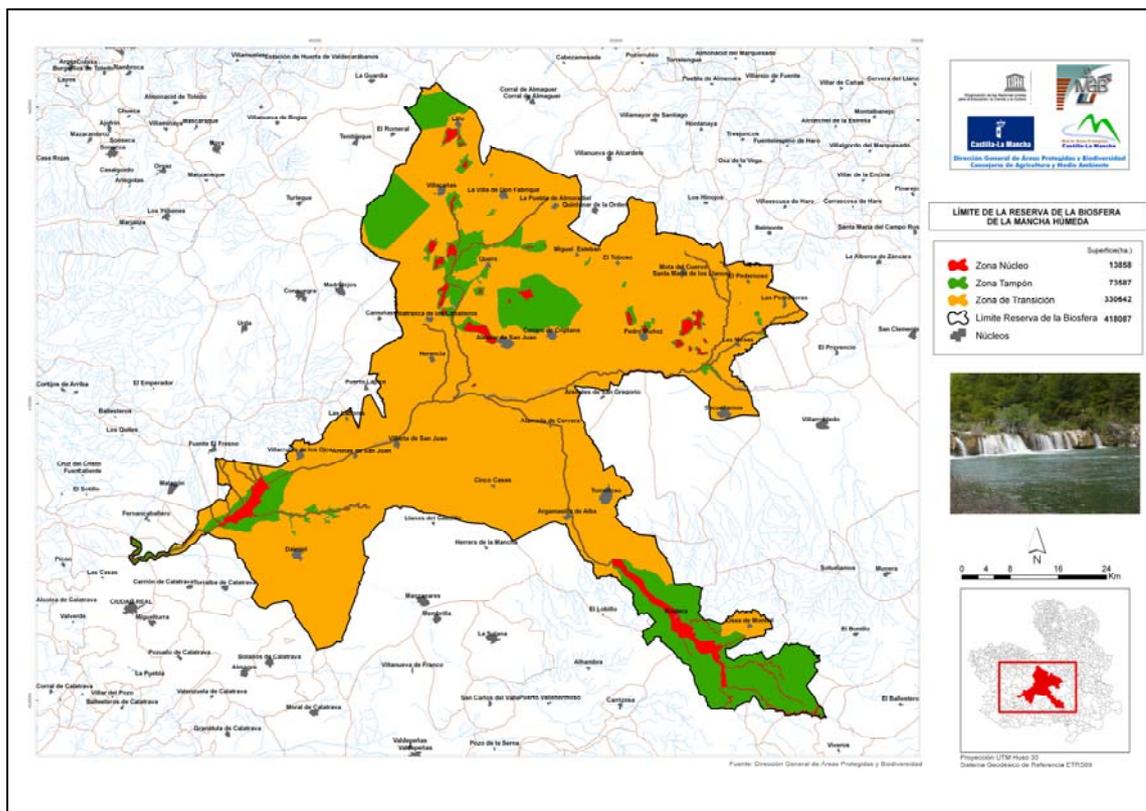
3.2. La Reserva de la Biosfera

En 1981, el Comité sobre “El Hombre y la Biosfera” (Man and the Biosphere, MAB) de la UNESCO declaró como Reserva de la Biosfera el territorio denominado “La Mancha Húmeda”, que incluía por entonces un conjunto de humedales y zonas inundables con una superficie aproximada de 25.000 hectáreas.

Los objetivos de dicha reserva, son la conservación y protección de la biodiversidad, el desarrollo económico y humano de estas zonas, la investigación, la educación y el intercambio de información entre las diferentes reservas, que forman una red mundial.

En la actualidad se ha establecido como límite de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda (en adelante RBMH) 418.227,37 hectáreas (Mapa 1) donde quedan englobados los ecosistemas más significativos desde su declaración, e incluye los humedales más singulares de las unidades hidrogeológicas 04-04 y 04-06, comprendiendo un total de **76 lagunas y el Dominio Público Hidráulico de 33 cauces diferentes** (incluyendo la zona de policía del DPH).

Igualmente, dicho mapa provisional muestra las zonas núcleo, representativas de los valores naturales más sobresalientes, las zonas tampón que implican un cierto grado de protección para los núcleos y una delimitación de la zona de transición, que pretende dar continuidad al territorio de la Reserva, uniendo las distintas zonas entre sí.

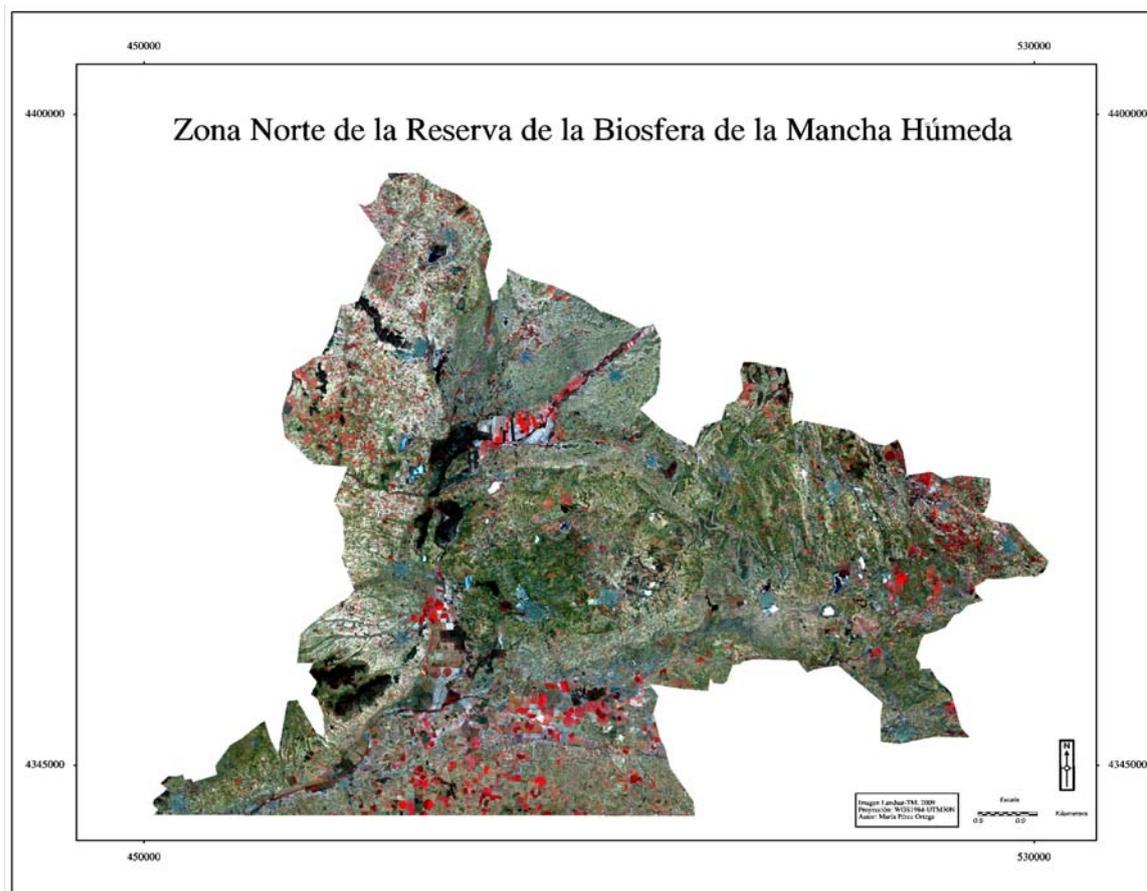


Mapa 1: Límites provisionales de la RBMH. (Fuente: Dirección Gral. Áreas Protegidas. Consejería Agrícola y Medio Ambiente)

3.3. Humedales de estudio

El presente estudio se ha llevado a cabo en la zona norte de la RBMH (Mapa 2), que abarca aproximadamente 267.830 ha y los 26 términos municipales siguientes: Lillo, Villacañas, La Villa de Don Fadrique, Quero, Villafranca de los Caballeros, La Puebla de Almoradiel, Quintanar de la Orden, Miguel Esteban, El Toboso, Campo de Criptana, Mota del Cuervo, Santa María de los Llanos, El Pedernoso, Las Pedroñeras, Las Mesas, Socuéllamos, Pedro Muñoz, Arenales de San Gregorio, Tomelloso, Alcázar de San Juan, Herencia, Villarta de San Juan, Puerto Lápice, Camuñas, Las Labores y Arenas de San Juan.

En éste área se incluyen más de 90 higrocoras de gran diversidad, pudiendo comparar así humedales de distintos orígenes (endorreico, fluvial, kárstico, antrópico, etc.), calidad de sus aguas (dulces, saladas, salinas), grado de estacionalidad (permanentes o estacionales), usos (cinegético, explotación de sales, recreativo, educativo, etc.) y estado de conservación (antropizados, contaminados y sin contaminar).



Mapa 2: Zona norte de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda

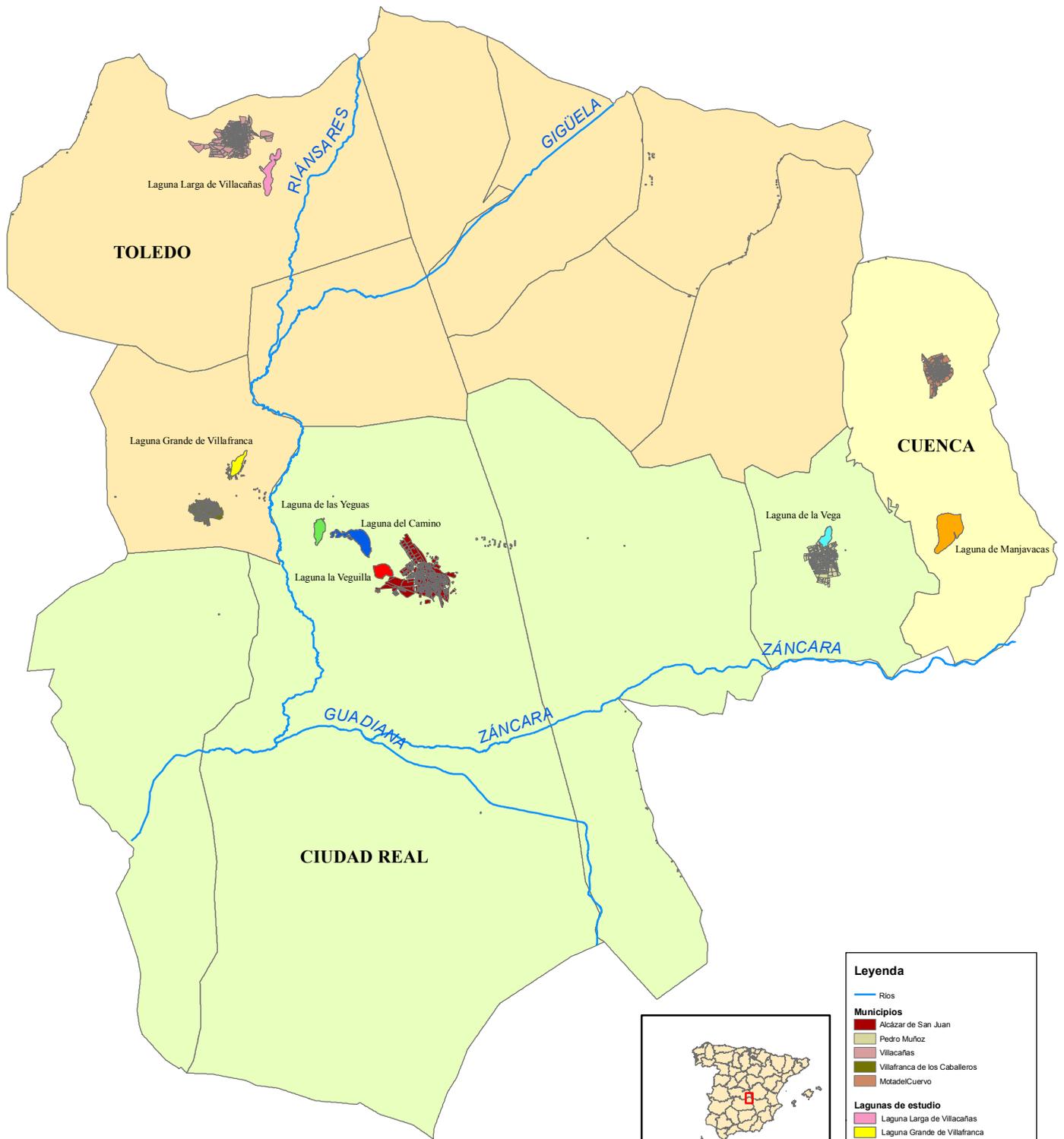
En total, se han visitado 84 humedales habiéndose estudiado 11 de ellos, cuyos nombres y características principales quedan resumidos en la Tabla 1.

El estudio de la contaminación acuática se realizó en 7 de ellos (Laguna del Camino de Villafranca, Laguna de la Veguilla, Laguna de las Yeguas, Laguna de Manjavacas, Laguna del Pueblo de Pedro Muñoz, Laguna Larga de Villacañas, y Laguna Grande de Villafranca; Mapa 3) y en las 4 restantes (Laguna del Huevero, Laguna Grande de Pedroñeras, Laguna de la Navazuela, Laguna del Charco del Soldado; Mapa 4) se estudiaron los cambios sufridos tanto en la cubeta y en la orla de vegetación natural como en los usos del suelo del entorno más próximo.

Nombre	Origen	Estacionalidad	Calidad
Laguna del Camino de Villafranca	Endorreico	Baja	Salina
Laguna de la Veguilla	Endorreico-antrópico	Baja	Salobre
Laguna de las Yeguas	Endorreico	Alta	Salina-Salmuera
Laguna de Manjavacas	Endorreico	Media	Salobre
Laguna Grande de Villafranca	Endorreico	Baja	Salobre
Laguna Larga de Villacañas	Tectónico	Baja	Salobre-salina
Laguna del Pueblo de Pedro Muñoz	Endorreico	Baja	Salobre
Laguna del Huevero	Cárstico (CHG)	Alta	Sin datos
Laguna Grande de Mota del Cuervo	Cárstico (CHG)	Alta	Sin datos
Laguna de la Navazuela	Cárstico (CHG)	Alta	Sin datos
Laguna de la Charca del Soldado	Cárstico (CHG)	Alta	Sin datos

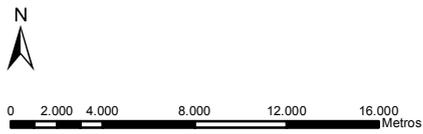
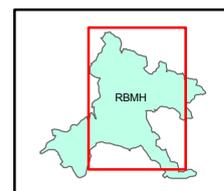
Tabla 1: Características principales de las lagunas analizadas

Estudio de la contaminación acuática



Leyenda

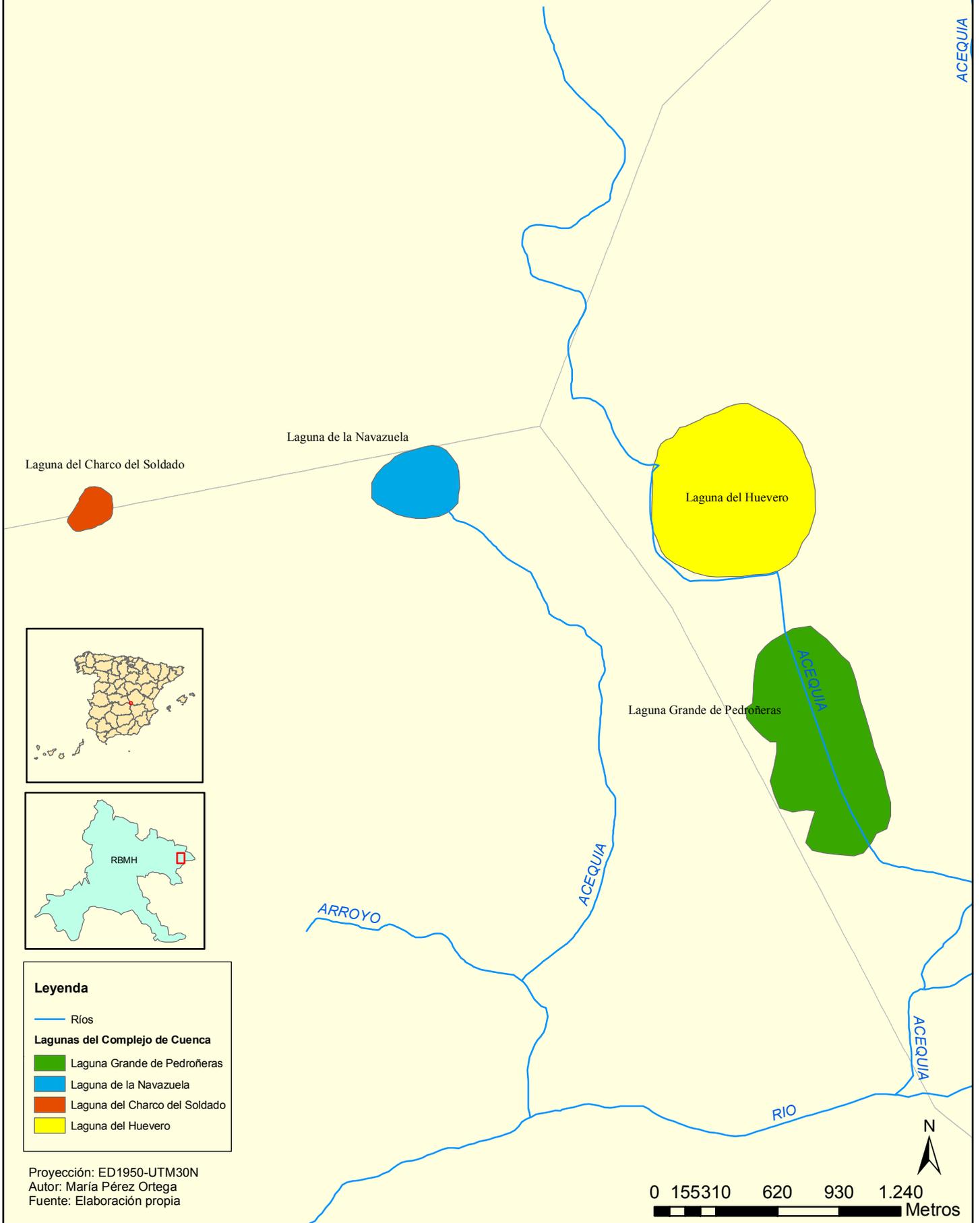
- Ríos
- Municipios**
 - Alcázar de San Juan
 - Pedro Muñoz
 - Villacañas
 - Villafranca de los Caballeros
 - MotadelCuervo
- Lagunas de estudio**
 - Laguna Larga de Villacañas
 - Laguna Grande de Villafranca
 - Laguna de la Vega de Pedro Muñoz
 - Laguna de las Yeguas
 - Laguna de Manjavacas
 - Laguna del Camino de Villafranca
- Provincia**
 - Ciudad Real
 - Cuenca
 - Toledo



Proyección: ED1950-UTM30N
 Autor: María Pérez Ortega
 Fuente: CNIG

Mapa 3: Estudio de la contaminación acuática

Estudio de los cambios en humedales y entorno



Mapa 4: Estudio de cambios en humedales y entorno

MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. *Inventario de humedales. Realización de itinerario y visitas de campo*

Para la realización del inventario de los humedales localizados en el área de estudio, se realizó en primer lugar una exhaustiva revisión bibliográfica, consultándose el Catálogo de los Lagos de España (Pardo, 1948), la Memoria Resumen de “Estudio de las características medioambientales-hidrológicas de las lagunas y humedales pertenecientes a la zona húmeda manchega” (MARM-CHG, 2008) y el Plan de Gestión de la RBMH (CBC, 2011). Y las siguientes fuentes cartográficas: mapas 1:50.000, 1:25.000 y el Visor del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) como complemento en dicha revisión.

Tras esta revisión y previamente a la realización del trabajo de campo, se crearon unos itinerarios para visitar las lagunas inventariadas mediante un Sistema de Información Geográfica, ArcGis 10, empleando la herramienta ‘New Vehicle Routing Problem’ perteneciente a la extensión de Análisis de Redes.

La cartografía de la red urbana e interurbana (tramos, provincias y municipios) de cada provincia de estudio (Toledo, Cuenca y Ciudad Real) se obtuvo en formato *shapefile* del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (www.centrodedescargas.cnig.es).

Dichas capas se proyectaron en el Sistema de Referencia *European Datum 1950*, proyección *UTM* y huso *30 N*. A continuación, para crear la red correctamente, fue necesario crear en la tabla de atributos de la capa “tramos” los campos “velocidad” en km/h y “minutes”, que indicaban respectivamente la velocidad máxima a la que se puede circular por ese tramo y el tiempo invertido en recorrerlo en función de la distancia (km), campo “length”.

Se emplearon como *Depots*, aquellos municipios donde interesaba comenzar y finalizar la ruta según la zona de estudio visitada, y se utilizó como *Service time* 20 minutos por defecto siempre.

Previamente a realizar las salidas, se diseñó un modelo general de ficha de campo (Anexo I) para recoger la información más relevante del humedal y su entorno asociado.

Finalmente se realizaron 3 salidas de campo, realizados el 6 de Abril, el 28 de Abril y el 25 de Mayo de 2011, en cuyos recorridos se tomaron fotografías de cada humedal rellenándose las fichas individuales.

4.2. Análisis de agua

Con el fin de analizar la contaminación hídrica en las 7 lagunas seleccionadas, se tomaron muestras de agua *in situ*, para estudiar los siguientes parámetros físico-químicos: nutrientes, temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad eléctrica y cantidad total de sólidos disueltos.

En el caso de los nutrientes, se empleó el kit de ensayo colorimétrico VISOCOLOR®, determinando en el mismo momento de su recogida los siguientes cationes y aniones:

- **Amonio:** En un medio alcalino, los iones amonio reaccionan con cloro formando cloramina la cual en presencia de un catalizador forma un indofenol de color azul. El rango de medida es de 0-3 mg/l de NH_4^+ . La vida acuática puede perjudicarse a partir de 2 mg/l (Rodier, 1981).

- **Nitrato:** Mediante el método colorimétrico de diazotización, el nitrato es reducido a nitrito con un agente reductor inorgánico. El nitrito, es entonces diazotizado con una amina aromática formando un colorante azoico. El rango de medida es 0-120 mg/l de NO_3^- . Límite establecido como normal en aguas naturales: 1 mg/l (Rodier, 1981).

- **Nitrito:** En una solución ácida, el ácido sulfanílico es diazotizado con los iones nitritos. La sal de diazonio formada se acopla con una amina aromática formando un colorante azoico. El rango de medida es 0-0.5 mg/l NO_2^- . Cantidad normal en aguas naturales: 0,1 mg/l (Rodier, 1981).

- **Fosfatos:** El molibdato de amonio reacciona con los iones fosfatos para formar ácido fosfomolibdico que se reduce a azul de molibdeno. El rango de medida es 2-20 mg/l PO_4^{3-} . Límite establecido como normal para las aguas naturales: 0,1 mg/l (Rodier, 1981).

Para medir el resto de parámetros, se empleó una sonda multisensor calibrada HI929898, HANNA Instruments® cuyas especificaciones son las siguientes:

- **pH:** Rango de 0,00 a 14,00 pH.
- **Oxígeno disuelto:** Rango de 0,00 a 50,00 mg/l.
- **Conductividad eléctrica:** Rango de 0,000 a 200,000 mS/cm μ S/cm.
- **Cantidad total de sólidos disueltos (TDS):** Rango de 0 a 400.000 ppm.
- **Salinidad:** Rango de 0,00 a 70,00 PSU (Escala Práctica de Salinidad Ampliada).
- **Temperatura:** Rango de -5,00 a 55,00°C.

Los resultados obtenidos para estos parámetros se compararon con los siguientes trabajos:

“Los Humedales de la Confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela: Estudio de ciertas funciones relevantes en Geografía física” (Pérez, 1995), “Funcionamiento y variabilidad de los geosistemas de los humedales manchegos” (Peinado, 1994), “Informe sobre la evolución hidrogeológica de la UH 04.04 (Mancha Occidental) durante el año 2000” (CHG, 2000) y “Estudio de las características medioambientales-hidrológicas de las lagunas y humedales pertenecientes a la zona húmeda manchega” (M.A.R.M-CHG, 2008).

El interés de comparar estos datos, radica en estudiar y conocer la evolución de la calidad de agua en estas lagunas manchegas. Y por que según dijo Rodier (1981), para poder decir si una laguna está o no contaminada, “no es un resultado aislado el que tiene interés, sino una variación significativa de una medida anterior”. Por tanto se entiende que tiene más importancia una variación del valor encontrado habitualmente, que el hallazgo de una sola cifra elevada (Pérez, 1995).

4.3. Trabajo de Gabinete: Teledetección

Se ha trabajado con imágenes del satélite Landsat de los sensores TM y ETM y del satélite SPOT, obtenidas gracias al Plan Nacional de Teledetección del IGN y de la aplicación Earth Science Data Interface (ESDI) de la Web Global Land Cover Facility (www.glcfc.umiacs.umd.edu).

Se han seleccionado imágenes que abarcan dos décadas y corresponden a distintas épocas y años, con el fin de recoger la mayor variabilidad de los vasos lagunares, en cuanto al contenido en agua y concentración de solutos y de los cultivos del entorno.

En la Tabla 2, se muestra las imágenes de ambos satélites, con los diferentes sensores en el caso de Landsat, las fechas y escenas.

Se escogió como fecha más antigua 1989 y como más reciente 2009, debido a que fueron dos años muy similares pluviométricamente, según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (www.aemet.es).

Para el estudio de la contaminación hídrica se utilizaron todas las imágenes salvo la del año 2000, y para el análisis de los cambios en la cubeta, orla de vegetación natural y usos de suelo las del año 1989, 2000, 2009 y 2010.

Satélite	Fecha	Sensor	Escena
Landsat	05-05-1989	TM	200/032
	26-08-1995	TM	200/032
	25-04-2000	ETM	200/032
	18-06-2005	TM	200/032
	28-05-2009	TM	200/032
	16-08-2009	TM	200/032
	28-07-2010	TM	200/032
SPOT	24-08-2005		271/036
	29-05-2009		271/036

Tabla 2: Características de las imágenes de satélite utilizadas

También se emplearon como apoyo a las imágenes de satélite, Ortofotos del año 2008, obtenidas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) (www.centrodedescargas.cnig.es).

El mapa de la Reserva de la Biosfera fue escaneado, y georreferenciado con el Programa ERDAS Imagine 10, en el *Sistema Geodésico Mundial 1984*, proyección *UTM*, huso 30N, debido a que todas las imágenes presentaban dicha proyección. Se utilizaron 17 puntos de control, aceptando un error medio de 0,07.

Todas las escenas se recortaron ajustándolas al área de estudio, zona norte de la RBMH, con una extensión aproximada de 267.830 ha.

