

# La Laguna de Gallocanta

Medio natural, conservación y teledetección

M<sup>a</sup> Auxiliadora Casterad Seral  
Carmen Castañeda del Álamo (Eds.)

MEMORIAS DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL  
Segunda época, Tomo VII, año 2009



ISSN: 1132-0869  
ISBN: 978-84-936677-4-0



## MEMORIAS DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL

Las Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural constituyen una publicación no periódica que recogerá estudios monográficos o de síntesis sobre cualquier materia de las Ciencias Naturales. Continuará, por tanto, la tradición inaugurada en 1903 con la primera serie del mismo título y que dejó de publicarse en 1935.

La Junta Directiva analizará las propuestas presentadas para nuevos volúmenes o propondrá tema y responsable de la edición de cada nuevo tomo.

Cada número tendrá título propio, bajo el encabezado general de Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, y se numerará correlativamente a partir del número 1, indicando a continuación 2ª época.

Fotografías de portada:

Foto superior: Vista aérea de la laguna tomada el 2 de junio de 2009.

Autor: Joshua Boxell.

Foto inferior: Grullas en los campos que rodean la laguna el 2 de febrero de 2004.

Autor: Carmen Castañeda.

Correspondencia:

Real Sociedad Española de Historia Natural

Facultades de Biología y Geología.

Universidad Complutense de Madrid.

28040 Madrid

e-mail: [rsehno@bio.ucm.es](mailto:rsehno@bio.ucm.es)

Página Web: [www.historianatural.org](http://www.historianatural.org)

© Real Sociedad Española de Historia Natural

ISSN: 1132-0869

ISBN: 978-84-936677-4-0

DL: XXXXXXXXXX

Fecha de publicación: 4 de septiembre de 2009

Composición: Alfredo Baratas Díaz

Imprime: Gráficas Varona, S.A. Polígono "El Montalvo", parcela 49. 37008 Salamanca





MEMORIAS DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL

Segunda época, Tomo VII, año 2009

# La Laguna de Gallocanta

Medio natural, conservación y teledetección

M<sup>a</sup> Auxiliadora Casterad Seral  
Carmen Castañeda del Álamo (Eds.)

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL  
Facultades de Biología y Geología  
Universidad Complutense de Madrid  
28040 - Madrid

2009

ISSN: 1132-0869  
ISBN: 978-84-936677-4-0



## Prólogo

La Laguna de Gallocanta es el mayor lago salado de Europa occidental y uno de los ecosistemas más importantes de la Península Ibérica. Su singularidad biológica, geológica e hidrológica hace que sea un entorno particular con ecosistemas y hábitats irrepetibles que merecen ser conservados. Todo ello ha llevado a calificarla como *Lugar de Importancia Comunitaria*, a incluirla como *Zona Especial de Conservación* en la red ecológica europea (Red Natura 2000) y a declararla *Reserva Natural Dirigida* dentro del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN).

Su riqueza faunística, botánica y paisajística no deja indiferente a quienes se acercan a visitar este entorno, habiendo sido estudiada por especialistas y científicos. Este libro reúne los conocimientos que de esta reserva natural poseen varios expertos en diferentes materias, con el objeto de dar a conocer este lugar tan especial, mostrar su situación actual y subrayar la necesidad de su conservación. Además, y dado que la idea del libro surge con motivo de la visita a la laguna dentro de las actividades del XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, se incluyen algunas aplicaciones de las imágenes de satélite al estudio de este medio natural con la intención de mostrar y acercar la teledetección al lector.

El libro consta de siete contribuciones agrupadas en tres partes. La primera de ellas, constituida por un capítulo, relata la historia de la laguna repasando la evolución desde que la Laguna de Gallocanta era simplemente una laguna hasta el actual reconocimiento internacional como espacio natural protegido, además de detallar las labores de gestión y medidas de protección llevadas a cabo desde la administración. La segunda parte, a través de cuatro capítulos, presenta y caracteriza este medio natural y su estado actual de conservación, repasando aspectos relacionados con la avifauna, comunidades vegetales, geología y geomorfología e hidrología. Por último, la tercera parte, muestra mediante dos capítulos algunas de las posibilidades que la teledetección brinda en el estudio y seguimiento de humedales, concretamente su aplicación en la delimitación de la laguna, su variabilidad hídrica y la caracterización microclimática.

He de agradecer a la Real Sociedad Española de Historia Natural la inclusión de este libro en sus Memorias; a los autores que aceptaran la invitación a participar, reconociendo su esfuerzo y contribución, y finalmente a los evaluadores externos su contribución a la calidad del contenido del libro. El Instituto Nacional de Investigación Tecnología Agraria y Alimentaria, en el marco del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (AC2009-00014-00-00) con la cofinanciación de recursos FEDER, y el Ministerio de Ciencia e Innovación (CGL2008-03392-E/CLI) han contribuido en la financiación de la publicación.

Ojalá que el libro, además de mostrar la belleza y singularidad de la Laguna de Gallocanta, sirva para hacernos reflexionar sobre la riqueza de nuestro patrimonio natural y la necesidad de su conservación.

M<sup>a</sup> Auxiliadora Casterad Seral

Zaragoza, julio de 2009

**Afiliación de las editoras:**

Unidad de Suelos y Riegos (asociada al CSIC).

Centro de Investigación y Tecnología

Agroalimentaria de Aragón, (CITA), Gobierno de Aragón.

Avda. Montañana, 930; 50059 Zaragoza, España.

e-mail: [acasterad@aragon.es](mailto:acasterad@aragon.es); [ccastanneda@aragon.es](mailto:ccastanneda@aragon.es)



# Índice

## INTRODUCCIÓN

- Historia, evolución y gestión de la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta, por BELÉN LERÁNOZ ISTÚRIZ Y JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ CANO 5

## EL MEDIO NATURAL Y SU CONSERVACIÓN

- Avifauna de la Laguna de Gallocanta, por LUIS ALBERTO LONGARES ALADRÉN 29
- Bases ecológicas para la conservación y restauración de la vegetación de las orillas de la Laguna de Gallocanta, por FRANCISCO A. COMÍN SEBASTIÁN Y RICARDO SORANDO IZQUIERDO 47
- Geología y Geomorfología de la Laguna de Gallocanta, por FRANCISCO JAVIER GRACIA PRIETO 59
- Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta e implicaciones ambientales, por MIGUEL ÁNGEL GARCÍA VERA, JAVIER SAN ROMÁN SALDAÑA, ÓSCAR BLASCO HERGUEDAS Y PABLO COLOMA LÓPEZ 77

## APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN

- Teledetección de cambios en la Laguna de Gallocanta, por CARMEN CASTAÑEDA DEL ÁLAMO Y JUAN HERRERO ISERN 103
- Características hídricas y microclimáticas de la Laguna de Gallocanta, por M<sup>a</sup> EUGENIA, PÉREZ GONZÁLEZ, M<sup>a</sup> PILAR GARCÍA RODRÍGUEZ Y JUAN JOSÉ SANZ DONAIRE 127



# Historia, evolución y gestión de la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta

## History, evolution and management of the Reserva Natural Dirigida of Gallocanta Lake, Spain

**Belén Leránóz Istúriz y José Manuel González Cano**

*Servicio Provincial del Departamento de Medio Ambiente de Teruel.*

*Gobierno de Aragón.*

*San Francisco 27, 44001 Teruel.*

*bleranoz@aragon.es; jmgonzalez@aragon.es*

**PALABRAS CLAVE: Espacio natural, humedal, gestión, conservación, protección.**

**KEY WORDS: Natural reserve, wetland, management, conservation, protection.**

### RESUMEN

Desde que en 1971 la Administración comenzara a fijarse en la Laguna de Gallocanta, se han sucedido diferentes actuaciones para garantizar su protección. Ello ha propiciado el reconocimiento internacional de este humedal, uno de los más importantes de la Unión Europea. Este espacio natural cuenta con una oficina de desarrollo socioeconómico, un centro de interpretación, una amplia red de pistas y senderos, y diferentes tipos de observatorios de aves; todo ello realza sus atractivos. Este capítulo recoge la historia de la laguna, repasa las principales gestiones y actuaciones sobre este espacio, y expone su situación actual.

### ABSTRACT

1971 was a milestone year due to the increased interest of Spanish Governments in Gallocanta Lake. Ever since, several actions have been undertaken to ensure environmental protection, leading to wide international recognition of this saline wetland, one of the most important within the European Union. This natural area features a socio-economic development office, a network of small roads and paths, and several kinds of bird observatories. These facilities, plus the protection measures, enhance the appeal to visitors, tourists and scientists. This chapter summarizes the history of the lake, reviews the main management measures, and explains the present status of this natural area.

## 1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

### 1.1. Cuando la Laguna de Gallocanta era “*simplemente*” una laguna

Hasta mediados del siglo pasado, esta laguna de hasta 7,7 km de largo y 2,8 km de ancho, con una profundidad máxima de 2,55 m, era prácticamente desconocida por sus valores naturales y sólo atraía la atención por su potencial cinegético.

Se trata de una laguna de agua salada y carácter temporal que ocupa el fondo de una gran cuenca endorreica producto de un proceso de corrosión kárstica que se produjo durante el Terciario reciente. Es el lago natural más grande de la Península Ibérica (Figura 1) y tiene un elevado contenido en sales debido a que las aguas que le llegan por el subsuelo atraviesan sustratos salinos y a la intensa evaporación en su superficie. La cuenca abarca una extensión de 536 km<sup>2</sup>, mientras que las dimensiones de la superficie de agua en laguna oscilan entre unas 1400 ha en años húmedos, hasta la total desecación. Hasta los años 70 era posible atravesarla en barca, pero la progresiva colmatación y la sucesión de años secos han hecho que topónimos como el del embarcadero sean difícilmente comprensibles para los más jóvenes.

La Laguna de Gallocanta forma parte de un sistema lagunar de tipo endorreico-estepario instalado a una cota de unos 1000 m, donde las fluctuaciones en el nivel del agua determinan la composición y dinamismo de las poblaciones de organismos que viven en ella. En sus prados salinos podemos encontrar especies vegetales tan singulares como *Puccinellia pungens*, *Lythrum flexuosum*, *Plantago maritima*, *Microcnemum coralloides* y *Glaux maritimum*.

En cuanto a la fauna cabe recalcar el número y gran diversidad de aves que se encuentran en la laguna y su entorno. Se han citado más de 220 especies, de las que 100 nidifican de modo regular. Pero quizá esta laguna es más conocida porque constituye un paso obligado en la migración de muchas especies, entre ellas la grulla (*Grus grus*), habiéndose censado en algún momento más de 60 000 aves. Otro grupo de aves significativas presentes en la laguna son las esteparias, entre las que se debe destacar la avutarda (*Otis tarda*), especie en peligro de extinción.

Los valores y peculiaridades naturales y científicas de esta laguna han sido objeto de estudios desde hace tiempo, y han atraído la atención de investigadores y especialistas, tales como el geólogo Eduardo Hernández-Pacheco y Pedro Aranegui en 1926, y el geógrafo Dantín Cerceda en 1941. A comienzos de los años 60 algunos miembros de la Sociedad Española de Ornitología (SEO) del grupo de Zaragoza, como el veterano Adolfo Aragüés, empezaron el estudio de sus aves y los primeros anillamientos. Desde el primer momento fueron conscientes de la importancia de este enclave y se encargaron de dar a conocer la Laguna de Gallocanta en el ámbito nacional e internacional. Así, cuando en 1962 el *International Wildlife Research Bureau* catalogó las zonas húmedas de Europa y África para crear la Red Euroafricana de Reservas de Aves Acuáticas, se incluyó Gallocanta en el apartado B de “prioridad conveniente”, basándose en un estudio encargado por España al profesor Bernis, catedrático de zoología y uno de los fundadores de la SEO.



Figura 1. Vistas aéreas de la Laguna de Gallocanta desde el NO (arriba) y desde el SE (abajo) tomadas en octubre de 2008.  
- Aerial photographs of Gallocanta Lake from NW (above) and SE (below) taken in October 2008.

La población local, por su parte, poco consciente de la joya natural que poseían, presenciaba con extrañeza y hasta simpatía cómo un grupo de jóvenes se entusiasmaba y pasaba largas horas expuesto al frío para observar esas aves que para ellos no eran sino un elemento más del paisaje.

### *1.2. Los primeros intentos de protección*

A partir de la creación del ICONA (Instituto de Conservación de la Naturaleza) en 1971, la Administración empezó a poner su atención en este lugar. Así, en el año 1972, coincidiendo con los años de mayor nivel de agua y número de aves acuáticas, este Instituto junto con el Ministerio de Agricultura, aprueba la constitución de una Zona de Caza Controlada contemplada para regular las cacerías de aves acuáticas, que suponían el abatimiento del 1% de las aves que recalaban en la laguna.

Pero la conciencia conservacionista era en aquellos años cosa de unos pocos, mientras que muchos otros consideraban los humedales terrenos improductivos y una fuente de problemas para la salud. Desde este punto de vista era un gran desperdicio que esa gran extensión de terreno llana no pudiera ser cultivada. Por ello, a finales de los años 70 surge un proyecto de desecación de la Laguna de Gallocanta, promovida por autoridades de la Diputación General de Aragón con competencias en agricultura de acuerdo con algunos de los ayuntamientos de la cuenca. La idea no era nueva pues desde finales del siglo XVIII se habían producido varios intentos. Por aquella época, incluso se editó una pegatina que rezaba “El pato o el Hombre”, pues los lugareños empezaban ya a ver con reticencia los intentos de la Administración para proteger ese espacio.

Surgió entonces un importante colectivo conservacionista en defensa de la Laguna y en este contexto se organizaron en Daroca, en 1978, unas jornadas científico-culturales a las que fue invitado Félix Rodríguez de la Fuente, famoso personaje mediático de entonces. Félix, que hasta entonces no conocía personalmente la Laguna, quedó gratamente sorprendido y su personalidad y argumentos en su defensa fueron un gran apoyo para que finalmente se desestimara la destrucción de este ecosistema.

La Ley de caza de 1970 establecía que cuando por razones biológicas, científicas y educativas fuera preciso asegurar la conservación de determinadas especies de la fauna podrían declararse los entonces llamados Refugios Nacionales de Caza, en los que el aprovechamiento cinegético no estaba permitido. Al amparo de esta Ley, la Laguna de Gallocanta fue declarada Refugio Nacional de Caza (Decreto 42/1985, de 2 de mayo, de la Diputación General de Aragón). Con ello la Comunidad Autónoma de Aragón contribuyó al cumplimiento de los compromisos contraídos por el Estado Español mediante la firma y ratificación de convenios internacionales de protección de la fauna silvestre y sus hábitats, encaminados a la defensa de las poblaciones de determinadas especies migratorias y otras indígenas amenazadas de extinción. Esta figura implicaba la prohibición permanente de ejercicio de la caza, si bien podía ser autorizada con carácter excepcional si existían razones de orden biológico, técnico o

científico que así lo aconsejaran.

Dos años más tarde, en aplicación de lo dispuesto en la Directiva del Consejo 79/409/CEE, de 2 de abril, relativa a la conservación de aves silvestres, se acordó incluir este Refugio Nacional de Caza en la red de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA's). De este modo y de acuerdo con la Directiva 92/42/CEE, relativa a la conservación de hábitats naturales y flora y fauna silvestre, la ZEPA de Gallocanta se incluye en la Red Natura 2000. Esta ZEPA se amplió por el noreste en el año 2001 hasta los límites actuales.

Posteriormente, en 1988, se propuso incluir la Laguna de Gallocanta en la lista de Lugares de Importancia Comunitaria de la Región Biogeográfica Mediterránea. Dicha lista, aprobada por la Decisión de la Comisión de 19/VII/2006, conformará la red de Zonas de Especial Conservación de la denominada Red Natura 2000.

Además, en la clasificación de las Zonas Húmedas que establece el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, Gallocanta aparece en el apartado de “en función de las poblaciones de aves que albergan” como de importancia internacional y en el de “en función de su riqueza biológica” como de importancia europea.

### *1.3. Reconocimiento internacional*

Pero el verdadero reconocimiento internacional no llegó hasta 1994, cuando a propuesta de la Diputación General de Aragón y por Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de marzo de 1994, la Laguna de Gallocanta fue reconocida como uno de los humedales más importantes de la Unión Europea al incluirse el territorio del Refugio Nacional de Caza de la Laguna de Gallocanta en la lista de Humedales de Importancia Internacional creada en la Convención sobre los Humedales celebrada en 1971 en Ramsar (Irán), que tiene en cuenta criterios ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos e hidrológicos.

De los criterios establecidos por las partes contratantes del Convenio de Ramsar, la Laguna de Gallocanta cumplía los siguientes:

- Ser un tipo específico de zona húmeda raro e inusual en su zona biogeográfica, pues se trata de la mayor laguna endorreica de agua salada en buen estado de conservación de la zona mediterránea del Paleártico occidental.
- Soportar un número apreciable de individuos de más de una especie de plantas y animales raros, vulnerables o amenazados, como por ejemplo grulla, avutarda, *Puccinellia pungens* o *Lythrum flexuosum*.
- Presentar endemismos de gran valor de comunidades vegetales halófilas, zooplacton y fitoplacton.
- Soportar regularmente más de 20 000 aves acuáticas en el periodo invernal.
- Soportar regularmente números elevados de individuos de grupos, en

particular de aves anátidas.

- Soportar el 1% de los individuos de la población de una especie o subespecie de aves acuáticas, en concreto para el ánade friso, pato colorado, porrón común y focha común, y en el ámbito nacional de ánade silbón, ánade real, cerceta común, pato cuchara y porrón moñudo.

Desde mitades de los años 90 y casi hasta la actualidad se han sucedido años muy secos, lo cual ha incidido negativamente en el número de aves acuáticas y grullas (Figura 2) que han recalado y nidificado en la laguna. A partir del otoño del año 2007 la laguna ha contado con períodos de inundación más largos y parece que se están empezando a recuperar los censos habituales de aves.

#### *1.4. Recta final hasta la situación actual*

Ley 12/1992, de 10 de diciembre, de Caza de Aragón, parcialmente modificada por la Ley 10/1994, de 31 de octubre (actualmente derogadas por la Ley 5/2002, de 4 de abril, de Caza en Aragón) obliga a la reclasificación del Refugio Nacional de Caza en Refugio de Fauna Silvestre de la Laguna de Gallocanta, mediante el Decreto 69/1995 de 4 de abril de la Diputación General de Aragón. Los Refugios de Fauna Silvestre son terrenos cinegéticos sometidos a régimen especial que deben cumplir las siguientes finalidades y condiciones:

1. Preservar las especies de vertebrados, especialmente las incluidas en los catálogos de especies amenazadas.
2. Preservar las especies y comunidades de interés científico o cinegético.
3. Crear espacios de alta calidad ambiental para el conocimiento y estudio de la fauna silvestre.
4. Prohibir el ejercicio de la caza de manera permanente, excepto con autorización por razones de orden técnico.

Paralelamente, la necesidad de dotar a este territorio de una figura de protección de mayor rango se hacía cada vez más patente. La transformación de los usos agrícolas tradicionales en otros más agresivos, el aumento de las detracciones del agua subterránea, muchas veces de forma incontrolada, y el aumento en general de la presión antrópica sobre este ecosistema tan sensible, hacía urgente una ordenación de los usos del territorio para establecer la mejor manera de preservar los valores naturales del humedal sin dejar de lado el desarrollo socioeconómico de la zona, pero de una manera sostenible. Por ello y de acuerdo con el artículo 24-b de la Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales Protegidos y de la Flora y Fauna Silvestres, en 1994 se propone la elaboración del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) para este territorio. Y así en 1995, en virtud del Decreto 67/1995 de 4 de abril de la Diputación General de Aragón, se inicia el procedimiento de aprobación de un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales. El ámbito de aplicación fue la superficie incluida en la Zona de Especial Protección para las Aves de la Laguna de Gallocanta (6720 ha, antes de la ampliación de 2001), y afectaba





Figura 2. Bando de grullas entrando en la laguna al atardecer.  
- Flock of cranes going in the lake at dusk.

a los municipios de Gallocanta, Berrueco, Santed y Las Cuerlas en la provincia de Zaragoza, y Tornos y Bello en la provincia de Teruel.

Mediante este Decreto se creó también el Consejo de la Laguna de Gallocanta, un órgano de carácter consultivo y de participación adscrito al Departamento de Medio Ambiente, y la figura de Director Técnico de la ZEPA de la Laguna de Gallocanta, para coordinar y supervisar las actividades que se desarrollasen en el ámbito territorial de la ZEPA.

Por aquel entonces la población local veía a la Laguna de Gallocanta y todo lo que ésta conllevaba como un impedimento para el desarrollo y un perjuicio por los daños que la fauna asociada a ella pudiera ocasionar (Figura 3). Las negociaciones fueron duras y se prolongaron en el tiempo más de lo deseable, quedando paralizadas en varias ocasiones por no llegarse al consenso político y social. Finalmente, en el Consejo de la Laguna reunido el 26 de octubre de 2005, dio el visto bueno al texto del PORN y por el Decreto 42/2006, de 7 de febrero, del Gobierno de Aragón, se aprueba definitivamente el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Laguna de Gallocanta.

En el PORN se propone la creación de un Espacio Natural Protegido, en concreto una Reserva Natural Dirigida con el nombre de Reserva Natural de la Laguna de Gallocanta (Figura 4). Las Reservas Naturales Dirigidas, según la Ley



Figura 3. Grullas alimentándose en los sembrados de la Zona Periférica de Protección.  
- Cranes feeding on the sown fields in the protected peripheral area.

6/1998 de Espacios Naturales Protegidos de Aragón, son aquellas Reservas cuya declaración tiene por objeto la conservación de hábitats singulares, especies concretas o procesos ecológicos naturales de interés especial. Su gestión está encaminada a la preservación y restauración, así como a la ordenación de los usos considerados compatibles. Pueden autorizarse actividades científicas, educativas, de uso público y de aprovechamiento de los recursos naturales tradicionales, siempre que estén integradas en los objetivos de conservación.

Finalmente, el día 13 de diciembre de 2006 se publica en el B.O.A. la Ley 11/2006, de 30 de noviembre, por la que se declara la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta. Esta Reserva (Figura 5) cuenta con una superficie de 1924 ha y 4553 ha de Zona Periférica de Protección (Tabla 1).



Figura 4. Cartel de entrada a la Reserva.  
- Sign at the Reserve entrance.

Tabla 1. Distribución por términos municipales de la superficie protegida.  
- Distribution of the protected area by municipalities.