Para estudiar la **eutrofización** de las lagunas y cartografiar la superficie afectada por la misma, se efectuaron tratamientos visuales y digitales, con mejoras espectrales, espaciales y radiométricas.

En el análisis visual, se realizaron distintas combinaciones de bandas en imágenes Landsat, que permiten conocer la respuesta de la actividad clorofílica. Dichas combinaciones fueron, color natural 3-2-1 y en falso color 4-3-2, asignándole los cañones del rojo-verde-azul a cada una de las bandas respectivamente y para todas las fechas de estudio. Se escogió la imagen en falso color porque destacan las superficies acuáticas con altas densidades de vegetación, materiales en suspensión, aportes orgánicos, etc. (García *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2000).

También se realizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI: $\text{banda 4} - \text{banda 3} / \text{banda 4} + \text{banda 3}$), habitualmente utilizado para evaluar la vegetación y su relación con las distintas variables ambientales (Gallo *et al.*, 1989; Lloyd, 1989; Chilar *et al.*, Xiao; *et al.*, 2002, etc.) analizándose individualmente en cada laguna de estudio.

Con las imágenes SPOT, se estudiaron los posibles aportes antrópicos que se realizan actualmente en las lagunas estudiadas a través de canales o acequias.

Mediante el análisis digital se tomaron los valores máximos del NDVI siempre en los mismos puntos del interior de los vasos lagunares, en cada fecha de estudio. A continuación, en los puntos de máximo NDVI definidos, se estudiaron los perfiles espectrales de cada laguna en todas las fechas, para así establecer comparaciones entre las diferentes bandas. La banda 6 fue cortada, ya que no interesó estudiar el comportamiento térmico, así como la banda 7 la cual es muy similar a la 5.

Finalmente, se estudió el perfil espacial en las distintas fechas para cada laguna, realizando cortes longitudinales en los vasos lagunares para el canal 4 (infrarrojo próximo), ya que es la banda que mejor discrimina la eutrofización (Pérez y García, 2004), para la banda 2 mediante la cual es posible establecer algunas diferencias entre los tipos de vegetación (Pérez y García, 2004) y las bandas 1 y 3, canales correspondientes al espectro visible que permiten diferenciar áreas eutrofizadas de aquellas que presentan una alta salinidad (Pérez y García, 2004).

En la segunda parte del estudio, para analizar los **cambios** sufridos en la cubeta, en la orla de vegetación natural de las lagunas y en los usos de suelo, también se realizaron análisis visuales y digitales.

En el análisis visual, se utilizó la combinación de bandas 4-3-2, y 3-2-1, para poder discriminar así la orla higrohalófito natural de los regadíos y otros tipos de vegetación. Además se calculó el NDVI, analizándose individualmente en cada laguna, y se estudiaron los perfiles espectrales para detectar posible presencia de sales, agua, tipo de vegetación, etc.

A continuación, se cartografió el perímetro de máxima inundación que presenta cada humedal en la actualidad, entendiéndose por éste el que se pudiera establecer como paralela a la delimitación de un posible trazado del Dominio Público Hidráulico (D.P.H) y el perímetro de orla de vegetación máxima. Para establecer estos perímetros, se consultó la Memoria Resumen “Estudio de las características medioambientales-hidrologías de las lagunas y humedales pertenecientes a la zona húmeda manchega” (MARM-CHG, Consulnima; 2008) y como fuente cartográfica el Visor SIGPAC.

De esta forma, se cartografiaron ambos perímetros en cada laguna y se superpusieron en las imágenes en falso color y NDVI de los cuatro años de estudio, con el fin de observar la evolución que habían experimentado con el paso del tiempo.

Otro apartado fundamental dentro del análisis visual fue el estudio de las posibles alteraciones morfológicas y regulación hídrica de las lagunas. Para ello, se empleó la imagen SPOT del año 2009 junto con las fotos tomadas *in situ* en el campo.

Respecto al análisis digital, se aplicaron todas las mejoras espaciales y radiométricas, seleccionándose las de filtros de paso alto (3X3 High Pass) por sus mejores resultados.

Por otra parte, las escenas de 1989 y 2009 se recortaron en función del área de influencia de las 4 lagunas, que por proximidad constituyen un complejo, establecida en 8 km de ancho y 6 km de alto.

En dicha área de influencia, se realizó una clasificación supervisada sobre la ocupación del suelo, consultándose las siguientes fuentes cartográficas: Corine Land Cover 2006 (versión 12/2009), el Proyecto SIOSE y el Visor SIGPAC. Además, fueron fundamentales las visitas de campo así como la toma de fotografías.

Previamente, a modo de referencia, se efectuó también una clasificación no supervisada, utilizando el mismo número de clases que la supervisada, y un análisis de Componentes Principales.

Se estableció como tamaño máximo de la muestra 500 píxeles, una distancia espectral euclidiana (umbral) de 10 como indica el manual y un número de puntos por muestra que debía ser el mínimo número de bandas más uno (7+1).

Según se iban tomando las muestras, se evaluaban mediante varios tipos de herramientas como las Tablas de Contingencia, Separabilidad y Creación del espacio característico.

La clasificación siguió la regla no paramétrica (distribución no normal) de tipo paralelepípedos. Finalmente, se realizó una mejora visual de las imágenes aplicándose a las clases obtenidas, el mismo color y nombre en ambas fechas.

En aquellos casos en los que se necesitó mejorar alguna zona de la imagen, se crearon polígonos que fueron rellenados.

RESULTADOS

5.3. Contaminación hídrica

Los resultados obtenidos en este apartado, constituyen un eje fundamental del presente trabajo ya que son una herramienta muy útil a la hora de gestionar estos espacios naturales, donde la calidad del agua es igual de necesaria o más que su cantidad.

A continuación, se presentan los resultados más destacables a nivel individual de cada laguna, con el fin de mostrar la mayor claridad posible.

5.3.1. Laguna del Camino de Villafranca

Situada en el término municipal de Alcázar de San Juan (Ciudad Real), entre las coordenadas geográficas 39°24'51.58''N y 3°15'14.52''W, es una laguna endorreica que constituye una excelente área de cría de avifauna acuática debido a sus adecuados niveles hídricos.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higro-halófila

En el análisis visual de las imágenes en falso color y color natural, destaca el año 2005 donde una mancha uniforme en tono rosado y verde respectivamente cubren toda la cubeta lagunar (Imagen 1). Esta coloración en la combinación 4-3-2 se debe a la respuesta espectral de la vegetación subacuática en el canal infrarrojo, con el que se discrimina perfectamente este tipo de vegetación. Por su distribución espacial y respuesta espectral, se comprueba la presencia de algas, en prácticamente toda la laguna. También, principalmente al sur, se observa en ambas imágenes unas manchas blancas, que indican presencia de sales.



Imagen 1: Laguna del Camino de Villafranca en falso color (izqda) y color natural (dcha), junio 2005

Con el índice NDVI, se confirma la presencia de algas en la laguna en 2005 (Imagen 2) debido a los tonos blancos detectados en toda la cubeta y únicamente en la parte sur en la imagen de agosto de 2009 (Imagen 3). Estos tonos, son similares a los que se suele obtener con la vegetación en plena vigorosidad, pero al situarse dentro de la cubeta, son espermatofitos.

En el resto de fechas, el NDVI no muestra evidencia alguna de algas en la laguna.



Imagen 2: NDVI Laguna Grande de Villafranca,
junio 2005

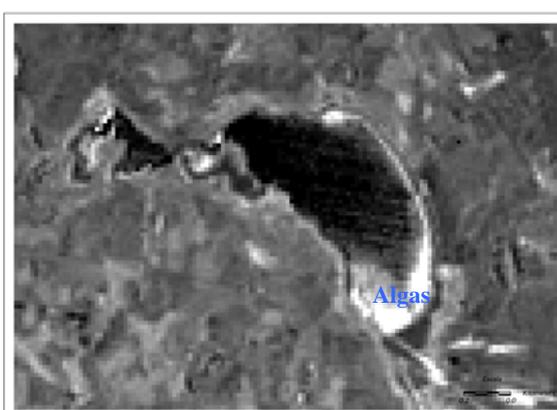


Imagen 3: NDVI Laguna Grande de Villafranca,
agosto 2009

Los valores máximos de NDVI obtenidos en el interior del vaso lagunar para todas las fechas estudiadas (Tabla 3), han resultado negativos para todos los años salvo en Junio de 2005, cuyo valor positivo indica presencia de eutrofización.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	0,43	-	-
1995	-	-	-0,13
2005	-	0,32	-
2009	-0,2	-	-0,064

Tabla 3: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna Grande de Villafranca

En cuanto al perfil espectral de la laguna, en 1989 (Gráfico 1) y mayo de 2009, se ha obtenido un perfil bajo en todas las bandas, característico de aguas limpias, mientras que en 1995 los valores de las bandas del espectro visible son más altos debido a que se refleja el suelo por estar la laguna muy seca. En junio de 2005 (Gráfico 2) y agosto de

2009 se ha obtenido un perfil con un pico elevado en la banda 4 (IR próximo) lo que indica presencia de algas.

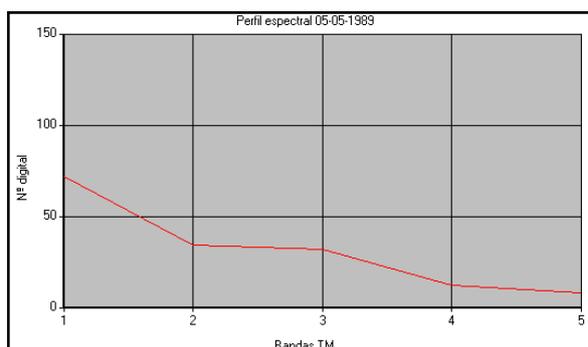


Gráfico 1: Perfil espectral de la Laguna Grande de Villafranca, mayo 1989

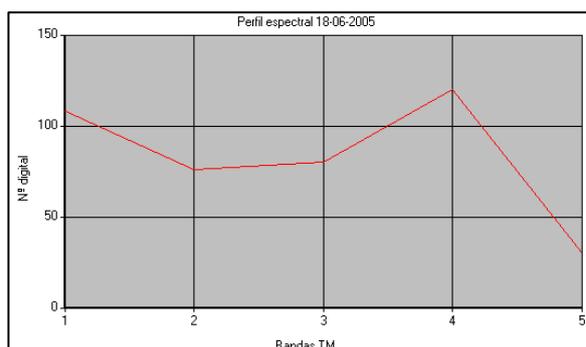


Gráfico 2: Perfil espectral de la Laguna Grande de Villafranca, junio 2005

El perfil espacial del corte del vaso lagunar en el año 2005 muestra para la banda 4 (Gráfico 3) números digitales muy altos desde el borde lagunar hasta unos 1.250 m, mientras que en la banda 3 disminuyen dichos valores por debajo de 100 a la misma distancia (Gráfico 4). De esta forma, se confirma la presencia de contaminación en esa zona, ya que en el espectro visible las áreas salinas tienen siempre números digitales altos, mientras que las contaminadas tienen valores más pequeños.

A continuación, en ambas bandas los valores digitales disminuyen considerablemente indicando presencia de agua más limpia y en torno a los 1.500 m, se observan números digitales muy altos, lo que confirma la presencia de sales.

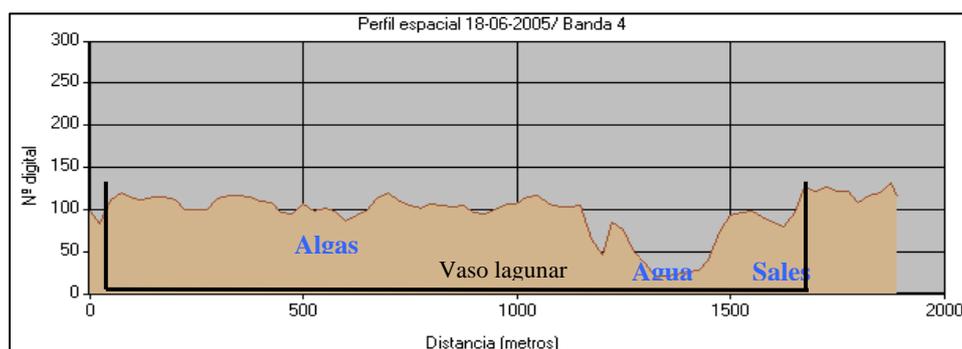


Gráfico 3: Perfil espacial N-SE, banda 4, de la Laguna del Camino de Villafranca, junio 2005

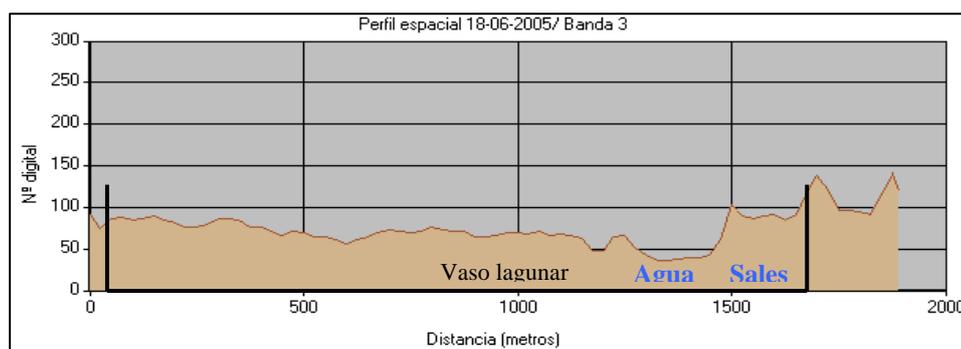


Gráfico 4: Perfil espacial N-SE, banda 3, de la Laguna del Camino de Villafranca, junio 2005

El perfil espacial del año 2009 para la banda 4 (Gráfico 5), muestra un pico en torno a los 0 metros, cuyo valor digital del píxel disminuye en la banda 3, deduciéndose así la presencia de algas. A continuación, en la banda del IR próximo y a partir de los 1.000 m en adelante se observan números digitales cada vez más elevados hasta llegar a los 1.500 m, donde se produce de nuevo un aumento del valor del píxel.

En el perfil del canal visible (Gráfico 6), se observa que la zona situada entre los 1.000 y 1.500 m que los valores disminuyen respecto a la banda 4, confirmándose por tanto la presencia de algas. Y la zona situada desde los 1500 m en adelante, muestra un aumento que confirma la presencia de sales, pero que a continuación disminuye debido a la presencia de un canal de drenaje que presenta vegetación natural.

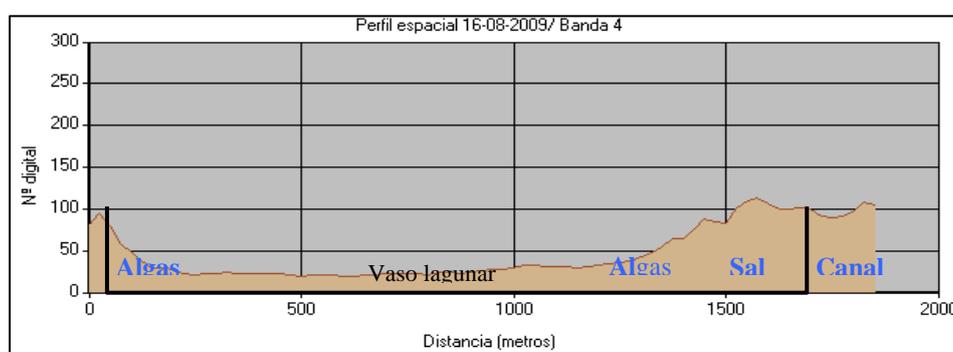


Gráfico 5: Perfil espacial N-SE, banda 4, de la laguna del Camino de Villafranca, agosto 2009

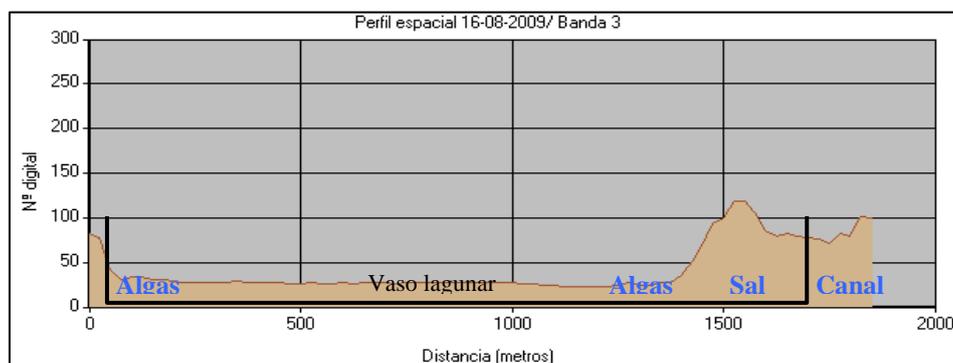


Gráfico 6: Perfil espacial N-SE, banda 3, de la laguna del Camino de Villafranca, agosto 2009

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

La imagen SPOT de 2009 (Imagen 4) muestra en tonos rojos la presencia de dos canales (filtros verdes) que recargan la laguna, procedentes de la laguna de la Veguilla, y un tercero situado al NO, que comunica con la laguna de las Yeguas (dichos canales, se muestran enmarcados en color amarillo).

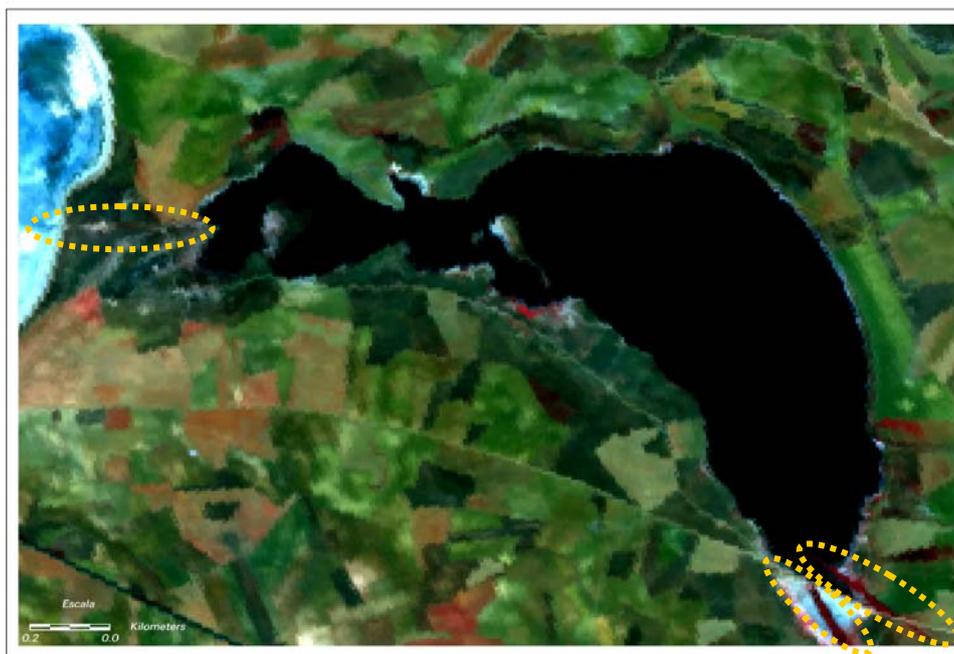


Imagen 4: Escena SPOT 2009, Laguna Grande de Villafranca

Análisis físico-químico del agua

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico del agua de la laguna se muestran en las tablas 4 y 5.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	2	0,03	0,2	2

Tabla 4: Análisis de los nutrientes en la Laguna Camino de Villafranca

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	20,44	8,57	19.630	9.815	11,73

Tabla 5: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna Camino de Villafranca

Las aguas muestran la presencia de los cuatro nutrientes, con concentraciones de nitratos y fosfatos superiores a los límites establecidos como normales para aguas naturales. El pH es muy alcalino y de naturaleza salobre, casi salina.

5.3.2. Laguna de la Veguilla

Se trata de una laguna endorreica artificial, ya que hasta 1999 fue el basurero del municipio de Alcázar de San Juan, siendo luego restaurada. Se localiza en las coordenadas geográficas 39° 23' 46'.84''N y 3°14'33.67''W.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higróhalófila

El análisis visual de las imágenes en falso color, muestra para todas las fechas, una vigorosa vegetación natural de ribera en color rojo brillante, al igual que los dos canales que cruzan la laguna. En 1989 (Imagen 5), estas tonalidades se hallan más extendidas a modo de lámina recubriendo la laguna, junto con ciertos tonos rosados que podrían ser algas. En mayo de 2009 (Imagen 6) y Junio de 2005, además se discrimina la presencia de materia orgánica a modo de manchas azules en la cubeta gracias al canal infrarrojo.

Destaca visualmente la mejora en la identificación del límites lagunar en la imagen más reciente.

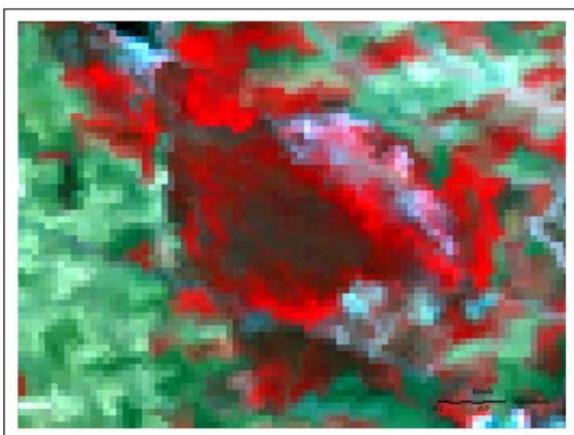


Imagen 5: Laguna de la Veguilla en falso color, mayo 1989

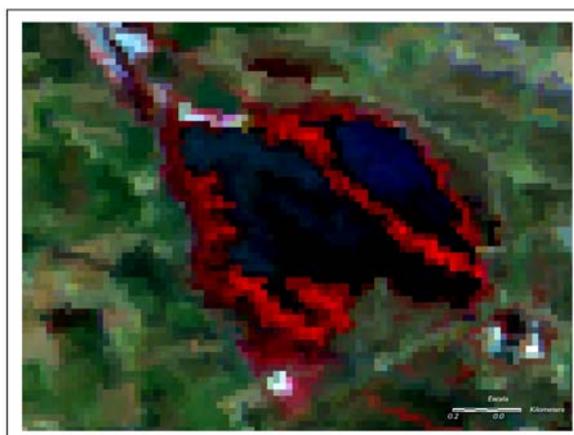


Imagen 6: Laguna de la Veguilla en falso color, mayo 2009

Las imágenes en color natural, corroboran la presencia de materia orgánica en estas dos fechas señaladas.

Respecto al índice NDVI, todas las imágenes presentan tonos muy blancos en la cubeta procedentes de la vegetación natural existente en los canales y en la orla natural. Otra gran parte, se debe a la presencia de algas que hay bien en medio de la laguna, como sucede en 1989 (Imagen 7), o cerca del borde lagunar en mayo de 2009 (Imagen 8) y el resto de fechas.

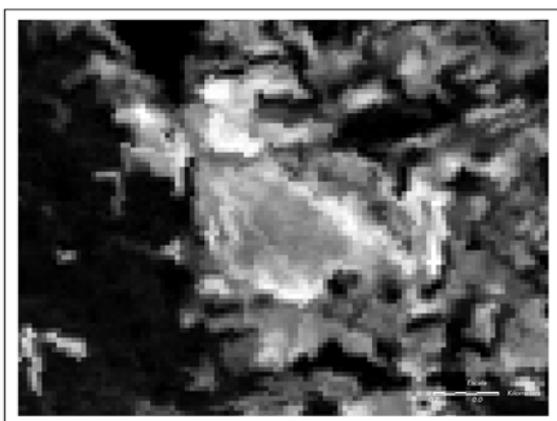


Imagen 7: NDVI Laguna de la Veguilla, mayo 1989

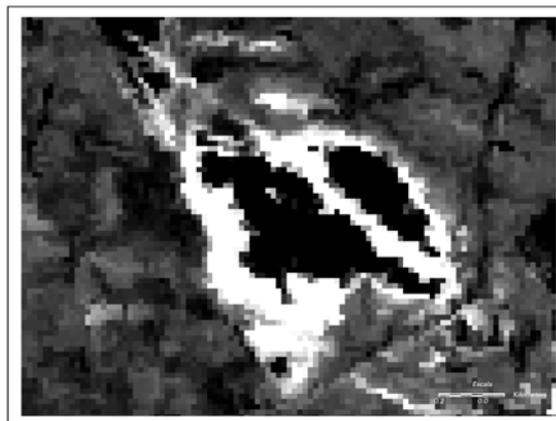


Imagen 8: NDVI Laguna de la Veguilla, mayo de 2009

Respecto a los valores máximos de NDVI obtenidos en el interior del vaso lagunar en las fechas estudiadas (Tabla 6), han resultado todos positivos indicando por tanto eutrofización en el agua.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	0,41	-	-
1995	-	-	0,34
2005	-	0,27	-
2009	0,059	-	0,27

Tabla 6: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna de la Veguilla

El estudio del perfil espectral en 1989 (Gráfico7) presenta un pico en la banda 4, lo que indica presencia de algas junto a la vegetación natural y la banda 5 muestra un valor elevado debido a que hay poco agua en la cubeta. En 1995, los valores digitales en el canal 4 son menores que en el caso anterior y la banda 5, sigue con valores muy

elevados debido a la ausencia de agua en la laguna, reflejando por ello gran parte de la radiación el suelo.

Los perfiles de 2005 (Gráfico 8) y mayo de 2009 son muy similares ya que en ambos, la presencia de algas queda confirmada por el pico de la banda 4. Además, al aumentar la cantidad de agua, disminuye el número digital de la banda 5 con respecto a los casos anteriores.

En agosto de 2009, sigue existiendo eutrofización debido a los valores elevados en el canal IR cercano, pero el aumento en el visible y en la banda 5 indica una menor presencia de agua.

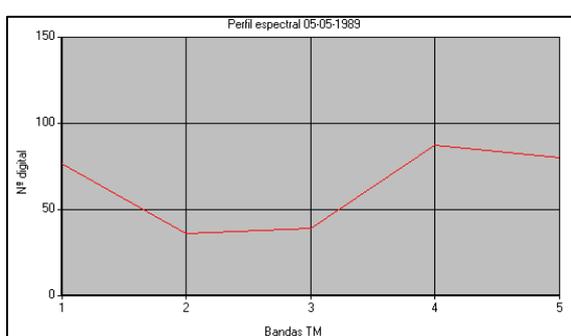


Gráfico 7: Perfil espectral Laguna Veguilla, mayo 1989

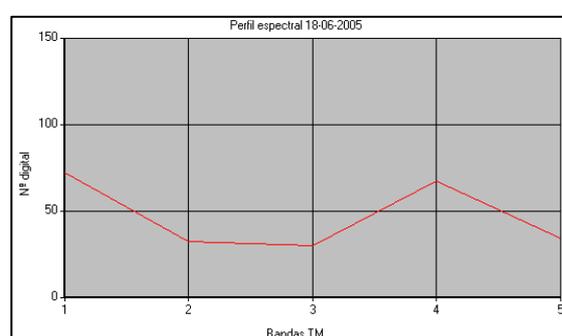


Gráfico 8: Perfil espectral Laguna Veguilla, junio 2005

En cuanto al perfil espacial del corte del vaso lagunar, en 1989 la banda 4 (Gráfico 9) muestra valores digitales muy elevados, en torno a los 100, desde una orilla a otra de la laguna debido a la gran cantidad de vegetación y algas que la recubren. En 1995, dichos valores disminuyen en torno a 50 por influencia de la escasa lámina de agua.

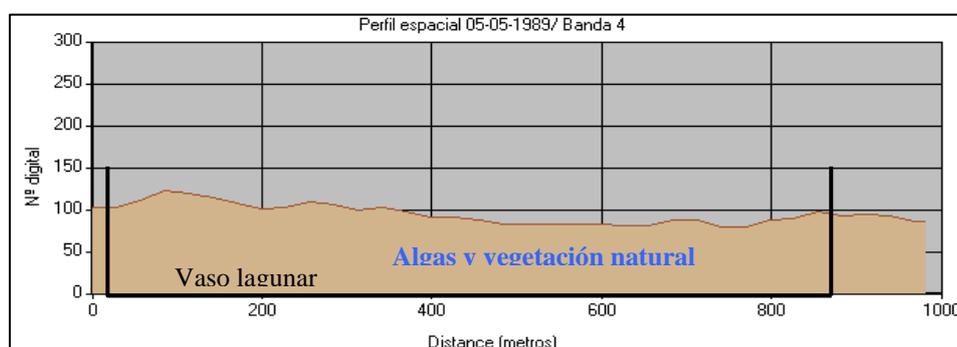


Gráfico 9: Perfil espacial N-SE, banda 4, de la laguna de la Veguilla, mayo 1989

En junio de 2005 y mayo de 2009, ambos perfiles muestran varios picos muy marcados para la banda 4 (Gráfico 10), que en la banda 3 (Gráfico 11) disminuyen hasta un valor digital de 50, salvo el pico situado en torno a los 900 m. De esta forma se distinguen aquellas zonas eutrofizadas o con vegetación natural, del área salina situada en el borde lagunar.

Así, el primer pico situado en torno a los 0 y 800 m, es debido a la propia orla de vegetación natural y a aquellos sectores donde se acumulan las algas. A 370m aproximadamente, el aumento del valor es debido al canal que contiene gran cantidad de fitomasa vigorosa, y en torno a los 570-580 a causa de la presencia de algas.

En agosto de 2009 el perfil es muy similar, pero con valores más elevados.

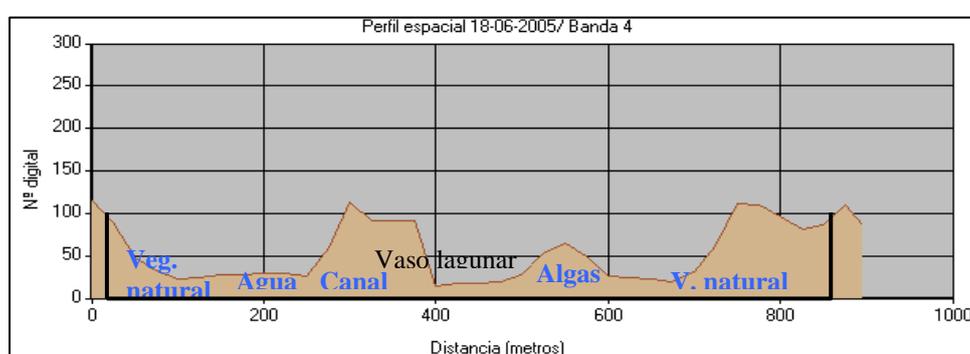


Gráfico 10: Perfil espacial N-SE, banda 4, de la laguna de la Veguilla, junio 2005

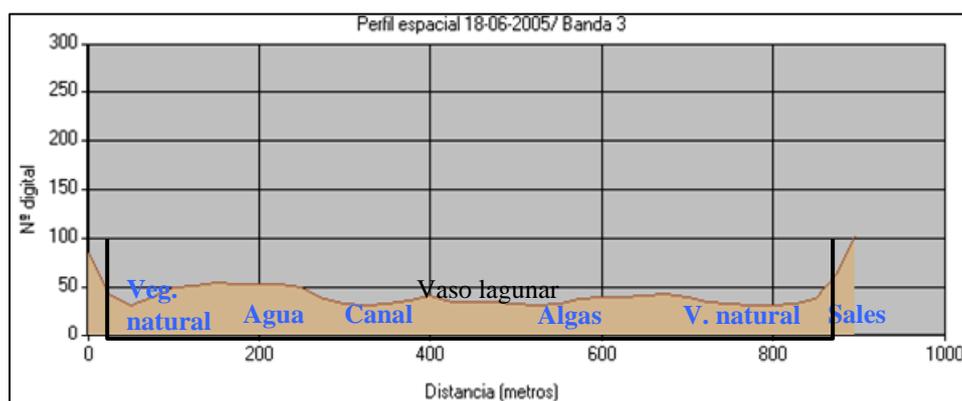


Gráfico 11: Perfil espacial N-SE, banda 3, de la laguna de la Veguilla, junio 2005

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

La imagen SPOT de 2009, muestra dos acequias o canalizaciones de la red de vertidos procedentes de la estación EDAR que llevan agua a la Laguna del Camino de Villafranca.

El canal de la izquierda utiliza el antiguo cauce del arroyo de la Serna que ha sido modificado por la carretera CM-400 y por dicho canal de la EDAR, ya que es interrumpido para luego continuar pocos metros hacia al sur. Además, es canal de drenaje del sector occidental, cuyas aguas finalmente van a desembocar al río Gigüela.

En la Imagen 9, se muestran en amarillo los canales de recarga, en rosa la estación depuradora, en azul el arroyo y en verde el canal de drenaje del sector occidental

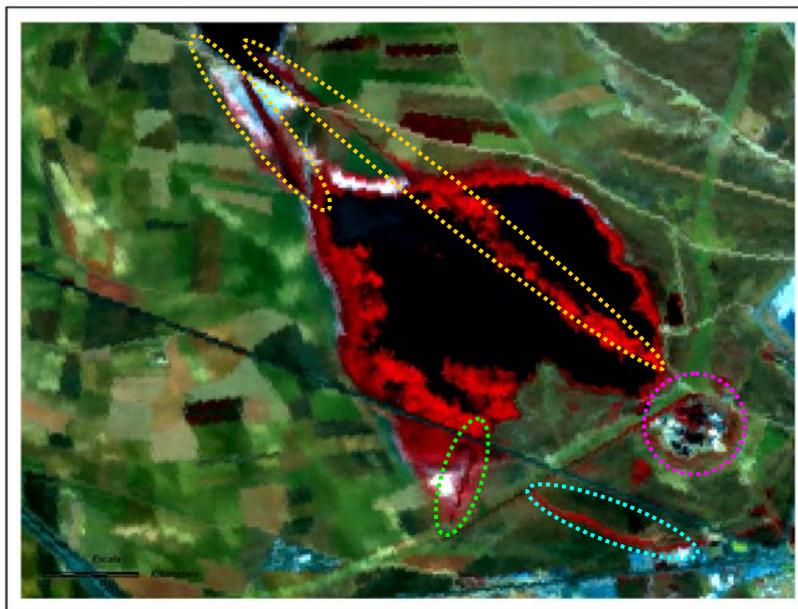


Imagen 9: Escena SPOT 2009 de la Laguna de la Veguilla

Análisis físico-químico del agua

Los resultados obtenidos de los análisis del agua de la laguna (Tablas 4 y 5) muestran la presencia de los cuatros nutrientes analizados, siendo la concentración de nitratos y fosfatos, superior a la cantidad normal fijada en aguas naturales. El pH es de tipo alcalino siendo un agua de calidad salobre.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	10	0.3	0.7	3

Tabla 7: Análisis de los nutrientes en la Laguna de la Veguilla

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	21,31	7,58	5.460	2.730	2.96

Tabla 8: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna de la Veguilla

5.3.3. Laguna de las Yeguas

Localizada en el término municipal de Alcázar de San Juan, entre las coordenadas geográficas 39°25'4,53''N y 3°16'58.04''W, se trata de una laguna endorreica muy salina, de gran singularidad en Europa por sus características limnológicas, vegetación acuática y marginal de carácter estepario y por los procesos de sedimentación salina que en ella tienen lugar.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higro-halófito

El análisis visual de las imágenes en la Laguna de las yeguas, no parece mostrar indicios de eutrofización, si no tan solo presencia de materia orgánica y sales en determinadas zonas. Son las imágenes de 1989 y 1995, las que presenta visualmente un gran contraste de colores, posiblemente 'sospechosos' de contaminación, mientras que en el resto de fechas la laguna está casi por completo seca y cubierta de sal.

En 1989, la imagen en falso color (Imagen 10) muestra toda la laguna en un color azul uniforme y en color natural (Imagen 11) un tono verdoso, que es debido, al comportamiento típico de las lagunas salinas, en las cuales la materia orgánica (sapropel) queda acumulada bajo una película de sal.

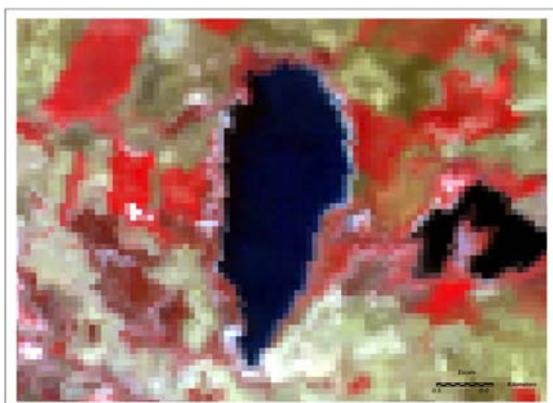


Imagen 10: Laguna Yeguas en falso color, mayo 1989



Imagen 11: Laguna Yeguas en color natural, mayo 1989

En agosto de 1995, presenta un aspecto gris-verdoso en la parte norte de la imagen en falso color (Imagen 12) y un tono marrón-rojizo en la imagen en color natural (Imagen 13), debido a la presencia de materia orgánica que hay bajo las costras de sales que se forman en verano en la cubeta de la laguna.

Para el resto de fechas, 2005 y 2009, el análisis visual muestra una laguna de aspecto blanquecino al estar cubierta de sales.



Imagen 12: Laguna Yeguas en falso color, junio 1995

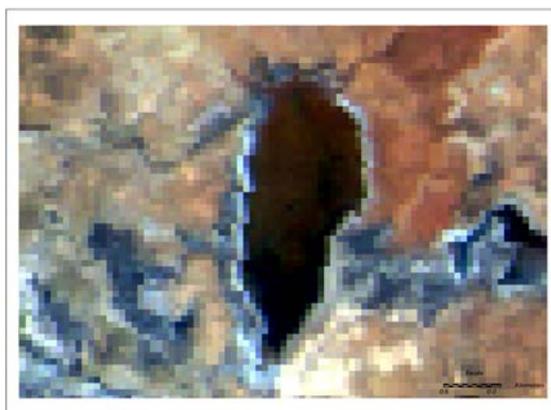


Imagen 13: Laguna Yeguas en color natural, junio 1995

El estudio del índice NDVI muestra en todas las fechas en general un tono oscuro y en ciertas zonas tonos más claros, que corresponden a aquellos sectores de la laguna con menor humedad edáfica y por tanto, mayor desecación. A modo de ejemplo, se muestra a continuación las imágenes obtenidas de dicho índice en 1989 y 1995 (Imágenes 14 y 15).

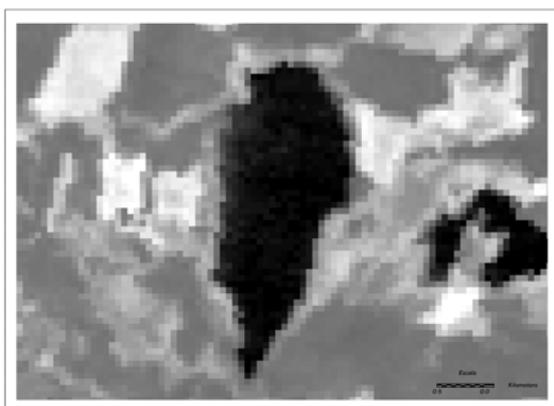


Imagen 14: NDVI Laguna Yeguas, mayo 1989

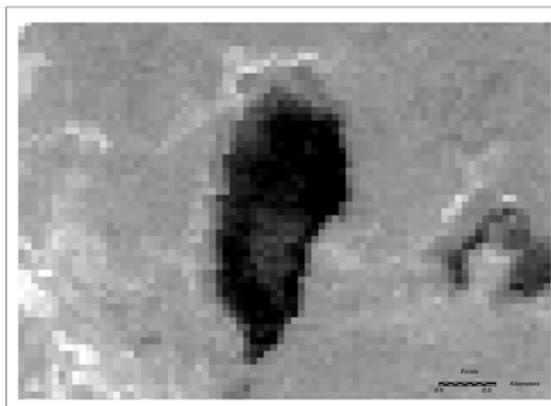


Imagen 15: NDVI Laguna Yeguas, junio 1995

Los valores máximos de NDVI obtenidos en el interior del vaso lagunar (Tabla 9), han resultado negativos en todas las fechas, salvo en 2005. El bajovalor obtenido en 1989, se debe a la gran cantidad de materia orgánica y humedad edáfica presente en la laguna, mientras que el valor positivo podría deberse a restos de vegetación natural o algas.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	-0,381	-	-
1995	-	-	-0,211
2005	-	0,018	-
2009	-0,103	-	-0,105

Tabla 9: Valores máximos de NDVI en el interior de la laguna de las Yeguas

El perfil espectral obtenido en 1989 (Gráfico 12), muestra una firma característica de aguas limpias, debido al bajo valor digital de la banda 4. Además, la presencia de materia orgánica y humedad edáfica hace que los valores en las bandas del visible sean muy bajos, a pesar de que se puedan formar en superficie cristales de sal.

En cambio, en agosto de 1995, debido al menor volumen de la lámina de agua y con ello menor humedad del suelo, el sensor (Gráfico 13) capta la presencia de sales situadas en el norte de la laguna debido al pico resultante para la banda 3.

Finalmente, para los años 2005 y 2009 el perfil es muy similar, con valores muy altos en las bandas del visible debido a la presencia de sales y un pico en la banda 5 a causa de la disminución de la lámina de agua.

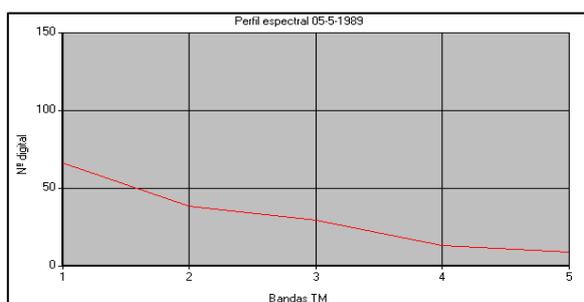


Gráfico 13: Perfil espectral Laguna Yeguas, mayo 1989

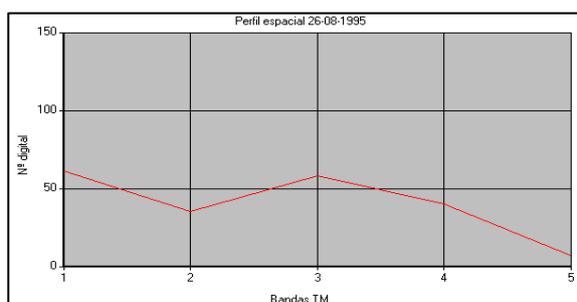


Gráfico 14: Perfil espectral Laguna Yeguas, junio 1995

En cuanto al estudio del perfil espacial, éste descarta la existencia de eutrofización en los años 1989 y 1995. En la primera fecha (Gráfico 14), el perfil para la banda 4 muestra en toda la cubeta un valor digital constante en torno a 25, debido únicamente a la presencia de materia orgánica. En la segunda (Gráfico 15), al haber un menor volumen de agua, la banda 4 detecta mejor la existencia de materia orgánica, mostrando un número digital constante, en torno a 40, hasta que a partir de los 900 m dicho valor disminuye al existir un sector con agua más limpia.

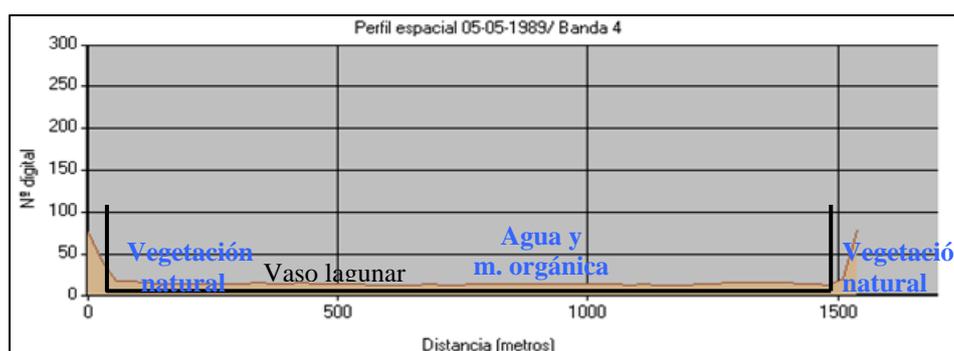


Gráfico 14: Perfil espacial N-SO, banda 4, de la Laguna de las Yeguas, mayo 1989

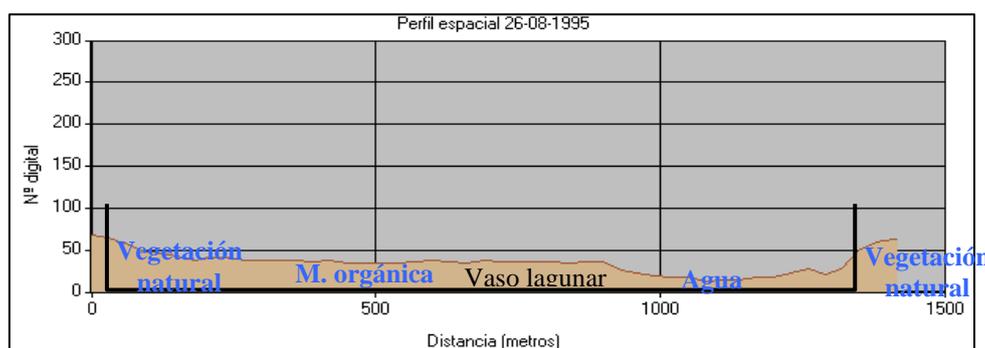


Gráfico 15: Perfil espacial N-SO, banda 4, de la Laguna de las Yeguas, agosto 1995

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

En la imagen SPOT del año 2009 (Imagen 14), se observa un canal (en color amarillo) procedente de la Laguna del Camino de Villafranca que comunica a ambos humedales, pero que en 1990 se obstruyó de modo que la dinámica que mantiene esta laguna depende completamente del régimen de precipitaciones y de un probable aporte subterráneo.

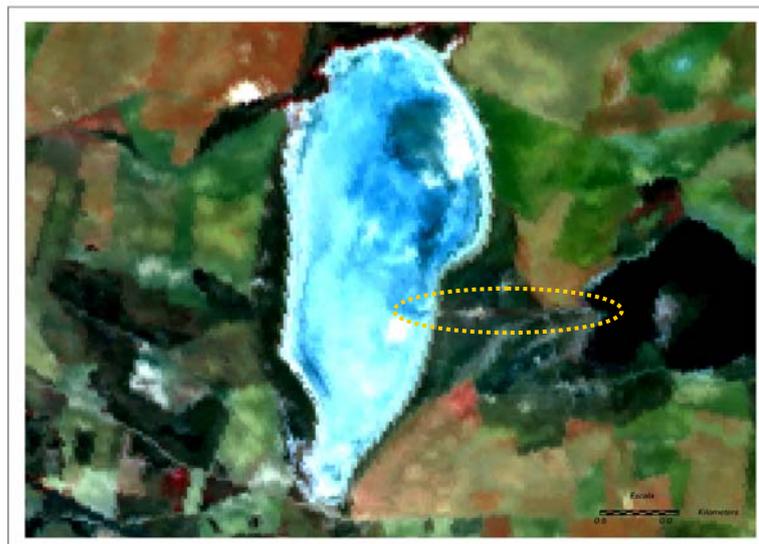


Imagen 14: Escena SPOT 2009 de la Laguna de las Yeguas

Análisis físico-químico del agua

Los resultados del análisis físico-químico del agua de la laguna, se muestran a continuación en las tablas 10 y 11. En ellas se muestra ausencia de compuestos nitrogenados, excediendo el límite establecido para los fosfatos. El pH obtenido es muy alcalino y el alto valor de conductividad, sólidos disueltos y unidad práctica salina indican un agua salmuera.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	0	0	0	15

Tabla 10: Análisis de los nutrientes en la Laguna de las Yeguas

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	33,89	9,15	63.230	31.610	42,31

Tabla 11: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna de las Yeguas

5.3.4. Laguna de Manjavacas

Situada en el término municipal de Mota del Cuervo, entre las coordenadas 39°24'57.19''N y 2°52'2.36''W, se trata de una laguna endorreica propiedad de la Junta de Castilla-La Mancha, que alberga importantes especies de aves reproductoras que la confieren la categoría de Importancia Internacional.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higró-halófila

El estudio del análisis visual de la Laguna de Manjavacas, muestra en la imagen en falso color de 1989 (Imagen 17) tonos rosados en la parte noreste de la cubeta que podría deberse a la presencia de algas y también tonos rojizos a causa de la vegetación de ribera muy vigorosa, en la entrada del canal o Acequia Madre.

En las escenas en falso color de junio de 2005 y mayo de 2009 (Imagen 18), se observa junto a la vegetación vigorosa ciertos tonos negros, debido a posibles vertidos urbanos y otros muy blancos a causa de una mayor presencia de sales. La cubeta lagunar muestra un color azul, mientras que en color natural aparece en tono verdoso, quizás debido a la presencia de materia orgánica acumulada bajo una película de sal, al igual que sucedía en la Laguna de las Yeguas.

En el resto de fechas, ambas imágenes de verano de 1995 y 2005, se observa una laguna con escasa lámina de agua y abundancia de sales.



Imagen 17: Laguna Manjavacas, en falso color, mayo 1989 Imagen 18: Laguna Manjavacas, en falso color mayo 2009

El índice NDVI, muestra en todas las fechas tonos muy claros en la entrada del canal a la laguna, debido a la vegetación natural existente. Pero es en las imágenes de

mayo de 1989 (Imagen 19) y mayo de 2009 (Imagen 20), donde parece más evidente la presencia de algas, debido a manchas blancas y grisáceas distribuidas en el interior lagunar, bien en la zona este u oeste respectivamente.

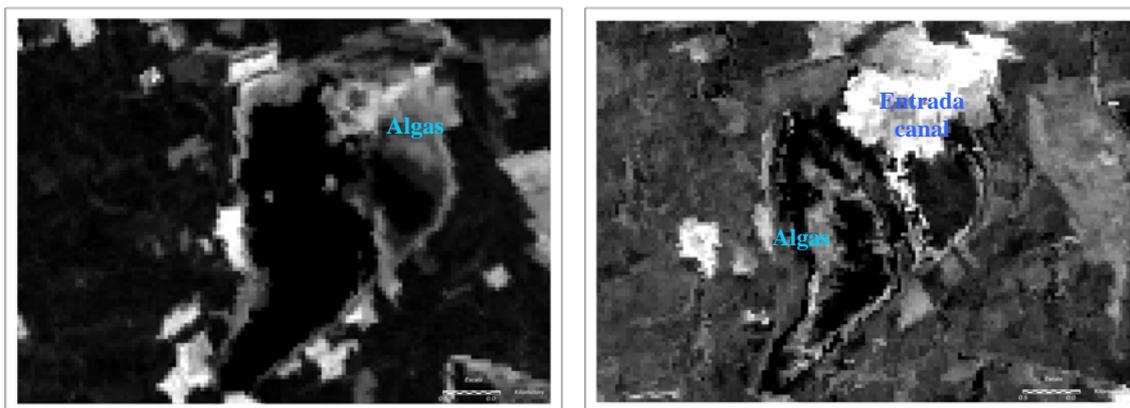


Imagen 19: NDVI Laguna Manjavacas, mayo 1989 Imagen 20: NDVI Laguna Manjavacas, mayo 2009

En cuanto a los valores máximos de NDVI obtenidos en el interior del vaso lagunar (Tabla 12), han resultado en todos los casos negativos salvo en mayo de 2009, donde un valor positivo confirmaría la presencia de algas.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	-0,26	-	-
1995	-	-	-0,030
2005	-	-0,168	-
2009	0,208	-	-0,021

Tabla 12: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna Manjavacas

El estudio del perfil espectral en la entrada de la laguna, muestra para todas las fechas, un pico en la banda del IR cercano que indica presencia de algas, quizás mezcladas con vegetación natural, tal y como sucede en mayo de 1989 (Gráfico 16). Por otra parte, en mayo de 2009 (Gráfico 17) también se ha obtenido un valor digital elevado para esta banda cuando el punto fue tomado en medio de la cubeta lagunar, confirmando así la eutrofización de la laguna en épocas más recientes.

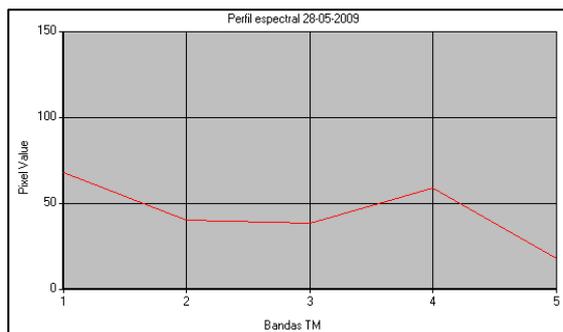
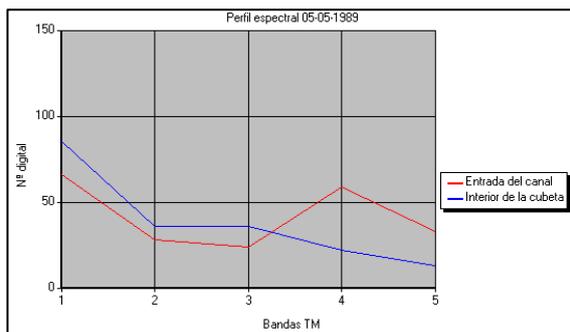


Gráfico 16: Perfil espectral Laguna Manjavacas, mayo 1989 Gráfico 17: Perfil espectral Laguna Manjavacas, mayo 2009

Respecto al perfil espacial de la laguna, en el año 1989 (Gráfico 18) se ha obtenido un pico en la banda 4 en torno a los 0-300 m, que disminuye en la banda 3 (Gráfico 19), confirmándose así una vez más la presencia de algas a la entrada del canal en la laguna.