Provincia	Comarca	Municipio	Superficie de RND (ha)	Superficie de ZPP (ha)
Zaragoza	Campo de Daroca	Gallocanta	618	1352
		Las Cuerlas	200	907
		Berrueco	451	659
		Santed	-	165
Teruel	Jiloca	Tornos	252	442
		Bello	403	1028
			Total	Total
			1924	4553

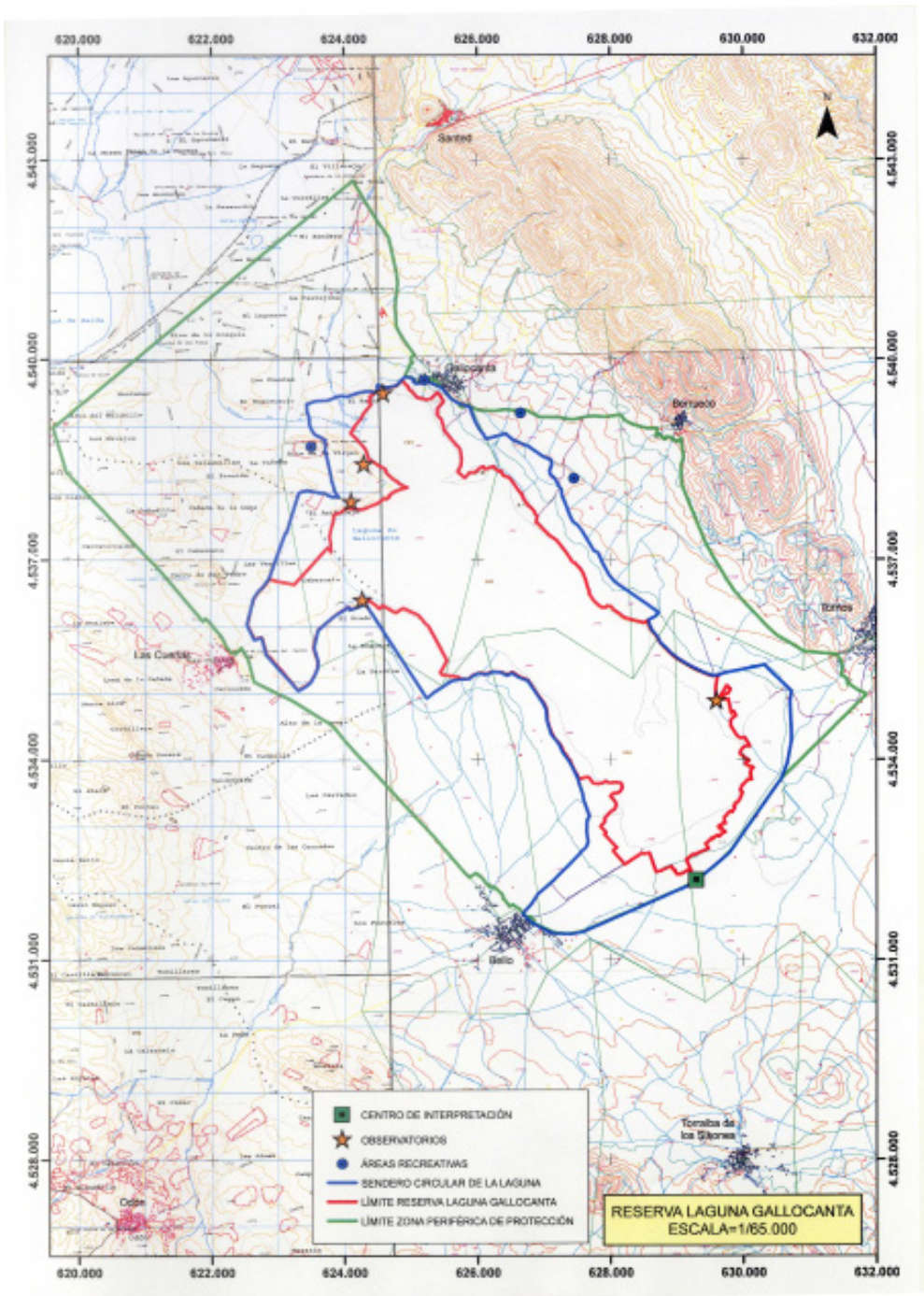


Figura 5. Mapa topográfico de la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta con las principales infraestructuras de uso público.  
 - Topographic map of the Reserva Natural Dirigida of Gallocanta Lake showing the main public use structures.

La declaración tiene la finalidad de establecer un régimen jurídico para la protección y gestión de la Reserva Natural Dirigida y su Zona Periférica de Protección, así como salvaguardar sus valores naturales, su fauna, su flora, sus paisajes, sus formaciones geomorfológicas, conservar y potenciar sus ecosistemas y garantizar el uso racional de sus recursos naturales, promoviendo asimismo el desarrollo socioeconómico de su área de influencia y el esparcimiento y disfrute público. Se asumen además los compromisos internacionales en materia de conservación pues debido a su riqueza biológica, especialmente la ornítica, la Laguna constituye un lugar estratégico para el cumplimiento de las obligaciones contraídas por el Estado Español al ratificar tres Convenios Internacionales: el Convenio sobre la Conservación de Especies Migratorias Animales Silvestres (Bonn, 23 de junio de 1979, ratificado el 22 de enero de 1985), el Convenio relativo a la Conservación de la Vida Silvestre y del Medio Natural en Europa (Berna, 19 de septiembre de 1979, ratificado el 13 de mayo de 1986) y el Convenio sobre Diversidad Biológica (Río de Janeiro, 5 de junio de 1992, ratificado el 16 de noviembre de 1993).

## 2. GESTIÓN

### *2.1. Estructura y organización*

La administración y gestión de los Espacios Naturales Protegidos (ENP) en Aragón es competencia del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón a través de sus Servicios Provinciales.

Todos los ENP tienen un Director y cuando mediante la Ley 11/2006 se crea la Reserva de la Laguna de Gallocanta, la dirección de este Espacio Natural Protegido recae en el Director del Servicio Provincial de Medio Ambiente de Teruel. La Laguna de Gallocanta no siempre ha sido dirigida desde esta provincia, pues ocupa terrenos tanto de la provincia de Teruel como de la de Zaragoza y al principio todo lo relativo a este humedal se gestionaba desde Zaragoza. A finales del año 1993, a partir de la creación del Departamento de Medio Ambiente, se inicia una gestión compartida entre las dos provincias, y con la creación de la figura de Director Técnico de la ZEPA por el decreto de inicio de aprobación del PORN en 1995, la dirección de la Laguna de Gallocanta recae sobre técnicos de la provincia de Teruel.

El Director y su equipo gestor, directamente o a través de la empresa pública del Departamento de Medio Ambiente SODEMASA, se ocupan fundamentalmente de la gestión y coordinación de actuaciones relativas a las infraestructuras del Espacio, mantenimiento, uso público, educación ambiental, patrimonio natural y conservación, así como de la vigilancia y del funcionamiento administrativo.

La confección de informes y autorizaciones es competencia del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA), creado mediante Ley en el año 2003, excepto cuando se trata de actuaciones promovidas directamente por el Departamento de Medio Ambiente. En tal caso, las competencias recaen en la Dirección General

promotora, pero existen otras excepciones con legislación particular donde los Directores de los Servicios Provinciales tienen la competencia para autorizar. Así ocurre, por ejemplo, en casos excepcionales de uso del fuego.

Además del órgano gestor, un ENP cuenta con un órgano rector, en este caso el Patronato de la Laguna de Gallocanta. Se trata de un órgano consultivo donde participan todos los sectores de la sociedad relacionados con la Laguna, pero no tiene capacidad gestora. También pueden existir órganos colaboradores, como es el caso del Comité Científico Asesor, que puede emitir dictámenes a petición del Patronato o de los Directores de los Servicios Provinciales de Medio Ambiente de Teruel y Zaragoza.

Por último, en la Laguna de Gallocanta existe la figura de Gerente de Desarrollo Socioeconómico, creada por la Ley 12/2004 para el fomento del desarrollo socioeconómico del Espacio Natural Protegido y su Zona Periférica de Protección. Los gerentes, al no ser funcionarios del Gobierno de Aragón, no tienen competencias administrativas ni capacidad de gestión más allá de la que les sea encomendada por el Departamento de Medio Ambiente. En la actualidad los gerentes son trabajadores contratados por la empresa SODEMASA. Para el funcionamiento de sus oficinas y la ejecución de sus proyectos y actuaciones se aplica una encomienda de gestión del Departamento de Medio Ambiente, que la aprueba y dota económicamente.

## 2.2. *Vigilancia*

Los Agentes de Protección de la Naturaleza (APN) son los funcionarios públicos encargados de la vigilar y de sancionar las infracciones cometidas dentro de un ENP. La Reserva de la Laguna de Gallocanta no cuenta con una guardería propia. Los APN con parte de su demarcación dentro del ENP son los responsables de estas labores. En la actualidad hay 2 APN con demarcación en la Laguna en la provincia de Zaragoza y 1 en la de Teruel. Como estos agentes tienen muchos más cometidos aparte de la vigilancia de la Laguna, su labor de control de la Reserva no siempre es posible, por lo que desde el año 1994 se contratan 3 vigilantes que cubren la vigilancia todos los días del año. Esto supone una cantidad importante del presupuesto anual de la Laguna dedicado a contratar a estos trabajadores vecinos de la zona. Tienen función de vigilancia para detectar cualquier incidencia dentro de los límites de la Laguna y su Zona Periférica de Protección, y también de información a los visitantes de los valores de la Laguna y de la normativa a la que está sometida. En caso de conflicto o de infracción, los vigilantes contactan con los APN, pues ellos no son agentes de la autoridad.

## 2.3. *Conservación y seguimientos ecológicos*

El fin principal para el que se declara un Espacio Natural Protegido, sobre todo en el caso de las Reservas, es conservar sus valores naturales, y esto debe estar muy presente en la gestión. Los censos de aves (Tabla 2) constituyen una de las principales herramientas para conocer el estado de “salud” de la Reserva. Estos censos los realiza el Departamento de Medio Ambiente con trabajadores de SODEMASA y con la colaboración de los Agentes de Protección de la Naturaleza.

Tabla 2. Censos en la Laguna de Gallocanta.  
- Census in the Gallocanta Lake.

<b>Tipo de censo</b>	<b>nº censos / año</b>	<b>Periodicidad</b>
Grullas invernantes y de paso	17	Semanal / quincenal (15 octubre -15 marzo)
Aves acuáticas en humedales RAMSAR	12	Mensual
Aves acuáticas nidificantes	3	Mensual (invierno)
Aves acuáticas invernantes	1	Anual (enero)
Avutarda (Coordinado)	12	Mensual
Leks de Avutarda	6	Semanal (marzo-abril)
Concentraciones postreproductivas Avutarda	8	Semanal (junio y octubre)

Las grullas se censan semanalmente durante la época postnupcial, en la que estas aves emigran hacia el sur desde sus lugares de cría en el norte europeo (de mitad de octubre a principios de diciembre); cada quince días desde mitad de diciembre hasta final de enero, para saber cuántas grullas se quedan a invernar en la Laguna, y de nuevo semanalmente en el periodo prenupcial (principios de febrero a mediados de marzo), cuando regresan al norte de Europa a criar. Los días de censo se hace un primer recuento por la mañana, para ver cuántas aves han pasado la noche en Gallocanta y se observa cuántos bandos abandonan la Laguna y siguen su camino. También se visitan los lugares de alimentación, que no siempre se limitan a los alrededores de la Laguna y demás humedales de la cuenca de Gallocanta, sino que se extienden hacia los campos del Jiloca cuando coincide con la época de siembra en esa zona. Al atardecer se recuentan las grullas que entran a los dormideros y al final se hace el balance.

La primera constatación de invernada de grullas en la Laguna de Gallocanta data de 1975, con un recuento de un grupo de tan sólo 7 aves. En los años siguientes la alta disponibilidad de alimento y de áreas adecuadas para dormidero y la desaparición de zonas alternativas en otras partes de la Península Ibérica hicieron que la cifra de grullas que recalcan en esta Laguna en sus pasos migratorios fuera incrementando exponencialmente hasta alcanzar concentraciones diarias superiores a las 60 000 aves en el otoño de 1989, lo cual representa más de un 80% de la población occidental de esta especie. Una sucesión de años bastante secos hizo disminuir esta cifra temporalmente y en los últimos años se manejan cifras punta en torno a las 45 000. Una peculiaridad de la temporada 2008-2009 ha sido el gran número de grullas que han pasado el invierno en Gallocanta, más de 20 000 (Figura 6) cuando las cifras de otros años no alcanzan ni las 10 000.

Esporádicamente, y no en exclusiva para el territorio de la laguna, se realizan censos de otras aves, como por ejemplo el aguilucho cenizo, y también de diversos mamíferos. Además de dedicar anualmente un dinero para los censos, el

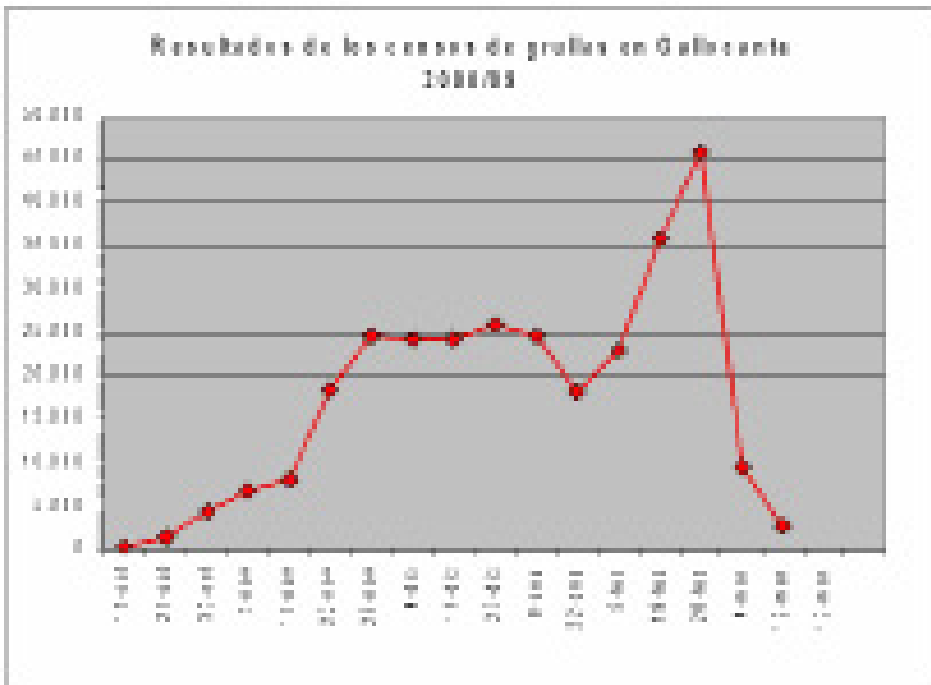


Figura 6. Censos de grulla de la temporada 2008-2009 (Fuente: SODEMASA).  
- Crane census in the 2008-2009 season.

Departamento de Medio Ambiente encarga periódicamente estudios de diversa índole a científicos especializados. Asimismo se lleva a cabo el anillamiento de aves que es una herramienta muy útil para obtener datos sobre las rutas migratorias y reconocer áreas de cría, invernada o descanso de distintas especies, para el conocimiento de la longevidad y supervivencia y de las principales causas de mortalidad.

También de algunas especies vegetales muy valiosas, como *Puccinellia pungens* y *Lythrum flexuosum* (Figura 7), o algunas orquídeas, se hace un seguimiento periódico y los APN y vigilantes revisan regularmente todo el territorio para detectar cualquier afección sobre la fauna o la flora.

Otra de las actuaciones en materia de conservación de la naturaleza que se ha llevado a cabo en el área de influencia de la Laguna de Gallocanta es la adquisición de terrenos con el fin de incrementar la superficie dedicada a ecosistemas naturales. Además, otros organismos, como la Sociedad Española de Ornitología (SEO), o la gerencia a través de su encomienda de gestión o con convenios con entidades bancarias, universidades, etc, llevan a cabo valiosos trabajos y estudios de distintos aspectos naturales.





Figura 7. *Puccinellia pungens* (arriba) y *Lythrum flexuosum* (abajo).  
- *Puccinellia pungens* (above) and *Lythrum flexuosum* (below).

## 2.4. Uso público

Otro de pilares sobre los que se debe basar la gestión de un ENP es todo lo relativo al uso público, puesto que a estos lugares acude gran cantidad de visitantes y es también un marco para la educación ambiental y concienciación de la población.

### 2.4.1. El Centro de Interpretación de la Laguna de Gallocanta

El lugar ideal para que aquél que lo desee se informe sobre las características más notables y otros datos de interés sobre la Laguna de Gallocanta y su biocenosis, así como sobre la normativa que afecta a este ENP y sobre la mejor manera de visitarla, es el Centro de Interpretación de la Laguna de Gallocanta, del Gobierno de Aragón (Figura 8). Se puso en marcha a finales de 1993 en una antigua casilla de peones camineros situada en el kilómetro 18 de la carretera A-1507 entre Tornos y Bello. Se construyó gracias al convenio suscrito entre la Diputación General de Aragón y la C.E.E. para el mantenimiento de biotopos amenazados, en aplicación del Reglamento nº 2242/87 del Consejo relativo a Acciones Comunitarias para el Medio Ambiente (ACMA). En él se contemplaban una serie de acciones concretas en La Laguna de Gallocanta, subvencionadas en parte con fondos europeos, entre las que estaba la de disponer de un centro de información e interpretación, pues ya entonces esta zona recibía un notable número de visitantes. En aquel primer año se atendieron más de 2000 personas, y este número ha ido aumentando hasta cifras cercanas a los 12 000 en los últimos años, que comprende tanto escolares como el resto de visitantes.



Figura 8. Centro de Interpretación de la Laguna de Gallocanta.  
- Gallocanta Lake Interpretation Center.

Este Centro se encuentra abierto al público en horario de 10 h a 14 h y 15 h a 18 h en otoño – invierno, fines de semana y festivos y en febrero y noviembre todos los días. En primavera – verano el horario es de 10 h a 14 h y 16 h a 20 h en fines de semana y festivos. Cuenta con dos plantas con contenidos interpretativos y material expositivo, y con una sala de audiovisuales y un mostrador de atención al público visitante, siendo accesible a sillas de ruedas únicamente la planta inferior. Recientemente se ha habilitado un mirador-observatorio en la planta superior. Desde el Centro de Interpretación se ofrecen visitas guiadas gratuitas durante la época de grullas. También pueden ser concertadas visitas de grupos de escolares o de otro tipo de grupos previa reserva en el propio Centro (teléfono 978 734031) o en SODEMASA (teléfono 976 405120), que es la empresa contratada para la gestión de los centros de interpretación.

Existen en la zona también otros centros de información y museos no dependientes del Departamento de Medio Ambiente que ofrecen una valiosa información al visitante, como la Oficina de Turismo de Gallocanta, el Punto de información turística de Tornos, el Centro de exposición sobre la avutarda en Las Cuerlas, el Museo de las aves y el Centro de Interpretación en construcción en Gallocanta, el Centro de interpretación arqueológica en Berruoco, el Museo agrícola en Tornos o el Aula-exposición de artesanía y oficios tradicionales en Santed.

#### 2.4.2. Pistas y senderos

Dentro de la Reserva Natural de la Laguna de Gallocanta y de su Zona Periférica de Protección existen numerosas pistas y caminos agrícolas, algunos de los cuales se encuentran señalizados como de acceso restringido para el público en general, por razones de conservación.

El Departamento de Medio Ambiente ha señalizado un itinerario de libre acceso que rodea la laguna, con un recorrido de unos 27 km. Este recorrido se inicia a unos 800 m del Centro de Interpretación en dirección a Tornos y finaliza en el propio Centro. Desde él se accede a los cinco observatorios del espacio, así como a la Ermita de la Virgen del Buen Acuerdo. Casi toda la pista tiene el firme de tierra, a excepción de un pequeño tramo que coincide con la carretera Z-V-4241 en las inmediaciones de Gallocanta y el último tramo desde Bello hasta el Centro de Interpretación, que discurre por la A-1507. Se han ido reparando algunos tramos de los caminos, pero la topografía y las condiciones de humedad provocan encharcamientos en algunos puntos, por lo que en determinadas épocas es aconsejable acceder sólo con vehículos todo terreno. En cualquier caso, el acondicionamiento de la pista que traza el itinerario circular de la laguna (Figura 9) es una de las líneas en las que se piensa seguir trabajando.

Como este recorrido es bastante largo y está pensado sobre todo para hacerse en vehículo, desde el Centro de Interpretación se proponen a los visitantes algunos senderos alternativos a pie, coincidentes en gran parte con tramos del itinerario circular. Además, algunos tramos de senderos señalizados por la Federación Aragonesa de Montañismo (GR y PR) pasan por la Reserva o su Zona Periférica de



Figura 9. Inicio de la pista para vehículos que sigue el itinerario circular de la laguna.  
 - Start of vehicle path that curves around the lake.

Protección. También la Asociación de Guías de la Laguna de Gallocanta diseñó tres itinerarios, en parte coincidentes con los anteriores, y distintas publicaciones sobre la Laguna proponen recorridos que tampoco difieren demasiado en su recorrido por el ENP, por las limitaciones de acceso que este Espacio tiene, ya que el paso en la mayoría de caminos sólo está permitido a los propietarios de fincas y personal autorizado.

#### 2.4.3. Áreas recreativas y aparcamientos

No existen áreas recreativas dentro de la Reserva, pero hay algunas situadas en su Zona Periférica de Protección, o próximas a ésta. Dentro de la Zona Periférica la más visitada es la situada en la Ermita del Buen Acuerdo, en Gallocanta, aunque sus barbacoas no están cubiertas y sólo se pueden utilizar fuera del periodo de peligro de incendios o en las romerías con la autorización y las medidas preventivas correspondientes. También en Gallocanta hay una pequeña área recreativa, la de la Fuente Sancho, al lado de la carretera. Existe otra zona recreativa en el término municipal de Berrueco, la de la Fuente de los Haces, pero la más importante por sus dimensiones y dotaciones, aunque quede fuera del ámbito del Espacio, es el área recreativa de la Serna, situada a la salida de Tornos en dirección a Castejón de Tornos. Cabe destacar también la zona de barbacoas junto a las piscinas de Gallocanta, con fogones que cumplen la normativa de incendios.

Dentro del ENP y su ZPP no existe actualmente regulación de aparcamiento, por lo que los vehículos pueden estacionar en principio en cualquier zona de libre acceso. De momento la única zona de aparcamiento habilitada como tal por el Departamento de Medio Ambiente es la del Centro de Interpretación, pero está en proyecto construir infraestructuras de este tipo en la Ermita del Buen Acuerdo de Gallocanta, en las proximidades del yacimiento arqueológico de El Castellar de Berrueco y cerca de las torres de observación de aves de Las Cuerlas y de Tornos.

#### 2.4.4. Observatorios de aves, hides y miradores

Uno de los principales atractivos de este Espacio Natural Protegido son las aves y para poder observarlas el Departamento de Medio Ambiente ha instalado diversos tipos de observatorios. También se pueden utilizar los *hides* o escondites con un permiso especial y unas condiciones establecidas, o simplemente acudir a parajes cuya situación topográfica favorece la observación.

Existen dos torres de observación de madera, una situada en La Reguera de Las Cuerlas y otra en El Cañizar de Tornos (Figura 10). El resto de observatorios son construcciones de hormigón o piedra a pie de terreno, todos ellos en el término municipal de Gallocanta. El de Los Aguanares (Figura 11) se sitúa a las orillas de la Laguna y se accede a él a través de un pasillo de tamarices. El de Los Ojos (Figura 12) también se sitúa bastante próximo a la laguna, mientras que el de La Ermita de



Figura 10. Torre de observación de El Cañizar.  
- El Cañizar observatory tower.

Gallocanta tiene una posición topográfica más elevada. Recientemente, dentro del edificio del Centro de Interpretación se ha habilitado un mirador-observatorio, al que se puede acceder también desde el exterior.

Los *hides* (Figura 13) son estructuras móviles de tela o madera de tamaño reducido, diseñadas para la observación intensiva de aves, fotografía o investigación. Los que existen en la Laguna de Gallocanta son de madera y en principio ocupan una posición fija, aunque se pueden intercambiar a conveniencia. El Departamento de Medio Ambiente ha encomendado su gestión a la Gerencia de Desarrollo Socioeconómico, la cual recibe las solicitudes y asigna los *hides* (teléfono 978 734078). Ahora mismo se cuenta con siete *hides*, cuatro situados en Bello (tres en las proximidades del Centro de Interpretación de la Laguna de Gallocanta y otro en La Pardina), uno en Las Cuerlas, uno en el Poyo de Tornos y otro en Gallocanta, cerca del Centro de Interpretación actualmente en construcción. Los más solicitados para la observación y fotografía de grullas son los de Bello, mientras que el del Poyo se utiliza más para la observación de aves acuáticas.

Entendiendo como mirador un espacio que por su ubicación en un punto de interés paisajístico y de buen acceso, facilita la contemplación e interpretación de una vista panorámica o de elementos singulares del paisaje y de la naturaleza de manera sencilla, podemos identificar varias zonas. Dentro de la Zona Periférica de Protección, el lugar al que acuden más visitantes es la Ermita del Buen Acuerdo de Gallocanta, zona muy próxima al sector central de la Laguna que se encuentra elevada respecto a ésta y que ofrece una excelente panorámica de todo el humedal. También es un lugar ideal para la observación de la entrada de grullas. Ya fuera de este espacio, otra zona también privilegiada por su posición topográfica, desde el punto de vista paisajístico, es la del Castillo de Berrueco (Figura 14). Otras zonas donde se dan buenas condiciones para el avistamiento de grullas son Las Eras de Gallocanta, enfrente del albergue, los corrales del paraje La Mina en Tornos y el propio Centro de Interpretación.