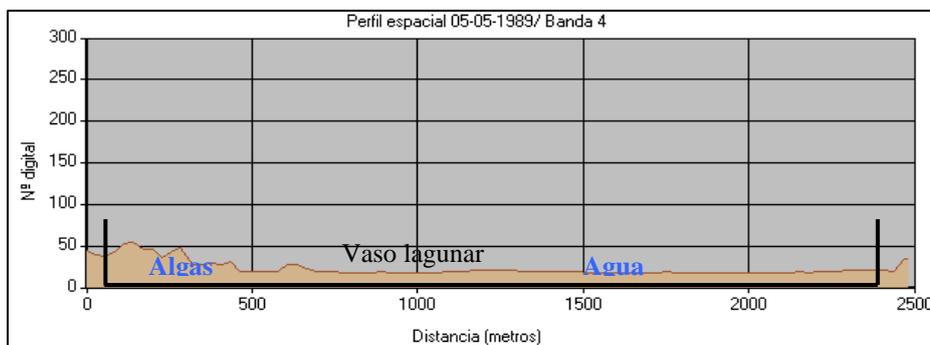


Gráfico 18: Perfil espacial N-SO, banda 4, de la Laguna Manjavacas mayo 1989

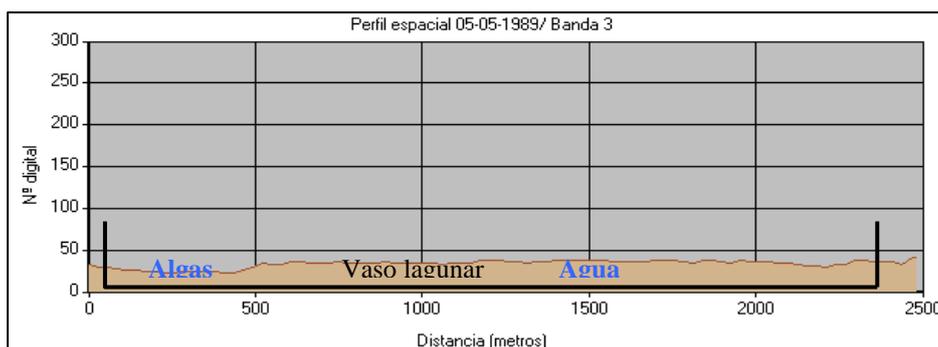


Gráfico 19: Perfil espacial N-SO, banda 3, de la Laguna Manjavacas, mayo 1989

En mayo de 2009, se ha obtenido para la banda 4 (Gráfico 20) valores digitales en torno a 70 en casi todo el perfil lagunar, salvo dos picos con valores más elevados situados en los 250m y 2400m. La banda 3 (Gráfico 21), confirma la presencia de algas en la entrada del canal (0-200m), en medio de la laguna (500-1250m) y en el extremo

SO (2000-2250m) al disminuir el número digital por debajo de 50. Por el contrario los valores en torno a los bordes, 250 y 2.400m, aumentan confirmando así la existencia de sales.

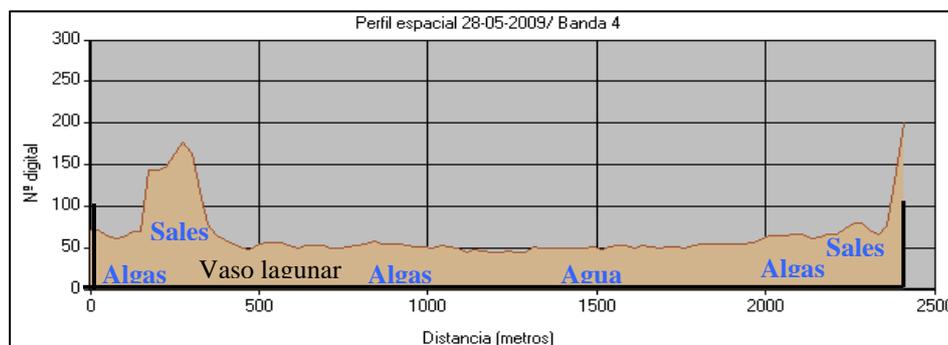


Gráfico 20: Perfil espacial N-SO, banda 4, de la Laguna Manjavacas, mayo 2009

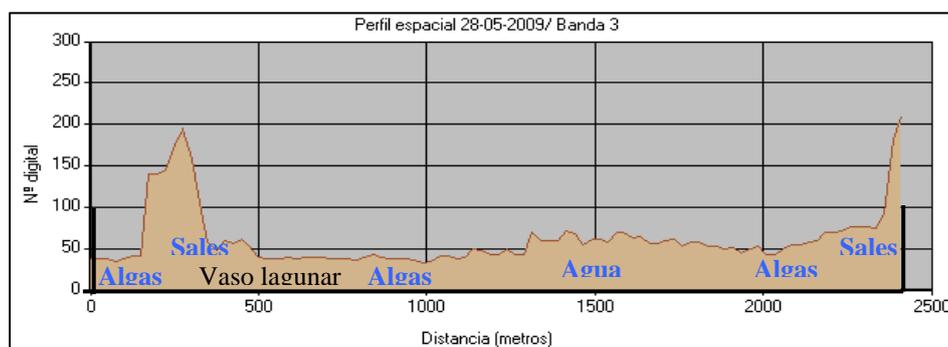


Gráfico 21: Perfil espacial N-SO, banda 3, de la Laguna de Manjavacas, mayo 2009

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

La imagen SPOT del año 2009 (Imagen 21) muestra dos cursos de agua superficiales encauzados (marcados en amarillo), la Acequia Madre y la Acequia del Rollo, que aportan agua al humedal. Por la primera, la laguna recibe las aguas residuales provenientes del municipio de Mota del Cuervo, junto al cauce natural, que son depuradas en la Estación Depuradora situada en la parcela 48, observándose en la imagen ciertos tonos rojos por la presencia de vegetación vigorosa y otros negros debido a los vertidos.



Imagen 21: Escena SPOT 2009 de la Laguna de Manjavacas

Análisis físico-químico del agua

En las tablas 13 y 14 quedan expresados los resultados de los análisis del agua realizados en la laguna.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	4	0	0	0

Tabla 13: Análisis de los nutrientes en la Laguna de Manjavacas

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	13,07	7,9	7.521	3.760	4,18

Tabla 14: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna de Manjavacas

El análisis de los nutrientes muestra solo presencia de nitratos y en concentraciones superiores al límite establecido para aguas naturales. El pH es de tipo alcalino, siendo un agua salobre.

5.3.5 Laguna de Pedro Muñoz

Laguna endorreica, situada en el término municipal de Pedro Muñoz (Ciudad Real) entre las coordenadas 39°24'57.19''N y 2°52'36''W destaca por su importancia ornitológica debido a la nidificación y cría de varias especies.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higro-halófila

El análisis visual de las imágenes en falso color y color natural, no parece evidenciar presencia de algas en la laguna salvo en agosto de 1995 (Imagen 22), donde a pesar de la extrema sequedad del humedal en su extremo norte principalmente, se observan en el medio de la cubeta manchas en tono morado y verde en las combinaciones 432 y 321 (RGB) respectivamente, que indica presencia de briofitos.

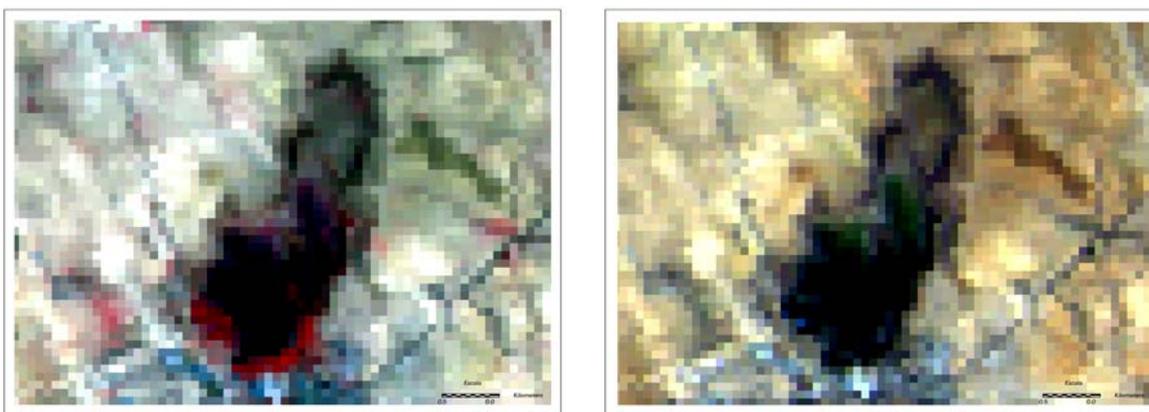


Imagen 22: Laguna de la Vega de Pedro Muñoz, en falso color (izqda) y color natural (dcha), agosto 1995

El índice NDVI, muestra en todas las fechas de estudio una orla de vegetación natural vigorosa en tonos muy blancos que rodea la laguna, así como manchas blancas y grises extendidas en la cubeta que evidencian la presencia de eutrofización constante de la laguna. A modo de ejemplo, se muestra la imagen de 1989 (Imagen 23) donde se observa gran cantidad de algas y la de Junio de 1995 (Imagen 24), donde a pesar de la extrema sequía se observan aún su presencia.



Imagen 23: NDVI Laguna de la Vega, mayo 1989

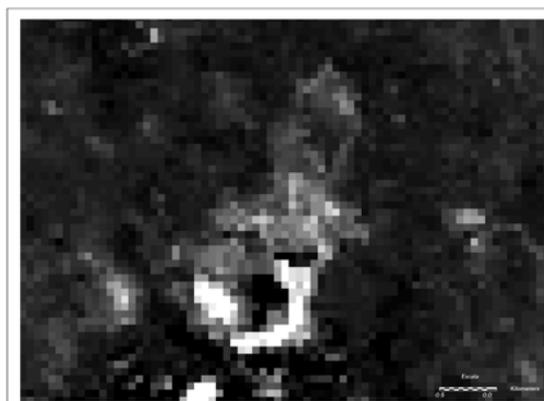


Imagen 24: NDVI Laguna de la Vega, junio 1995

Respecto al valor máximo del índice NDVI en el interior de la laguna en las distintas fechas (Tabla 15), se han obtenido valores positivos en todos los años, lo que indicaría eutrofización del humedal, salvo en los dos meses del año 2009.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	0,32	-	-
1995	-	-	0,05
2005	-	0,00	-
2009	-0,26	-	-0,026

Tabla 15: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna de la Vega

En el estudio del perfil espectral, se ha obtenido un pico en la banda 4 en todas las imágenes, excepto en ambos meses de 2009, indicando así la presencia de algas en la laguna, destacando principalmente las fechas de mayo de 1989 (Gráfico 22) y junio de 2005 (Gráfico 23) con los valores más altos en torno a 70 y 50 respectivamente.

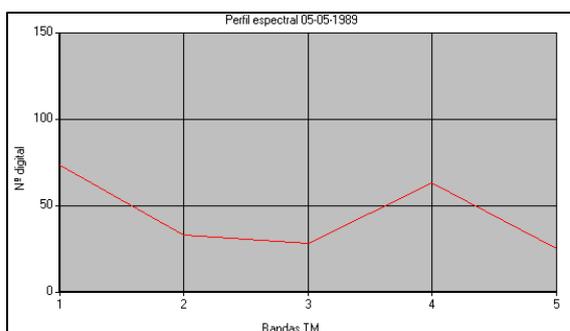


Gráfico 22: Perfil espectral Laguna de la Vega, mayo 1989

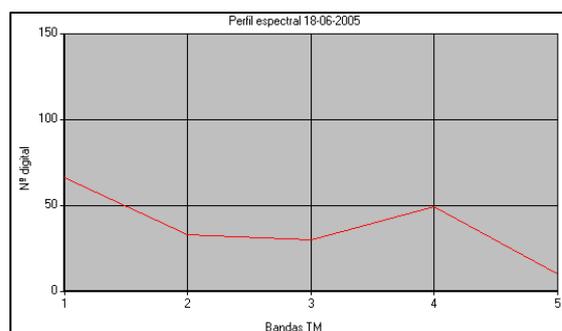


Gráfico 23: Perfil espectral Laguna de la Vega, junio 2005

El estudio del perfil espacial en las distintas fechas de estudio, ha resultado muy similar en todas ellas observando presencia de algas, mientras que los perfiles de 2009 muestran ciertas diferencias. Cabe resaltar, en la banda 4 del año 1989 (Gráfico 24) varios picos con valores digitales en torno a los 75 debidos en su mayoría a la vegetación natural presente en la laguna mezclada con algas, las cuales se localizan principalmente en medio y sur de la cubeta, desde los 800m hasta los 1200m.

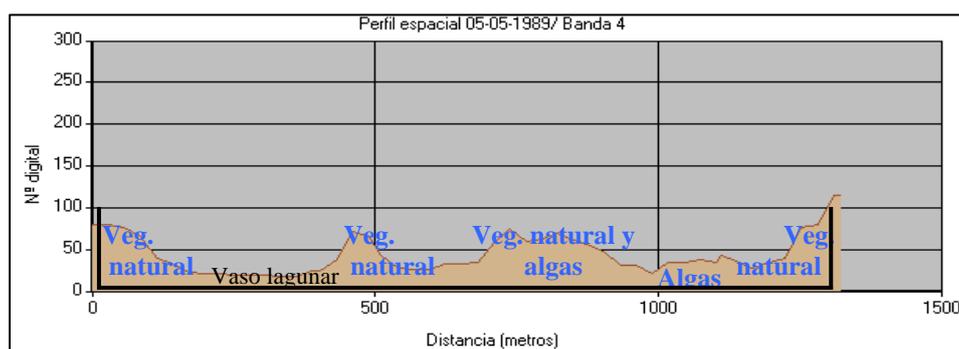


Gráfico 24: Perfil espacial N-S, banda 4, Laguna de la Vega, mayo 1989

En mayo de 2009, el estudio del perfil espacial en la banda del IR cercano (Gráfico 26) y visible (Gráfico 27) confirma la presencia de suelo desnudo en el norte de la cubeta, ya que los valores digitales entre 0-400m, en ambos canales, permanecen casi invariables. El aumento del valor digital de la banda 3 respecto a la 4 en torno a los 500m, indica presencia de materia orgánica, mientras que la vegetación natural y filtros verdes, se localizan en torno a los 700 m y en su extremo más sur, al disminuir su valor desde 80 en el IR cercano a 50 en el visible.

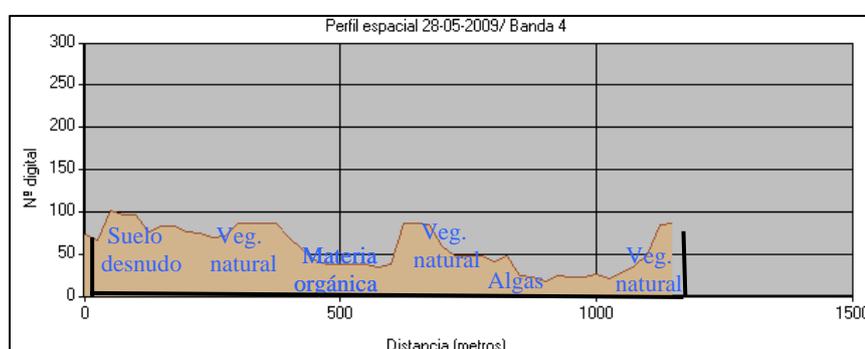


Gráfico 26: Perfil espacial N-S, banda 4, Laguna de la Vega, mayo 2009

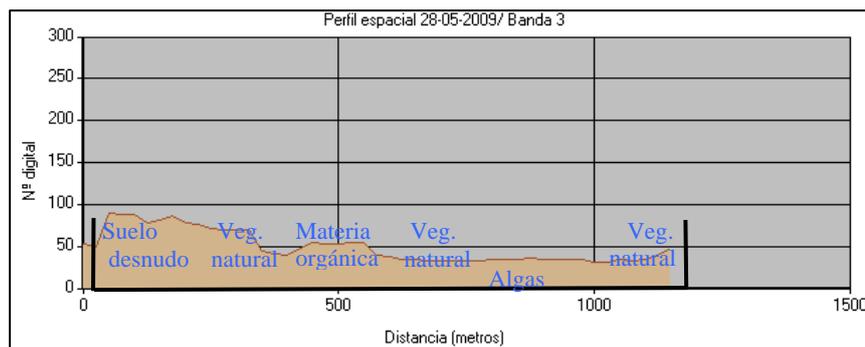


Gráfico 27: Perfil espacial N-S, banda 3, Laguna de la Vega, mayo 2009

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

Existe un vertido subterráneo autorizado a la laguna procedente de la EDAR de Pedro Muñoz, de modo que mediante la imagen SPOT de 2009 (Imagen 25) no puede visualizarse este canal de aporte. Sin embargo, se observa la proximidad de la laguna al núcleo urbano.

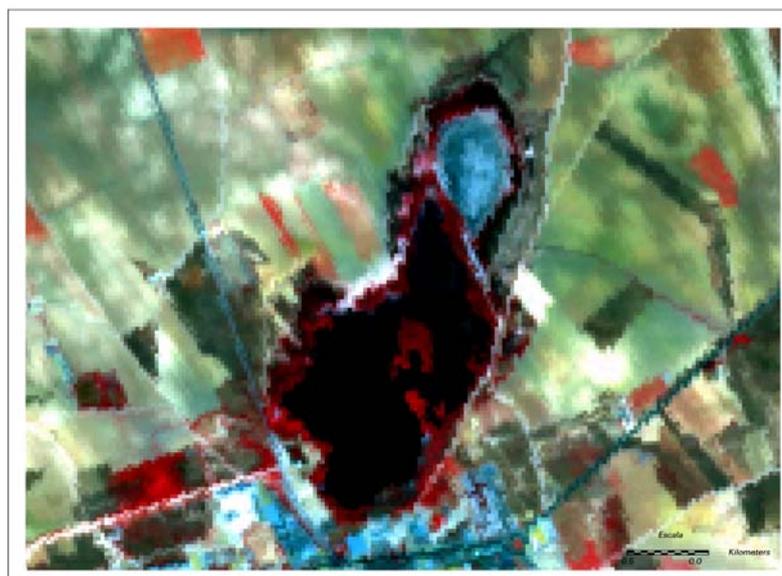


Imagen 25: Escena SPOT 2009 de la Laguna del Pueblo

Análisis físico-químico del agua

Los resultados obtenidos de analizar agua en la laguna, se muestran a continuación en las tablas 16 y 17.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	2	0	0	1

Tabla 16: Análisis de los nutrientes en la Laguna del Pueblo

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	15,44	7,38	10.220	5.108	5,81

Tabla 17: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna del Pueblo

Los resultados muestran valores altos de nitratos y fosfatos que exceden el valor establecido como normal para aguas naturales. La laguna contiene un agua salobre y de pH alcalino.

5.3.6. Laguna Larga de Villacañas

Localizada en el municipio de Villacañas, entre las coordenadas geográficas 39°36'17.22''N y 3°18'59.37''W, se trata de una laguna de origen estructural y de gran riqueza botánica siendo muy importante como zona de invernada, paso y reproducción de muchas especies de aves acuáticas.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higró-halófito

El análisis visual de las imágenes en falso color y color natural, no parece mostrar presencia de algas en el humedal, excepto en el año 1995, donde se observa en medio de la laguna ciertos tonos rosados y otros verdes muy extendidos hacia el sur, en las combinaciones 432 y 321 (RGB) respectivamente (Imagen 26).

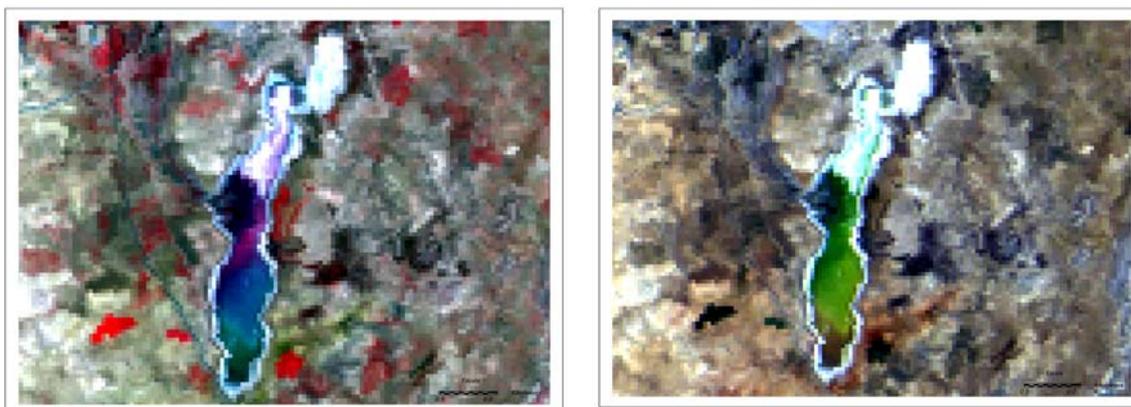


Imagen 26: Laguna Larga de Villacañas, en falso color (izqda) y color natural (dcha), agosto 1995

Las imágenes del índice NDVI en agosto de 1995 y ambos meses de 2009, presentan tonos muy blancos que confirman la presencia de algas en la cubeta del humedal. En la primera fecha (Imagen 27) éstas se concentran en el medio de la laguna y en la segunda principalmente en el mes de agosto (Imagen 28), se extienden a modo de mancha por todo el humedal.

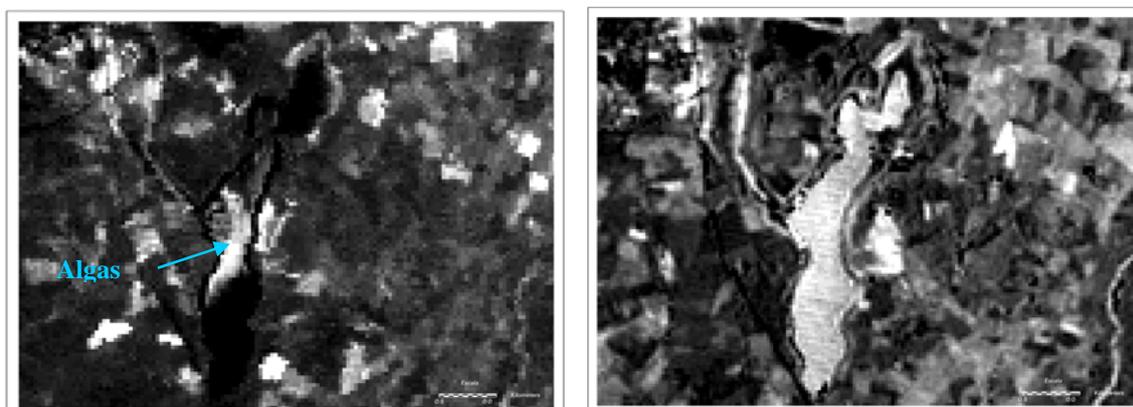


Imagen 27: NDVI Laguna Larga de Villacañas, junio 1995 Imagen 28: NDVI Laguna Larga de Villacañas, agosto 2009

El estudio del máximo valor del índice NDVI (Tabla 18), ha resultado negativo en los años 1989 y 2005, lo que no descarta la posible presencia de algas en la laguna y positivo en 1995 y 2009, donde si se confirma de nuevo la presencia de eutrofización.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	0,17	-	-
1995	-	-	0,32
2005	-	-0,228	-
2009	0,055	-	0,25

Tabla 18: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna Larga de Villacañas

Respecto al perfil espectral de las imágenes de estudio, se han obtenido unos perfiles muy bajos en 1989 y 2005, característico de aguas limpias. Mientras que, en agosto de 1995 (Gráfico 27) y principalmente agosto de 2009 (Gráfico 28), ambos muestran un pico en la banda del IR cercano que evidencia de nuevo la existencia de algas en el humedal.

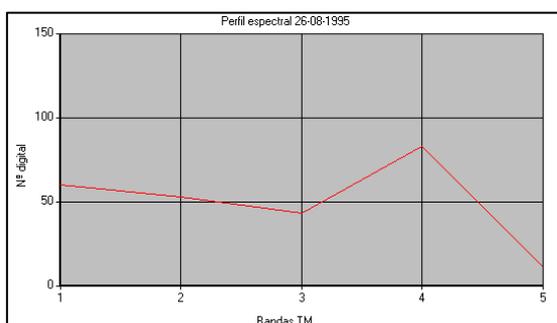


Gráfico 27: Perfil espectral Laguna Larga, junio 1995

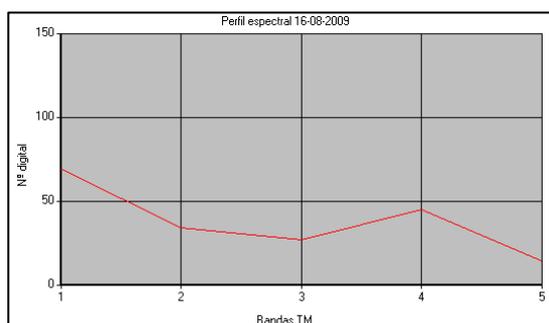


Gráfico 28: Perfil espectral Laguna Larga, agosto 2009

El estudio del perfil espacial en la cubeta lagunar, aparentemente no detecta la presencia de algas en la laguna para los años 1989 y 2005, al igual que en los casos anteriores.

En cambio en agosto de 1995 (Gráfico 29 y 30), el contraste de las bandas 3 y 4 permite diferenciar la presencia de sales entre los 0-700m debido al elevado número digital que ofrecen. A continuación en ambas bandas, el número digital se reduce por la entrada de agua procedente del desagüe de la depuradora y en torno a los 1100-1500m en la banda 4 se observa un pico, que disminuye en la 3, debido a la presencia de algas en esa zona de la cubeta. A partir de los 1500m en adelante los valores aumentan en el

canal visible respecto al infrarrojo debido posiblemente a la existencia de materia orgánica y sales.

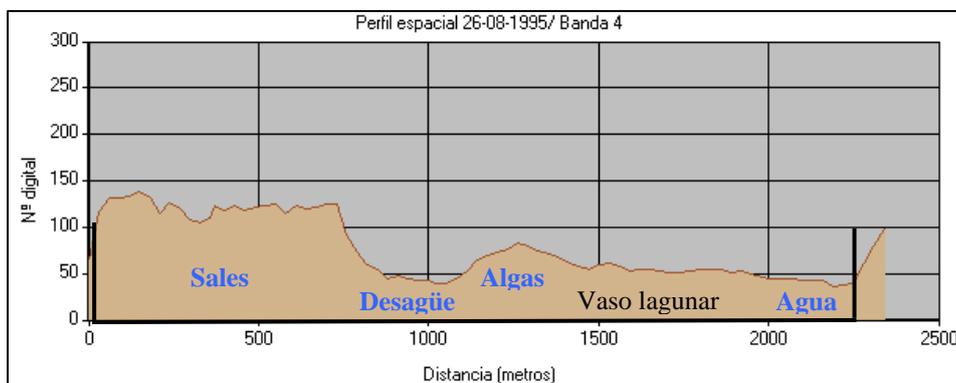


Gráfico 29: Perfil espacial de la laguna N-S, banda 4, Laguna Larga agosto 1995

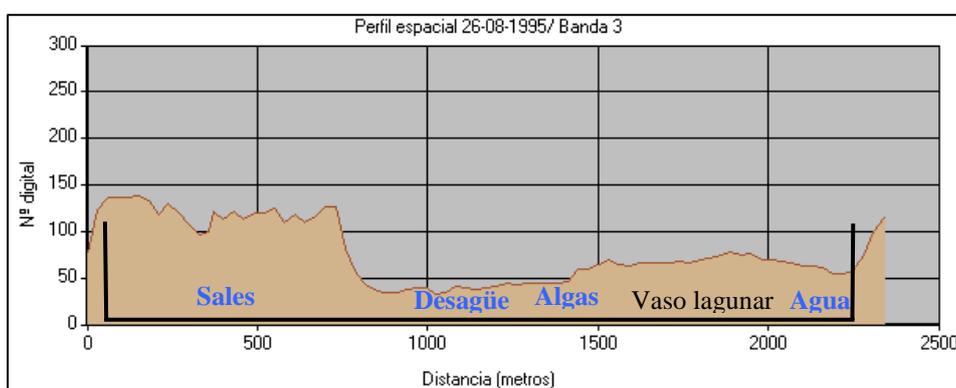


Gráfico 30: Perfil espacial de la laguna N-S, banda 3, Laguna Larga, agosto 1995

El perfil espacial obtenido en agosto del año 2009 en el canal IR cercano (Gráfico 31), muestra un número digital uniforme, en torno a 50, a lo largo de toda la laguna que disminuye a 25 aproximadamente en el canal visible (Gráfico 32), confirmando así la presencia de eutrofización en toda la cubeta del humedal.

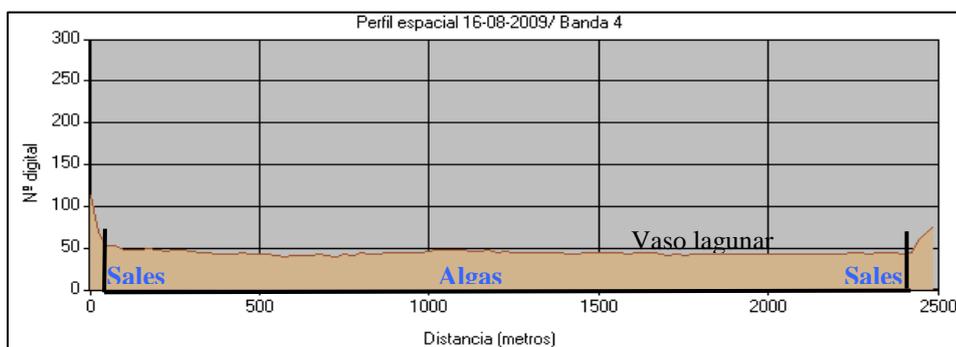


Gráfico 32: Perfil espacial de la laguna N-S, banda 4, Laguna Larga agosto 2009

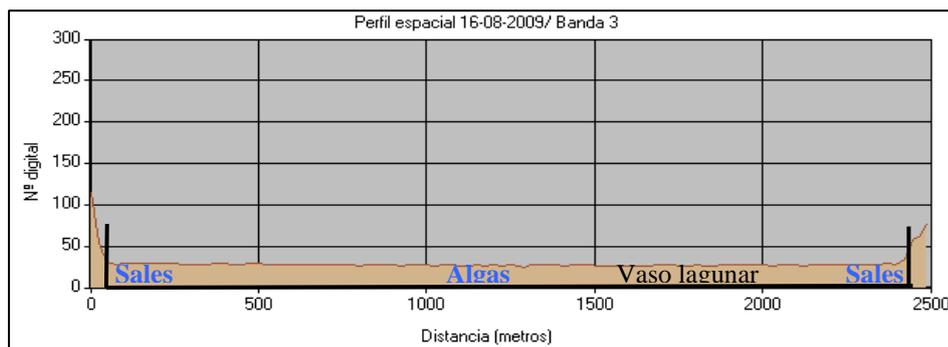


Gráfico 33: Perfil espacial de la laguna N-S, banda 3, Laguna Larga agosto 2009

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

En la imagen SPOT de 2005 (Imagen 29), se observa la presencia de un canal procedente de la Estación Depuradora del municipio de Villacañas (ambos marcados en amarillo y rosa respectivamente), a través del cual se vierten a la laguna las aguas residuales depuradas.



Imagen 29: Escena SPOT 2005 de la Laguna Larga de Villacañas

Análisis físico-químico del agua

En las tablas 19 y 20 quedan expresados los resultados del análisis de agua realizado en la laguna. No se ha obtenido, salvo presencia de amonio en muy bajas concentraciones, ningún otro nutriente. El pH es alcalino y es un agua de tipo salobre.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	0	0	0.2	0

Tabla19: Análisis de los nutrientes en la Laguna Larga de Villacañas

Año	Parámetros físico-químicos				
	Temperatura °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	23,02	8,52	16.910	8.457	9,95

Tabla 20: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna Larga de Villacañas

5.3.7. Laguna Grande de Villafranca

Situada en el municipio de Villafranca de los Caballeros, entre las coordenadas 39°27'11.12''N y 3°20'9.28''W, se trata de una laguna de origen endorreico que en la actualidad depende de los aportes del río Cigüela y es utilizada como zona recreativa de baños así como para pesca deportiva.

Diferenciación de las algas frente a la vegetación higro-halófito

El estudio de las imágenes en falso color y color natural no muestra a primera vista la existencia de algas en la laguna, pero si la presencia de materia orgánica debido a los tonos azules y verdes que muestra gran parte del área de la cubeta en las combinaciones 432 y 321 (RGB) respectivamente. Cabe destacar las imágenes de verano de 2005 y 2009 por la presencia de vegetación natural, así como la de 1995 donde la laguna aparece prácticamente seca y llena de sales.

A modo de ejemplo, se muestran las imágenes de agosto de 2009 (Imagen 30) en ambas combinaciones, donde se observa la materia orgánica acumulada principalmente en el norte de la laguna, así como parte de la orla de vegetación en color rojo brillante.



Imagen 30: Laguna Grande de Villafranca en falso color (izqda) y color natural (dcha), agosto 2009

El estudio del índice NDVI para las distintas fechas, muestra sobre todo en los años 2005 y 2009 (Imagen 30) tonos muy claros en las orillas de la laguna, sin invadir la cubeta, debido a la gran orla de vegetación natural que se observa claramente en la ortofoto del año 2008 (Imagen 31)



Imagen 30: NDVI Laguna Grande Villafranca, agosto 2009 Imagen 31: Ortofoto Laguna Grande Villafranca, 2008

En cuanto al valor máximo del índice NDVI tomado en el borde interno lagunar (Tabla 21), se ha obtenido en todos los casos valores positivos, salvo en el año 1995 donde la laguna estaba seca casi por completo. Los valores positivos muy altos de 2005 y 2009, corroboran la presencia de vegetación natural y no de algas en la cubeta lagunar.

VALOR MÁXIMO DEL NDVI EN EL INTERIOR LAGUNAR			
Año	Mayo	Junio	Agosto
1989	0,135	-	-
1995	-	-	-0,029
2005	-	0,376	-
2009	0,045	-	0,276

Tabla 21: Valores máximos de NDVI en el interior de la Laguna Grande de Villafranca

El estudio del perfil espectral en las distintas fechas, salvo en 1995, parece mostrar unanimidad en los resultados, al obtenerse siempre en la firma del agua un pico característico en la banda del IR cercano, con un valor digital de 50 en 1989 y de 75 en junio de 2005 (Gráfico 33) y agosto de 2009 (Gráfico 34), que confirma de nuevo la presencia de vegetación en el borde interno de la cubeta.

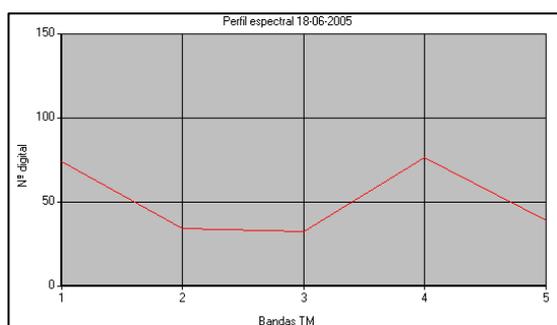


Gráfico 33: Perfil espectral Laguna G. Villafranca, junio 2005

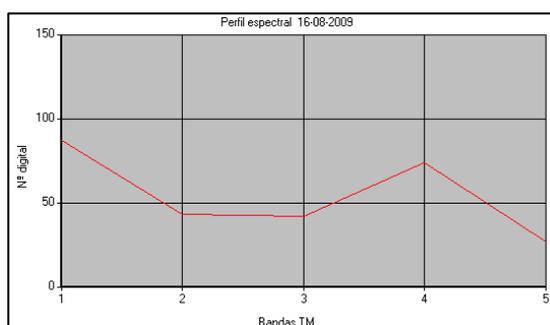


Gráfico 34: Perfil espectral Laguna G. Villafranca, agosto 2009

Los resultados obtenidos en el perfil espacial de la laguna en la banda 4, muestran que cuando el perfil trazado llega hasta a ambas orilla de la laguna, se obtienen varios picos, que no se obtienen cuando el perfil es trazado N-S. De este modo, se deduce que la responsable de la respuesta espectral para la banda 4 y los tonos claros del NDVI corresponden a la orla higrohalófito lagunar.

Como ejemplo se muestra la imagen de agosto de 2009 en la banda 4 (Gráfico 35) donde se han obtenido varios picos en torno a 0-600m, 800-1000m y 1000m, que no se muestran en la banda 3 (Gráfico 36), confirmando así la presencia de la vegetación natural en el humedal.

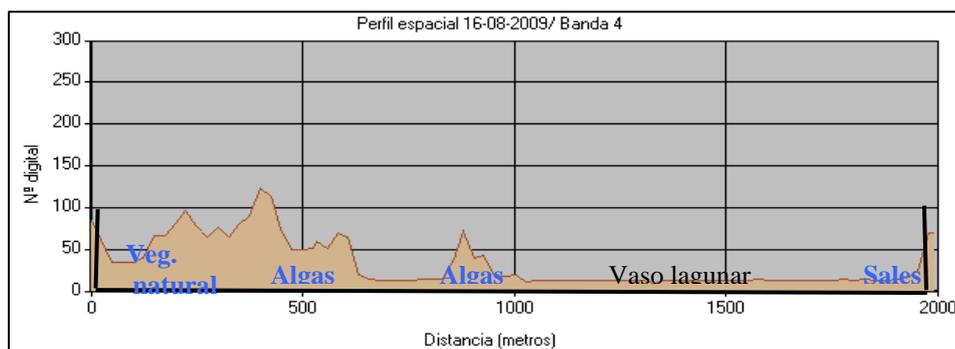


Gráfico 35: Perfil espacial NO-SE, banda 4, Laguna Grande de Villafranca, agosto 2009

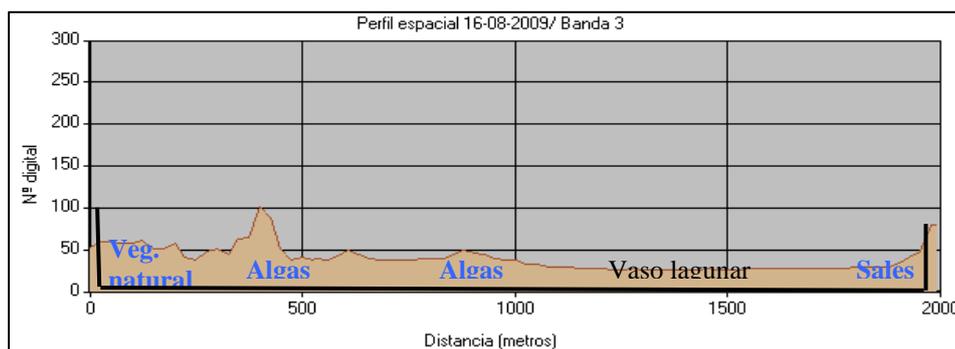


Gráfico 36: Perfil espacial NO-SE, banda 3, Laguna Grande de Villafranca, agosto 2009

Cartografía de aportes antrópicos a la laguna

En la imagen SPOT de 2009 (Imagen 32), se aprecia en color azul la zanja que comunica la Laguna Grande con La Chica de Villafranca y en amarillo el canal a través del cual la laguna recibe aportes del Río Gigüela en la actualidad.

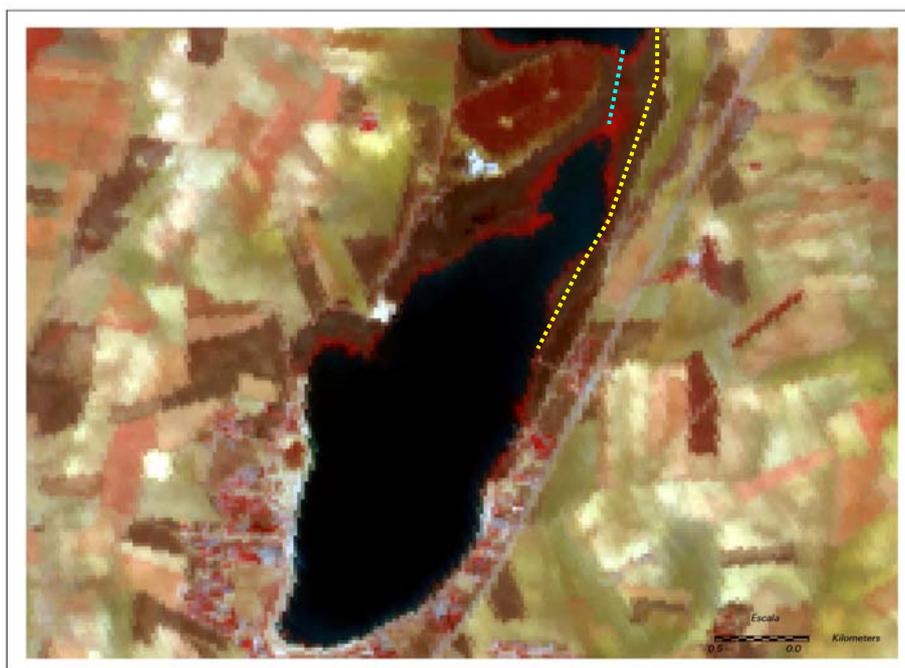


Imagen 32: Escena SPOT de 2009 de la Laguna Grande de Villafranca

Análisis físico-químico del agua

Los resultados obtenidos del análisis físico-químico del agua, se muestran en las tablas 22 y 23.

Año	Nutrientes (mg/l)			
	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos
2011	0	0	0,3	0

Tabla 22: Análisis de los nutrientes en la Laguna Grande de Villafranca

Parámetros físico-químicos					
Año	Temperatura	pH	Conductividad (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Salinidad (PSU)
2011	25,28	8,2	8.636	4.318	4,8

Tabla 23: Análisis de los parámetros físico-químicos en la Laguna Grande de Villafranca

No se ha obtenido la presencia de ningún nutriente, salvo una baja concentración de amonio en la laguna. El agua presenta un pH alcalino y de salinidad salobre.

5.4. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales del Complejo Lagunar de “Las Pedroñeras” (Cuenca)

Los resultados de este segundo apartado, integran otro aspecto fundamental a la hora de valorar la viabilidad de restauración de determinados humedales que se encuentran en una situación desfavorable.

A continuación se muestran los resultados más relevantes, a nivel individual de cada laguna perteneciente al complejo lagunar estudiado en la Provincia de Cuenca.

Laguna del Huevero

Situada en el término municipal de las Pedroñeras, entre las coordenadas geográficas 39°26'14.05'' y 2°43'36.90'', se trata de una laguna esteparia de origen cárstico.

Cartografía del perímetro máximo de inundación y de orla de vegetación

Los perímetros de máxima inundación (2.629 m) y de orla de vegetación natural máxima (3.482 m) se muestran en las Imágenes 33, 34 y 35, cartografiados y superpuestos en las imágenes en falso color y en sus correspondientes índices NDVI en los años 1989, 2000 y 2010.

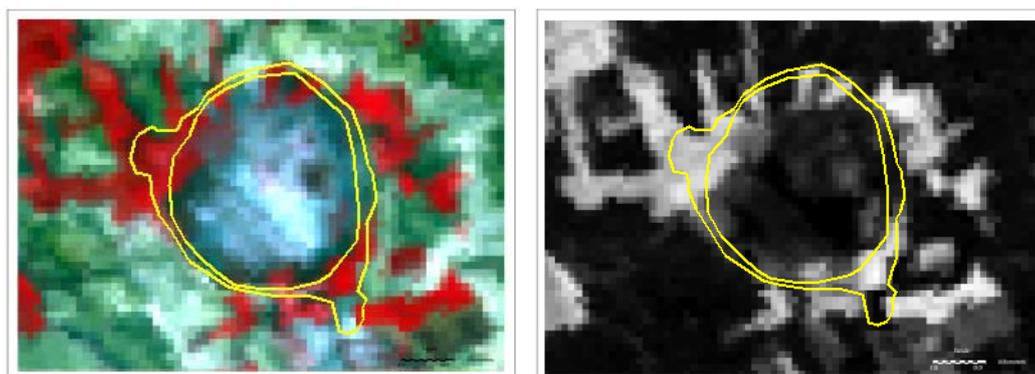


Imagen 33: Laguna del Huevero en falso color e índice NDVI en 1989

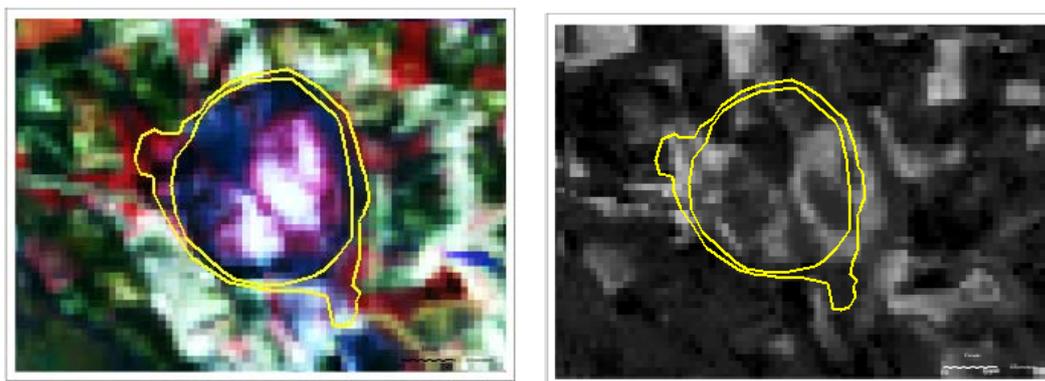


Imagen 34: Laguna del Huevero en falso color e índice NDVI en 2000

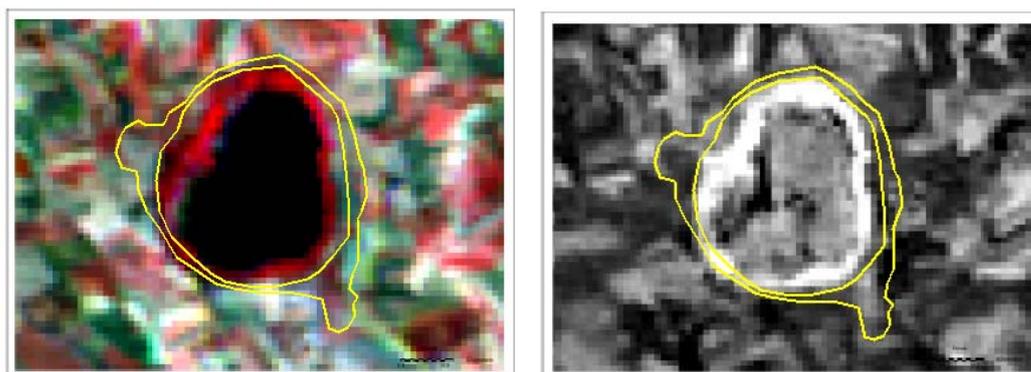


Imagen 35: Laguna del Huevero en falso color e índice NDVI en 2010

En el estudio multitemporal de la laguna, se observa como hace veinte años ésta no contenía agua pero si cierto grado de humedad debido al color azul-grisáceo de la cubeta, además de no estar ocupada por muchas parcelas. Por otra parte, el perímetro de orla húmeda se halla invadido por regadíos, en color rojo intenso debido a la vegetación vigorosa, principalmente en la zona noroeste y sureste.

En el año 2000, la cubeta lagunar muestra presencia de sales debido a los tonos blancos además de cierta vegetación dentro de la laguna en tonos rosas. En cuanto a la orla de vegetación natural, continua ocupada por cultivos de regadío.

Finalmente en 2010, la laguna se ha recargado de agua pero no llega a ocupar el original perímetro de máxima inundación, al igual que la orla de vegetación que aún siendo muy vigorosa, claramente ya no ocupa la superficie ni el perímetro que ocupaba antes.

Alteraciones morfológicas en el entorno lagunar y regulación del flujo de agua

La escena SPOT de 2009 (Imagen 36) junto a la de filtros de paso alto que enfatiza los contornos y relieves (Imagen 36), permite observar la presencia de una zanja de encauzamiento que en la actualidad cruza todo el vaso lagunar en la parte izquierda de la imagen (línea amarilla), ya presente en 1989, así como de otra zanja de drenaje a la derecha que regula el flujo de agua.

Como alteraciones morfológicas, se diferencian algunos caminos rurales (líneas rosas) que cruzan tanto la orla húmeda como la cubeta lagunar, la cual se encuentra muy parcelada.

En las fotos tomadas *in situ* en la laguna, se observa la presencia de vegetación lacustre así como bastante grado de humedad. Por su parte, los alrededores próximos al humedal lo conforman campos de cebada y viñedos que llegan hasta el borde lagunar, tal y como se observa en la fotografía 1.



Imagen 35: Escena SPOT de la laguna del huevero en 2009



Fotografía 1: Cultivos próximos a la Laguna



Imagen 36: Filtros de paso alto en la Laguna del Huevero en 2009

Laguna Grande de Las Pedroñeras

Localizada en el municipio de las Pedroñeras, entre las coordenadas geográficas 39°25'31.99'' y 2°43'16.50''W, esta laguna esteparia y estacional debe su interés a su vegetación halofítica y a sus aguas ligeramente salinas.

Cartografía del perímetro máximo de inundación y de orla de vegetación

En las escenas siguientes (Imágenes 37, 38 y 39) puede observarse la evolución multitemporal que ha experimentado la laguna a lo largo de 20 años, principalmente respecto a su perímetro de máxima inundación (3.205 m) y de orla de vegetación natural máxima (3.567 m) cartografiados.

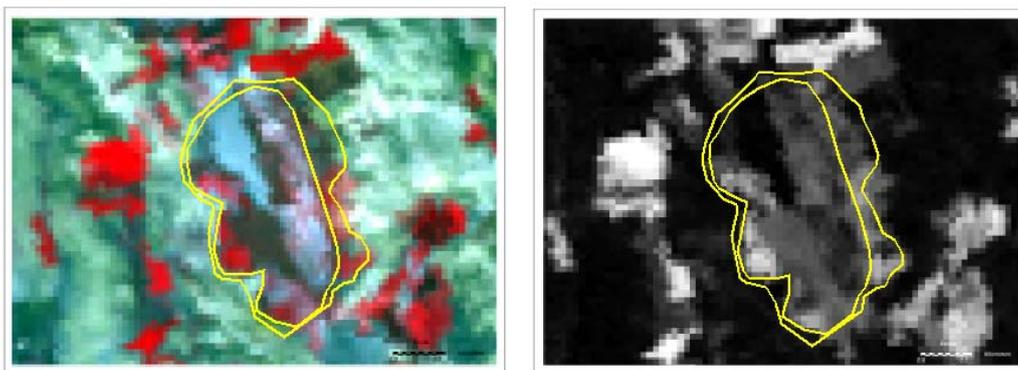


Imagen 37: Laguna Grande de Pedroñeras en falso color e índice NDVI en 1989

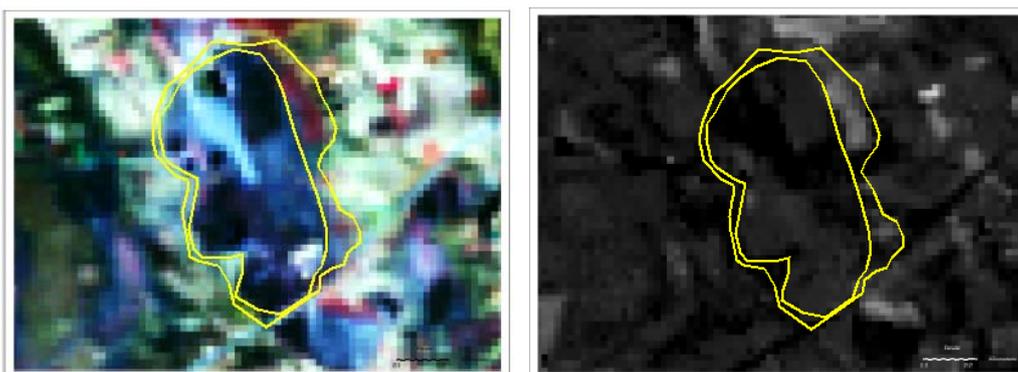


Imagen 38: Laguna Grande de Pedroñeras en falso color e índice NDVI en 2000

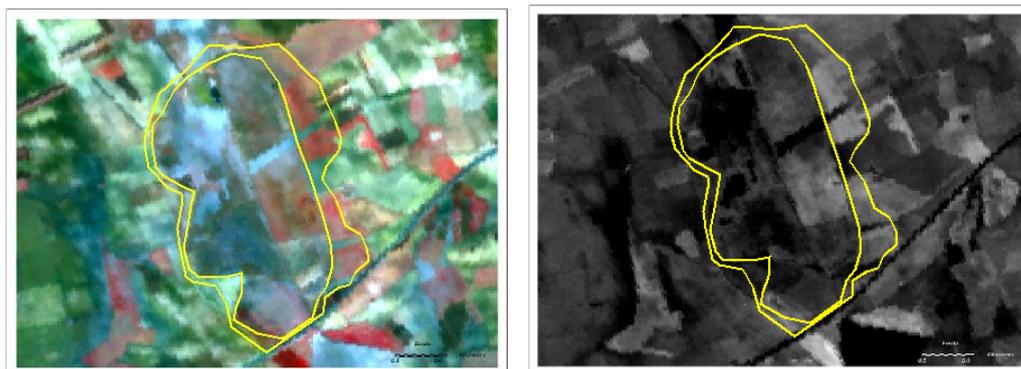


Imagen 39: Laguna Grande de Pedroñeras en falso color e índice NDVI en 2009

Las imágenes en falso color y NDVI, muestran en 1989 la laguna con cierta humedad, muy cultivada y parcelada principalmente en la zona oeste. La orla natural se conserva en ciertas zonas como en el noreste, donde se aprecian ciertos tonos verdes oscuros. Por otra parte, la acequia que proviene de la laguna del Huevero parece entrar con agua por el norte de la laguna, formándose luego una cierta superficie encharcada, de ahí que el NDVI muestre tonos oscuros en esa área.