## 2.5. Desarrollo socioeconómico

Por último, un ENP no debe dejar de lado en su gestión lo relacionado con el desarrollo socioeconómico de la zona donde se asienta. Por ello el Departamento de Medio Ambiente dispone de una serie de herramientas para favorecer la economía local.

### 2.5.1. Subvenciones a entidades locales, a personas físicas y a asociaciones sin ánimo de lucro

El Departamento de Medio Ambiente publica cada año sendas órdenes de convocatoria de ayudas para actuaciones a realizar en materia de conservación, mejora y calidad del medio ambiente en la Comunidad Autónoma de Aragón, que desarrollan los decretos 38/2006, de 7 de febrero, del Gobierno de Aragón, por el que se establecen las bases reguladoras para la concesión de subvenciones y transferencias con cargo al Fondo Local de Aragón y 228/2004, de 2 de noviembre, del Gobierno



Figura 11. Observatorio de Los Aguanares  
- El Cañizar observatory.



Figura 12. Observatorio de Los Ojos.  
- Los Ojos observatory.



Figura 13. Escondite para observar las aves.  
- Hiding spot for watching birds.



Figura 14. Mirador del Castillo de Berrueco.  
- Berrueco Castle lookout point.



de Aragón, por el que se regula la concesión de subvenciones para el desarrollo de programas, actividades o inversiones dirigidas a la conservación, mejora y calidad del medio ambiente en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Las entidades locales con terrenos incluidos en un ENP y los habitantes de los términos municipales donde están situados estos Espacios, además de poder solicitar subvenciones para proyectos en favor del medio ambiente, tienen el privilegio de poder recibir dinero para cuestiones relacionadas con el desarrollo socioeconómico. Los ayuntamientos tienen derecho a recibir una cantidad fija de euros en función de las hectáreas que posean dentro de un ENP y de su ZPP para la renovación y desarrollo de sus poblaciones, y los particulares pueden solicitar ayudas para apoyar sus actividades empresariales. Parte de estas subvenciones están financiadas con fondos europeos.

### 2.5.2. Ayudas Agroambientales

Las Ayudas Agroambientales, financiadas también en parte con capital europeo, son unas subvenciones a los agricultores para prácticas agrarias establecidas por los Departamentos de Agricultura y Alimentación y el de Medio Ambiente. Algunas medidas son aplicables a todo el territorio aragonés, pero existen también unas medidas específicas para favorecer a los propietarios de terrenos situados dentro de la Reserva.



Figura 15. Oficina de Desarrollo Socioeconómico de la Laguna de Gallocanta.  
- The Socioeconomic Development Office at Gallocanta Lake.

El Programa de Ayudas Agroambientales para Aragón para el periodo entre 2007 y 2013, comprende ayudas de tipo económico con objeto de fomentar determinadas actividades consideradas compatibles con el medio ambiente y contempla una serie de medidas específicas dirigidas a la creación de un paisaje en mosaico, y diversificación de cultivos para el área de Gallocanta.

### 2.5.3. Oficina de Desarrollo Socioeconómico de la Laguna de Gallocanta

Como ya se ha dicho, la Ley 12/2004 creó la figura de gerente de desarrollo socioeconómico y la Laguna de Gallocanta cuenta desde finales del año 2005 con una oficina de desarrollo socioeconómico en Bello. En esta oficina (Figura 15) se asesora a los ciudadanos sobre trámites administrativos de todo tipo, se organizan jornadas para fomentar el desarrollo socioeconómico y para divulgar y concienciar a la población sobre los valores de la Laguna, se realizan proyectos de diversa índole a través de la encomienda de gestión, etc.

# Avifauna de la Laguna de Gallocanta

## Birds of Gallocanta Lake

**Luis Alberto Longares Aladrén**

*Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Área de Geografía Física.*

*Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Zaragoza.*

*C/ Pedro Cerbuna s/n, 50009 Zaragoza.*

lalongar@unizar.es

**PALABRAS CLAVE: Aves acuáticas, aves esteparias, censos migratorios de aves, grullas.**

**KEY WORDS: Water birds, steppe birds, migrating bird census, crane.**

### RESUMEN

Las aves son uno de los principales atractivos de la Laguna de Gallocanta. Aunque la grulla común (*Grus grus*) es la más conocida, en este entorno puede observarse el 72% de las especies españolas. La privilegiada situación de la cuenca de Gallocanta y la variedad de sus ecosistemas propician la concentración de aves esteparias, acuáticas, limícolas y larolimícolas. La variabilidad anual e interanual de la avifauna está condicionada por las fluctuaciones de la laguna. Así, la mayor concentración de aves acuáticas se produce durante la época invernal cuando hay un buen nivel de inundación, llegándose en la temporada 1998-1999 a concentrarse 10 121 ejemplares de grullas invernantes y alcanzándose máximos de 60 000 ejemplares durante los pasos migratorios. Con frecuencia, en años con baja precipitación, la laguna se seca descendiendo sensiblemente las aves censadas y dominando entonces las menos exigentes en cuanto a condiciones de medio, como las anátidas. La tendencia decreciente de la lámina de agua desde los años 1990 ha supuesto una disminución drástica del número de aves acuáticas; la diversidad específica no se ha visto por el momento afectada.

### ABSTRACT

Birds are one of Gallocanta Lake's main attractions. The common crane is the best known, although 72% of Spain's bird species can be seen in this lake. The exceptional location of the Gallocanta basin and the variety of its ecosystems favour the concentration of steppe birds, water birds, shorebirds. The annual and interannual variability of birds depends on fluctuations in the lake. The main concentration of aquatic birds occurs in winter, when water levels are high. During the 1998-1999 period, 10 121 Common Crane specimens gathered at the lake, and as many as 60 000 stopped here while migrating. In years with low rains, the lake frequently dries resulting in a significant decrease in the number of birds. On such occasions, the least demanding birds in terms of environmental conditions predominate, like the Anatidae. The decreasing trend in lake water level since the 1990s has dramatically lowered the number of water birds. For the time being, the specific diversity has not been affected.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las primeras referencias de estudios ornítricos en la laguna aparecen a finales del siglo XVIII. En este periodo Mariano de Traggia, en un manuscrito fechado en 1789, cita por primera vez las especies que poblaban la laguna. Hasta la segunda mitad del siglo XX no se encuentran datos concretos sobre la Laguna de Gallocanta, producidos por un reducido grupo de ornitólogos aragoneses integrados en los equipos de censos de aves acuáticas y coordinados por la Sociedad Española de Ornitología (SEO). Fruto de sus trabajos van surgiendo publicaciones como las de ARAGÜÉS (1974, 1980), LUCIENTES (1977), AMAT *et al* (1987). Cabe destacar también el catálogo faunístico de la Laguna de Gallocanta y su cuenca, publicado en 1980 y elaborado por el Grupo de Ornitología Aragonés, donde se pone de manifiesto por primera vez la importancia de la laguna para las aves, así como la preocupación por su conservación. Un año más tarde, ARANTZADI & GUIRAL (1981) revisan la biocenosis de la laguna y su cuenca, estableciendo el primer catálogo de vertebrados e invertebrados de la laguna, especialmente acuáticos. Con posterioridad las Administraciones central y autonómica continúan haciendo los censos en la laguna, permitiendo conocer las fluctuaciones de las poblaciones de aves asociadas.

La conservación de la laguna en relación con las aves, aunque de forma tímida en sus comienzos y discutible en la actualidad, se inicia en 1972 gracias a la declaración de *Zona de Caza Controlada*, tras conocerse su importancia internacional para las aves acuáticas. Se sucede la incorporación a diferentes figuras y programas. Así, es Refugio Nacional de Caza en 1985 y se reconvierte en Refugio de Fauna Silvestre en 1995; se declara Zona de Especial Protección de las Aves (ZEPA) en 1987, en aplicación de la Directiva de Conservación de aves silvestres de la Comunidad Europea, permitiendo que en un futuro se convierta en Zona de Especial Conservación (ZEC), figura clave en la futura Red Natura 2000 europea. Sin embargo, el mayor logro para su conservación quizá haya sido su declaración como *Humedal de Importancia Internacional* bajo el amparo del Convenio Ramsar en 1994, junto con su actual declaración (2008) como *Reserva Natural Dirigida* y, especialmente, la aplicación desde 2006 del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales.

## 2. LA COMUNIDAD AVIAR

### 2.1. Introducción

De todo el complejo faunístico de la Laguna de Gallocanta, las aves constituyen el grupo al que mayor atención se ha prestado, por parte tanto de científicos como de aficionados y visitantes. El número de individuos y de especies explica que un importante número de personas dediquen tiempo a la observación y estudio de este grupo de vertebrados.

Esta riqueza aviar está relacionada con la variedad de ecosistemas existentes en la cuenca de la Laguna de Gallocanta: lámina de agua con diferente profundidad y composición (dulce o salobre) y pequeños humedales, prados húmedos (juncales,

carrizales, herbazales halófilos, prados halófilos), playas y orillas de la laguna, islotes, matorrales halófilos, matorrales y pastizales xerófilos, bosques de frondosas, cultivos, barbechos, etc. Este abigarrado mosaico de ambientes, favorece que hasta el momento se hayan inventariadas en la cuenca 300 especies de vertebrados, de las cuales, 260 son aves y 123 muestran en mayor o menor grado un estatus nidificante.

Las cifras, al compararlas en el contexto aragonés y nacional indican la riqueza ornítica de este espacio, siendo los valores observados reseñables respecto al total de España y de Aragón (Figura 1). Así, en la Laguna de Gallocanta se pueden observar un 72% de las especies cuya presencia se conoce en España y un 75% de las de Aragón, mientras que por otra parte, utilizan la cuenca como espacio de cría un total de 47,3% de las que se avistan en España durante ese mismo periodo y un 63,4% respecto a Aragón, siendo el porcentaje algo más bajo en el caso de las invernantes, al estar presentes en la laguna un 24,6% de las que lo hacen en España y un 53,3% de las de Aragón.

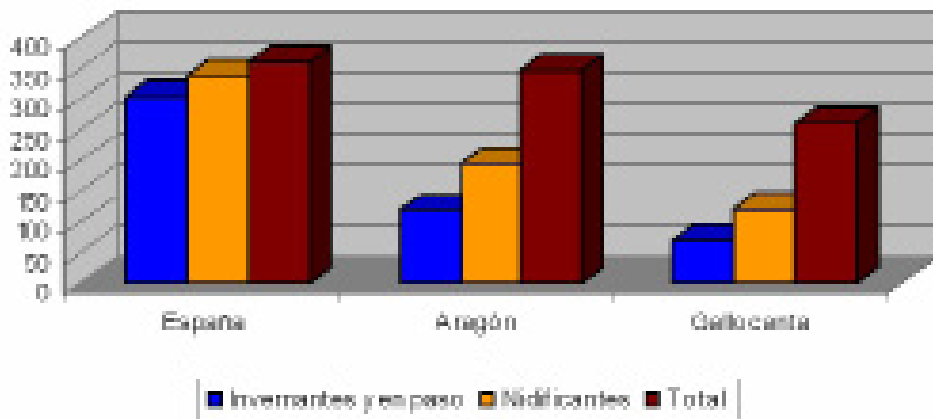


Figura 1. Distribución del número de especies de aves con presencia confirmada.  
- Distribution of the number of bird species with a confirmed presence.

Por ello, el grupo de las aves es el que mayor interés despierta durante la visita a la laguna, habida cuenta de las concentraciones que en ciertas épocas se suceden entre determinados colectivos de aves. Las más conocidas tienen como protagonista a la grulla común (*Grus grus*), aunque en décadas anteriores han sido más importantes y numerosas las del grupo de las acuáticas, seguidas de las limícolas y larolimícolas. Todos estos grupos están muy relacionados con el grado de inundación de la laguna y por tanto con los valores de precipitación y aprovechamiento del freático en el sistema lagunar. Hay además todo un cortejo de aves denominadas esteparias, de exigencias opuestas a las anteriores y cuya presencia está más relacionada con ecosistemas naturales y de alta fragilidad como prados salinos, parameras y pastizales y matorrales xerófilos, al mismo tiempo que una agricultura tradicional de alternancia de cultivo y barbecho.

## 2.2. *Aves acuáticas*

### 2.2.1. Acuáticas nidificantes

Bajo este apartado, se agrupan todas aquellas aves que de una u otra forma ocupan los diferentes medios ligados a la presencia de agua de la laguna; su riqueza y diversidad estará relacionada con el nivel de inundación. Se detallan por tanto, desde las estrictamente acuáticas, asociadas directamente a la masa de agua, hasta las que ocupan los márgenes litorales y prados salinos, pasando por todas aquellas que buscan islas o espacios inundados y colonizados por las formaciones propias de estos medios (carrizales, juncales).

Las más abundantes son las anátidas, pero su regularidad en cuanto al número de especies y de individuos reproductores es escasa. De todas ellas, el ánade azulón (*Anas platyrhynchos*) es la más frecuente (Figura 2) alcanzando máximos de 700 individuos, como en 2008, y mínimos en torno a los 200, respondiendo a los cambios del nivel de agua en la laguna. Dichos cambios afectan en mayor medida a otras especies, como al ánade friso (*Anas strepera*), pato colorado (*Netta rufina*) y Porrón Europeo (*Aythya ferina*). Estos dos últimos, buceadores, pasan de tener concentraciones de miles de ejemplares en 1973 a escasamente varias decenas en 2009, aunque uno de los cambios más acusados es de la focha común (*Fulica atra*), desde concentraciones de 1600 individuos a principios de la década de los 70 a tan sólo 190 en 2009. Otro grupo con números decrecientes como nidificante son somormujos y zampullines, de efectivos numerosos en periodos de alto nivel de inundación pero hoy de presencia testimonial.

Frente a estas, surgen otras como el tarro blanco (*Tadorna tadorna*) cuya población parece incrementarse a escala nacional en humedales de interior (SAMPIETRO, 2001) y que en la Laguna de Gallocanta pasa de estar ausente a contar con una treintena de ejemplares en el periodo 1973-2009, o la Gaviota Reidora (*Larus ridibundus*) que llega casi a duplicar en 2008 y 2009 el número de efectivos censados en 1973 (700). En la misma línea, la cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*) ha incrementado sus números, alcanzando cifras en 2008 próximas a los 1500 ejemplares y que junto con la avoceta (*Recurvirostra avosetta*), el chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*) y la pagaza piconegra (*Sterna nilotica*), forman colonias mixtas sobre los prados halófilos que se han mantenido aunque con más variabilidad en el tiempo.

Las aves de carrizal, son difíciles de observar y por tanto de censar. Así, aunque se conocen las especies que lo ocupan, no es posible establecer su evolución a lo largo de los periodos con censos. Por lógica, el descenso del nivel de la laguna durante periodos prolongados también afecta a estas comunidades de hidrófilos, reduciendo su extensión y por tanto la superficie susceptible de acoger a especies como el rascón europeo (*Rallus aquaticus*) o la callineta común (*Gallinula chloropus*), cuya presencia en muchas ocasiones se detecta a través de cantos y reclamos, al contrario que el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), que al prospectar en vuelo constante esta formación vegetal facilita su observación, contando la laguna con entre 4 y 7 ejemplares en los últimos años.



Figura 2. Ejemplar de ánade azulón en la parte superior izquierda de la foto y de gallineta común con dos crías en la inferior.

- Ánade azulón specimen, in the top left of the photograph. A gallineta común specimen with two chicks, at the bottom.

### 2.2.2. Acuáticas invernantes

Durante la época invernal, de noviembre a marzo y con el nivel de agua de la laguna alto, se producen las mayores concentraciones de aves en la Laguna de Gallocanta (Tabla 1), ocupando el espacio según sus necesidades tróficas un importante porcentaje de aves (Figura 3). Así los bandos de cerceta común (*Anas crecca*), cuchara común (*Anas clypeata*) y ánsar común (*Anser anser*) buscan las orillas con manantiales de agua dulce, mientras las zonas con mayor profundidad de agua las ocupan bandos de patos buceadores, entre ellos el Porrón Europeo y la Focha Común.

Junto a las anteriores, el listado de aves acuáticas presentes durante el invierno es amplio (Figura 3), incluyendo la totalidad de este tipo de aves que se pueden observar en el territorio peninsular. De esta forma, SAMPIETRO (2001) cita como habituales en la laguna tarro blanco, silbón europeo (*Anas penelope*), ánade friso, cerceta común, ánade azulón, cuchara común, ánade rabudo (*Anas acuta*), porrón europeo, porrón moñudo (*Aythya fuligula*), este último escaso. Además, el pato colorado, ha destacado por sus concentraciones (cerca de 39 000 ejemplares en 1992) pero en la actualidad resulta significativa su ausencia, sin haberse constatado su presencia desde 2003.

Tabla 1. Número de ejemplares observados en la Laguna de Gallocanta (SAMPIETRO, 2001) durante los periodos de máxima y mínima inundación invernal.  
- Number of specimens observed in Gallocanta Lake during periods of maximum and minimum winter flooding.

Especie	N° de ejemplares	
	Máxima inundación	Mínima inundación
Porrón Europeo	11000-80000	0
Pato Colorado	1500-35000	0
Focha Común	4000-40000	0
Ánade Azulón	1600-9000	400-1000
Cerceta Común	3000-12000	0-200
Silbón Europeo	1000-2500	<100
Ánade Friso	200-3800	0
Cuchara Común	1300-3500	<200
Ánade Rabudo	150-700	<100
Ánsar Común	200-250	50-200

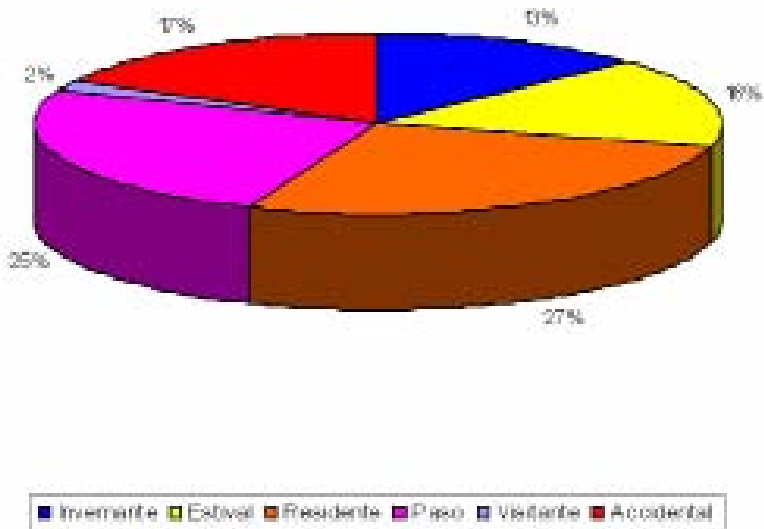


Figura 3. Distribución (en porcentaje) del estatus de las especies observadas en la Laguna de Gallocanta.

- Distribution (in percentage) of the status of observed species in Gallocanta Lake.



Por otra parte, el porcentaje de aves consideradas como raras en el interior de la Península y con un estatus accidental en la Laguna de Gallocanta es significativo (Figura 3). Esto se debe a que la laguna atrae a especies durante los fenómenos de “ola fría” que se suceden con mayor o menor intensidad en el centro y norte del continente europeo, desplazando a especies como cisne chico (*Cygnus columbianus*), ánsar careto (*Anser albifrons*), barnacla carinegra (*Branta bernicla*), barnacla cuellirroja (*Brantha ruficollis*) o porrón osculado (*Bucephala clangula*) hacia el centro peninsular. Del mismo modo, este porcentaje aumenta debido a especies propias del litoral que, empujadas por los temporales de fuerte viento en la costa peninsular, alcanzan el interior. Es el caso de tarro canelo (*Tadorna ferruginea*), cerceta aliazul (*Anas discors*), pato habelda (*Clangula hyemalis*), cerceta pardilla (*Marmoronetta anguistirostris*), ostrero euroasiático (*Haematopus ostralegus*), correlimos falcinelo (*Limicola falcinellus*), correlimos canelo (*Tryngites subruficollis*), zarapito fino (*Numenius tenuirostris*), archibebe patigualdo chico (*Tringa flavipes*), págalo grande (*Catharacta skua*) y gaviota cana (*Larus canus*) (SAMPINETRO, 2001).

### 2.3. Aves del entorno estepario

Los hábitats esteparios y su comunidad ornítica son quizás los que despiertan mayor interés en los científicos, ornitólogos y turistas aficionados a las aves en nuestro país. La rareza, singularidad y dificultad de observación son algunas de las razones por las cuales todos los años estos medios atraen a un importante número de personas, que en muchos casos visitan la Laguna de Gallocanta en busca de algunas de las aves ausentes fuera de nuestro territorio nacional.

Por el tamaño de sus poblaciones, el grupo de los alaúcidos resulta el más significativo, en especial durante el invierno en el que bandos mixtos de calandria (*Melanocorypha calandra*) y alondra común (*Alauda arvensis*) destacan por su número sobre los campos de cultivo, barbechos y rastros, mientras que en la primavera, sus incesantes y sonoros cantos serán la banda sonora que nos acompañe sobre el terreno y a la que se unen terrera común (*Calandrella brachydactyla*) y cogujada común (*Galerida cristata*). Mientras, en las parameras circundantes, ocupadas por pastizales y matorrales xerófilos, son también frecuentes bisbita campestre (*Anthus campestris*), collalba rubia (*Oenanthe hispanica*), cogujada montesina (*Galerida theklae*), curruca tomillera (*Sylvia conspicillata*) y la escasa alondra de Dupont (*Chersophilus duponti*), situada en un sector importante de la distribución peninsular de la especie y con un elevado porcentaje de presencia en la Laguna de Gallocanta (Figura 4).

Junto a estos paseriformes, existe un amplio cortejo de aves, destacando varias rapaces de comportamientos y hábitat contrastados, como el aguilucho cenizo (*Circus pygargus*), con una buena densidad de parejas en la zona y presente en las zonas cultivadas, y el aguilucho pálido (*Circus cyaneus*), que selecciona las manchas de carrizal como dormitorios durante el invierno. Además de cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), cuervo (*Corvus corax*) y corneja negra (*Corvus corone*), con lugares de cría ligados a edificaciones o pequeñas manchas de arbolado en el margen de

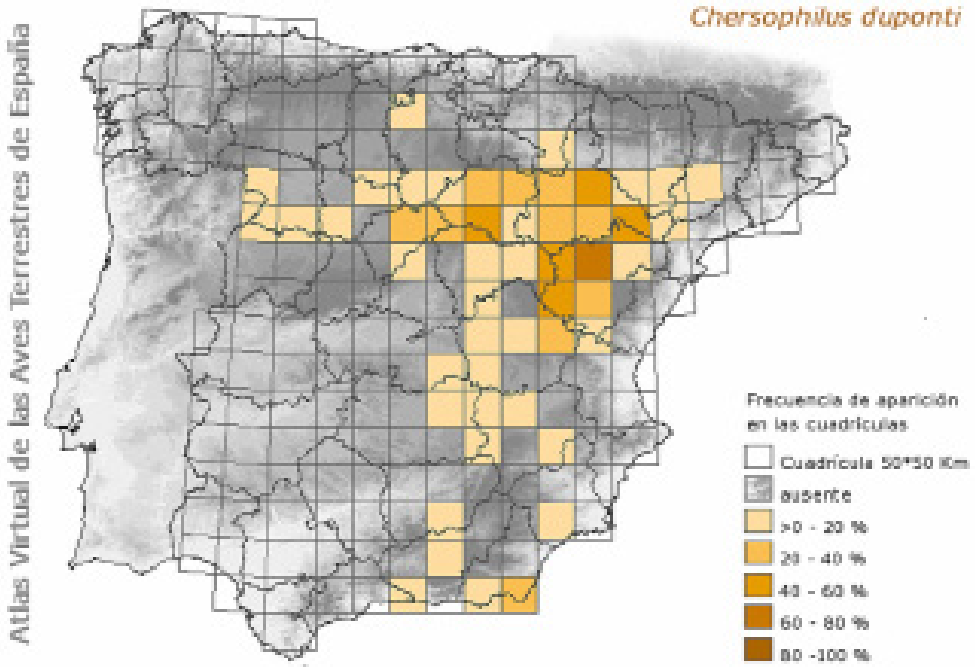


Figura 4. Frecuencia de aparición de Alondra de Dupont en la Península Ibérica en cuadrículas de  $50 \times 50$  km (CARRASCAL & SALVADOR, 2009).