Diez años después, la cubeta presenta tonos muy azulados debido a una gran humedad en el ambiente y no tanto en la laguna. El NDVI muestra parcelas con tonos claros, lo que indica presencia de cultivos y la orla de vegetación natural parece estar ocupada por cultivos de regadío poco intensos. Por otra parte, se adivina un pozo en el norte de la laguna, por donde entraba la acequia.

Finalmente, en el año 2009 la imagen SPOT permite observar una cubeta con cierta humedad y muy parcelada al igual que la orla de vegetación, además de que se sigue manteniendo el pozo o alberca en la zona norte de la laguna.

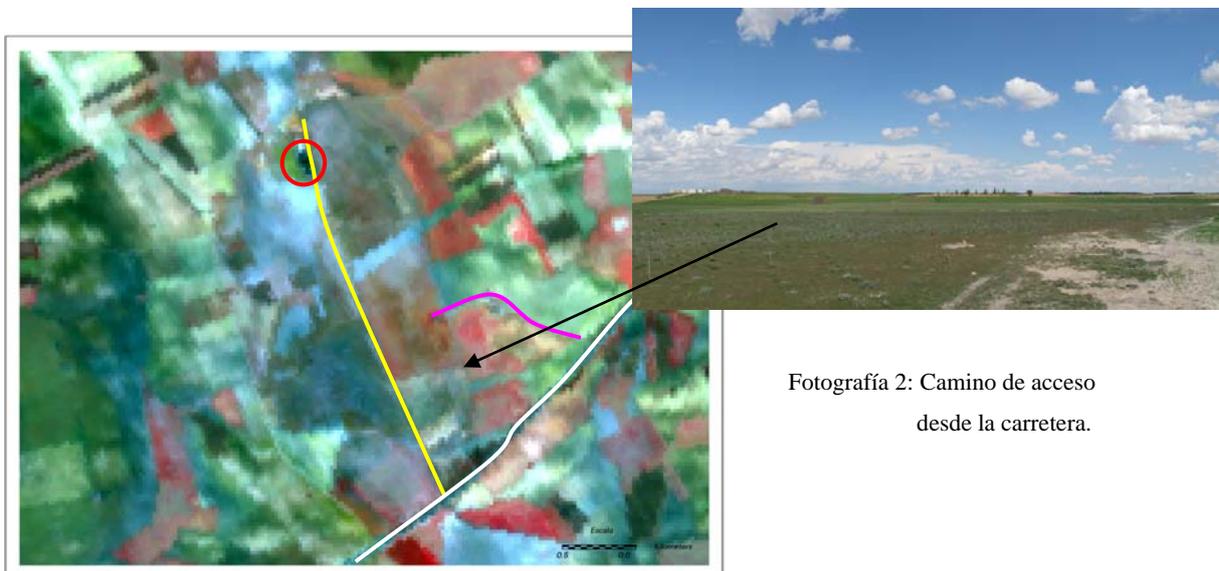
Alteraciones morfológicas en el entorno lagunar y regulación del flujo de agua

A continuación, en las escenas SPOT y filtros de paso alto (Imágenes 40 y 41), se observa como principal regulación de flujo una zanja de encauzamiento (línea amarilla) que atraviesa toda la laguna, canalizando así el agua procedente de la Acequia de los pocillos una vez atravesado la laguna del Huevero situada aguas arribas. También, señalar el pozo o alberca localizado en la parte norte de la laguna (círculo rojo).

Entre las alteraciones morfológicas destaca la proximidad de la carretera (CM-3110) (línea blanca) y el camino de acceso desde la carretera (Fotografía 2), así como

otros caminos rurales que cruzan la orla húmeda y cubeta (línea rosa). Además, la cubeta se halla cultivada principalmente por olivares y su orla natural por cultivos de regadío.

En la visita de campo, se constató la ausencia de humedad en la laguna así como la inexistencia de restos de vegetación lagunar (Fotografía 2).



Fotografía 2: Camino de acceso desde la carretera.

Imagen 40: Escena SPOT de la Laguna Grande de Pedroñeras en 2009

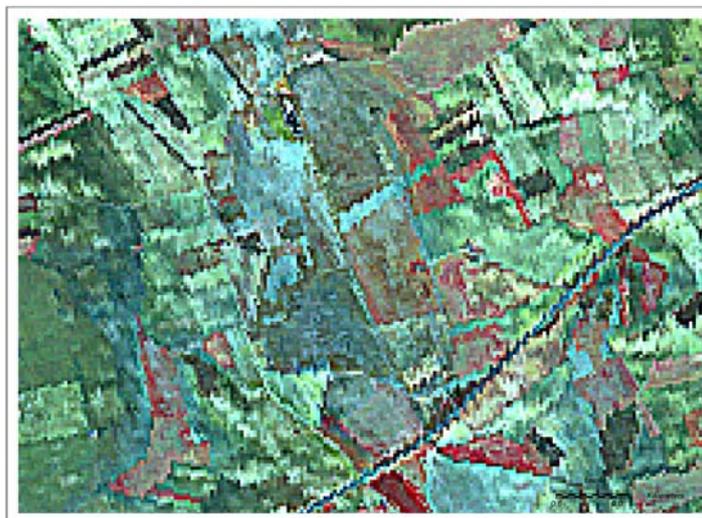


Imagen 41: Filtros de paso alto en la Laguna Grande de Pedroñeras en 2009

Laguna de la Navazuela

Cruzada por la divisoria de los términos de El Pedernoso y Las Mesas, quedando en éste su mayor porción y entre las coordenadas geográficas 39°26'15.92''N y 2°44'43.01''W, se trata de una laguna esteparia de origen cárstico.

Cartografía del perímetro máximo de inundación y de orla de vegetación

Los perímetros de máxima inundación (1.177 m) y orla de vegetación natural máxima (1.690 m) de la laguna, se muestran en las Imágenes 42, 43 y 44, cartografiados y superpuestos en las escenas en falso color e índice NDVI.

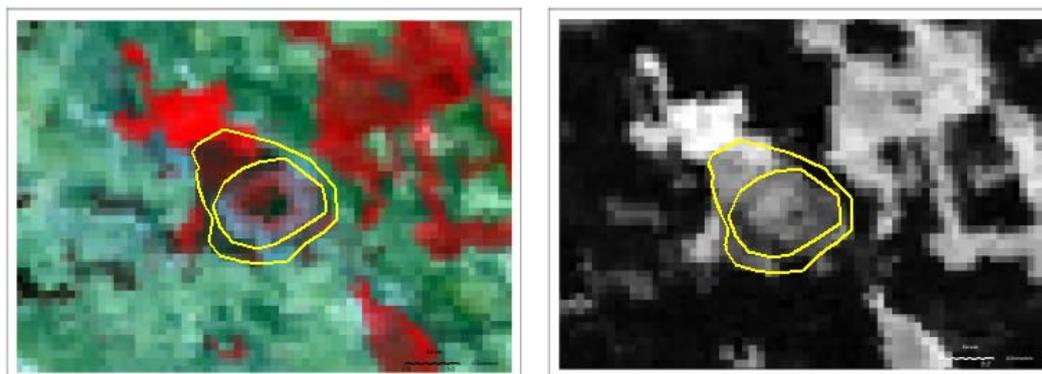


Imagen 42: Laguna de la Navazuela en falso color (izqda) y NDVI (dcha) en 1989

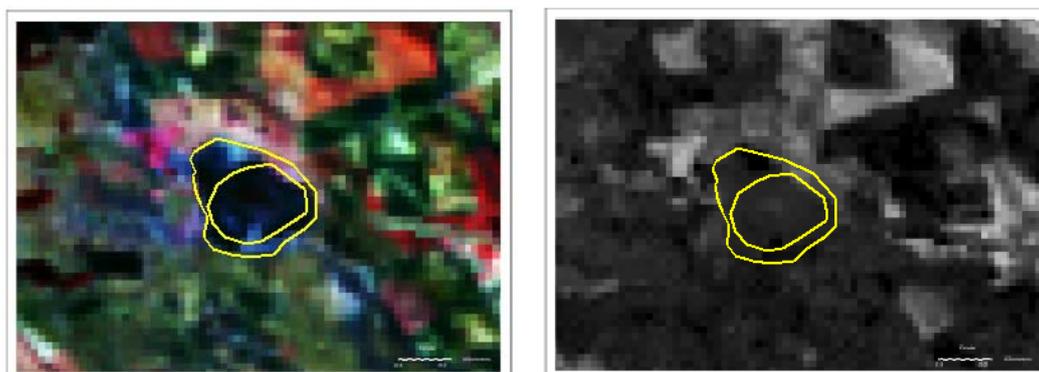


Imagen 43: Laguna de la Navazuela en falso color (izqda) y NDVI (dcha) en 2000

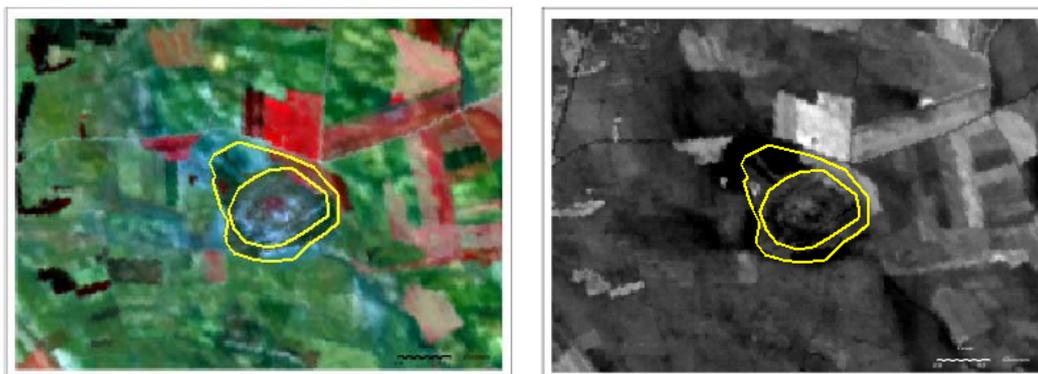


Imagen 44: Laguna de la Navazuela en falso color (izqda) y NDVI (dcha) en 2009

El estudio multitemporal de la laguna, muestra como en 1989 el perímetro de máxima inundación contiene cierta humedad debido a los tonos azules, y posiblemente algo de agua ya que la imagen del NDVI muestra un color oscuro en el medio de la cubeta. En cuanto a la orla de vegetación natural parece que ya estuviese ocupada en el noroeste por cultivos de regadío, aunque en el resto del perímetro parece todavía presente por los tonos verdes oscuros.

En el año 2000, en la imagen en falso color se observa dentro de ambos perímetros de estudio un tono azul oscuro debido posiblemente a que contienen agua o humedad, aunque en gran parte es debido a la del ambiente. Por su parte el NDVI muestra tonos oscuros en toda la laguna lo que corrobora este exceso de humedad.

Finalmente, en 2009, el perímetro de máxima inundación presenta de nuevo cierta humedad y parece estar invadido por regadío debido a ciertos tonos rojos al noreste. La orla natural se encuentra muy parcelada y cultivada tanto al noreste como al noroeste.

Alteraciones morfológicas en el entorno lagunar y regulación del flujo de agua

En las imágenes SPOT (Imagen 45) y filtros de paso alto (Imagen 46) de la laguna en el año 2009, se observan alteraciones de flujo como la zanja de la Navazuela (línea rosa) situada al sur de la laguna.

Como afecciones morfológicas destaca el camino rural (línea amarilla) que cruza el vaso lagunar y la orla natural, y la desaparición de la orla húmeda al noreste y noroeste debido a que los cultivos la han invadido, llegando hasta la propia laguna (fotografía 3). Además, en la salida de campo se constató la presencia de residuos sólidos urbanos (RSU) en el vaso lagunar tal y como se observa en la fotografía 4.

A pesar de todas las alteraciones que sufre la laguna, en algunas zonas todavía se mantiene cierta vegetación lacustre tal y como se observa en la fotografía 3.

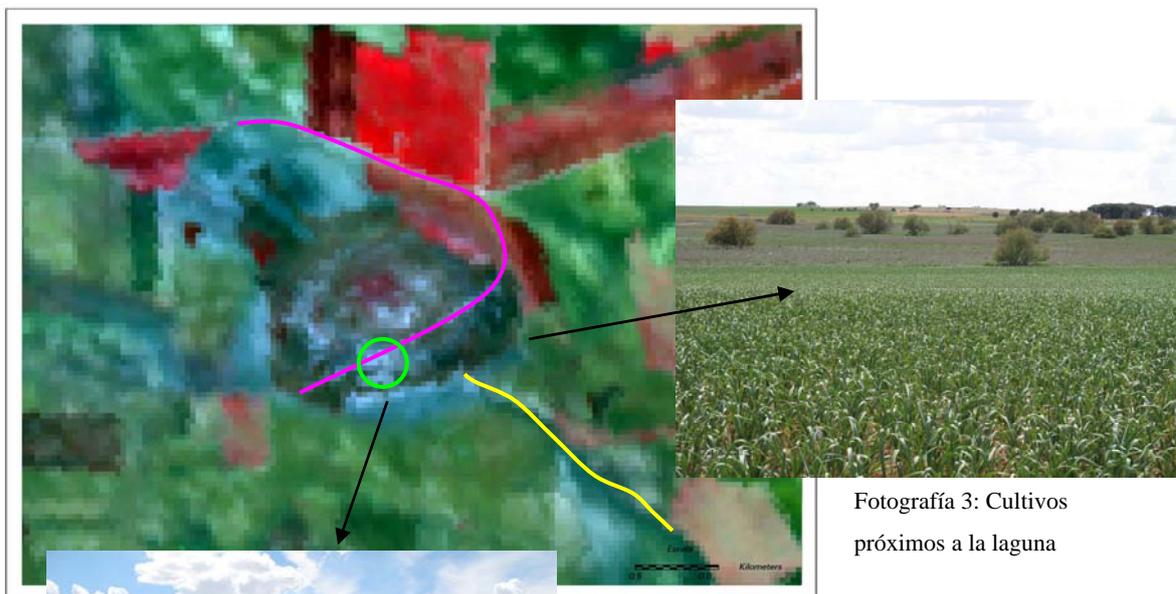


Imagen 45: Escena SPOT, Laguna de la Navazuela en 2009



Fotografía 4: RSU en la cubeta lagunar



Imagen 46: Filtros de paso alto, Laguna de la Navazuela en 2009

Laguna del Charco del Soldado

Situada entre los términos municipales de El Pedernoso y Las Mesas, entre las coordenadas 39°26'11.71'' N y 2°45'50.76''W, se trata de una laguna de origen cárstico.

Cartografía del perímetro máximo de inundación y de orla de vegetación

En las imágenes 47, 48 y 49 se observa la evolución multitemporal a lo largo de 20 años, que ha experimentado esta pequeña laguna en cuanto a su perímetro de máxima inundación (760 m) y de orla de vegetación natural máxima (939,47 m) cartografiados y superpuestos en ellas.

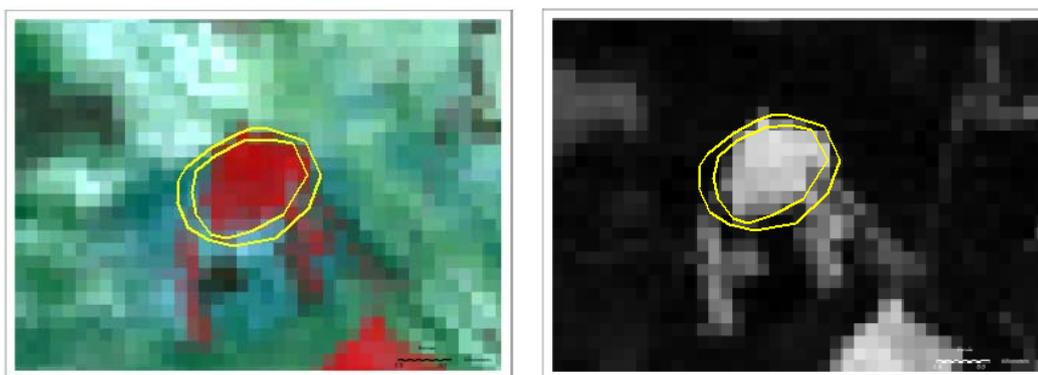


Imagen 47: Laguna del Charco del Soldado en falso color (izqda) y NDVI (dcha) en 1989

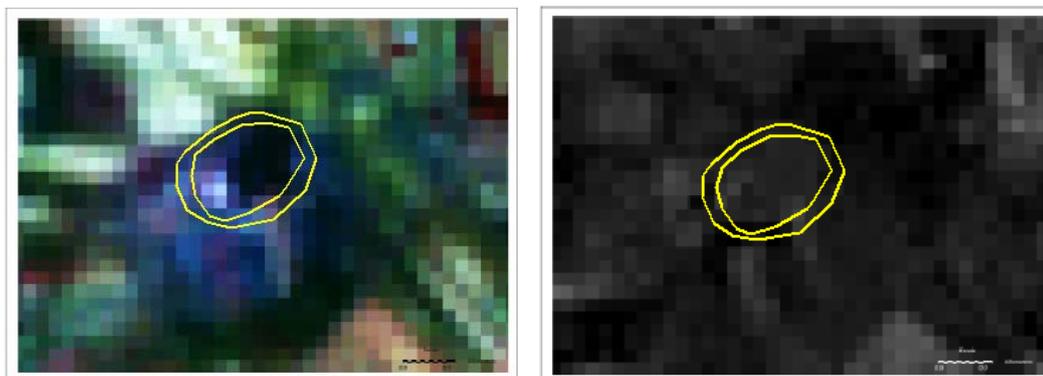


Imagen 48: Laguna del Charco del Soldado en falso color e índice NDVI en 2000

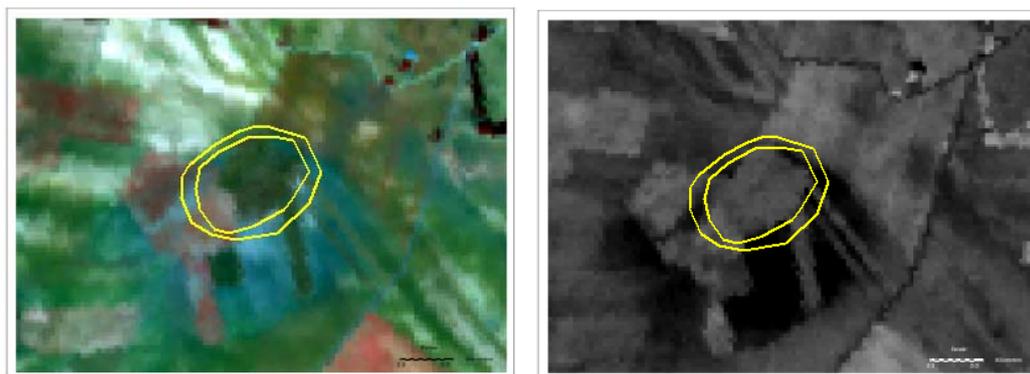


Imagen 49: Laguna del Charco del Soldado en falso color (izqda) y NDVI (dcha) en 2009

En la imagen en falso color de 1989, los perímetros de máxima inundación y de orla natural parecen estar ocupados por cultivos debido al color rojo intenso que se observa, aunque alrededor parece existir algo de humedad. La imagen del NDVI muestra tonos muy claros en la cubeta y en parte de la orla, lo que confirma la presencia de regadío.

En el año 2000 al igual que en casos anteriores, se observa una laguna en tonos azules quizás debido a la existencia de humedad en la cubeta y sobre todo en el ambiente. El NDVI en este caso muestra colores muy oscuros, que evidencian la ausencia de vegetación y el predominio de humedad.

Por último, en las imágenes de 2009 ambos perímetros de estudio se encuentran muy parcelados y cultivados, aunque el color azul en ciertas zonas de la orla podría indicar presencia de humedad.

Alteraciones morfológicas en el entorno lagunar y regulación del flujo de agua

En la imagen SPOT y filtros de paso de alto de 2009 (Imágenes 50 y 51), destaca como principal afección la antropización de la laguna al estar parcialmente parcelada la cubeta y la orla de vegetación natural. Además, los cultivos de viña en espaldera llegan hasta el antiguo borde de la laguna y también cabe destacar el camino rural (línea rosa) que discurre junto a la laguna y atraviesa parte de la orla (Fotografía 5).

En la visita *in situ* a la laguna, también se localizaron restos de podas junto a la cubeta que se pueden ver en la fotografía 5 ampliada.

A pesar de todas las alteraciones, la laguna todavía presenta cierta humedad y restos de vegetación lacustre.



Fotografía 5: Viñas en espaldera y camino junto a la laguna

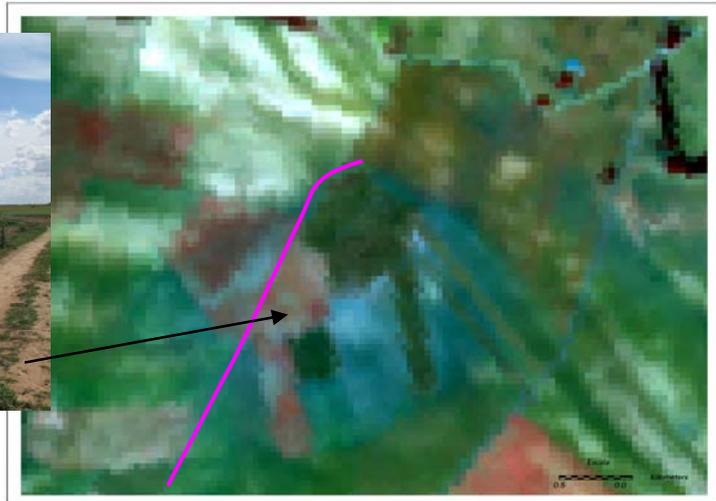


Imagen 50: Escena SPOT de la Laguna del Charco del Soldado en 2009



Fotografía 5 ampliada: Restos de podas junto a la laguna

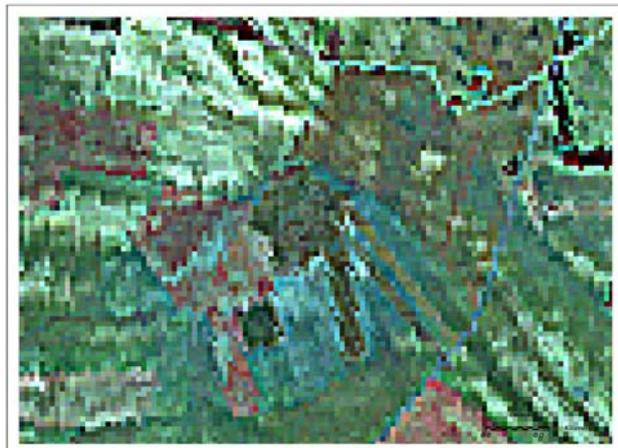


Imagen 51: Filtros de paso alto en la Laguna del Charco del Soldado en 2009

5.5. Estimación de superficie de regadío en el entorno lagunar “Las Pedroñeras”

Como resultado de clasificar el área de influencia del complejo lagunar de Cuenca en mayo de 1989 (Imagen 52) y 2009 (Imagen 53), se han obtenido las seis clases siguientes: superficie encharcada, cultivos de regadío, forestal, pastizal-matorral-prado, suelo desnudo y suelo semidesnudo.

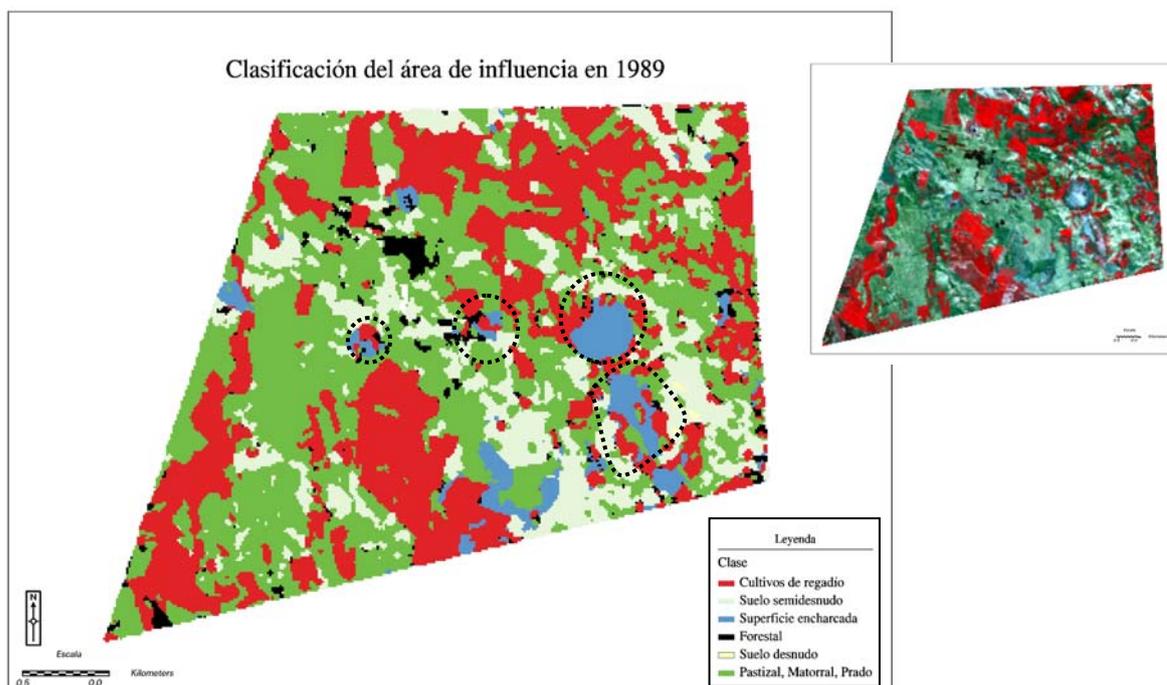


Imagen 52: Clasificación del área de influencia en 1989

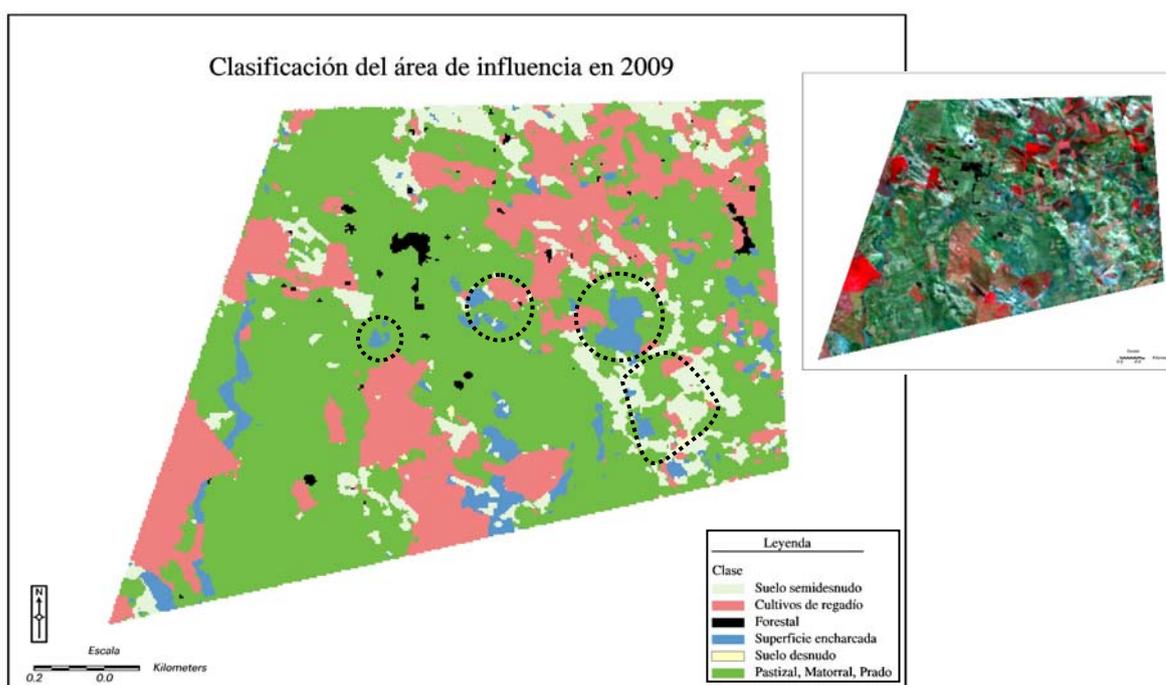


Imagen 53: Clasificación del área de influencia en 2009

Al comparar las imágenes clasificadas y las originales, se observa a simple vista una mayor superficie ocupada por los cultivos de regadío en 1989 así como un color rojo mucho más intenso, debido a la gran vigorosidad de la vegetación en comparación con el color mucho más atenuado de 2009. Así por ejemplo, la imagen de 1989 muestra las orillas del Río Saona (afluente del Záncara) ocupadas completamente por regadíos.

La estima de suelo ocupado por cultivos de regadío en dicha área de influencia, ha sido de 1.447 ha en 1989 y de 1.065 ha en 2009, de modo que en el transcurso de 20 años éstos se ha reducido en un 36% aproximadamente.

En cuanto a la lámina de agua cartografiada en los 4 humedales, se observa como en 1989 todavía mostraban una superficie encharcada las Lagunas del Huevero, Grande de Pedroñeras y Navazuela, mientras que la Laguna del Charco del Soldado ya estaba ocupada por regadío, aunque con cierta humedad alrededor.

Por el contrario en 2009, todas las lagunas han sufrido una disminución de la superficie encharcada, siendo invadidas bien por cultivos de regadío, pastizal-matorral-prado o suelo semidesnudo (improductivo).

DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

6.1. Contaminación hídrica

La información obtenida mediante las imágenes de satélite, los estudios de campo y los análisis de agua confirman la gran diversidad de humedales con comportamientos hídricos muy dispares y diferente estado de conservación, por lo que se ha considerado necesario discutir los resultados individualmente de cada laguna estudiada.

Lagunas de Alcázar de San Juan (Laguna del Camino de Villafranca, Laguna de la Veguilla y Laguna de las Yeguas): Son muchos los testimonios que recogen el problema de la contaminación de las lagunas de Alcázar. Blasco (1942), Otto Jessen (1946), hablaban de la presencia de aguas sucias y malolientes. Por otra parte, Margalef (1947), apuntó que la elevada producción planctónica de estas lagunas podía relacionarse con el aporte de aguas residuales desde la década de los 20. De modo, que todos estos datos llevan a constatar el hecho de que estas tres lagunas han sufrido un fuerte proceso de eutrofización (Peinado, 1994).

Las aguas residuales se dejaron de verter por problemas de salubridad en 1982, sedimentándose la biomasa en el fondo y desapareciendo los síntomas más evidentes de eutrofización. Sin embargo, el hecho de estar sedimentado en el fondo supone una importante reserva de nutrientes, por lo que se mantiene el carácter hipertrófico de sus aguas (Cirujano, 1990).

En 1986, se puso en funcionamiento la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Alcázar, a través de la cual se realizan vertidos autorizados con el fin de emular la dinámica natural de estas lagunas, ya que no tienen relación directa con los acuíferos circundantes. Sin embargo, con dichos aportes antrópicos, se ha alterado el hidropериodo natural y las características físico-químicas de sus aguas.

Laguna del Camino de Villafranca: Las imágenes de satélite muestran visualmente en el interior del vaso lagunar eutrofización en junio de 2005 y mediante el NDVI en agosto de 2009, a pesar de estar en pleno funcionamiento la depuradora.

Los valores del NDVI han resultado siempre negativos debido a la influencia de la lámina de agua, salvo en junio de 2005, cuando la eutrofización de la laguna fue muy alta. De igual forma, los perfiles espectrales obtenidos en 1989 y mayo de 2009,

característicos de aguas limpias, son debidos a los altos niveles de agua en la laguna, mientras que en junio de 2005 y agosto de 2009, al ser imágenes de verano es más fácil detectar la elevada presencia de algas en el interior de la cubeta.

Los resultados de los nutrientes del análisis de agua de 2011, muestra los niveles de nitritos y amonio bajos, ya que los primeros no exceden los 0.1 mg/l valor reconocido como normal en las aguas naturales y los 2 mg/l de amonio, cifra a partir de la cual la vida acuática puede verse perjudicada (Rodier, 1981). Frente a esto, los valores de nitratos y fosfatos son muy elevados, superando los límites establecidos como normales de 1mg/l de nitratos y 0.1 mg/l de fosfatos en aguas naturales (Rodier, 1981). Según Peinado (1994), en 1989 los valores de nitratos y nitritos resultaron muy bajos siendo no significativos, mientras que los valores de los fosfatos resultaron muy elevados (1,19 mg/l) indicando contaminación por abonos fosfatados, dando así mayor acumulación de materia orgánica.

Por otra parte, las aguas de pH muy alcalino y de tipo salobre casi salino al no superar los 20.000 ppm de conductividad y los 10.000 ppm de TDS, se diferencian de lo obtenido en los trabajos consultados (Peinado, 1994; CHG, 2001; MARM-CHG, 2008). En ellos se muestran conductividades mucho más altas, de modo que el vertido de las aguas depuradas ha provocado una progresiva disminución de la salinidad, coincidiendo así con lo expresado por Peinado (1994): *“Laguna de carácter salino, aunque el hecho de que se vertieran las aguas residuales del vecino núcleo de Alcázar de San Juan, ha alterado en gran medida las características físico-químicas de dichas aguas”*.

Las técnicas de teledetección empleadas junto a los análisis de agua, permiten clasificar a la Laguna del Camino como eutrofizada en épocas recientes (2005, 2009 y 2011) -debido a las actividades agrícolas que rodean el vaso, la cuenca de aporte y ocupan la orla húmeda (MARM-CHG, 2008) y a los vertidos procedentes de la EDAR con restos de detergentes y productos de limpieza- no pudiendo afirmar lo mismo en 1989 por exceso de agua en la cubeta y en 1995 por la sequía acaecida.

Si se tiene en cuenta el trabajo de Pérez y García (2001), donde se afirma que esta laguna estuvo contaminada hasta la mita de los noventa, y a partir de ahí el problema fue solucionado, podría decirse que la laguna ha sufrido un empeoramiento desde 2001 hasta la actualidad.

Se recomienda, un mayor control de las aguas de la depuradora de cara a la mejora de la calidad de agua de la laguna.

Laguna de la Veguilla: De origen antrópico, en las imágenes de satélite de todas las fechas de estudio se cartografía con precisión los sectores ocupados por algas y la extensa superficie ocupada por la vegetación higrohalófito, principalmente en 1989, debido a los trabajos de restauración llevados a cabo en el verano de 1988 (Peinado, 1996) y al ser los primeros años de la puesta en marcha de la depuradora.

A pesar de que el uso del canal infrarrojo cercano en las imágenes en falso color muestra, las variaciones fenológicas de la vegetación de ribera y que en primavera la biomasa adquiere un gran desarrollo dando un paisaje característico de áreas húmedas con densa vegetación (Sánchez, et al., 1999), esta laguna presenta siempre el mismo aspecto, sea verano o primavera, al recibir un aporte continuo de agua con exceso en nutrientes.

Por otra parte, los valores siempre positivos del NDVI disminuyen conforme pasa el tiempo, de modo que parece disminuir la concentración de algas debido a la presencia de la estación depuradora. Además, el perfil espacial uniforme y constante de la banda 4 de 1989 contrasta con la alternancia de sectores inundados, algas y vegetación natural en 2005 y 2009.

Los análisis de los nutrientes del agua, indican un alto contenido en nitratos, nitritos y fosfatos en 2011, superando con creces los límites establecidos como normales en aguas naturales y confirmando así contaminación agrícola y urbana.

Los parámetros físico-químicos, muestran un agua de pH alcalino (7,58) algo inferior a los valores obtenidos por CHG en 2001 y MARM-CHG (2008) en 2006 y de tipo salobre, con un valor superior a lo obtenido en las anteriores fechas.

El empleo de las técnicas de teledetección y el estudio físico-químico del agua, permite calificar actualmente a la laguna como eutrofizada, debido a la presencia de algas, aunque se ha comprobado una mejora de su calidad a lo largo de estos últimos 20 años debido en gran parte a la puesta en marcha de la depuradora.

Se recomienda un control efectivo en la calidad de agua de este humedal, debido a que sus aguas a través de un canal de drenaje en su sector occidental, llegan hasta el río Gigüela y por él, hasta las Tablas de Daimiel.

Laguna de las Yeguas: A diferencia de las lagunas anteriores, el hecho de que esta laguna esté más alejada del punto de vertido de las aguas residuales, hace suponer que aunque se viese afectada por éstos, el grado de contaminación sería menor (Peinado, 1994). Esto unido a la obstrucción del canal que comunicaba con la Laguna del Camino en 1990, explicaría porque no se ha obtenido indicios de eutrofización en la laguna en ninguna de las imágenes de estudio.

Las imágenes presentan visualmente un gran contraste, desde tonos oscuros (tanto en falso color como natural) en 1989 y 1995 debido a la formación en superficie de grandes cristales de sales, aun cuando se mantiene una elevada humedad edáfica y materia orgánica (sapropel), hasta tonos claros en 2005 y 2009, por la formación de eflorescencias salinas pero sin lámina de agua. Así, en la imagen de verano de 1995, la laguna parece contener más agua que en 2005 y 2009 debido a la alta concentración de sales que forman a su vez suelos poligonales, por cuyas grietas asciende el agua edáfica y sales disueltas, que al evaporarse el agua contribuye al crecimiento progresivo de los cristales hasta alcanzar tamaños decimétricos. De modo que es un “engaño visual” de las imágenes de satélite.

Hay que destacar también, que la gran salinidad no queda reflejada en los perfiles espectrales de 1989 y 1995, por estar constituidas por sales altamente higroscópicas, destacando así el alto contenido de humedad.

Llama la atención en las imágenes, como a pesar de la gran sequía acaecida en el verano de 1995, la laguna presenta mayor cantidad de agua en ese año que en los veranos de 2005 y 2009, donde la laguna aparece completamente seca. Quizás se deba, al estado cada vez más deplorable de los acuíferos de la Mancha que alimentan a los humedales.

El valor máximo de NDVI ha resultado negativo en todos los casos, o muy bajo como sucede en 2005 no siendo significativo, confirmando la ausencia de algas.

En la toma de muestras *in situ*, no se detectó apenas la lámina de agua al estar muy seca la laguna, observándose gran cantidad de sedimentos en descomposición con mal olor, comportamiento típico de las lagunas hipersalinas. El análisis de los nutrientes de 2011, muestra un valor de 15 mg/l de fosfatos, que excede la cantidad fijada como normal en aguas naturales (0.1 mg/l) debido a la contaminación derivada de la actividad agrícola que rodea toda la laguna y su cuenca de aporte, a la ganadería estabulada y pastoreo (MARM-CHG 2008). Esto coincide, con los valores obtenidos por Peinado

(1994) en la década de los 90, donde resultaron únicamente significativos los fosfatos con 5,20 mg/l

Los parámetros físico-químicos estudiados, muestran una laguna muy alcalina, al no producirse la evacuación de las sales (Peinado, 1994) y con una salinidad de tipo salmuera, al tener una conductividad de 62.230 ppm y una unidad práctica de salinidad (PSU) de 42,31 que supera los 35 del océano. Si se comparan con los parámetros obtenidos en la década de los 90 y en los años 2001 y 2006 ambos datos coinciden, pH muy alcalino y alta salinidad, de tipo salobre o salmuera.

El empleo de la teledetección, permite clasificar a la Laguna de las Yeguas como no eutrofizada, hipersalina y con presencia de materia orgánica. Los análisis realizados confirman un exceso de fosfatos, por el lavado de las tierras de cultivo próximos a la laguna, que se suceden normalmente en primavera.

Quizás la autonomía que tiene respecto a las lagunas del Camino y la Veguilla, la permiten mantener una buena calidad de agua.

Se recomienda un mayor control en el uso de productos fitosanitarios en los cultivos próximos.

Laguna de Manjavacas: De carácter semipermanente, recibe las aguas residuales depuradas de Mota del Cuervo desde junio de 2009, a través de la Acequia Madre que también recoge la mayor parte del agua que concentran los cauces estacionales, alimentando así la lámina de agua de dicha laguna, pero alterando al mismo tiempo su composición (Pérez y Zavala, 2011), no solo por el aporte de nutrientes que incrementan el nivel trófico del sistema, sino también por la alteración del ciclo hidrológico, la hidroquímica de la laguna y por causar procesos de botulismo en las aves (Camps, 2011). El descenso del nivel de los acuíferos, hace que los aportes pluviales y estos vertidos tengan un papel dominante (JCCM, 2006).

Por este motivo, las imágenes de satélite de todas las fechas de estudio en falso color y color natural, muestran en rojo el intenso desarrollo de la vegetación natural debido a las aguas hipertróficas, así como en negro los vertidos que entran por dicha acequia sin depurar al interior del vaso, incluso en agosto de 2005 y 2009 cuando la laguna está completamente seca.

Dichas imágenes junto a las de NDVI permiten cartografiar los sectores ocupados por algas, que varían temporal y espacialmente según la distancia al punto del vertido,

existiendo un gradiente de disminución de la contaminación según nos alejamos a la orilla opuesta (Camps, 2011).

Los valores máximos del NDVI, positivo en mayo de 2009, confirman la eutrofización de la laguna, mientras que los valores negativos no confirman la ausencia de algas, ya que el máximo valor de este índice fue medido en medio de la cubeta y no en la entrada del canal, donde se acumula la mayor parte del vertido.

Cabe destacar, que el perfil espacial de la banda 4 en 1989, bastante uniforme con presencia de algas únicamente en su extremo norte, contrasta con el de 2009 que recoge la alternancia de sectores inundados, sales y algas distribuidas en varios puntos de la cubeta.

El análisis de los nutrientes obtenido en nuestro estudio, muestra únicamente niveles muy elevados de nitratos, 4 mg/l, cuadruplicando así el límite establecido como normal en las aguas naturales. Según MARM-CHG (2008) en 2006, se observa la aparición de nitritos y amonio en contenidos muy bajos y en la ficha informativa de los Humedales Ramsar, del mismo año, los niveles de nitritos, amonio y fosfatos analizados resultaron también insignificantes.

En cuanto a su composición físico-química se ha obtenido un agua con pH alcalino y de tipo salobre, que contrasta con los valores obtenidos en los trabajos anteriores de 2006, donde es de tipo salina, al superar conductividades de 20.000 mg/l. Estas diferencias se deben quizás a carácter fluctuante, que condiciona las diferencias importantes en su salinidad (MARM-CHG, 2008).

Mediante el uso de la teledetección, la Laguna muestra eutrofización en la cubeta, sobre todo en el año 2009, donde las algas no solo aparecen en la entrada del canal, sino que ese halla dispersas junto a una gran cantidad de materia orgánica. Los vertidos detectados, evidencian un agua sin oxígeno, tal y como recoge Álvarez, en 2010 (libro mío).

Los análisis de agua revelan que actualmente, la laguna muestra exceso de nitratos debido a la contaminación originada por los vertidos autorizados aguas arribas y la procedente de la actividad agrícola por la aplicación de productos artificiales (MARM-CHG, 2008).

Se recomienda la toma de medidas para aumentar la eficacia de la EDAR.

Laguna de Pedro Muñoz: Originariamente salina y de marcado carácter estacional, comenzó a recibir en 1973 el aporte de aguas residuales del vecino núcleo de Pedro Muñoz, perdiendo su carácter estacional y reduciendo su salinidad (Peinado, 1994), hasta que en 1999 se puso en funcionamiento la EDAR del municipio.

No obstante, las imágenes no muestran una acusada contaminación acuática en las más recientes de 2009. Sin embargo, en 1989 y 2005 las imágenes del NDVI muestran una laguna muy eutrofizada así como en 1995 a pesar de la extrema sequía.

Los valores máximos de NDVI, positivos en todas las fechas salvo en los meses de 2009, confirman una mejora paulatina de la calidad de las aguas. Y de igual forma, los perfiles espectrales, muestran un pico en el canal IR cercano hasta 2009, fecha a partir de la cual el perfil dentro de la cubeta es típico de aguas más limpias.

Los perfiles espaciales de la banda 4, muestran en 1989, 1995 y 2005 la presencia de algas extendidas por toda la cubeta mientras que en 2009, recoge la alternancia de suelo desnudo, materia orgánica, vegetación natural, sectores inundados y un pequeño sector con algas.

Quizás esta mejora a partir de 2009, se deba a parte de los trabajos de depuración, a la limpieza de fondos realizada en 2007.

Los análisis de agua realizados en abril de 2011, revelan un exceso en el contenido de nitratos, 2 mg/l y fosfatos, 1 mg/l. Este último exceso, ya estaba presente en abril de 1990, aunque con un valor mayor, 3 mg/l según Peinado (1994), achacado a los vertidos residuales del vecino núcleo de población. Los datos de CHG (2001), revelan la presencia de nitritos, nitratos y sobre todo, amonio y fosfatos, indicando la influencia de los vertidos de la depuradora de aguas residuales de Pedro Muñoz

La composición de las aguas estudiadas revela un pH alcalino y una conductividad de 10.220 ppm, tipo salobre, que supera a lo obtenido por Peinado (1994) en 1989 y por (MARM-CHG, 2008) en 2006, hecho que podría constatar que la laguna está recuperando su original salinidad a pesar de que sería necesario un estudio más exhaustivo para confirmarlo con seguridad.

Las imágenes de 2009 permiten confirmar la mejora del humedal, pues no se registran valores significativos del NDVI y visualmente pueden detectarse bajas concentraciones de algas. Los análisis de agua, revelan un exceso de nitratos y fosfatos en el agua, lo que indica que todavía hay aguas hipertróficas.

Sin embargo, dichos análisis muestran que la laguna podría estar recuperando su salinidad original, de modo que la situación parece bastante alentadora gracias a la depuradora.

Se recomienda mantener el actual nivel de depuración de las aguas, que parece estar devolviendo su grado de naturalidad.

Laguna Larga de Villacañas: Aunque originariamente fue una laguna de carácter estacional (Cirujano 1980), secándose durante los meses de julio y agosto, en la actualidad se ha convertido en una laguna permanente (Pérez, 1995) debido a los aportes de aguas residuales y/o industriales depuradas del pueblo del mismo nombre, a partir de 1998.

Las imágenes de estudio en falso color y color natural, muestran contaminación en el interior del vaso en 1995 debido al aporte continuo y sin depurar de los residuos urbanos (Pérez y García, 2004). Las procedentes del NDVI en ambos meses de 2009 también muestran eutrofización, aunque es en agosto donde se aprecia mejor, debido a un menor volumen de agua.

Los valores del NDVI, los perfiles espectrales y espaciales confirman la presencia de algas tan solo en 1995 y 2009, mientras que en 1989 y 2005 no se obtiene ninguna evidencia de eutrofización. La explicación, al menos para la fecha más antigua sea un exceso de lámina de agua y la limitación de las técnicas, ya que los trabajos realizados por Pérez (1995) en 1989, confirman que se trata de *“una laguna contaminada, eutrofizada por el exceso de fosfatos, compuestos nitrogenados, detergentes y olores fétidos”*.

Respecto a los análisis de los nutrientes en mayo de 2011, todos muestran un valor 0, lo que puede llegar a ser un factor limitante para el desarrollo de la vida acuática. Esto, contrasta con los valores encontrados por Pérez (1994) en mayo de 1989 donde todos los nutrientes superan con creces los límites establecidos como normales.

Los parámetros físico-químicos muestran un agua de pH alcalino y de naturaleza salobre, mientras que en 1989 fue clasificada de salmuera, debido a la gran oscilación que sufre en cuanto a los valores de salinidad de sus aguas.

Pérez y García (2004), observaron una disminución en la contaminación de la Laguna Larga al no registrarse valores significativos del NDVI, ni visualmente poder detectarse concentraciones de algas. Por el contrario, las imágenes de 2009 estudiadas en

el presente trabajo confirman la presencia de algas en 2009, aspecto muy importante si se tiene en cuenta que esta laguna vierte mediante un emisario al río Riánsares que llega hasta las Tablas de Daimiel a través del río Cigüela.

Sin embargo, los análisis de agua de 2011 indican la ausencia de aguas hipertróficas, mostrando niveles nulos para todos los nutrientes, que podrían deberse a errores en el muestreo.

Ante esta situación, se puede afirmar que la depuradora si “cumple su función” con la incorporación de aguas más limpias, pero en el vaso lagunar continúan gran cantidad de nutrientes almacenados que sirven de alimento actualmente a una gran población de aves, como por ejemplo flamencos, ausentes durante los años 80-90 del pasado siglo, en los que la laguna tenían un altos niveles de contaminación urbana e industrial.

Laguna Grande de Villafranca: De carácter permanente y salobre, se alimenta mediante un canal artificial del río Gigüela, modificando así su hidropериodo natural. Soporta además, una fuerte presión recreativa por la tradicional práctica de baños y pesca deportiva (Peinado, 1994).

Las imágenes de satélite descartan la presencia de algas, mostrando gran cantidad de materia orgánica en sus aguas. Por otra parte, lo que podrían parecer algas en las imágenes NDVI de 2005 y 2009, es realmente la orla de vegetación natural que rodea la laguna en la zona norte, ya que la zona sur está desprovista de vegetación protectora por la invasión perimetral de la zona urbanizada (MARM-CHG, 2008).

Los valores máximos del índice NDVI tomados en el borde interno lagunar, resultan muy altos en 2005 y 2009 al tratarse de la orla natural, ya que el valor de dicho índice en el caso de la vegetación de ribera es mucho más alto que en sectores de la laguna donde son abundantes las algas, ya que en la respuesta espectral de estas interfiere el valor del agua (Pérez y García, 2004).

Finalmente, es el perfil espacial trazado entre ambas orillas, lo que confirma la ausencia de algas, siendo el responsable de la respuesta espectral en el IR cercano la vegetación natural.

Los análisis de aguas de 2011 muestran valores muy bajos no significativos para los nutrientes, al igual que sucede en los años 1989 y 1990 en los trabajos de Peinado, por lo que suponemos que pueden llegar a ser un factor limitante para el desarrollo de la vida acuática.

En cuanto a los parámetros físico-químicos, se ha obtenido un agua de tipo salobre y pH alcalino, que coincide con los trabajos de mayo del 89 y 2006.

Mediante el estudio de las diferentes técnicas de teledetección y los análisis físico-químicos, se puede clasificar a este humedal como no eutrofizado en los últimos años, aún conteniendo mucha materia orgánica.

Aún así, cabe recomendar un cuidado y seguimiento de la laguna, al recibir aportes del río Cigüela y al estar rodeado de zona urbanizada la cual no dispone de red de alcantarillado con salida a la depuración, resolviendo el problema con pozos ciegos (MARM-CHG, 2008).

6.2. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales del Complejo Lagunar de “Las Pedroñeras” (Cuenca)

En primer lugar, la cartografía de los perímetros de máxima inundación y de la orla de vegetación natural, junto a las imágenes en falso color y NDVI, ha permitido conocer los cambios experimentados a lo largo de 20 años en las cuatro lagunas estudiadas, debido principalmente a causas antrópicas.

Las imágenes SPOT, gracias a su óptima resolución han hecho posible conocer las alteraciones morfológicas más importantes en el entorno próximo de cada laguna, así como la regulación del flujo de sus aguas.

La escasa bibliografía sobre estos humedales, pertenecientes a las denominadas “Lagunas de Pedroñeras”, indica como las del Huevero, Navazuela y Charco del Soldado eran lagunas permanentes (Pardo, 1948), mientras que la Grande era de tipo estacional.

Según Cirujano (2002), *“muchas personas de la zona todavía recuerdan los baños que se daban en verano en la laguna de la Navazuela, las tortugas y galápagos que poblaban la laguna del Taray o los patos que acudían al Huevero. Ya no queda nada de ese complejo lagunar”*.

En el presente estudio, la **Laguna del Huevero**, ya seca en 1987 según apunta Cirujano (2002), se observa como ha sufrido desde 1989 la ocupación de su cubeta y orla natural por cultivos de regadío, aunque siempre manteniendo cierta humedad, además de haber sido parcelada. Sin embargo, en 2010 la cubeta lagunar se muestra llena de agua y con una orla de vegetación muy vigorosa, aunque ni la lámina de agua ni dicha vegetación ocupan los perímetros originales.

La escena SPOT revela como principales problemas en la actualidad, dos zanjas, en las que destaca la Acequia de los pocillos que canaliza los flujos superficiales de agua, impidiendo así el llenado natural de la laguna. De modo, que las entradas de agua se deben exclusivamente a las aportaciones provenientes de la lluvia caída sobre la superficie (MARM-CHG, 2008).

El llenado de la laguna en 2010 confirma sus grandes posibilidades de recuperación, si se pudiera controlar o eliminar la actual situación de drenaje y la incidencia de las explotaciones agrícolas adyacentes.