- Frequency of sightings of Alondra Dupont in the Iberian Peninsula, in a  $50 \times 50$  km grid.

acequias, canales de drenaje o manantiales de la laguna, frecuentes en sus incursiones en busca de alimento por estos parajes.

La Laguna de Gallocanta cuenta además con aves emblemáticas de los hábitats esteparios como el alcaraván común (*Burhinus oediconemus*), presente durante la primavera y el verano, concentrando un elevado número de individuos durante los periodos post-reproductivos (SAMPIETRO, 2001), o la ganga ortega (*Pterocles orientalis*) cuya población, ubicada en los páramos del Sistema Ibérico (Figura 5), supera el centenar de ejemplares, observables con facilidad durante sus desplazamientos diarios desde los barbechos y páramos hacia los márgenes de la laguna para beber.

Por último, a estas especies se debe añadir la avutarda (*Otis tarda*) que en los últimos años ha incrementado sus efectivos. La distribución de esta ave en la Península Ibérica es muy dispersa (Figura 6), contando con algo más del 50% (23 000 individuos) de la población euroasiática. En Aragón está presente en dos núcleos estables: Monegros y la Laguna de Gallocanta, estimándose su población en 115 ejemplares. Su presencia en la Laguna de Gallocanta es continua desde



Figura 5. Regiones geográficas diferenciadas para la Ganga Ortega. Los códigos de las regiones son: (1) Valle del Ebro, (2) meseta norte, (3) páramos del Sistema Ibérico, (4) meseta sur, (5) Extremadura, (6) valle del Guadalquivir, (7) penillanuras subbéticas, y (8) SE semiárido (SUÁREZ *et al*, 2006).

- Geographic regions for the Black-bellied Sandgrouse distribution. Codes for regions are: (1) Ebro valley, (2) Nord Meseta, (3) Iberian Range paramos, (4) South Meseta, (5) Extremadura, (6) Guadalquivir valley, (7) Subbetic peneplain, (8) semiarid SE.

principios de marzo hasta finales de octubre, alcanzando los máximos en septiembre y reduciéndose a unos pocos ejemplares (mínimo 3) durante el invierno (VVAA, 1998; SAMPIETRO, 2001). En la Laguna de Gallocanta, la avutarda tenía en 1990 una población reproductora inferior a los 15 ejemplares, y en época postnupcial nunca más de 5 ejemplares juntos; iniciado el siglo XXI ha alcanzado los 41 ejemplares reproductores en 2004 (ALONSO *et al*, 2005), y bandos postnupciales de 90 ejemplares, en su mayoría machos procedentes de territorios próximos buscando la protección que ofrecen los prados del margen de la laguna al haberse cosechado el cereal en las tierras de cultivo donde suelen habitar.

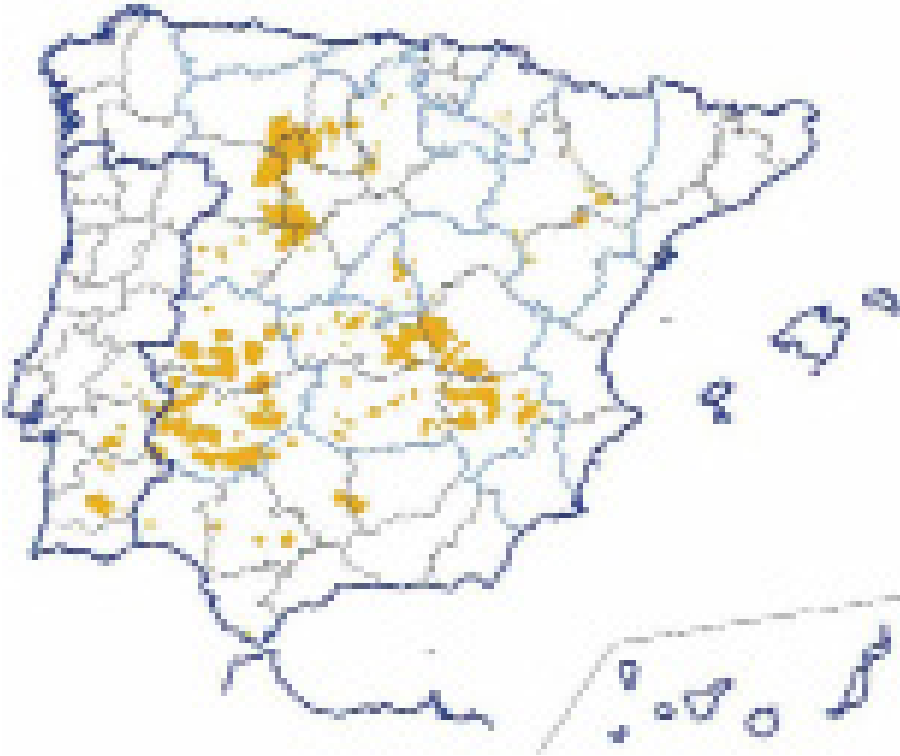


Figura 6. Distribución de la Avutarda Común en la península Ibérica durante la estación reproductiva (ALONSO *et al*, 2005).

- Distribution of the Great Bustard in the Iberian Peninsula during the reproductive season.

#### 2.4. *La Laguna de Gallocanta y los pasos migratorios*

El fenómeno migratorio en la Laguna de Gallocanta presenta dos periodos, uno de paso prenupcial a finales del invierno y comienzos de primavera hacia el Norte y un segundo postnupcial hacia el Sur, desde el periodo estival hasta comienzos del invierno. Esta situación se deriva de la localización del espacio entre las zonas de cría del centro y norte de Europa y las de invernada del sur de la Península y del Norte africano, siendo por regla general más importante en la observación de especies prenupcial.

Este fenómeno es visible para gran parte de las anátidas y limícolas citadas anteriormente, sin embargo son los movimientos migratorios protagonizados por la grulla común los que mayor expectación despiertan, con la entrada y salida de numerosos bandos de esta especie. Su comportamiento sonoro y en vuelo altamente llamativo (Figura 7) ha contribuido a la popularización de este espacio, así como al reconocimiento del mismo como uno de los enclaves más importantes de Europa Occidental para la especie.



Figura 7. Típica formación en V adoptada por los bandos de grullas en sus desplazamientos.  
 - Typical “V-shaped” formation that crane flocks adopt during their trips.

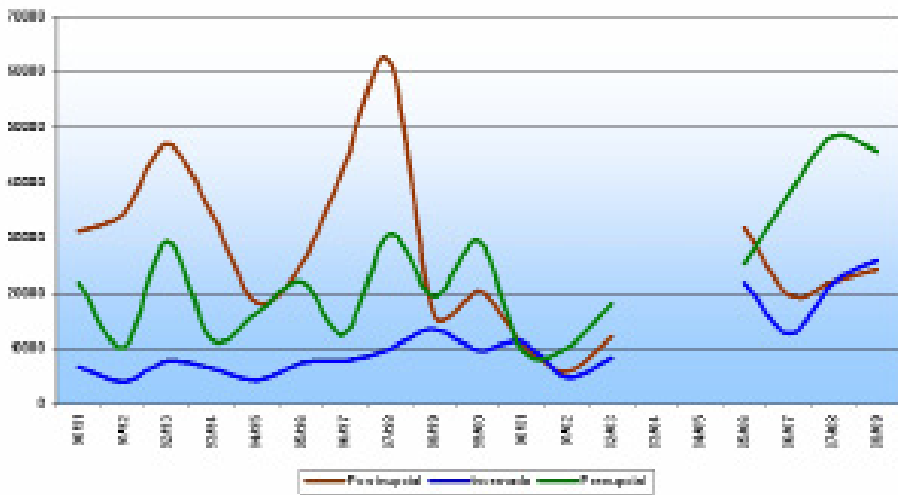


Figura 8. Evolución de censos migratorios e invernantes de Grulla Común (*Grus grus*) en la Laguna de Gallocanta para el periodo 1990-2009 (DGA).  
 - Common Crane migrating and hibernate census in Gallocanta Lake for the 1990-2009 period.

El periodo en el que la grulla común visita la laguna se prolonga entre mediados de septiembre y finales de abril, pudiendo quedar algunos ejemplares durante el periodo estival que no se encuentran en condiciones de continuar con su desplazamiento migratorio (HERNÁNDEZ, 1984; BAUTISTA, 1992; SERRANO, 1999). Sus mayores concentraciones tienen lugar en los momentos de mayor actividad migratoria de la especie, como los sucedidos en la temporada 97/98 con 62 000 ejemplares censados durante el paso postnupcial o los casi 50 000 de la temporada 07/08 en el paso prenupcial, siendo esta temporada y la siguiente las que mayor número de individuos invernantes se han contabilizado (Figura 8).

SAMPIETRO (2001) apuntó que la inversión producida en los valores observados para los pasos migratorios en las temporadas 98/99 y 99/00 (Figura 3), tenía mucho que ver con la mayor concentración de ejemplares en las localidades del sureste francés, disminuyendo sensiblemente la llegada de ejemplares a la Península. Este fenómeno, patente hasta la temporada 2004/2005, parece haberse reducido en los años posteriores al trabajo citado en cuanto al número de ejemplares que parece elegir los territorios franceses en lugar de los peninsulares, en especial en las temporadas desde 2006 a 2009. Se observa de nuevo un incremento en el número de ejemplares en paso, en especial el prenupcial y sobre todo en las invernantes, hasta alcanzar valores próximos a los 26 000 ejemplares, probablemente favorecidas por inviernos suaves cuyas heladas no han llegado a congelar el suelo, no quedando comprometido el acceso al alimento para las grullas (Figura 9).

Las rutas migratorias de las grullas en el dominio biogeográfico del Paleártico Occidental son bien conocidas, gracias a los censos simultáneos y los programas de anillamiento y radioseguimiento (Figura 10). El punto de inicio de la migración es fundamentalmente la Península Escandinava, para ramificarse en dos vías. Una de ella atraviesa Alemania y Francia para cruzar la Península Ibérica y llegar a tierras extremeñas, andaluzas y del sur de Portugal donde se encuentran los principales cuarteles de invernada. Estos se han visto ampliados por algunos puntos en Francia, que al igual que la Laguna de Gallocanta han ido ganando efectivos durante el invierno disminuyendo los que alcanzan las zonas tradicionales. La segunda de las rutas se desvía más hacia el Este, por el sur de Italia, Grecia continental y Túnez, para alcanzar el norte del continente africano entre Marruecos, Libia y Argelia.

Los censos simultáneos de esta especie a escala europea, revelan que durante los pasos migratorios, por la Laguna de Gallocanta atraviesa entre el 80 y el 95% de la población invernante surpirenaica (ALONSO & ALONSO, 1990), llegando a albergar de forma simultánea hasta el 75-80% de dicha población en situaciones excepcionales (SAMPIETRO, 2001). Este espacio es uno de los enclaves de mayor importancia para la conservación de la especie.



Figura 9. Cultivos del margen de la laguna con un pequeño grupo familiar de grullas en el centro de la foto.  
 - Landscape of crops in the lake border showing a little family of cranes at the center of the photograph.

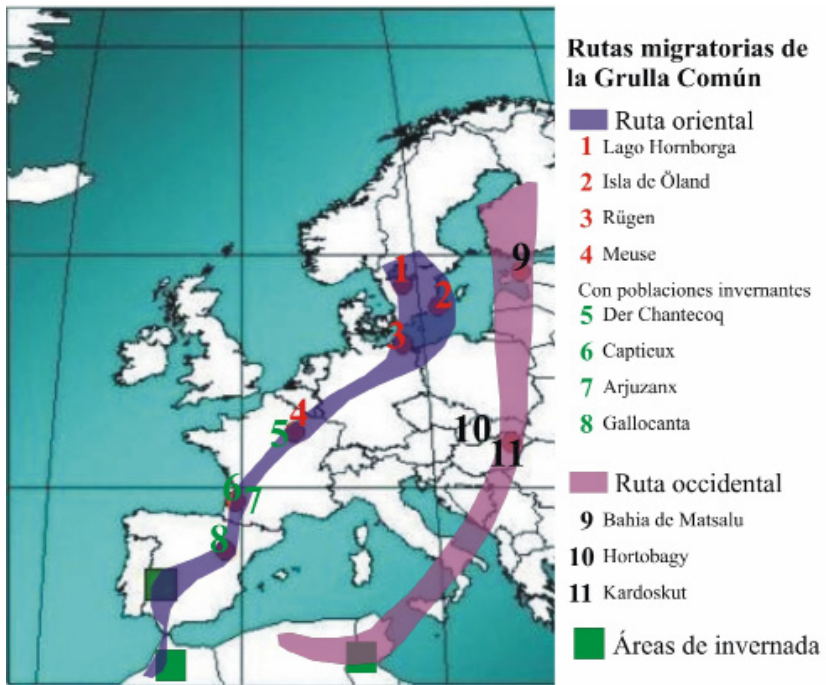


Figura 10. Rutas migratorias de la Grulla Común en Europa Occidental.  
 - West Europe migratory routes of Common Crane.

### 3. VARIABILIDAD ANUAL E INTERANUAL DE LA AVIFAUNA

El complejo de la Laguna de Gallocanta, muestra como rasgos principales un carácter endorreico y salobre, estando sometida a ciclos estacionales e interanuales muy marcados, con importantes fluctuaciones en el nivel de agua (Figura 11). Estos cambios, marcan sin duda alguna varias situaciones claramente contrastadas en cuanto a la riqueza y diversidad de especies (MARTÍ & MORAL, 2002). De esta forma, en años con precipitaciones en la cuenca endorreica importantes, superando la media anual (435 mm) del periodo 1972-2008, la laguna recupera un buen nivel de inundación (Figura 11). Sin embargo, los cambios en los tipos de explotación agrícola de la cuenca, en especial con extracción de agua del freático, alteran este proceso natural. Aún así, el incremento observado de la lámina de agua, favorece un desarrollo normal del zooplacton, fitoplacton y los macrófitos característicos de este ecosistema, básicos en la cadena trófica y sustento de buen número de aves acuáticas, en especial invernantes.

Este incremento se refleja en un aumento del número de aves acuáticas que visitan la laguna, produciéndose en estos periodos los recuentos invernales más elevados y registrándose entre 15 y 20 especies diferentes de anátidas, sobre todo buceadoras. De todas ellas, destaca el Porrón europeo, cuyas cifras en la Laguna de Gallocanta llegan a suponer el 16% del total de individuos invernantes censados a escala nacional, llegando a alcanzar en 1992 casi los 39 000 ejemplares. También destaca como la Focha común, que en 1990 superó ligeramente la cifra de 20 000 individuos (PELAYO & SAMPIETRO, 1995b; MARTÍ & MORAL, 2003). Del mismo modo, también en estos años puede observarse en la laguna una mayor concentración de grullas invernantes, como ocurrió en la temporada invernal de 1998-1999, donde se registraron 10 121 ejemplares, llegando a alcanzar máximos de presencia durante los pasos migratorios de 60 000 ejemplares (SAMPIETRO, 2001).

Esta situación de mayor presencia de aves, se prolonga durante el periodo reproductor, localizándose en la zona importantes colonias de limícolas y larolimícolas que ocupan las playas de la laguna, los prados salinos y los espacios con aguas someras. En estos periodos también se detecta la presencia de especies que ostentan la categoría de raras como nidificantes en la laguna, tal es el caso del tarro blanco, pato cuchara (*Anas clypeata*), ánade rabudo (*Anas acuta*) y varias especies de cercetas. Por otra parte, se observa un incremento de la población reproductora de focha común, de las colonias de cigüeñuela común, avoceta, chorlito patinegro, gaviota reidora, pagaza piconegra, avefría (*Vanellus vanellus*) y de zampullín común y cuellinegro (*Podiceps cristatus*, *P. nigricollis*), mientras que durante el verano aumenta la población de patos, destacando los azulones, patos colorados y porrones europeos (PELAYO & SAMPIETRO, 1995b; SAMPIETRO, 2001).

Por el contrario, en años con valores de precipitación bajos, el nivel de la laguna disminuye considerablemente, llegando a secarse con frecuencia (Figura 11) y pudiendo prolongarse esta situación durante varios años. Ante esta situación los censos invernantes reflejan valores sensiblemente menores (Figura 12), con



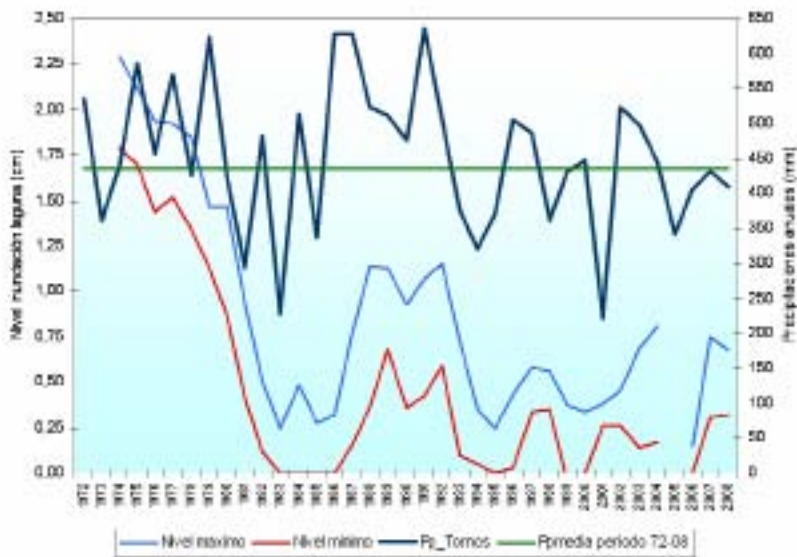


Figura 11. Comparativa de evolución de la precipitación anual (mm) en el observatorio de Tornos (Zaragoza) (AEMET) y el nivel de agua máximo y mínimo observado en la laguna -cm- (CHE) para el periodo 1972-2008.

- Comparison of annual rains in the Tornos-Zaragoza weather station and the maximum and minimum water level (cm) in the lake for the 1972-2008 period.

presencia dominante de las especies menos exigentes en cuanto a las condiciones del medio, como el ánade azulón, la cerceta común (*Anas querquedula*) y el ánser común (*Anser anser*), siendo el resto visitantes esporádicas. Esta dinámica no parece afectar tanto a las poblaciones de grulla común, cuya abundancia parece estar más en consonancia con otros factores como la disponibilidad de alimento en la cuenca y alrededores. Pero es en el periodo reproductor, cuando desciende drásticamente el número de individuos y especies de acuáticas, hasta reducirse a un escaso número de parejas de azulones, avefrías y chorlitejos, que además se concentran en los escasos lagunazos o balsas que se mantienen en la zona.

Las variaciones estacionales descritas, marcan también en la secuencia interanual una alternancia de ciclos con mayor o menor presencia de aves, aunque como ya apuntó SAMPIETRO (2001), la situación de la comunidad de aves acuáticas de la Laguna de Gallocanta en ese momento, en comparación con periodos anteriores, como la década de los 70 y principios de los 80 (Figura 12), era desoladora y con una tendencia negativa evidente. Según este autor, el declive se inicia en 1993, continuando en años posteriores hasta el 2000, último año de su estudio. Lejos de recuperarse, como es el deseo expresado por el autor, esta dinámica continúa en los ocho años posteriores (2001-2009), con valores incrementos puntuales en los años 1998, 1999, 2005, 2006 y 2009, pero con cifras muy bajas en el número de ejemplares

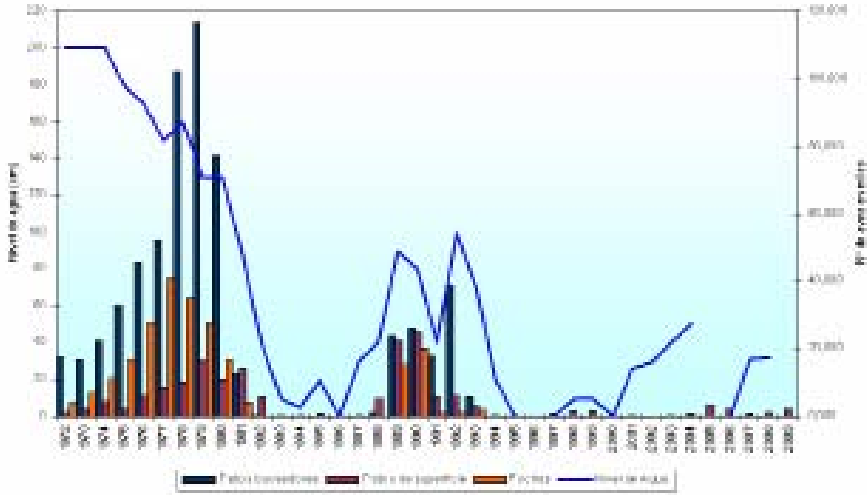


Figura 12. Nivel de agua (cm) de la laguna (según CHE) y censo (miles) de aves acuáticas (patos buceadores, de superficie y fochas) para el periodo 1972-2009 (DGA y SEO/BirdLife-OAPN).  
 - Lake water level (cm) and 1972-2009 census (miles) of aquatic birds (diver and surface ducks, and coots).

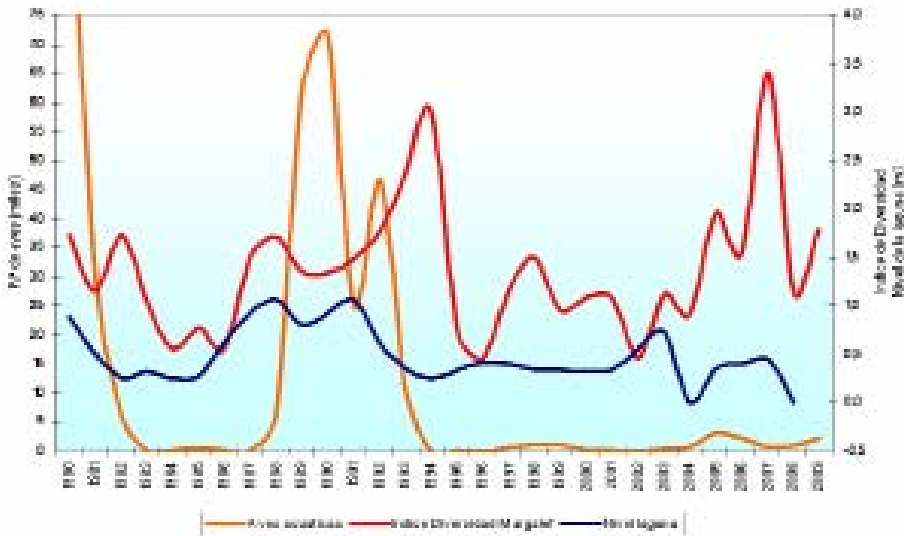


Figura 13. Comparativa para el periodo 1980-2009 entre la dinámica de la población de aves acuáticas, el índice de Diversidad específica de Margalef y el nivel de la lámina de agua durante los periodos de censo.  
 - Comparison of aquatic bird population, the Margalef's diversity index, and the lake water level during census periods, for the period 1980-2009.

respecto a años anteriores. Por otra parte, estas cifras se deben sobre todo a patos de superficie (Figura 12), grupo de anátidas que hasta el inicio de la década de los 90 no es el más numeroso y que comienza a serlo, e incluso a ser los únicos representantes de la avifauna acuática, a raíz del declive en el número de aves censadas, coincidente con el acusado descenso del nivel de la lámina de agua invernal de la laguna.