La **Laguna Grande de Pedroñeras**, de carácter estacional muestra una evolución decadente en los 20 años de estudio, al ser ocupados tanto el vaso como la orla natural de la laguna. En 2009, presenta cierta humedad aunque se encuentra muy parcelada, ya que según la bibliografía consultada, en la década de los cincuenta, existieron innumerables huertas, observándose hoy restos de vallados que han alterado a la laguna (MARM-CHG, 2008).

Su principal problema es la zanja de encauzamiento procedente de la Laguna del Huevero que impide que el agua cubra la laguna que, de forma natural, se llenaría una vez lo hubiese hecho la del Huevero.

La información recogida mediante teledetección y las visitas de campo, donde no se detectó presencia de humedad y apenas vestigios de vegetación lacustre, hacen pensar que es una laguna con muy pocas posibilidades de restaurar.

Laguna de la Navazuela: Según Cirujano (2002), en los veranos de la década de los setenta, acudían a ella las gentes del entorno a tomar un buen baño. Sin embargo, las imágenes desde 1989 muestran una laguna cada vez más desecada y alterada, donde los cultivos de regadío han invadido poco a poco la cubeta y las características formaciones de masegares y espadañales (Cirujano, 1995). En 1995, el mismo autor clasifica a la laguna de desaparecida.

No obstante, se detecta cierta humedad en las imágenes en falso color y NDVI, corroborado por las fotografías tomadas *in situ*, además de vegetación lagunar. Esto hace pensar, que la eliminación de la zanja de drenaje, que altera el flujo superficial del agua (única entrada de agua en la laguna), impidiendo su llenado a cierta cota (MARM-CHG, 2008), podría lograr la recuperación del humedal.

Laguna del Charco del Soldado: Esta pequeña laguna permanente hace años, no muestra apenas una evolución relevante. En 1989 ya se hallaba cultivada tanto su cubeta como su vegetación natural, aunque en 2000 parece mostrar una cierta mejoría ya que la imagen en falso color y NDVI reflejan presencia de agua. Sin embargo en 2009, se observa una laguna desecada otra vez y muy parcelada.

El camino rural que cruza la orla natural, identificado en la imagen SPOT de 2009, además de restos de podas encontrados en las visitas de campo, hacen pensar en el abandono y casi desaparición de este humedal, con pocas posibilidades de recuperarse.

6.3. Estimación de la superficie de regadío en el entorno de los humedales y cartografía de su lámina de agua

En el año 1987 se planteó el problema de las extracciones de aguas subterráneas para riego en los acuíferos de La Mancha (oriental y occidental). Y por primera vez, en nuestro país y en Europa, hace ahora 20 años, se utilizaron las técnicas de teledetección aplicadas a la hidrología y los usos del agua (Montesinos, *et al.*, 2007).

La interpretación visual de las imágenes del área de influencia de los humedales, permite confirmar y mejorar la información obtenida por otras fuentes, facilitando la realización de clasificaciones supervisadas y los estudios multitemporales, que permiten seguir la evolución de los usos del suelo y los problemas de la degradación que conlleva los mismos (García y Pérez, 1999).

En nuestro caso, las imágenes clasificadas, muestran una alta correlación entre las clases espectrales e informacionales relativas a la lámina de agua, cultivos de regadío (cultivos hortícolas y cereales), masa forestal y suelo desnudo, mientras que la confusión es mayor entre las distintas clases de vegetación (prado, matorral y pastizal).

La imagen clasificada de mayo de 1989, muestra una mayor superficie ocupada por cultivos de regadío que en el mismo mes de 2009, de modo que en 20 años este tipo de cultivos ha disminuido un 36% en el área estudiada.

Sin embargo hay que hacer hincapié, en que los valores cuantitativos que se obtienen no son absolutos, ya que dependen de la proporción de la superficie que realmente se riega dentro del polígono considerado como regadío. En este caso, el término genérico “regadío”, hace referencia a una clase primordial de uso de suelo que es diferente, a la superficie realmente regada en un territorio, que en un análisis cuantitativo llevan a cifras sustancialmente distintas (Montesinos *et al.*, 2007).

Aún así, el descenso de regadío constatado en el presente estudio respecto a 1989, viene a confirmar que los usos actuales del suelo están cambiando, forzados por la explotación intensiva del agua subterránea de los acuíferos desde 1957 a 2007 principalmente (Peinado y Plaza, 2010) y agravado por la presencia de extracciones ilegales (Férrandez, 2010).

Así, en 1989 cultivos como el maíz y la remolacha eran sembrados en torno al río y otros, como la alfalfa y el algodón, puestos en regadío. Mientras que en la actualidad, aunque los cultivos de secano continúan puestos en regadío, se está comenzando a

cultivar por ejemplo, almendros y pistachos como alternativa frente a la falta de recursos hídricos.

No obstante, debe destacarse que las imágenes clasificadas pertenecen al mes de mayo, época en la que el viñedo en espaldera, uno de los principales problemas en la actualidad, aún no está desarrollado. Según Fernández (2010), la Cuenca Alta del Guadiana, desde 2004 a 2008, la viña se ha duplicado mientras que los cultivos hortícolas y cereales se mantienen estables, lo que podría explicar nuestros resultados.

Por último, la clasificación multitemporal ha permitido también demostrar como a lo largo de 20 años, las cuatro lagunas estudiadas han sufrido una disminución de su superficie encharcada, debido al vaciado insostenible de los acuíferos de la Mancha, que afecta sobre todo al flujo procedente de la Sierra de Altomira en este caso concreto, siendo invadidas sus cubetas y vegetación natural, por diferentes tipos de cultivos

De este modo, se comprueba que los principales problemas a los que se enfrentan estas lagunas en la actualidad son: la sobreexplotación de los acuíferos y la regulación del flujo de agua, coincidiendo así con lo expresado por Cirujano en 2001: “Son bastantes las zonas húmedas que han desaparecido en los últimos años en Castilla-La Mancha. Los motivos que han llevado a estas extinciones son diversos, aunque en la mayoría de los casos están relacionados con el descenso de las aguas freáticas que las alimentaban y con los drenajes realizados para poner en cultivo sus cubetas”.

La novedad en las técnicas de teledetección y el escaso estudio en estas cuatro lagunas, hace difícil su comparación con otros trabajos publicados, debido a la información tan dispar obtenida y a la gran variabilidad espacio-temporal de los humedales. De esta forma, se deja un camino abierto a nuevos estudios que amplíen la información obtenida hasta ahora.

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

7.1. Estudio de la contaminación hídrica

1. La aplicación de la teledetección al estudio de los humedales, ha permitido detectar la presencia de contaminación y eutrofización de sus aguas, revelando como más idóneas las imágenes de satélite del periodo estival.
2. Las imágenes en falso color y color natural resultan muy útiles para diferenciar la vegetación acuática de la vegetación higrohalófito natural. En el caso de lagunas muy salinas, es necesario conocer el perfil espectral y la verdad terreno, al confundirse en algunos casos los sectores eutrofizados con acumulaciones de materia orgánica.
3. El estudio del índice NDVI, muy empleado en estudios forestales y agrícolas, ha mostrado una gran utilidad en el medio acuático (aguas someras), si bien la presencia de agua disturba en ocasiones la interpretación de los resultados. Aún así, ha hecho posible detectar la presencia de algas, y diferenciarlas de la vegetación natural. En los casos donde resulta difícil, el valor del NDVI permite distinguir a cual de las dos causas responden los tonos blancos, ya que la vegetación de ribera tiene valores más altos que las algas, al interferir en la respuesta espectral de éstas el valor del agua.
4. La comparación de los perfiles espaciales en la banda 3 y 4, permite corroborar tanto la presencia como la localización en el vaso lagunar de algas, vegetación natural, sales y materia orgánica.
5. El estudio multitemporal de las imágenes junto a los análisis de agua realizados, ha hecho posible conocer la evolución de calidad de las aguas en los humedales estudiados, pudiéndolos clasificar como eutrofizados o no eutrofizados en la actualidad.
6. De los siete humedales estudiados, tres de ellos (Laguna del Camino de Villafranca, Laguna de la Veguilla y Laguna de Manjavacas) siguen presentando aguas eutrofizadas en la actualidad, dos muestran una gran mejora tras la puesta en marcha de las depuradoras (Laguna de Pedro Muñoz y Laguna Larga de

Villacañas) y otras dos no se hallan contaminadas (Laguna de las Yeguas y Laguna Grande de Villafranca).

7.2. Cambios en la cubeta, lámina de agua y entorno de los humedales.

7. La cartografía de los perímetros de máxima inundación y orla de vegetación natural de las lagunas, en las imágenes en falso color y NDVI, han permitido detectar los cambios que han sufrido a lo largo de veinte años.
8. Las imágenes SPOT junto a las imágenes Landsat de filtro de paso alto, hacen posible conocer las alteraciones morfológicas más importantes del entorno más próximo de cada laguna, así como la regulación del flujo de sus aguas. No obstante la toma de fotografías y las visitas *in situ* son necesarias.
9. La clasificación de las imágenes, ha permitido estimar y comparar la superficie de regadío existente hace veinte años y en la actualidad en el área de influencia definida para los humedales estudiados, siendo fundamental las visitas de campo para comprobar la verdad terreno.
10. La clasificación de las imágenes, muestra la evolución de la lámina de agua de los humedales, y si ésta ha sido invadida por otros tipos de usos de suelo.
11. De los cuatro humedales estudiados, la Laguna del Huevero es la que presenta mayor probabilidad de restauración y recuperación, seguida de la Laguna de la Navazuela. Por el contrario, la Laguna Grande de Pedroñeras y la del Charco del Soldado parecen presentar escasas posibilidades de restauración.

El estudio multitemporal de un mayor número de imágenes en distintas épocas del año, así como la toma repetida de análisis de agua, permitiría conocer con mayor profundidad el estado de los humedales, pronosticar su futura viabilidad o recuperación y servir de herramienta a los gestores de estos espacios naturales.

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMet), [en línea]. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en: <<http://www.aemet.es/es/portada>>. [Consulta: 4 de septiembre 2011].
- Araujo, R. (2010). Los invertebrados acuáticos de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. En Pérez, M., Aramburu, M.J, González, J.L (editores). *Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro* (62-67), JCCM.
- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C. & Patten, D. (2006). Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 26, pp. 465-474.
- Bea, M., Montesinos, S., Morugán, C. & Moraleda, S. (2010). Análisis comparativo de las superficies regadas en los acuíferos del Campo de Montiel y La Mancha Occidental en el periodo 2004-2008. *Revista de Teledetección*, 34, pp. 22-28.
- Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B. & Trettin, C. (2006). The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26, pp. 889–916.
- Cabello, J. & Paruelo, J.M. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17 (3), pp. 1-3.
- Camps, C. (2011). “Laguna de Manjavacas”, [en línea]. Disponible en: <<http://www.mota-del-cuervo.com/estudiolaguna.asp>>. [Consulta: 4 septiembre 2011].
- Canepuccia, A.D., Isacch, J.P., Gagliardini, D.A., Escalante, A.H. & Iribarne, O.O. (2007). Waterbird response to changes in habitat area and diversity generated by rainfall in a SW Atlantic coastal lagoon. *Waterbirds*, 30, pp. 541–553.
- Centro de Descargas. Centro Nacional de Información Geográfica, [en línea]. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. Disponible en: <<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>>. [Consulta: 4 de septiembre 2011].
- Chuvieco, E. (2002): Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ed Ariel. Barcelona.

- Cirujano, S. (2001). Flora y Vegetación acuáticas de las Lagunas de La Mancha Húmeda. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Diputación Provincial de Toledo. Toledo.
- Cirujano, S.; Medina, L. (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha-CSIC.
- Cirujano (2010). Plantas acuáticas de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. En Pérez, M., Aramburu, M.J, González, J.L (editores). *Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro* (52-61), JCCM.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). (2001). Informe sobre la evolución hidrogeológica de la UH 04.04 (Mancha Occidental) durante el año 2000.
- Consultores en Biología de la Conservación (2011). Directrices estratégicas para la gestión de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. JCCM
- De Roeck, Els R., Verhoest, N.E.C., Miya, M.H., Lievens, H., Batelaan, O., Thomas, A. & Brendonck, L. (2008). Remote Sensing and Wetland Ecology: a South African Case Study. *Sensors* 8, pp. 3542-3556.
- Fabregat, V. (1999). Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección. En: Ballester, A., Fernández, J.A., López, J.A (ed). *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*, pp. 89-104.
- Fernández, A. (2010). La definición del problema del agua en La Mancha Húmeda. En Pérez, M., Aramburu, M.J, González, J.L (editores). *Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro* (114-126), JCCM.
- JCCM (2006). Ficha Informativa de la laguna de Manjavacas (Cuenca). Humedales de Importancia Internacional. Convenio de Ramsar.
- García, M.P. & Pérez, M.E. (1999). Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). *Revista de Teledetección*, 11, pp. 13-22.
- García, M.P., Pérez, M.E. & Sanz, J.J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). *Estudios Geográficos*, LXVII, 260, Enero-Junio, pp. 57-78.
- Global Landcover Facility, [en línea]. University of Meryland. Disponible en: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/>>. [Consulta: 4 de septiembre 2011].

- Lagos, N.A., Paolini, P., Jaramillo, E., Lovengreen, C., Duarte, C. & Contreras, H. (2008). Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the Rio Cruces wetland, Chile. *Wetlands*, 28, pp. 938–950.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). (2008). Estudio de las características medioambientales - hidrológicas de las lagunas y humedales pertenecientes a la zona húmeda manchega. (Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo).
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), [en línea]. Disponible en: <http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-humedales/los-humedales/lista_ramsar_esp.aspx>. [Consulta: 4 de septiembre 2011].
- Montesinos, S., Bea, M. & Fernández, L. (2007). Estimación de la superficie en regadío mediante técnicas de teledetección: conceptos y su aplicación operativa. Jornadas sobre las Aguas subterráneas en España ante las Directivas europeas: retos y perspectivas. Santiago de Compostela. España.
- Pardo, L. (1948). Catálogo de los Lagos de España. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias. Ministerio de Agricultura. 522 pp.
- Peck, D., Matthews, G.V.T. & Tiéga, A. (2011). Valores líquidos de Ramsar – 40 años de la Convención sobre los Humedales. Suiza. Secretaría de la Convención de Ramsar. 32 pp.
- Peinado, M. (1994). Funcionamiento y variabilidad de los geosistemas de los humedales manchegos. Director: Juan José Sanz Donaire. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Peinado, M. (1996). The endorreic complex of La Mancha's Lagoons, Spain. En Morillo, C., González, J.L. (editores). Management of Mediterranean Wetlands. II. Case Studies 1. Proyecto MedWet. Unión Europea. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, pp. 129-139.

- Peinado, M. & Plaza, J. (2010). La Reserva de la Biosfera y La Mancha Húmeda: Geografía, Territorio y Paisaje. En Pérez, M., Aramburu, M.J, González, J.L (editores). *Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro* (43-51), JCCM.
- Pérez, B. & Zavala, G. (2011). Informe de sostenibilidad ambiental. Vol I. Ayuntamiento de Mota del Cuervo.
- Pérez, M.E. (1995). Los humedales de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela: estudio de ciertas funciones relevantes en Geografía física. Director: Juan José Sanz Donaire. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Pérez, M.E., Sánchez, E., García, M.P. & Sanz, J.J. (2000). Análisis mediante imágenes de la salinización en la laguna Larga de Villacañas (Toledo). *Lecturas Geográficas, Homenaje a José Estebáñez Álvarez*, Ed. Complutense, Vol. II, pp. 1655-1666.
- Pérez, M.E. & García, M.P. (2001). Comparación de imágenes TM y ETM para analizar los cambios en la gestión del agua y el uso del suelo en La Mancha Húmeda (Provincias de Toledo y Ciudad Real). *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, pp. 326-329.
- Pérez, M.E. & García, M.P. (2004). Análisis de la contaminación hídrica en humedales de ambiente semiárido aplicando teledetección (La Mancha, 1992-2001). *Estudios Geográficos*, LXV, 254, pp.101-119.
- Pérez, M.E. & García, P. (2006). Aplicaciones de la teledetección en hidrología. *Observatorio Medioambiental*, 9, pp. 171-186.
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas. Ed. Omega, Barcelona.
- Sacristan, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 24, pp. 13-41.
- Sánchez, A., García, M.P. & Pérez, ME. (1999). Cambios paisajísticos en la llanura de inundación del río Cigüela. Teledetección. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete. España. Pp.41-43.
- Sanz, J.J., Díaz, M.D. & Sánchez, A. (1994). La Mancha: Transformaciones forzadas de los humedales. *Boletín de la A.G.E*, 18, pp. 39-61.

- Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP). (1990). Estudio mediante teledetección de los efectos derivados de la puesta en marcha del Plan de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de la Tablas de Daimiel. Informe 07/09.
- Shanmugam, P., Yu-Hwan, A. & Shanmugam, S. (2006). A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modelling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India. *Ecol. Model*, 194, pp. 379-394.
- Soriano, J., Fernández, F., García, E., Allende, F. & García, M. A. (1996). Utilización conjunta de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la detección de superficies de agua en la cuenca del Guadiana. *Ingeniería Civil*, 104, pp. 5-11.
- Steven, D. & Toner, M.M. (2004). Vegetation of upper coastal plain depression wetlands: environmental templates and wetland dynamics within a landscape framework. *Wetlands*, 24, pp. 23–42.
- The Ramsar Convention on Wetlands, [en línea]. Ramsar. Disponible en: <http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-texts-convention-on/main/ramsar/1-31-38%5E20671_4000_2>. [Consulta: 4 de septiembre 2011].
- Vázquez, M., Antón, C., Moreno, M.T., Luque, J.A. & Martín, M. (2002). Gestión ambiental de las aguas subterráneas: Impacto de la sequía en los acuíferos vinculados a espacios naturales protegidos de Andalucía. *XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia*. Zaragoza.
- Vega, L. (2006). “La Teledetección aplicada al Inventario de Humedales”, [en línea]. *Mapping interactivo*. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Disponible en: <http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1194>. [Consulta: 4 septiembre 2011].
- Vela, A., Mejuto, M. F., Castaño, S. & Calera, A. (1999). Efectos causados por los regadíos en la disponibilidad de recursos hídricos para el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. *Revista de Teledetección*, 12, pp. 33-37.

- Velasco, T. (2010). La avifauna acuática en los humedales de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: Situación actual, problemática y perspectiva de futuro. En Pérez, M., Aramburu, M.J, González, J.L. (editores). *Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro* (68-79), JCCM.

ANEXOS

ANEXO I: Modelo General de Ficha de Campo

Nombre humedal:	Nº código:
Provincia:	Huso:
Termino municipal:	x:
Régimen hídrico:	y:
Grupo:	Altura sobre nivel del mar:
Superficie*:	
Origen*:	

Características generales del agua:

pH:
Oxígeno disuelto:
Salinidad:
Conductividad:
Cantidad total de sólidos disueltos:
Salinidad:
Temperatura:

Análisis químico del agua:

Nitratos:	Amonio:
Nitritos:	Fosfatos:

Fauna:	Vegetación:
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

Régimen de propiedad de la cubeta:

Público %

Privado %

Amenazas sobre el humedal:

- Invasión de cultivos
- Canales de drenajes, zanjas y diques
- Caminos rurales y carreteras
- Residuos sólidos urbanos
- Alteración de la orla húmeda
- Alteración de los márgenes

Régimen de protección:

Observaciones:

*: Campo a rellenar en trabajo de gabinete.

**APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES
EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA**

Anexo II: Inventario de Humedales de la RBMH

PROVINCIA	TERMINO MUNICIPAL	NOMBRE HUMEDAL	COORDENADA X	COORDENADA Y
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna de Cerro Mesado	476514	4353356
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna de la Veguilla	479206	4360982
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna de las Yeguas	475768	4363402
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna de los Carros	477569	4369195
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna de Pajares	482445	4367506
Ciudad Real	Alcazar de San Juan	Laguna del Camino de Villafranca	478138	4362854
Ciudad Real	Alcázar de San Juan	Junta de los ríos	474419	4.351.917
Ciudad Real	Alcázar de San Juan	Laguna de Carnicero	488169	4347766
Ciudad Real	Alcázar de San Juan	Pozo de la Cambronería	475185	4354227
Ciudad Real	Alcázar de San Juan	Tablillas del Záncara	473619	4350905
Ciudad Real	Campo de Criptana	Laguna de Salicor	485097	4368831
Ciudad Real	Campo de Criptana	Tablas del Záncara	504869	4355893
Ciudad Real	El Toboso	Laguna de la Nava o Charcón de los Ardales	501607	4370553
Ciudad Real	El Toboso	Laguna de Navamedel	503300	4373200
Ciudad Real	El Toboso	Toboso I	500773	4373601
Ciudad Real	El Toboso	Toboso II	499799	4373791
Ciudad Real	La Hijosa (Socuéllamos)	La Hijosa	514000	4351700
Ciudad Real	Las Mesas/Pedro Muñoz	Pantano de los Muleteros	514895	4356363
Ciudad Real	Las Mesas/Pedro Muñoz	Vega del Záncara	514429	4356722
Ciudad Real	Pedro Muñoz	Charca la Veguilla	504000	4363500
Ciudad Real	Pedro Muñoz	Laguna de Alcahozo de Pedro Muñoz	510656	4360408

PROVINCIA	TERMINO MUNICIPAL	NOMBRE HUMEDAL	COORDENADA X	COORDENADA Y
Ciudad Real	Pedro Muñoz	Laguna de Navalafuente	506265	4364319
Ciudad Real	Pedro Muñoz	Laguna del Pueblo (Vega)	504687	4362645
Ciudad Real	Pedro Muñoz	Laguna del Retamar	502525	4364153
Ciudad Real	Socuéllamos	La Hoyuela	520125	4348318
Ciudad Real	Villarta de San Juan	Tabla de Villarta	462210	4344093
Cuenca	El Pedernoso	Laguna de la Celadilla del Pedernoso	520757	4367129
Cuenca	El Pedernoso	Laguna Pozo de la Muela	522734	4367657
Cuenca	El Pedernoso	Navajo Blanco	522750	4373650
Cuenca	El Pedernoso/Las Mesas	Laguna de la Navazuela	521921	4365469
Cuenca	El Pedernoso	Laguna Norte de la Navazuela	522413	4365894
Cuenca	El Pedernoso/Las Mesas	Laguna del Charco del Soldado	520304	4365327
Cuenca	Las Mesas	Laguna de Hoya Honda	522519	4357926
Cuenca	Las Mesas/Las Pedroñeras	Laguna de Taray de las Ánimas/ Taray Chico	524487	4362229
Cuenca	Las Pedroñeras	Laguna de la Hoya	528278	4363557
Cuenca	Las Pedroñeras	Laguna de Navablanca	524369	4363419
Cuenca	Las Pedroñeras	Laguna del Huevero	523498	4365405
Cuenca	Las Pedroñeras	Laguna del Pozo Pablico	530969	4362522
Cuenca	Las Pedroñeras	Laguna Grande	523919	4364200
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de Alcahozo de Mota del Cuervo	512376	4359430
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de la Dehesilla	513828	4363819
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de la Marrancha	513172	4361938
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de Manjavacas	511539	4363131
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de Melgarejo	514861	4360899
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de Navalengua	513896	4358896
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna de Sanchez Gómez	513937	4365147
Cuenca	Mota del Cuervo	Laguna Sur de la Dehesilla	513795	4363142
Cuenca	Mota del Cuervo	Molino del Llano/Laguna Panduro	516648	4363162

PROVINCIA	TERMINO MUNICIPAL	NOMBRE HUMEDAL	COORDENADA X	COORDENADA Y
Cuenca	Mota del Cuervo	Vado de manjavacas	516768	4361642
Cuenca	Santa María de los Llanos	Laguna de las vacas	517051	4364867
Cuenca	Santa María de los Llanos	Laguna del Cornicán	518600	4365800
Toledo	El Toboso	Laguna del Pozo de la Puerta	500793	4373945
Toledo	El Toboso	Laguna Norte del Toboso	500750	4376000
Toledo	La Puebla de Almoradiel	Laguna de la Paloma/Palomares	485631	4376631
Toledo	La Villa de Don Fadrique	Laguna de Navarredonda I	479430	4388670
Toledo	La Villa de Don Fadrique	Laguna del Salobral	481464	4386042
Toledo	Lillo	Laguna de Cueva Larga	471315	4390273
Toledo	Lillo	Laguna de la Albardiosa	474993	4390369
Toledo	Lillo	Laguna del Altillo Chica (Cerillo)	474068	4394936
Toledo	Lillo	Laguna del Altillo Grande	474311	4393879
Toledo	Lillo	Laguna del Longar (Laguna de Lillo)	472379	4395014
Toledo	Miguel Esteban	Laguna Chica de Miguel Esteban	493000	4375600
Toledo	Miguel Esteban	Laguna Grande de Miguel Esteban/Los Charcones	495500	4374500
Toledo	Miguel Esteban	Laguna Mermejuela/Laguna de Miguel Esteban	488264	4376834
Toledo	Quero	Humedal del Salobrar de Quero	480070	4373500
Toledo	Quero	La Laguna Grande/Laguna de Quero	478292	4372604
Toledo	Quero	Laguna de los Santos	474953	4373474
Toledo	Quero	Laguna de Vado Ancho	474800	4370225
Toledo	Quero	Laguna del Taray	472767	4376103
Toledo	Quero	Mesegares 1 (El Masegar)	472963	4374675
Toledo	Quero	Mesegares 2	472701	4374436
Toledo	Quero	Molino del Abogado	471928	4371984
Toledo	Quero	Tabla y Vega de Mazón	474426	4376275
Toledo	Villacañas	La Hoya I	474164	4383671
Toledo	Villacañas	La Hoya II	474292	4383396

PROVINCIA	TERMINO MUNICIPAL	NOMBRE HUMEDAL	COORDENADA X	COORDENADA Y
Toledo	Villacañas	Laguna Castillejo	464815	4381712
Toledo	Villacañas	Laguna de las Hoyas	473219	4381989
Toledo	Villacañas	Laguna Chica de Villacañas/ Laguna del Prado Villac.	472631	4385478
Toledo	Villacañas	Laguna de Peña Hueca/Piedra Hueca	470951	4374251
Toledo	Villacañas	Laguna de Tírez	469356	4376692
Toledo	Villacañas	Laguna del Camino de San Marcos	479097	4382041
Toledo	Villacañas	Laguna Espartosa	464348	4384432
Toledo	Villacañas	Laguna La Redondilla/ Laguna de los Santos	472865	4385232
Toledo	Villacañas	Laguna Larga	472828	4384035
Toledo	Villafranca de los Caballeros	Humedal de la Casa de la Dehesilla	471599	4369686
Toledo	Villafranca de los Caballeros	Laguna Chica	471521	4368612
Toledo	Villafranca de los Caballeros	Laguna de la Sal	471517	4365495
Toledo	Villafranca de los Caballeros	Laguna Grande	471098	4367179
Toledo/Ciudad Real	Villafranca/ Quero	Humedal de Presarrubias y Pastrana	473600	4368858