Por último, esta tendencia decreciente de la lámina de agua y número de individuos, no parece afectar por el momento a la diversidad específica, que si bien coincide aproximadamente con los ciclos de mayor o menor abundancia de ejemplares para el periodo 1980-2009 (Figura 13), parece mantenerse en niveles similares a lo largo del intervalo de años, mostrando una ligerísima tendencia creciente y con su mayor valor en 2007.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, J. A. & ALONSO, J. C. (Eds.). 1990. *Distribución y demografía de la Grulla Común (Grus grus) en España*. ICONA, Serie Técnica. Madrid.
- ALONSO, J.C., PALACÍN, C. & MARTÍN, C.A. (Eds.). 2005. *La Avutarda Común en la Península Ibérica. Población actual y método de censo*. SEO/BirdLife. Madrid.
- AMAT, X., LUCIENTES, J. & FERRER, X. 1987. La migración de muda del Pato Colorado (*Netta rufina*) en España. *Ardeola* **34** (I): 79-88.
- ARAGÜÉS, A. & LUCIENTES, J. 1980. *Fauna de Aragón. Las Aves*. Guara. Zaragoza.
- ARAGÜÉS, A., LUCIENTES, J. PÉREZ, E., & BIELSA, M.A., 1974. Observaciones estivales en Gallocanta. *Ardeola*, **20**: 229-244.
- ARANTZADI, J. & GUIRAL, J. (Eds.). 1981. *Estudio de la biocenosis de la Laguna de Gallocanta y su Cuenca*. PROYEX, S.A. CEOTMA (MOPU). Madrid.
- BAUTISTA, L.M. 1992. *Dinámica temporal y espacial de la población de grullas comunes (Grus grus) en Gallocanta*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- CABRERA, M., COMÍN, F.A. & GUIRAL, J. 1996. La laguna de Gallocanta, España. *Naturalia Hispanica*, **13**.
- CARBONELL, M. & MUÑOZ-COBO, J. 1976. Censo español de aves acuáticas. *Ardeola*, **25**: 3-46.
- CARRASCAL, L. M. & SALVADOR, A. (Eds.), 2009. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.  
<http://www.vertebradosibericos.org/>
- GRUPO ARAGÓN DE ORNITOLOGÍA. 1980. Primer catálogo de vertebrados de la Laguna de Gallocanta y su entorno. *Boletín de la Estación Central de Ecología*. **IX**. nº 18: 33-44.
- HERNÁNDEZ, F. 1984. Contribución al estudio de la grulla (*Grus grus*) en la provincia de Zaragoza (1980-1983). *Boletín de la Estación Central de Ecología*. **XIII**. nº 25 pp 49-62.
- LUCIENTES, J. 1977. Breves notas sobre Anatidae en Aragón. *Ardeola*, **23**: 223-226.
- MARTÍ, R. & MORAL, J.C. DEL (Eds.). 2002. *La invernada de aves acuáticas en España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SEO/BirdLife. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- PELAYO, E. & SAMPIETRO, J. 1995a. *Seguimiento de los pasos migratorios e invernada de la Grulla Común (Grus grus) en el área de la Laguna de Gallocanta. Temporada 1994/95*. Documento interno, Diputación General de Aragón. Dirección General de Medio Natural. Zaragoza.

- PELAYO, E. & SAMPIETRO, J. 1995b. *Censo de Aves acuáticas nidificantes en Aragón*. Inédito. Diputación General de Aragón. Años 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 y 1995.
- SAMPIETRO, F.J. 2001. Las Aves. In: MAÑAS, J. (Coord.). *Guía de la naturaleza de Gallocanta*. 73-97. Prames. Zaragoza.
- SERRANO, R. 1999. La grulla común (*Grus grus*): biología y estatus en Gallocanta. *Xiloca* **23**: 131-140.
- SUÁREZ, F., HERVÁS, I., HERRANZ, J. & MORAL, J. C. 2006. *La ganga ibérica y la ganga ortega en España: población en 2005 y método de censo*. SEO/BirdLife. Madrid.
- VVAA. 1998. *Aves de Aragón. Atlas de especies nidificantes*. Diputación General de Aragón. Zaragoza.

# Bases ecológicas para la conservación y restauración de la vegetación de las orillas de la Laguna de Gallocanta

## Ecological bases for the conservation and restoration of the vegetation on the shores of Gallocanta Lake

Francisco A. Comín Sebastián y Ricardo Sorando Izquierdo

*Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC.*

*Av. Montañana 1005. 50192 Zaragoza.*

*comin@ipe.csic.es; ricsorando@hotmail.com*

**PALABRAS CLAVE:** Vegetación, espacio, patrón, lago salado, orillas, conservación, restauración.

**KEY WORDS:** Plant community, space, pattern, saline lake, shoreline, conservation, restoration.

### RESUMEN

La Laguna de Gallocanta muestra fluctuaciones temporales de todas sus características, produciendo marcados gradientes espaciales de las comunidades vegetales de sus orillas. La marcada separación espacial a escala de toda la laguna, debe estar asociada con las grandes fluctuaciones históricas del nivel del agua. Las variaciones espaciales a escala temporal más corta modifican las áreas ocupadas en las orillas por las distintas comunidades y especies. A escala espacial más limitada, el gradiente de distribución de comunidades en sus orillas se manifiesta en orlas de vegetación asociadas a la disminución de la humedad y la salinidad del suelo, desde las zonas más frecuentemente inundadas hasta las más alejadas de la laguna. La conservación de las comunidades vegetales de las orillas de la Laguna de Gallocanta requiere el mantenimiento de sus fluctuaciones acordes a las variaciones meteorológicas y climáticas, la restauración de los espacios degradados por impactos recientes y la mejora del conocimiento de las relaciones tróficas y de uso del hábitat por el conjunto de la biocenosis de la laguna. Esto incluye una creciente y sabia participación de la población humana en su gestión.

### ABSTRACT

Gallocanta Lake shows fluctuations in all its ecological characteristics, as reflected in the spatial gradients of the plant communities along its shores. The noticeable spatial distribution all along the lake shoreline is undoubtedly the result of historic fluctuations in the water level. On shorter time scales, the variations modify the shore areas occupied by the different communities and species. On a more limited spatial scale, that of a gradient perpendicular to the lake, the distribution of the plant communities shows a typical edged pattern associated with decreasing soil humidity and conductivity patterns which are observed from the lake shore outwards. The conservation of plant communities along the shoreline of Gallocanta Lake requires maintaining their fluctuations in keeping with meteorological and climatic changes, the restoration of sites degraded by recent impacts, and improving our knowledge of the relationships between food availability and habitat use by the entire lake biocenosis. This includes an increased and wise human intervention in their management.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Laguna de Gallocanta (Aragón, NE España) es un ejemplo característico de lago salado temporal en una cuenca endorreica, en el sentido clásico, como otros lagos salados de Asia (Xining), Australia (Eyre), África (Nakuru), y América (Gran Lago Salado de Utah, Laguna Colorada de Bolivia) (HAMMER, 1986). Es el término hidrológico de un sistema hidrogeológico donde se combinan aportes superficiales y subterráneos de agua a lo largo del tiempo. Como su cubeta es somera, con grandes extensiones de tipo playa, las fluctuaciones del nivel del agua de la laguna se reflejan en extensas variaciones de la zona inundada de sus orillas (COMÍN *et al*, 1991).

Una de las peculiaridades más destacadas de esta laguna es que sus fluctuaciones de nivel muestran una amplia gama de patrones de variación temporal: estacionales, interanuales e interdecadales (COMÍN *et al*, 1992). Dicho de otra manera, el nivel del agua de la laguna fluctúa con ritmos de distinta frecuencia, desde los estacionales característicos de la zona templada del globo a los interdecadales asociados a fenómenos climáticos globales como El Niño (RODO *et al*, 1997). Su ubicación, en el límite entre un clima semi-húmedo y uno semi-árido, y la alta relación entre la extensión de su cuenca (520 km<sup>2</sup>) y la de su cubeta (aprox. 20 km<sup>2</sup>) son responsables de las variaciones meteorológicas que se reflejan a distintas escalas de tiempo en el nivel del agua de la laguna y en sus otras características ecológicas (COMÍN *et al*, 1991).

La vegetación perilagunar de lagunas con morfología de tipo playa se distribuye principalmente según la duración y la frecuencia de las inundaciones. La humedad del suelo es un factor clave regulador de la distribución espacial de las especies vegetales. De hecho, uno de los principales criterios para agrupar las plantas según sus formas funcionales es su capacidad ecofisiológica para ocupar y persistir suelos inundados. En los lagos salados, la salinidad se añade como otro factor clave regulador de la distribución de las poblaciones vegetales y de toda la biocenosis, especialmente en las orillas. Textura, hidrodinamismo, interacción con otras poblaciones vegetales y animales, e impactos antrópicos configuran el resto de los principales factores reguladores de la vegetación de las lagunas saladas y, en general, de los ecosistemas acuáticos.

La adaptación de la vegetación a estas condiciones ambientales extremas, inundación o alto grado de humedad y salinidad, ha permitido la evolución a especies propias de estos ambientes. Además, el aislamiento geográfico puede propiciar la evolución hacia especies genuinas de un espacio físico limitado, o de especies endémicas.

Durante los últimos siglos se ha producido la estabilización del nivel del agua observable actualmente en la Laguna de Gallocanta. Ello ha permitido la aparición de unas comunidades vegetales peculiares en sus orillas. Se caracterizan por la heterogeneidad espacial y se suponen reguladas por los factores ambientales antes citados. La peculiaridad de estas comunidades, y de esas características ambientales, ha originado unos hábitats que han merecido la máxima atención e interés con vistas

a su conservación y la del conjunto del ecosistema. En este trabajo se describen las relaciones entre los principales factores ambientales y la distribución espacial de especies características de algunas comunidades vegetales peculiares de las orillas de la Laguna de Gallocanta, así como su relación con otros factores reguladores de su heterogeneidad espacial.

## 2. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LAS ORILLAS DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

Las comunidades vegetales de las orillas de la Laguna de Gallocanta muestran una heterogeneidad espacial a escala de toda la laguna relacionada con las características hidrogeomorfológicas. En zonas donde hay surgencia de agua dulce se desarrollan comunidades dominadas por helófitos del tipo *Phragmites australis*. Disponen de una adaptación extraordinaria a (1) la inundación, por su capacidad de respiración en condiciones anóxicas y (2) las relativamente altas concentraciones salinas (LISSNER *et al*, 1999). En zonas de tipo playa donde se acumulan arenales y no hay surgencias de agua dulce las comunidades vegetales son los llamados prados salinos constituidos por especies adaptadas a la inundación y la salinidad, como *Salicornia ramosissima*, *Suaeda vera* y *Puccinellia pungens*. En espacios y condiciones intermedios entre los dos anteriores se distribuyen en mosaico especies como *Juncus maritimus*, *Schoenus nigricans*, *Frankenia laevis*, *Limonium sp.* (Figura 1).

La alteración de alguno de estos factores ambientales clave puede suponer la desaparición de algunas de estas especies y la ocupación de su espacio por otras. Si esto ocurre a gran escala, se pone en riesgo de desaparición de ese espacio la población en cuestión y, por tanto, la distribución espacial de algunas comunidades vegetales. Otras especies muestran una respuesta poblacional excelente en un amplio rango de variación de alguna de estas variables, y su distribución en el espacio mostrará aumento o disminución del área ocupada por cada una de ellas. Así, conocer la respuesta de las distintas especies de interés a las variaciones de los factores ambientales es fundamental para poder conservar sus hábitats y restaurarlos en caso de degradación.

En la Laguna de Gallocanta, algunas especies muestran una distribución espacial regular en dirección perpendicular a la orilla y en relación con los factores ambientales citados. Al alejarnos de la orilla disminuyen la duración y frecuencia de la inundación (humedad) y la salinidad. Así, en la Figura 2 se puede observar la distribución de especies respecto a la variación de la humedad y salinidad del suelo en un transecto perpendicular a la orilla de la laguna. Se observa cómo al alejarnos de la orilla del agua disminuye la humedad y la salinidad. Y en este rango de humedad y salinidad, se tiene un amplio espacio ocupado por *Puccinellia pungens*, especie endémica de la Laguna de Gallocanta que soporta largos periodos de inundación con agua salada.

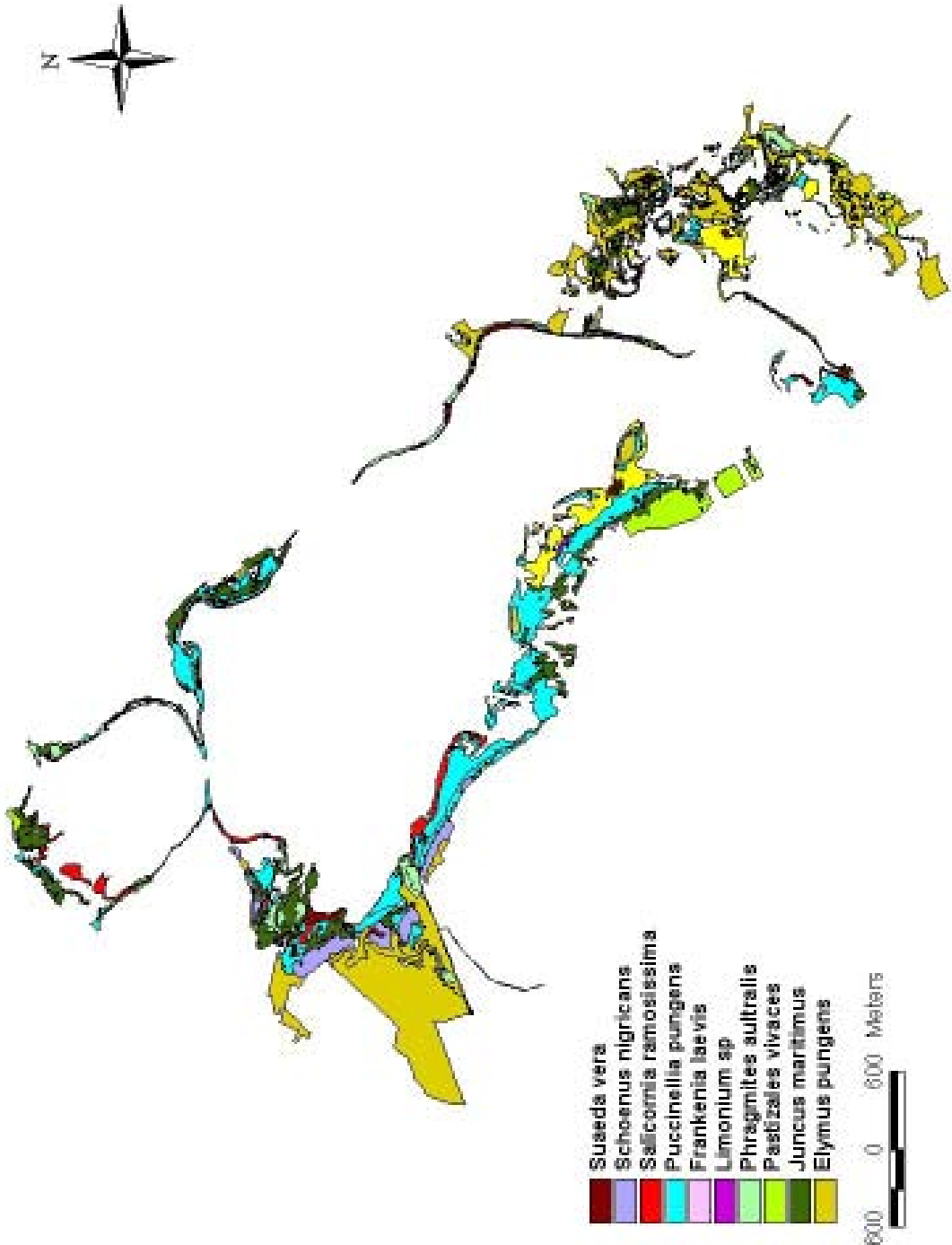


Figura 1. Distribución espacial de las principales comunidades vegetales de las orillas de la Laguna de Gallocanta indicadas por su especie o forma dominante en primavera de 2008.

- Spatial distribution of the major plant communities on the shores of Gallocanta Lake as indicated by the dominant species in spring 2008.



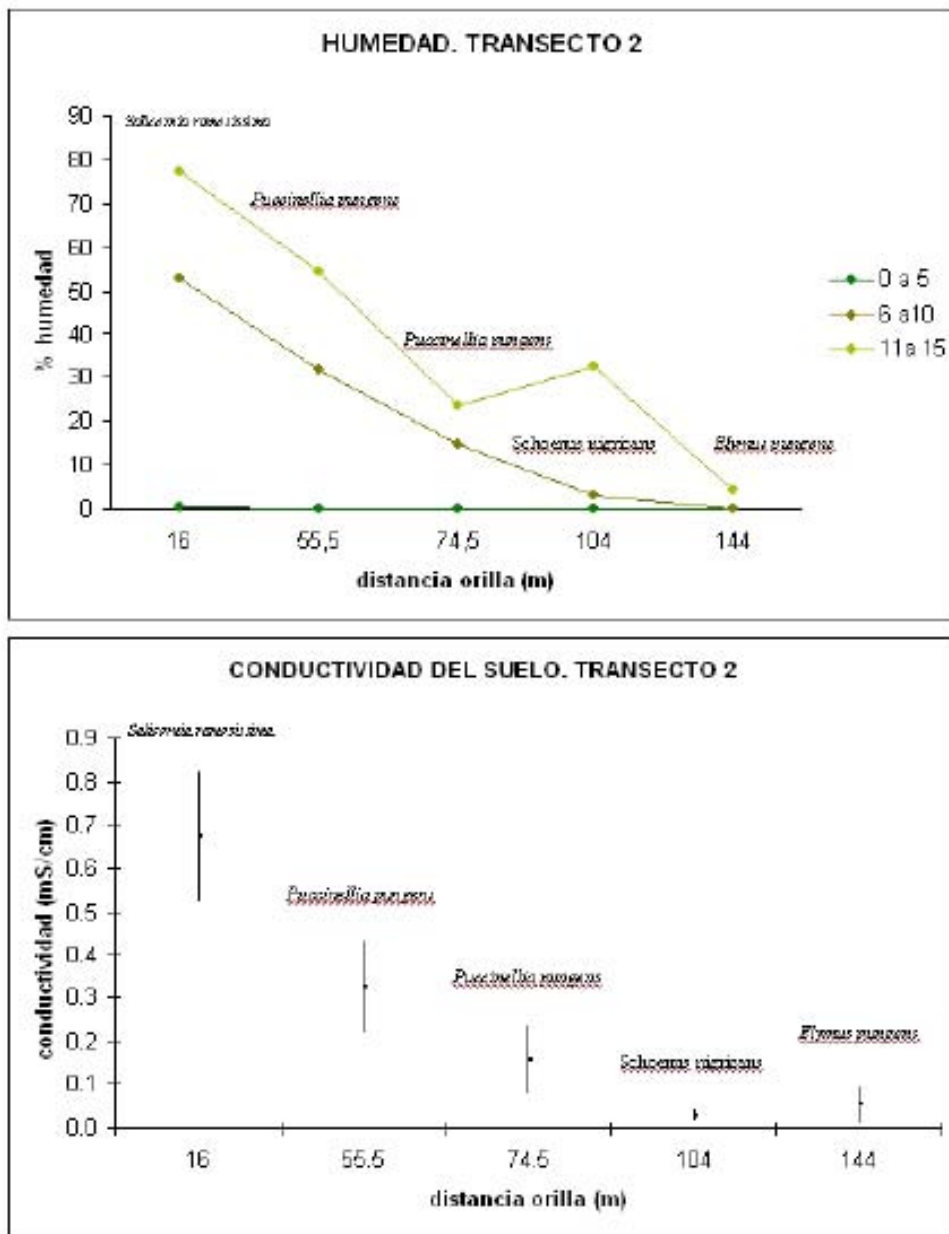


Figura 2. Gradientes espaciales de humedad (arriba) y salinidad del suelo (abajo) en los prados salinos del oeste de la Laguna de Gallocanta, en un transecto perpendicular a la orilla. La humedad se ha medido a varias profundidades, entre 0 y 15 cm. La salinidad del suelo (0-5 cm) se expresa como conductividad eléctrica del extracto acuoso suelo:agua 1:5.

- Spatial gradients of soil moisture (above) and salinity (below) in the salt meadows to the west of Gallocanta Lake, sampled in a transect perpendicular to the shore. Soil moisture was measured at several depths, from 0 to 15 cm. Soil salinity is expressed in terms of electrical conductivity in a 1:5 soil: water extract.

### 3. VARIACIONES TEMPORALES EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE LAS ORILLAS DE LA LAGUNA

El mosaico de comunidades vegetales que se observa en la Laguna de Gallocanta debe responder a estas características generales. Sin embargo, la distribución espacial en un momento dado es el resultado de la respuesta poblacional a variaciones de las características ambientales durante un tiempo anterior indeterminado. De aquí que el área ocupada por algunas de estas especies y comunidades en distintos años muestre variaciones muy notables. En la Figura 3 se observa como el área ocupada por *Phragmites australis* es mayor en 2003 que en 1989, probablemente indicando unas condiciones ambientales más favorables a dicha especie en 2003. La observación repetida, a escala de detalle y a largo plazo, es fundamental para conocer la dinámica temporal y los cambios de la distribución espacial de la vegetación en este tipo de ecosistemas.

Los factores que influyen en estas variaciones temporales son muy variados. Se supone que en un sistema como éste, el mosaico de hábitats cambia según los distintos factores ambientales favorecen una u otra comunidad vegetal en cada zona de las orillas, especialmente en esa franja intermedia de variación de la humedad y de la salinidad. Sin embargo, otros factores reguladores como las actividades antrópicas afectan a su distribución espacio-temporal y su importancia es determinante en distintos períodos de tiempo.

Así, en la Figura 4, se observa que las áreas ocupadas por pastizal salino dominado por pastizal de *Puccinellia pungens*, y por junquera (*Juncus maritimus* y *Schoenus nigricans*) varían entre 1989 y 2003 hacia el interior de la laguna mientras que apenas lo hacen hacia el exterior. El área de ocupación de estos hábitats hacia el exterior podría ser mayor si no fuera por la existencia de cultivos, cuyos límites de trazo rectilíneo cortan las áreas potencialmente ocupables por las comunidades vegetales en las orillas lagunares. Algo similar puede apreciarse en la Figura 3, aunque en este caso las aguas residuales de la población (ver en la imagen) vierten en esta zona contribuyendo a la expansión de la población de *Phragmites australis*, favorecida por el agua dulce.

### 4. CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA VEGETACIÓN DE LAS ORILLAS DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

Los factores reguladores de la distribución espacial y temporal de las comunidades vegetales en las orillas de la Laguna de Gallocanta son variados y de distinta jerarquía. La destrucción de la vegetación y la limitación a su expansión impuesta por barreras físicas derivadas de la alteración y la ocupación del suelo, especialmente el uso agrícola, significa la exclusión de comunidades vegetales. Esta degradación se mantiene incluso a largo plazo y después de finalizado dicho uso. En la parte más próxima a la laguna, en una de las franjas de terreno cultivada en 1989 y en 2003 (Figura 4) y no cultivada en 2004, aún no ha sido colonizada por las comunidades vegetales que se extienden en zonas contiguas de la orilla de la

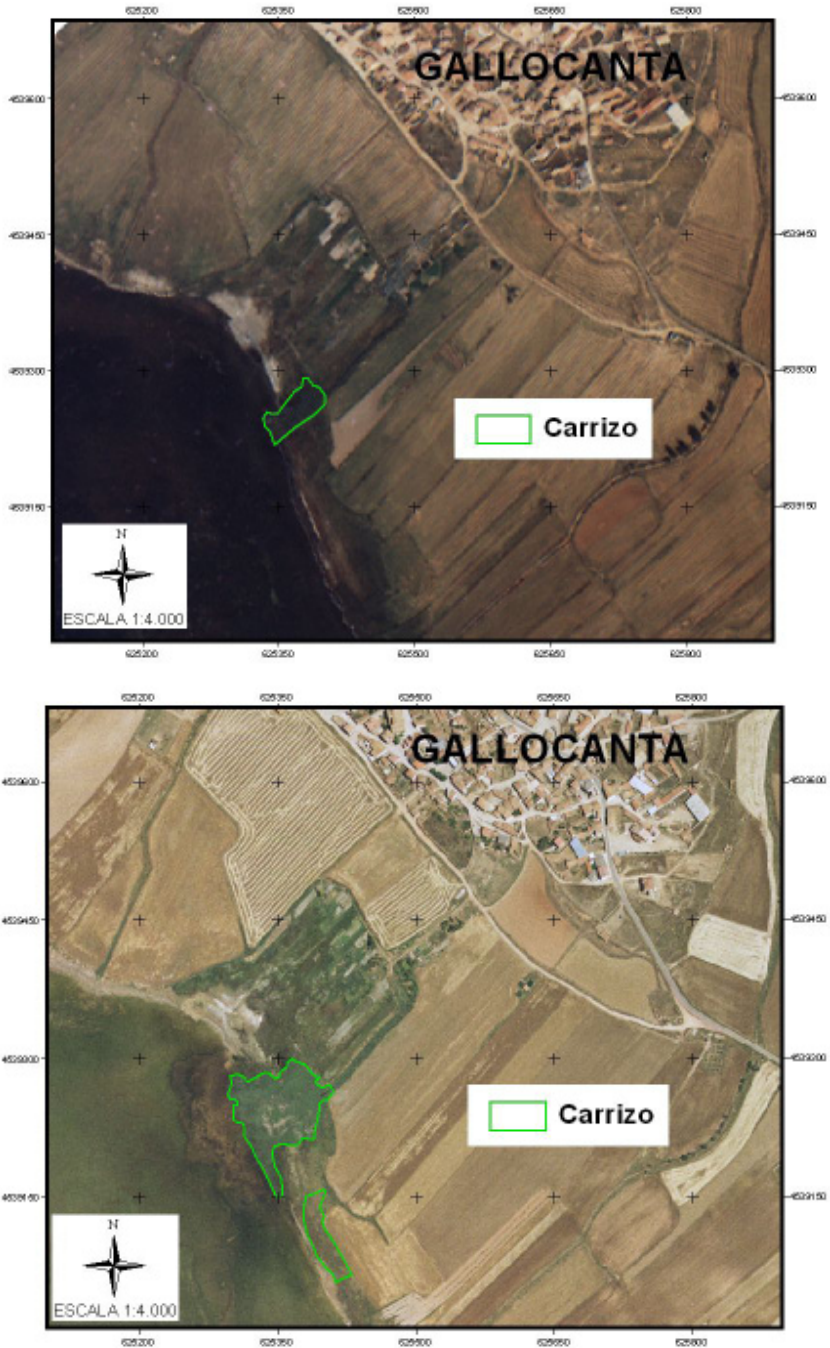


Figura 3. Detalle del área ocupada por la comunidad dominada por *Phragmites australis* en la orilla noreste de la Laguna de Gallocanta en 1989 (arriba) y 2003 (abajo).  
- Detailed map showing the extent of *Phragmites australis* in 1989 (above) and 2003 (below), in the NE shoreline of Gallocanta Lake.

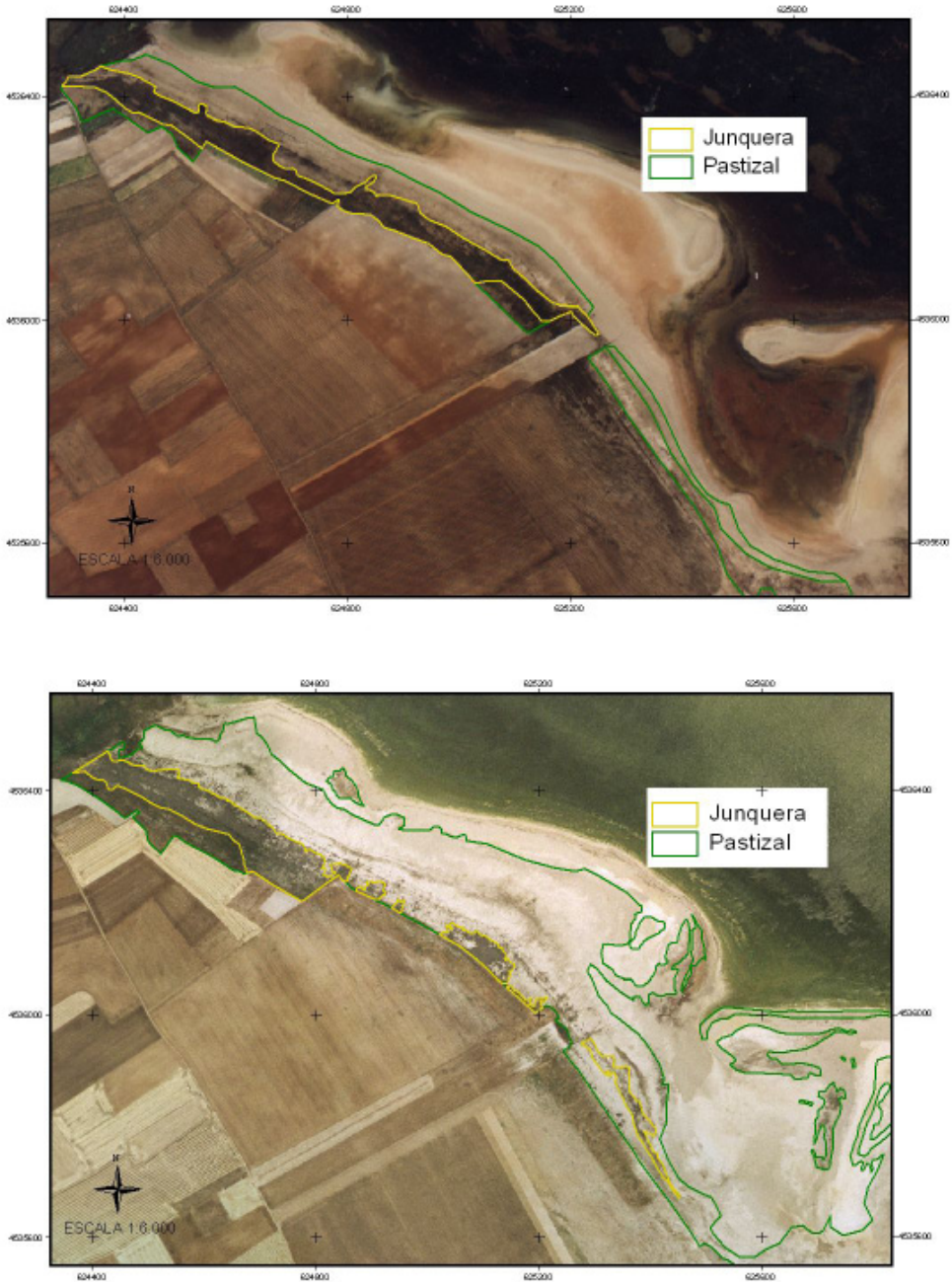


Figura 4. Área ocupada por las comunidades vegetales de pastizal de *Puccinellia pungens* y de junquera de *Juncus maritimus* y *Schoenus nigricans*, en la orilla oeste de la Laguna de Gallocanta, en 1989 (arriba) y en 2003 (abajo).

- Area occupied by *Puccinellia pungens* grass and by *Juncus maritimus* and *Schoenus nigricans* rushes on the west shoreline of Gallocanta Lake, in 1989 (above) and 2003 (below).

laguna. Ello puede indicar la escasa posibilidad de recuperación espontánea de estas comunidades si se altera el sustrato físico.

Dado que el impacto de las actividades agrícolas se extiende en casi toda la orla perimetral de la Laguna de Gallocanta, la conservación de sus comunidades vegetales requiere una planificación y acción general por toda la laguna. La gestión del territorio no puede aislarse de la de sus gentes y sus necesidades, sino integrarse (COMÍN, 1997). Así, la gestión y conservación de las comunidades vegetales de las orillas de la Laguna de Gallocanta debe enmarcarse en acciones de gestión o acompañamiento de actividades alternativas o complementarias a las actividades agrarias tradicionales. Más aún, a las actividades de la población deberían añadirse, o sustituir algunas por, actividades de conservación y restauración.

En este sentido, la estructura de gestión de este espacio protegido es bastante caótica por su complejidad y la falta de objetivos. El momento actual es crítico debido a la reciente aprobación de la declaración de Reserva Natural aunque se ha demorado más de lo que la ley impone el desarrollo de dicha ley de declaración, especialmente el establecimiento de un Patronato consultivo para su gestión. Se han producido degradaciones ambientales graves durante este periodo que no interregno ya que la autoridad de gestión en estos espacios recae inequívocamente en el Gobierno Autonómico. Como ejemplo, la iniciativa de la misma autoridad gubernativa para depurar las aguas residuales de las poblaciones de Tornos y Bello ha supuesto el deterioro paisajístico del conjunto y la alteración del hábitat de las comunidades vegetales de las orillas donde se vierten las aguas depuradas. Todo ello, sin consulta previa al citado Patronado del ENP, por no haberse constituido, incumpliendo la propia ley de declaración del Espacio. Un ejemplo más de falta de iniciativa, capacidad técnica y sobre todo de voluntad política para gestionar espacios protegidos (COMÍN *et al*, 1999).

La gestión de las comunidades vegetales de las orillas de la Laguna de Gallocanta requiere conservar, en buen estado y de forma persistente, las poblaciones declaradas de interés. Ello conlleva la conservación de los hábitats y de las características ecológicas de los espacios físicos donde se localizan estos hábitats. Como se ha puesto de manifiesto, esto requiere mantener las fluctuaciones de la Laguna de Gallocanta acordes con los factores reguladores principales derivados de las variaciones climáticas y meteorológicas.

Para conservar las comunidades vegetales de las orillas de la laguna es necesario restaurar las áreas degradadas. Será necesario reconocer si son sólo las propias poblaciones vegetales las que están degradadas o es el hábitat, es decir si han sido afectadas indirectamente por alteración de los factores ambientales reguladores. Además de los impactos directos como los señalados arriba por ocupación y transformación del espacio, se observa la degradación de amplias áreas de prados salinos catalogados de interés debido a la acumulación de excrementos de aves (debe recordarse que entre 20 000 y 40 000 grullas pasan la noche en las orillas de la Laguna de 2 a 4 meses cada año). Por otra parte, el aumento de nivel del agua de

la laguna puede inundar estas poblaciones precipitando sal sobre las hojas, lo que dificultan sus funciones ecofisiológicas y la dinámica poblacional. Estas situaciones u otras pueden ser de interés en un seguimiento remoto de la vegetación pues la presencia de depósitos de sal cubriendo las plantas podría falsear su discriminación y seguimiento mediante teledetección.

## 5. CONCLUSIONES

La gestión de la Laguna de Gallocanta y de todos sus componentes requiere respetar las fluctuaciones de los procesos ecológicos, principalmente los hidrológicos, al ritmo que imponen las fluctuaciones climáticas y meteorológicas. Y debe ser interesante prevenir y adaptarse a las variaciones que puedan introducir los impactos del cambio climático.

Respecto a las comunidades vegetales de las orillas conviene restaurar los espacios degradados para asegurar la supervivencia de comunidades catalogadas de interés. Según la importancia relativa de los factores reguladores y de las causas de los impactos negativos, puede ser suficiente confiar en una recuperación espontánea de la vegetación o puede ser necesaria una restauración activa de carácter ecológico. Es decir, incluyendo rehabilitación inicial, más o menos avanzada, de las funciones ecológicas y, complementariamente, la recuperación de poblaciones o comunidades degradadas.

La Reserva Natural de la Laguna de Gallocanta es un espacio protegido paradigmático en el conjunto español. Fue de los primeros donde se pusieron en evidencia los elementos necesarios para gestionar ENP y está siendo de los últimos en aplicar las experiencias de treinta años de gestión del medio natural. En cualquier caso hay dos principios imprescindibles para una buena gestión de este espacio: (1) el conocimiento científico-técnico debe proseguir y aplicarse a la gestión, y (2) la participación de los habitantes del territorio es un activo muy valioso. En este sentido, la población debería integrarse activamente en la gestión del espacio mediante el desarrollo de actividades alternativas y complementarias a los usos agrarios tradicionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMÍN, F.A. 1997. Hacia una integración de la conservación de los humedales en el desarrollo del medio rural. *Xiloca*, **20**: 241-253.
- COMÍN, F.A., JULIÁ, R. & COMÍN, P. 1991. Fluctuations, the key aspect for the ecological interpretation of saline lake ecosystems. *Oecologia aquatica*, **10**: 127-135.
- COMÍN, F.A., RODÓ, X. & COMÍN, P. 1992. Lake Gallocanta (Aragon, NE Spain). A paradigm of fluctuations at different scales of time. *Limnetica* **8**: 79-86.
- COMÍN, F.A., CABRERA, M. & RODÓ, X. 1999. Saline lakes: Integrating ecology into their management future. *Hidrobiología*, **395**: 241-251.
- HAMMER, U.T., 1986. *Saline lake ecosystems of the world*. Dr. W. Junk Publ. Dordrecht.
- LISSNER, J., SCHIERUP, H.H., COMÍN, F.A. & ASTORGA, V. 1999. Effect of climate on the salt tolerance of two *Phragmites australis* populations. I. Growth, inorganic solutes, nitrogen relations and osmoregulations. *Aquatic Botany*, **64**: 317-334.

RODÓ, X., BAERT, E. & COMÍN, F.A. 1997. Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationship with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, **13**: 275-284.





# Geología y Geomorfología de la Laguna de Gallocanta

## Geology and Geomorphology of Gallocanta Lake

**Francisco Javier Gracia Prieto**

*Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales.*

*Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real (Cádiz).*

*javier.gracia@uca.es*

**PALABRAS CLAVE: Geomorfología lacustre, karst, polje, terraza, costra salina.**

**KEY WORDS: Lacustrine Geomorphology, karst, polje, terrace, saline crust.**

### RESUMEN

La Laguna de Gallocanta forma parte de un conjunto de lagunas que se extiende por el fondo de una amplia depresión de fondo plano, excavada sobre arcillas, yesos y sales del Triásico. Su origen está relacionado con la disolución superficial de carbonatos del Jurásico y Cretácico y el rebajamiento topográfico de la superficie durante el Cuaternario. El proceso dio lugar a un polje, cuyo rebajamiento cesó cuando la superficie topográfica alcanzó los materiales impermeables del Triásico, probablemente hace unos 40 000 años. En tiempos recientes la dinámica geomorfológica de la Laguna de Gallocanta se ha caracterizado por el desarrollo de formas sedimentarias costeras, como flechas, playas y terrazas lacustres, cuya actividad ha estado relacionada con las fluctuaciones del nivel de sus aguas. El carácter salino de sus aguas se adquirió en fechas muy recientes, probablemente entre los siglos XII y XV, como consecuencia de procesos kársticos en el sustrato salino triásico. Las fluctuaciones del nivel del agua, relacionadas con ciclos climáticos de interés global, llevan a la generación periódica de extensas costras salinas durante etapas de sequía.

### ABSTRACT

The Gallocanta Lake is part of a group of lakes and ponds that extends along the bottom of a wide depression dug into Triassic clays, gypsum and salts. Its origins can be traced to the surface dissolution of Jurassic and Cretaceous limestones, and the topographic lowering of the surface in the Quaternary era. The process originated a *polje*, whose lowering stopped when the topographic surface reached the impervious Triassic layer, probably some 40 000 years ago. In recent times the geomorphological dynamics of Gallocanta Lake have been characterized by the development of different coastal sedimentary forms, like spits, beaches and lacustrine terraces, whose activity is related to water level fluctuations. The saline character of its water was acquired quite recently, probably between the 12nd and 15th centuries, as a consequence of karstic processes in the Triassic saline substratum. The water level fluctuations, related to climatic cycles of global interest, produce the periodic generation of wide saline crusts during periods of drought.

## 1. MARCO GEOGRÁFICO DE LA CUENCA DE GALLOCANTA

La Cordillera Ibérica, con dirección general NO-SE, se extiende desde la provincia de Burgos (Sierra de la Demanda) hasta la de Valencia, a lo largo de unos 400 km. Su anchura media es de unos 200 km, si bien varía notablemente de unos sectores a otros. Topográficamente la cordillera está formada por diversos altiplanos o superficies de erosión, muchos de ellos desarrollados a una altura próxima a los 1000 m, mientras que las mayores altitudes superan los 2000 m en varios puntos. Desde un punto de vista hidrográfico, la Cordillera Ibérica constituye una de las principales divisorias de aguas de la Península Ibérica, ya que separa los flujos atlánticos (cuencas hidrográficas del Duero y del Tajo) de los mediterráneos (cuenca del Ebro).

La cuenca lacustre de Gallocanta, de unos 550 km<sup>2</sup>, se localiza en el sector central de la cordillera. Aunque existen otros ejemplos en España de lagos ubicados en ámbitos montañosos, en este caso se trata de una de las cuencas lacustres de mayor extensión de la Península Ibérica, que ha llegado a desarrollar incluso varios cursos fluviales que alimentan a la laguna principal. Además, a este hecho se une la particularidad de que la laguna principal y más grande existente en su fondo, la Laguna de Gallocanta, es de carácter salino, circunstancia con escasos equivalentes en España, destacando únicamente la laguna de Fuente de Piedra (Málaga), si bien ésta tiene una extensión menor (CABRERA *et al*, 2002).

La depresión de Gallocanta tiene una forma alargada en dirección NO-SE, con 30 km de longitud por unos 20 km de anchura media. Está limitada al norte y NE por el conjunto de sierras paleozoicas de Santa Cruz – Valdelacasa – Valdellosa, cuya altitud supera los 1400 m en algunos lugares. El límite occidental es más irregular y está formado por varias altiplanicies no muy elevadas sobre materiales generalmente calizos, desarrolladas en torno a los 1100 m de altitud. Al sur la cuenca se cierra igualmente por un conjunto de altiplanos calcáreos más irregulares, con altitudes que no llegan a los 1200 m. Entre ambos conjuntos de relieves excava su valle la Rambla de los Pozuelos, que nace en Sierra Menera y drena hacia la Laguna de Gallocanta. La orografía de la cuenca de Gallocanta es bastante suave, ya que el 80% de su superficie se sitúa entre los 1000 y los 1150 m, y su amplitud orográfica no supera los 250 m. En líneas generales cabe imaginarla como una amplia planicie enmarcada por sierras de altitud moderada. Lógicamente, el fondo de la Laguna de Gallocanta constituye el punto más deprimido del área, con una altitud que ronda los 1000 m, y cuyo substrato geológico está formado por arcillas y yesos del Triásico.

La cuenca de Gallocanta puede catalogarse como de tipo endorreico, es decir, el agua superficial no tiene salida hacia el exterior a través de ningún curso fluvial. Toda la escorrentía procedente de las precipitaciones acaba en alguna laguna o charca. Por ello, el volumen de agua recogido en las lagunas que componen la cuenca depende, casi exclusivamente, de tres factores climáticos: las precipitaciones, que sirven de alimentación hídrica, la temperatura y el viento, que en buena medida regulan la intensidad de la evaporación. La cuenca tiene un clima semiárido de tipo seco-

subhúmedo, típico de áreas de montaña mediterránea interior o continentalizada, con veranos cálidos, inviernos fríos y precipitaciones débiles. La precipitación media anual es de 450 mm, aunque su distribución geográfica está muy controlada por la orografía, de modo que en las sierras se superan los 480 mm anuales (Tornos), mientras que en el centro-sur de la cuenca no se alcanzan los 370 mm (Torralba de los Sisones). Anualmente las precipitaciones se suelen concentrar en primavera y otoño. Los veranos no son excesivamente secos por la proliferación de tormentas. No obstante, la intensidad y frecuencia de tormentas en la depresión de Gallocanta es algo menor que la que se registra en el vecino valle del Jiloca. En cuanto a la precipitación nival, se registra un promedio de 15 días de nieve al año, especialmente en las sierras.

La variación anual de las temperaturas consiste en inviernos fríos y de larga duración, con valores medios siempre inferiores a 5 °C y mínimas absolutas muy bajas, incluso por debajo de los -20 °C en algunos puntos. En años fríos muchas de las lagunas de la cuenca se hielan totalmente, si bien el carácter salino de la Laguna de Gallocanta hace que ésta aguante mucho más que el resto antes de congelarse. Las primaveras son muy cortas y los veranos calurosos, especialmente en julio y agosto; las máximas absolutas superan a menudo los 40 °C. La amplitud térmica anual alcanza valores muy altos, siempre superiores a los 17 °C (21 °C en Cubel y Odón). En cuanto a los vientos, en su mayoría procedentes del Oeste y Noroeste (cierzo), se canalizan a través de la depresión de Gallocanta, alcanzando esporádicamente velocidades de hasta más de 100 km/h.

La cuenca de Gallocanta incluye más de 20 lagunas de cierta extensión (con áreas receptoras superiores a los 3000 m<sup>2</sup>), con una gran variedad de tipos lacustres, habiéndolas saladas, dulces, permanentes, ocasionales, colmatadas, etc. (Figura 1). La mayoría se concentra en una banda próxima a la alineación montañosa de Santa Cruz – Valdelacasa, aunque existe también otro foco endorreico importante entre Odón y La Yunta. Las cuencas receptoras más grandes contienen, lógicamente, las mayores lagunas, dado que recogen mayor cantidad de agua de escorrentía a través de un mayor número de torrentes y arroyos. Sin embargo, no existe una relación directa con la profundidad de agua: existen lagunas pequeñas con más de 3 m de columna de agua, mientras que La Zaida (de 1 km de diámetro) o la Laguna de Gallocanta, por ejemplo, apenas llegan a los 1,5 m de profundidad. Esto es debido a que muchas lagunas, especialmente las más grandes, son con el tiempo aterradas por los sedimentos arrastrados por los arroyos que las alimentan. Además, no todas las lagunas se originaron a la vez; las más antiguas han tenido más tiempo para recibir aportes sedimentarios y reducir progresivamente su profundidad.

Debido a las fluctuaciones pluviométricas registradas en la cuenca a lo largo del año, los volúmenes de agua de las lagunas también experimentan importantes oscilaciones anuales. Todas las lagunas de la cuenca tienen un comportamiento estacional, aumentando su volumen en invierno y disminuyendo en verano. Muchas llegan a secarse completamente al final del periodo estival. Otras, sin embargo, reciben un aporte hidrológico subterráneo en forma de manantiales y zonas de

rezume, lo que permite que se mantengan inundadas a pesar de la fuerte evaporación que sufren en los meses centrales del año. Estas fluctuaciones en el nivel de las aguas de las lagunas tienen importantes repercusiones en sus características ambientales, ya que dan lugar a cambios en la composición química de las aguas y en la cantidad y variedad de organismos vivos que habitan en ellas.

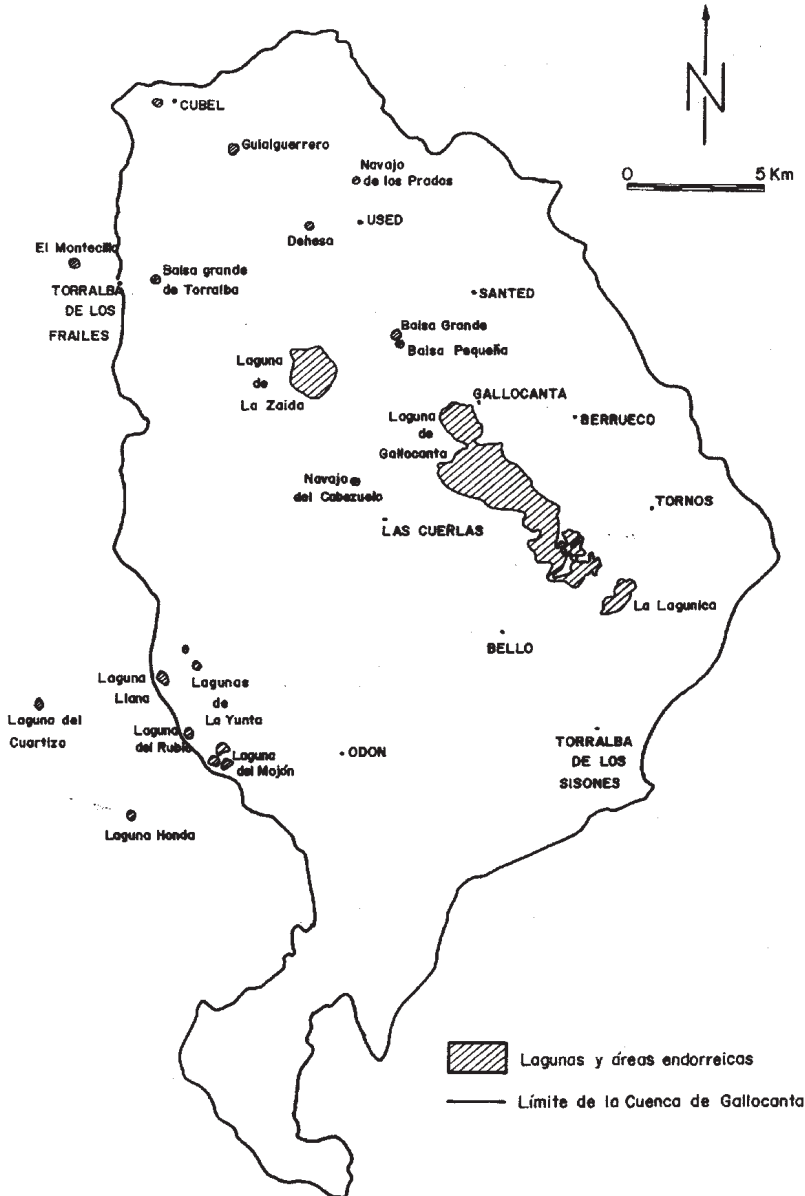


Figura 1. Mapa de distribución de lagunas en la Depresión de Gallocanta.  
 - Location of lakes in the Gallocanta Basin.

## 2. GEOLOGÍA DE LA CUENCA

La concentración de lagunas en determinadas zonas está muy relacionada con la geología del área y con las características hidrogeológicas de las rocas que les sirven de substrato. En la Depresión de Gallocanta esta relación es muy estrecha (Figura 2). Las sierras de Santa Cruz, Valdelacasa y Valdellosa están formadas por crestones de cuarcitas y pizarras paleozoicas, que se hunden hacia el Suroeste. Estas rocas, aunque son poco permeables, están intensamente fracturadas, siendo en las fracturas donde se almacena una cantidad apreciable de agua. Debido a la geometría de estas formaciones cuarcíticas, el agua infiltrada en las grietas fluye lentamente hacia el Suroeste, donde da lugar a toda una serie de manantiales y surgencias de escaso caudal pero muy estables, distribuidas al pie de estas sierras; son, entre otras, la fuente de Villarejo, de la Balsa, de Sancho, de los Saces, de la Cerrada, etc.

Encima de estas formaciones se reconoce una unidad calcárea de pequeño espesor, del Triásico Medio, que aflora de manera discontinua; por ejemplo, sobre estos materiales se ubica el municipio de Gallocanta, y el agua albergada en su fracturación abastece los pozos del pueblo. Los siguientes materiales en edad ocupan el área más deprimida de la cuenca de Gallocanta: se trata de una unidad de arcillas, margas, yesos y sales del Triásico Superior, visibles en varios puntos de los alrededores de la Laguna de Gallocanta, como sucede al pie del cerro de la ermita del Buen Acuerdo. Estos materiales, bastante impermeables, dificultan la infiltración del agua superficial. Esta formación arcillosa es la responsable de la concentración de lagunas en esta zona, así como del carácter salino de algunas de ellas.

Otras formaciones geológicas posteriores afloran a lo largo de todo el borde occidental y meridional de la cuenca. Se trata de rocas calizas fundamentalmente, formadas durante los periodos Jurásico y Cretácico, y que conforman extensos afloramientos con estratos horizontales o suavemente plegados. Sobre estos materiales existen pocas lagunas, ya que los carbonatos son parcialmente solubles en agua, especialmente cuando están fracturados, como es en este caso. Las grietas se amplían por disolución y el agua se infiltra de forma muy eficaz, para originar conductos subterráneos y hasta grutas y cavernas. Este fenómeno se denomina “karst” y es muy común en toda la Cordillera Ibérica. Conocidas grutas próximas a la cuenca de Gallocanta se encuentran en Aldehuela de Liestos y en Torrijo del Campo, aunque también pueden observarse cuevas de diverso tamaño en las calizas que aparecen a lo largo del desfiladero (“hoces”) del río Piedra, entre Embid y Torralba de los Frailes, al noroeste de Gallocanta.

Materiales más recientes, de la Era Terciaria, aparecen en toda la cuenca cubriendo de manera discontinua a las formaciones ya citadas. Se trata de depósitos de gravas, arenas y arcillas, bastante compactas a veces, de varias decenas de metros de espesor. Habitualmente son permeables, sobre todo cuando proliferan las gravas y las arenas, muy porosas. Cuando estos depósitos se superponen a un substrato rocoso impermeable, constituyen buenos reservorios de agua subterránea o acuíferos explotables, aunque sus dimensiones generalmente modestas no permiten extraer

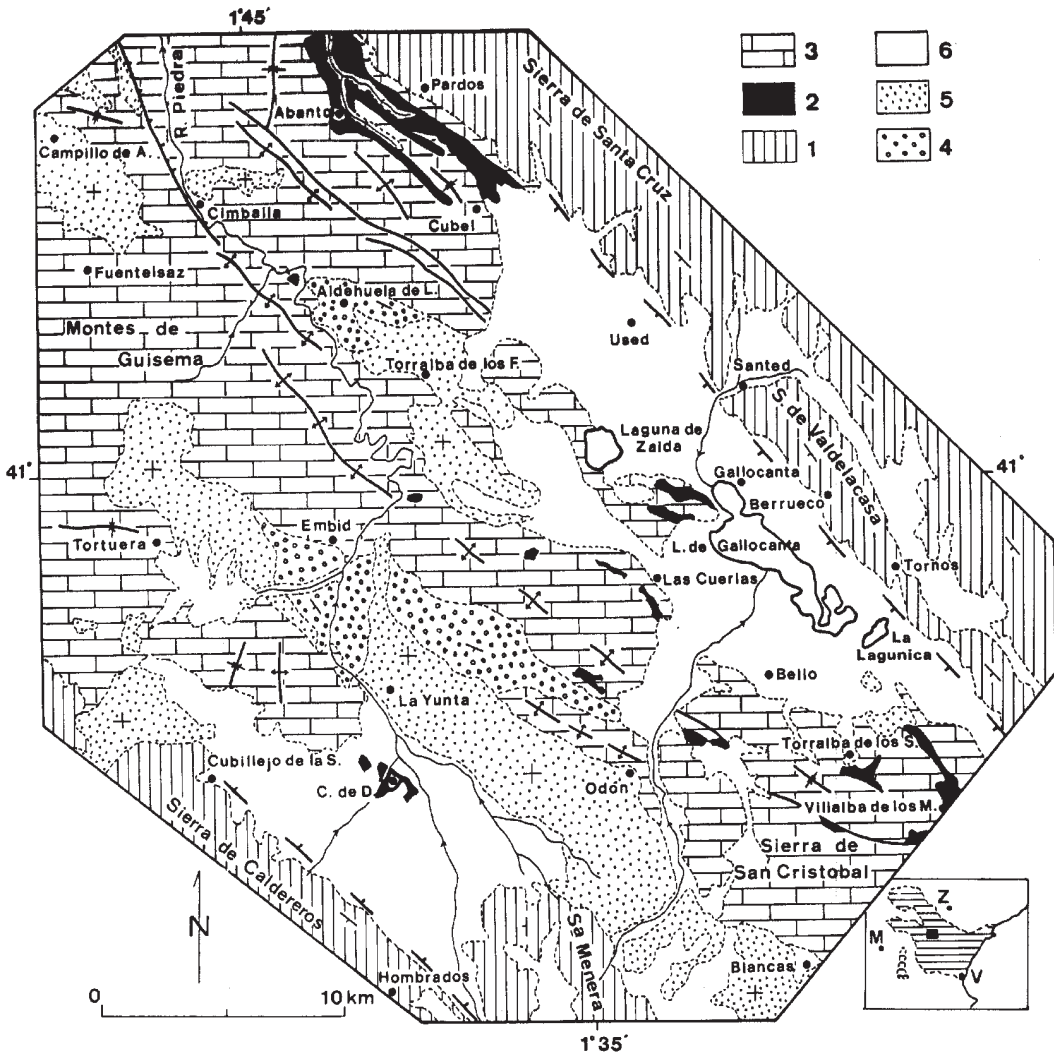


Figura 2. Mapa geológico de la Depresión de Gallocanta (GRACIA *et al.*, 2002). 1: Materiales del Paleozoico y del Triásico inferior; 2: Yesos del Triásico superior; 3: Calizas del Jurásico y Cretácico; 4: Conglomerados del Paleógeno; 5: Conglomerados y arenas del Neógeno; 6: Gravas, arenas y arcillas del Cuaternario.

- Geological map of the Gallocanta Basin. 1: Palaeozoic and Early Triassic materials; 2: Late Triassic gypsum; 3: Jurassic and Cretaceous limestones; 4: Palaeogene conglomerates; 5: Neogene conglomerates and sands; 6: Quaternary gravels, sands and clays.

grandes caudales. Otras veces presentan localmente un alto contenido en arcillas, disminuyendo entonces su permeabilidad. Es el caso del sector Embid – La Yunta – Odón, donde el carácter arcilloso de estas formaciones ha favorecido un importante foco endorreico, con más de 12 lagunas semipermanentes.

Por último, los materiales más recientes, de la Era Cuaternaria, están formados por gravas sueltas, arenas y arcillas arrastradas por arroyos (tanto antiguos como actuales) y por los conos de deyección que se desarrollan al pie de las sierras de Santa Cruz – Valdelacasa, así como por los depósitos lacustres históricos de la Laguna de Gallocanta. Todos estos materiales, que constituyen buenos suelos agrícolas, tienen un espesor reducido (unos pocos metros, como mucho) y son generalmente muy permeables debido a su alta porosidad.

### 3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL COMPLEJO LAGUNAR

Los principales factores que han favorecido la formación del área endorreica de Gallocanta son la topografía plana, un substrato rocoso impermeable que impide que el agua se infiltre y un clima de tipo semiárido. No obstante, la generación de lagunas está ligada a procesos concretos que conducen a la formación de una depresión. En la cuenca de Gallocanta el proceso principal ha sido la disolución del substrato carbonatado o karst. Como ya hemos indicado, este fenómeno, muy habitual en calizas (aunque también se produce en yesos y otras sales), da lugar a la generación de conductos y cavidades subterráneas. Si los conductos y grutas están próximos a la superficie del terreno, puede producirse un hundimiento de la bóveda, originando en la superficie una depresión cerrada, también llamada dolina. Este proceso puede ser muy brusco (por colapso), dando socavones y simas, o bien lento y progresivo, dando entonces depresiones más suaves de dimensiones muy variables.

Hacia el fondo de la depresión creada se dirige el agua de escorrentía, arrastrando arena y arcilla. Estos materiales acarreados pueden llegar a taponar totalmente los conductos subterráneos, impidiendo el paso del agua e impermeabilizando el fondo de la dolina. Se originan así depresiones cuyos fondos están cubiertos de agua, formando lagunas más o menos permanentes. En muchas ocasiones las calizas están cubiertas por otros estratos de arenas y arcillas terciarias y cuaternarias. En estos casos el agua que se infiltra a su través puede alcanzar las calizas inferiores y proceder igualmente a su disolución o karstificación, con la consiguiente formación de dolinas, claramente visibles aunque en superficie no aparezcan las calizas. Esta situación, muy común en la cuenca de Gallocanta, favorece aún más la generación de lagunas, ya que las arenas y arcillas terciarias son fácilmente arrastradas hacia las dolinas, taponando rápidamente los conductos e impermeabilizando su fondo. Es el caso, por ejemplo, de las lagunas de La Yunta y Odón, o el de la Laguna de Guialguerrero, cerca de Cubel.

La karstificación o disolución de la roca caliza no sólo afecta al substrato a partir de grietas y conductos subterráneos, sino que también puede afectar a los afloramientos calizos superficiales en amplias zonas. Cuando la topografía es

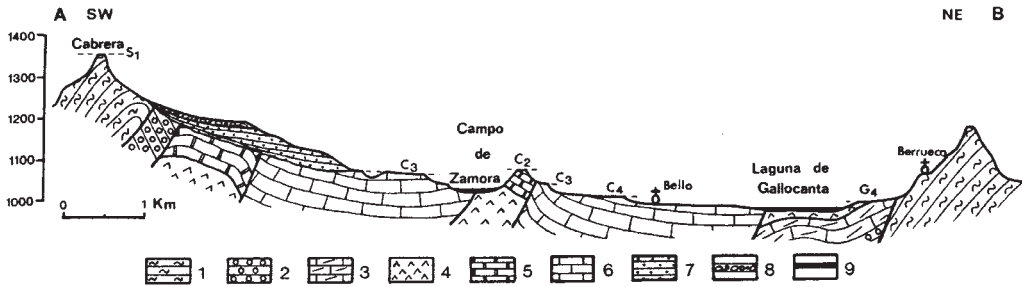


Figura 3. Corte geológico del polje de Gallocanta (GRACIA *et al*, 2002). 1: Cuarcitas y pizarras del Paleozoico, 2: Conglomerados del Triásico inferior, 3: Dolomías del Triásico medio, 4: Arcillas, yesos y sales del Triásico superior, 5: Calizas del Jurásico, 6: Calizas del Cretácico, 7: Arenas del Mioceno, 8: Conglomerados del Plioceno, 9: Fondos de poljes, S1: Superficie de aplanamiento del Mioceno medio, C2, C3 y C4: Superficies de corrosión de poljes, G4: Depósito de piedemonte.

- Geological cross section of the Gallocanta polje. 1: Palaeozoic quartzites and shales; 2: Lower Triassic conglomerates; 3: Middle Triassic dolostones; 4: Upper Triassic clays, gypsum and salts; 5: Jurassic limestones; 6: Cretaceous limestones; 7: Miocene sands; 8: Pliocene conglomerates; 9: Polje bottoms; S1: Middle Miocene planation surface; C2, C3 and C4: Polje corrosion surfaces; G4: Pediment deposits.

bastante plana y la infiltración escasa, el agua tiende a circular y a divagar en la superficie, produciendo en este caso la disolución o corrosión de las calizas en la propia superficie. En el pasado, durante épocas más húmedas, la mayor pluviometría facilitó la corrosión superficial de los amplios afloramientos de calizas jurásicas y cretácicas que existen entre las sierras de Santa Cruz – Valdelacasa y Sierra Menera. Este proceso produjo un aplanamiento del relieve por disolución, aparte de un rebajamiento paulatino del fondo calizo de la depresión, sobre todo en algunas zonas más favorables. De este modo se formaron depresiones cerradas de gran extensión, aunque de escasa profundidad. En sus bordes se pueden reconocer algunos replanos en posición elevada con respecto al fondo (superficies de corrosión “colgadas”), que corresponden a antiguos estadios de desarrollo de la depresión (Figura 3). Estas amplias depresiones se denominan “poljes”, término de origen eslavo, siendo relativamente frecuentes en los países mediterráneos como Eslovenia, Croacia, Italia, Francia y España. En la Cordillera Ibérica existen varios poljes en las sierras calizas de Soria, Guadalajara y Teruel, aunque no suelen producir lagunas, ya que el agua superficial se infiltra en su fondo para circular después por los conductos y grutas subterráneas (GRACIA & GUTIÉRREZ, 1999). Como veremos, la cuenca de Gallocanta es una excepción a esta regla.

En su origen, la depresión de Gallocanta es un polje que comenzó a formarse a finales de la Era Terciaria (hace unos dos millones de años) y que se desarrolló a lo largo de toda la Era Cuaternaria (GRACIA *et al*, 1999). El rebajamiento de la



superficie del terreno llegó a ser muy importante, de más de 150 m en la vertical. Finalmente, este rebajamiento cesó en algunos puntos una vez que las calizas jurásicas desaparecieron ya totalmente por disolución. En ese caso el rebajamiento permitió el afloramiento de la formación geológica inmediatamente inferior, mucho más insoluble, constituida por las arcillas, margas y yesos del Triásico. En dichos puntos más deprimidos el agua, incapaz de infiltrarse en un substrato prácticamente impermeable, se encharcó formando amplias áreas lagunares de escasa profundidad.

De esta manera se originaron en la cuenca de Gallocanta cinco grandes lagunas, ocupando fondos de poljes, probablemente hace unos 40 000 años (GRACIA *et al.*, 2002). Con el paso del tiempo, tres de ellas se rellenaron de sedimentos arrastrados por los arroyos, de tal modo que aparecen hoy como depresiones secas con fondos arcillosos y suelos de colores oscuros que reflejan su antigua naturaleza lagunar. Son los casos del Campo de Zamorra (al este de Odón, Figura 3), del Campo del Espiojarero (al norte de Blancas) y del Campo del Pozo de Torrubia (al SE de Torralba de los Frailes). Sin embargo, las otras dos áreas lagunares se han mantenido activas, formando las actuales lagunas de Gallocanta y de La Zaida. Aunque ambas están en proceso de colmatación por sedimentos, su extensión y su profundidad han permitido que se mantengan como lagunas temporalmente inundadas hasta la actualidad. La Lagunica, antigua laguna localizada al sur de Tornos (donde hoy quedan restos de unas graveras abandonadas), en realidad formó parte históricamente de la Laguna de Gallocanta, separándose de ella de manera natural (por sedimentación de arenas) en épocas relativamente recientes. En la actualidad está desecada artificialmente.

En estas grandes lagunas, pero también en las pequeñas asociadas a dolinas, el contenido en sales de sus aguas está relacionado con la naturaleza del substrato impermeable sobre el que se asientan. Este substrato en casi todos los casos corresponde a la unidad de arcillas, margas y yesos del Triásico, y las aguas de casi todas las lagunas son dulces. Sin embargo, esporádicamente esta formación geológica presenta una alta proliferación de sales (halita o sal gema, fundamentalmente), lo que origina que algunas lagunas sean de aguas saladas, por alimentación subterránea de flujos de agua que previamente han disuelto parte de esas sales. Este es el caso de la Balsa Grande de Santed y de la Laguna de Gallocanta.

#### 4. LA LAGUNA DE GALLOCANTA Y SU DINÁMICA ACTUAL

El fondo de la Laguna de Gallocanta presenta un relieve prácticamente plano, sin fosas de entidad; no obstante, cuenta con un microrrelieve accidentado por pequeñas ondulaciones del terreno que definen la naturaleza de las comunidades biológicas que ocupan este territorio. Las formas y ambientes litorales son variadas y cambiantes, condicionando también la concentración selectiva de las comunidades de aves.

Morfológicamente la Laguna de Gallocanta tiene un contorno irregular, orientado en dirección NO-SE. Su longitud máxima es de 7,7 km y su anchura máxima es de 2,8 km, mientras que su área total es de unos 14,4 km<sup>2</sup>. La profundidad

máxima, en épocas de aguas altas, puede ser de hasta 2 m en algunos puntos. No obstante, la profundidad media actual de sus aguas es de 45 – 50 cm y su capacidad máxima de unos 5 hm<sup>3</sup>. En 1917 se llegó a alcanzar una profundidad máxima de hasta 2,5 m (RODÓ *et al.*, 2002), mientras que en la primera mitad de la década de 1990 permaneció completamente seca. La laguna presenta tres sectores inundados bien diferenciados, separados por estrechamientos (Figura 4).

En su extremo NO desarrolla un primer cuerpo lacustre que forma una depresión subcircular de unos 1500 m de diámetro, denominada “Lagunazo Pequeño o de Gallocanta”, separada del resto de la laguna por un estrangulamiento o estrecho de unos 175 m anchura. A este lagunazo vierten sus aguas los arroyos de Los Aguanares (nombre con el que también se designa al área litoral más septentrional de la laguna), el arroyo de La Isilla (procedente, como el anterior, de la sierra de Valdelacasa) y el arroyo o “Royo” de Santed (procedente de la sierra de Santa Cruz). El citado estrecho que lo limita por el Sur está formado por dos pequeños istmos denominados “Los Picos”, formados por acúmulos de arena y gravilla que han crecido hasta casi conectar entre sí. El pico nororiental se denomina “del Hacha” y el suroccidental “de Los Ojos”.

El sector central de la laguna, llamado “Lagunazo Grande”, forma el cuerpo principal, con unos 5 km de longitud y 2 km de anchura media. En él se localizan, próximas a la orilla suroccidental, dos islas temporales según la altura de las aguas: “Lomerón del Colorado” e “Isla del Tío Pesterre”. La primera de ellas queda a menudo comunicada con el litoral como consecuencia de la disminución del nivel de las aguas en periodos de sequía. A este lagunazo vierte sus aguas por el SO la rambla de los Pozuelos, afluente más importante de la laguna. Por el NE afluyen otros cursos de menor entidad, procedentes de la sierra de Valdelacasa. En el litoral NO del Lagunazo Grande, y cerca del estrecho que lo separa del Lagunazo Pequeño, existe un área de rezume de agua surgente de carácter salobre, formada por varios manantiales interconectados (“Los Ojos”). Próximo a ella se desarrolla el “Prado de Las Cuerlas”, formado por un área encharcada que históricamente formó parte del Lagunazo Grande; hoy día está desecada artificialmente.

El Lagunazo Grande está limitado al SE por una pequeña península arenosa de algo más de 1000 m de longitud, denominada “Loma de Berrueco”, y que partiendo del litoral NE casi llega a cerrar este cuerpo lacustre central (Figura 4). El estrechamiento resultante, de unos 700 m, da paso al último sector encharcado, denominado “Los Lagunazos”. Éste está constituido por un área de límites imprecisos, en la que proliferan las zonas pantanosas, canales de trazado laberíntico, isletas, etc.

El litoral de la Laguna de Gallocanta en cada uno de estos sectores presenta morfologías de detalle muy variadas, como playas, deltas, pequeños acantilados, etc. En cierto modo la laguna se comporta como un pequeño mar en el que se producen también olas y corrientes, muy similares a las marinas aunque con una magnitud mucho menor, lógicamente. El viento dominante, procedente del NO, origina pequeñas olas en la superficie de la laguna y corrientes que se propagan hacia el SE, barriendo los dos litorales del Lagunazo Grande.

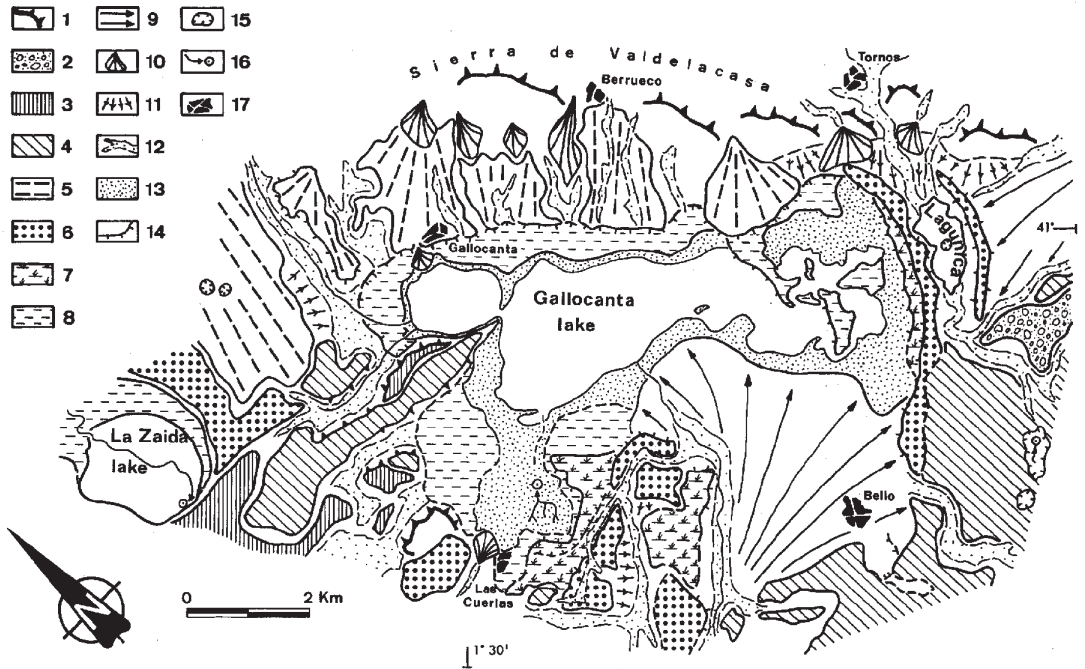


Figura 4. Mapa geomorfológico de la Laguna de Gallocanta (GRACIA *et al*, 2002). 1: Escarpe estructural, 2: Depósitos del Neógeno, 3 y 4: Superficies de corrosión  $C_3$  y  $C_4$ , 5: Piedemonte  $G_4$ , 6, 7 y 8: Terrazas lacustres  $T_4$ ,  $T_5$  y  $T_6$ , 9: Abanico aluvial, 10: Cono de deyección, 11: Ladera suavizada, 12: Valle de fondo plano, 13: Llanura lacustre, 14: Escarpe reciente, 15: Dolina, 16: Sumidero, 17: Población.

- Geomorphological map of Gallocanta Lake. 1: Structural escarpment; 2: Neogene deposits; 3 and 4: Corrosion surfaces  $C_3$  and  $C_4$ ; 5: Pediment level  $G_4$ . 6, 7 and 8: Lacustrine terraces  $T_4$ ,  $T_5$  and  $T_6$ ; 9: Alluvial fan; 10: Colluvial fan; 11: Gentle slope; 12: Flat-bottomed valley; 13: Lacustrine floodplain; 14: Recent escarpment; 15: Doline; 16: Shallow hollow; 17: Village.

Las corrientes litorales presentan mayor velocidad y energía cuando el viento es fuerte y cuando la laguna se encuentra totalmente inundada, en situación de aguas altas. En estas circunstancias se produce un transporte de arena y gravilla por ambos márgenes, que da lugar a la formación de acúmulos costeros muy característicos, como las llamadas “flechas litorales”, que son prolongaciones de arena que parten de las orillas adentrándose unas decenas de metros hacia el interior de la laguna. En las márgenes del Lagunazo Grande pueden observarse varias flechas litorales, dos de las cuales eran funcionales en el último episodio de aguas altas, a finales de la década de 1970 (Figura 5). Por otro lado, en las proximidades del litoral NE del Lagunazo Grande existen algunas pequeñas charcas, separadas de la laguna por un estrecho acúmulo arenoso. Su origen está asociado a antiguas flechas litorales que,



Figura 5. Fotografía aérea del sector suroriental de la Laguna de Gallocanta, tomada en 1978. Se aprecian varias flechas arenosas recurvadas, la isla del Tío Pesterre en la parte superior de la imagen y las zonas pantanosas de Los Lagunazos a la derecha.  
- Aerial photograph taken in 1978 of the Southeastern sector of Gallocanta Lake. Several curved sandy spits can be seen, as well as the Tío Pesterre island in the upper part of the image, and the Los Lagunazos marshlands to the right.

en su crecimiento, llegaron a encerrar y aislar pequeñas bahías o entrantes costeros, que han quedado hoy como lagunas litorales de carácter estacional.

En tiempos recientes, el trasvase de sedimentos hacia el SE por las corrientes litorales ha propiciado el relleno sedimentario del extremo suroriental de la laguna, dando lugar al área de Los Lagunazos, muy plana y pantanosa debido a la progresiva colmatación sedimentaria. El máximo apilamiento de agua por corrientes y por el viento se da en el área de la Loma de Berrueco, donde las olas alcanzan la mayor altura y su máximo poder erosivo, desgastando y socavando la orilla. Se ha formado así en este sector un pequeño acantilado vertical, de más de un metro de altura, cuyo retroceso continúa durante los periodos de aguas altas. A veces, incluso, con fuertes vientos y máximo nivel, las aguas han llegado a desbordar y sobrepasar la propia flecha de la Loma de Berrueco, inundando masivamente el área de Los Lagunazos. A excepción de estas formas particulares, el resto del litoral lacustre está caracterizado por playas limoarenosas y zonas pantanosas. Unas y otras se distribuyen según los procesos dinámicos dominantes. En áreas resguardadas del viento y de las corrientes

se sedimentan arcillas y se implanta la vegetación, dando fangales y cenagales. Las zonas más dinámicas están formadas por playas, generalmente con arena y cantos de pequeño tamaño. Por último, en las desembocaduras de arroyos y torrentes se forman a veces pequeños deltas.

## 5. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

La Laguna de Gallocanta no siempre tuvo este aspecto, ya que en el pasado, hace miles de años, llegó a tener una extensión muy superior y una morfología totalmente diferente. En los alrededores de la laguna existen restos de depósitos de arenas y gravas de origen litoral que marcan la antigua extensión del lago. Se pueden reconocer tres niveles escalonados de depósitos o “terrazas lacustres”, que orlan la laguna por el sur y sureste (GRACIA, 1995). Los depósitos asociados a la terraza lacustre más alta se encuentran a unos 4 m por encima del actual nivel de aguas altas de la laguna, y corresponden a una época antigua en la que el lago debió de tener mayor profundidad y extensión. El área máxima cubierta por la Laguna de Gallocanta en su origen, hace probablemente unos 32 000 años (RODÓ *et al*, 1997), debió de ser de alrededor de 54 km<sup>2</sup>, unas cuatro veces su extensión actual, y su profundidad máxima pudo superar los 5 m. Los depósitos de las terrazas lacustres más altas de la laguna de Gallocanta pueden observarse con detalle en las graveras abandonadas existentes entre Tornos y Bello. En ellas se aprecian acumulaciones de cantos en láminas que marcan diversos estadios de aguas altas y de aguas bajas del antiguo lago. No se aprecia en los depósitos resto alguno de sal, por lo que probablemente la laguna adquirió el carácter salino en épocas más recientes (GRACIA & SANTOS, 1992).

Una vez formada la laguna, con el tiempo, parte de las aguas estancadas se infiltraron hacia el substrato rocoso yesífero y salino. Una parte de este substrato fue disuelta por el agua infiltrada provocando poco a poco, un cierto asentamiento del fondo del lago. Esto produjo una reducción del perímetro de la laguna y un progresivo hundimiento de su lecho, lo que permitió la formación de una nueva terraza lacustre a una altura más baja. Además, el agua infiltrada, enriquecida en las sales disueltas, retornó a la laguna a través de manantiales y surgencias, como las que hoy existen en el área de “Los Ojos”, salinizando el lago. La terraza lacustre más reciente, situada a casi un metro por encima del nivel de aguas altas de la laguna, muestra ya depósitos arcillosos con un apreciable contenido en sales, reflejando un ambiente lacustre salino muy parecido al actual.

Mientras la laguna reducía progresivamente su perímetro y su calado, también fue recibiendo sedimentos procedentes de los numerosos arroyos y torrentes que la alimentan. Su fondo ha sufrido así, con el tiempo, un proceso continuado de aterramiento por sedimentos, especialmente durante las épocas más lluviosas. Existe bajo la laguna un espesor de sedimentos lacustres que oscila entre 1,3 m y 2 m, compuestos por fangos y arcillas que alternan con algunos niveles de cantos de pequeño tamaño. Estos sedimentos han sido estudiados mediante sondeos por diversos autores (DAVIS, 1994; BURJACHS *et al*, 1996). Los sedimentos más antiguos

datados hasta la fecha, localizados a 1,7 m de profundidad, dieron una edad de más de 32.000 años (RODÓ *et al.*, 1997), mientras que los sedimentos del último medio metro se acumularon durante épocas históricas (RODÓ *et al.*, 2002; ROC, 2003). Los niveles de fangos, ricos en yeso, representan sucesivas etapas de sequía, mientras que los niveles de cantos, ricos en calcita, están asociados a épocas más húmedas en las que los arroyos tenían mayor caudal y mayor capacidad para transportar guijarros hacia la laguna. Así, las características de todos estos depósitos permiten deducir fluctuaciones climáticas históricas, como el periodo cálido medieval, o la época fría que tuvo lugar entre los siglos XVI y XIX (SCHÜTT, 2000).

En los sondeos se ha observado que las sales sólo aparecen en los últimos centímetros más superiores (PÉREZ *et al.*, 2002), lo que confirma que la laguna de Gallocanta adquirió un carácter salino en épocas muy recientes. Diversos documentos históricos (CAMPILLO, 1915) indican que en 1457 el rey de Aragón permitió la explotación de sales en la laguna. Otros documentos posteriores describen diferentes concesiones para la extracción de sales del fondo del lago, hasta finales del siglo XIX. Por otro lado, el momento más tardío en el que la laguna tenía agua dulce puede estimarse por los datos de BURJACHS *et al.* (1996), que dataron un nivel no salino a 0,6 m de profundidad, con una edad de hace 840 años. Por tanto, si la datación es correcta, parece que las aguas de la laguna se salinizaron en un corto periodo de tiempo, entre los siglos XII y XV. La explicación de este proceso tan rápido de salinización puede estar relacionado con un episodio de intensa disolución de las sales del Triásico que forman el substrato de la laguna, y la posterior alimentación de aguas cargadas de sales hacia la laguna a través de los manantiales de Los Ojos. La explotación artificial de sales se continuó hasta finales del siglo XIX. En 1874 la Ley de Desamortización de los “bienes públicos en manos muertas” hizo que el Estado se incautara de la laguna, adjudicándola en pública subasta. Fue adquirida en 1897 por el “Banco Agrícola, Comercial e Industrial, S.A.”, sociedad expresamente creada para la desecación y explotación de la laguna que, una vez “saneada”, constituiría una finca llamada “Dominios del Pilar”. Al parecer, los promotores del proyecto contemplaban la construcción de un canal para desaguar la laguna hacia el valle del Jiloca y servir a la vez como guía fluvial para el transporte de las futuras producciones hasta la vía férrea. En la finca, de más de 10 km<sup>2</sup>, se preveía el establecimiento de cultivos, cría de ganado, etc. Estos planes lo llegaron nunca a emprenderse y la sociedad se disolvió en 1931, pasando de nuevo la laguna a titularidad pública.

## 6. LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

La cuenca de Gallocanta, aunque tiene una pluviometría superior a la de los territorios próximos, sufre estrés hídrico estival, con al menos seis meses anuales de déficit de agua. Según los datos de SAN ROMÁN *et al.* (2007), recibe una aportación procedente de la lluvia directa y de los aportes superficiales y subterráneos estimada en 11,73 hm<sup>3</sup>/año, a partir de series históricas de niveles de aguas medidos en la laguna, así como imágenes de la laguna tomadas por el satélite LANDSAT. Según GARCÍA & ARQUED (2000), las pérdidas de agua se producen por evaporación, y

pueden ser superiores a las aportaciones, llevando a menudo a la desecación total de la laguna. Anualmente las aportaciones por la lluvia suponen unos 131 hm<sup>3</sup>, de los cuales 3,8 corresponden a escorrentía superficial y 117,7 se evaporan. Se trata, pues, de un área con grandes problemas hídricos, sobre todo en los meses de verano, en los que los aportes pluviométricos no llegan a compensar las pérdidas por evaporación. No obstante, su balance hídrico no es permanentemente negativo debido a las bajas temperaturas invernales y a la lluvia asociada a las tormentas estivales.

Hidrológicamente la Laguna de Gallocanta recibe aportes tanto superficiales como subterráneos. Los aportes superficiales están representados por los arroyos y torrentes procedentes de los relieves circundantes (Rambla de los Pozuelos, Royo de Santed, Acequia Madre de Tornos, etc.). La laguna de La Zaida, cercana a la de Gallocanta, recibe un aporte superficial de casi 7,5 hm<sup>3</sup>/año, pero buena parte de este caudal alimenta posteriormente a la Laguna de Gallocanta a través de la conexión hidrológica subterránea entre ambas lagunas y que se manifiesta en el arroyo y fuente de La Cañada, al pie de la ermita del Buen Acuerdo (Figura 6). Los principales aportes subterráneos a la laguna proceden de los acuíferos formados por las calizas del Cretácico y por las gravas y arenas del Cuaternario.

La Laguna de Gallocanta experimenta enormes oscilaciones en el volumen de sus aguas en función de la distribución de las precipitaciones que recoge, las cuales presentan fuertes variaciones tanto anuales como estacionales. Las más claras son las fluctuaciones interanuales, que muestran una tendencia descendente del nivel del agua desde 1977 hasta 1982, un periodo de sequía entre ese año y 1986, un periodo irregular con diversas oscilaciones desde 1987 a 1994, y un periodo dilatado de sequía muy acentuada desde ese año hasta la actualidad (SAN ROMÁN *et al*, 2007), aunque a partir de 2003 se observa una cierta recuperación. Estas variaciones del volumen de agua de la laguna se corresponden bastante bien con las de la lluvia anual, así como con periodos húmedos o secos de varios años de duración. Las fluctuaciones estacionales del nivel del agua siguen un patrón caracterizado por un máximo a principios de primavera y un mínimo a finales de verano. Existen, no obstante, desviaciones de este patrón durante los años de nivel más bajo.

La laguna puede considerarse como un lago salado de carácter efímero. Si la pluviometría descendiera hasta los 250 mm (valor normal para el centro del valle del Ebro, por ejemplo), la laguna se transformaría en un salar, es decir, en una llanura seca con grandes cantidades de sal acumulada. Un aumento de un 6,6% en la evaporación, combinada con una menor pluviometría, podría producir también estas transformaciones. Este cambio podría darse, igualmente, si se extrajeran del balance hídrico lagunar cantidades significativas de agua, para riego, abastecimiento urbano, ganadería, etc. En cualquier caso, el volumen de la laguna no varía inmediatamente después de un cambio en la pluviometría, ya que otros factores como la temperatura (que puede hacer aumentar mucho la evaporación) o las características hidrogeológicas de la cuenca influyen también en el balance hidrológico. Algunos investigadores han destacado el interés del estudio de las fluctuaciones del nivel de las aguas de la laguna, ya que constituyen un buen marcador de ciertas oscilaciones meteorológicas

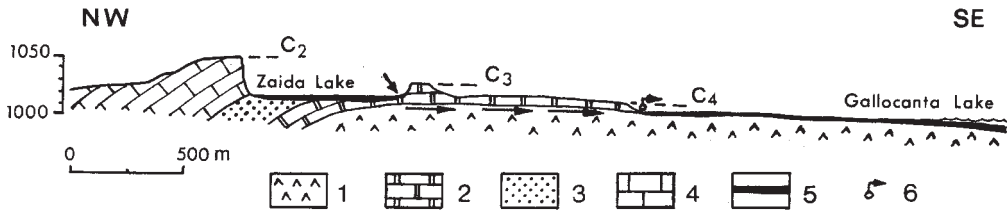


Figura 6. Corte geológico entre las lagunas de La Zaida y de Gallocanta. 1: Arcillas, yesos y sales del Triásico superior, 2: Calizas del Jurásico, 3: Arenas y arcillas del Cretácico inferior, 4: Calizas del Cretácico superior, 5: Depósitos lacustres recientes, 6: Surgencia. Las flechas indican la localización del sumidero y la dirección de movimiento del agua subterránea. C2, C3 y C4: superficies de corrosión del polje.  
 - Geological cross section of the La Zaida and Gallocanta lakes. 1: Upper Triassic clays, gypsums and salts; 2: Jurassic limestones; 3: Lower Cretaceous sands and clays; 4: Upper Cretaceous limestones; 5: Recent lacustrine deposits; 6: Outflow. Arrows indicate location of hollow and direction of groundwater flow, C2, C3 and C4: Polje corrosion surfaces.

y climatológicas a escala mundial. Los lagos continentales son a veces utilizados como marcadores de las oscilaciones climáticas de amplias regiones, sin embargo la particularidad de la Laguna de Gallocanta estriba en que, a diferencia de otras zonas de la Península Ibérica, no muestra un comportamiento hidrológico acompasado a las oscilaciones climáticas del Atlántico Norte. Por el contrario, presenta un ritmo de fluctuaciones que refleja fielmente las oscilaciones del fenómeno climático conocido como “El Niño”, que afecta, fundamentalmente, a las costas meridionales del Océano Pacífico (COMÍN *et al*, 1990; RODÓ *et al*, 1997). Este ajuste, aunque puede parecer extraño a primera vista, podría estar asociado a patrones climáticos globales no muy bien conocidos hasta el momento, lo cual sin duda aumentaría todavía más la necesidad de preservación de la Laguna de Gallocanta como sistema natural cuyo seguimiento aporta información de interés global.

Un aspecto importante de la Laguna de Gallocanta es la elevada salinidad de sus aguas, aunque generalmente inferior a la del agua marina. Como ya hemos indicado, las sales proceden del substrato rocoso (Triásico) sobre el que se asienta la laguna, el cual contiene niveles discontinuos de sales. Algunos manantiales de agua salobre, así como la propia escorrentía superficial que lava los afloramientos del Triásico, constituyen aportes salinos a la laguna, especialmente de cloruros y sulfatos. Con la desecación se produce la precipitación de las sales y su acumulación en el fondo, donde forman una costra blanquecina y brillante que cubre de manera discontinua la superficie de la laguna seca (Figura 7). Las primeras lluvias que caen sobre este fondo desecado producen la disolución de grandes cantidades de sal, lo cual hace que al principio aumente la salinidad de las aguas. Conforme el nivel de la laguna va subiendo, se produce la dilución progresiva de estas sales hasta alcanzar, en época de aguas altas, valores de concentración relativamente bajos, de tan sólo 15 gr/l.





Figura 7. Llanura de sales en el fondo de la Laguna de Gallocanta durante un periodo de desecación total, a principios de la década de 1990.

- Salt flats at the bottom of Gallocanta Lake during a period of complete desiccation in the early 1990's.

Con un nuevo periodo de sequía el volumen de agua disminuye y, paralelamente, la cantidad relativa de sales disueltas vuelve a aumentar, hasta alcanzar los máximos valores justo antes de la desecación total, llegando incluso a los 600 gr/l (COMÍN *et al*, 1990). La concentración salina no es uniforme en toda la laguna debido al efecto del microrrelieve, así como a los aportes de agua dulce y la acción del viento.

En los últimos 100 años la Laguna de Gallocanta se ha desecado completamente al menos cuatro veces. Durante estos periodos la costra salina cubre el fondo, formando los llamados “salitrales” de la laguna. Esta costra, de unos pocos centímetros de espesor, está compuesta por minerales salinos como halita (sal gema), que forma cristales cúbicos brillantes y muy llamativos, así como por yeso, calcita y dolomita. El viento, procedente del NO, incide sobre esta costra y arrastra consigo los pequeños cristales de sal, que son trasladados hacia el área de Los Lagunazos y más hacia el SE, fuera del vaso de la laguna. Este proceso de transporte por el viento o “deflación eólica” supone una importante pérdida en la cantidad de sales de la laguna. Por ejemplo, se estima que entre 1981 y 1987, la precipitación salina y la deflación eólica produjeron una pérdida acumulada de 19 toneladas de calcio y 64 toneladas de sulfatos (COMÍN *et al*, 1990). Otra fuente de pérdida de sales, esta vez de carácter artificial, es la extracción para uso fundamentalmente ganadero, la cual se remonta, al menos, al siglo XV. La explotación sistemática de sales de la laguna se continuó hasta el siglo XIX. Incluso llegó a establecerse un puesto de carabineros en la orilla NE para evitar su contrabando.

## BIBLIOGRAFÍA

- BURJACHS, F., RODÓ, X. & COMÍN, F.A. 1996. *Gallocanta: ejemplo de secuencia palinológica en una laguna efímera*. In: *Estudios Palinológicos*. RUIZ ZAPATA, B., (Ed.), XI Simp. Palinología, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, 25 - 29.
- CABRERA, M., JAIME, C. DE, GRACIA, F.J. & SERRANO, R. 2002. Los ambientes. In: MAÑAS, J. (Coord.): *Guía de la Naturaleza de Gallocanta*. Ed. Prames, Zaragoza, pp. 30 - 71.
- CAMPILLO, T. DEL. 1915. *Documentos históricos de Daroca y su comunidad*. Biblioteca de Escritores Aragoneses, Zaragoza.
- COMÍN, F.A., JULIA, R., COMÍN, M.P. & PLANA, F. 1990. Hydrogeochemistry of Lake Gallocanta (Aragón, NE Spain). *Hydrobiologia*, **197**: 51 - 66.
- DAVIS, B., 1994. *Palaeolimnology and Holocene environmental change from endorreic lakes in the Ebro Basin. North-East Spain*. Ph D Thesis, University of Newcastle. Upon Tyne.
- GARCÍA, M.A. & ARQUED, V.M. 2000. Evaluación de los recursos subterráneos en el dominio hidrogeológico Alto Jalón – Alto Jiloca. *Geotemas*, **1**(2): 87 - 91.
- GRACIA, F.J. 1995. Shoreline forms and deposits in Gallocanta Lake (NE Spain). *Geomorphology*, **11**, 323 – 335.
- GRACIA, F.J. & GUTIÉRREZ, F. 1999. Geomorfología kárstica de las cuencas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel). *Instituto de Estudios Turolenses*. **87** (1): 41 - 68.
- GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, F. & GUTIÉRREZ, M., 1999. Evolución geomorfológica del polje de Gallocanta (Cordillera Ibérica). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **12** (3-4): 351 - 368.
- GRACIA, F.J., GUTIÉRREZ, F. & GUTIÉRREZ, M. 2002. Origin and evolution of the Gallocanta polje (Iberian Range, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, **46** (2): 245 - 262.
- GRACIA, F.J. & SANTOS, J.A. 1992. Caracterización sedimentológica y modelo deposicional costero de una terraza lacustre pleistocena en la Laguna de Gallocanta (Provincia de Zaragoza). In L. CABRERA Y P. ANADÓN (Eds.) *Simposium sobre Sedimentación Lacustre. III Congr. Geol. España, S.G.E.*, Salamanca, vol. I de Simps., p. 98 - 107.
- PÉREZ, A., LUZÓN, A., ROC, A.C., SORIA, A.R., MAYAYO, M.J. & SÁNCHEZ, J.A. 2002. Sedimentary facies distribution and genesis of a recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta lake, Iberian Chain, NE Spain. *Sedimentary Geology*, **148**: 185 - 202.
- ROC, A.C. 2003. *Evolución medioambiental de las lagunas salino-carbonatadas durante el Holoceno en la cuenca de Gallocanta, Aragón, NE España. Estudio sedimentológico y palinológico*. Tesis Doctoral. Univ. de Zaragoza, Zaragoza.
- RODÓ, X., BAERT, E. & COMÍN, F.A. 1997. Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, **13**: 275 - 284.
- RODÓ, X., GIRALT, S., BURJACHS, F., COMÍN, F.A., TENORIO, R.F. & JULIÁ, R. 2002. High-resolution saline lake sediments as enhanced tools for relating proxy paleolake records to recent climatic data series. *Sedimentary Geology*, **148**: 203 – 220.
- SAN ROMÁN, J., GARCÍA, M.A.; BLASCO, O. & COLOMA, P. 2007. Hidrogeología e implicaciones ambientales. *Xiloca*, **35**: 65 - 86.
- SCHÜTT, B. 2000. Holocene paleoenvironments in Central Spain reconstructed by sedimentological investigation of playa lake systems. In: SLAYMAKER, O. (Ed). *Geomorphology, human activity and global environmental change*. John Wiley & Sons, 151 - 184.

# Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta e implicaciones ambientales

## Hydrogeology of the Gallocanta Lake and environmental implications

Miguel Ángel García Vera\*, Javier San Román Saldaña\*,  
Óscar Blasco Herguedas\*\* y Pablo Coloma López\*

(\*) *Confederación Hidrográfica del Ebro. Pº Sagasta 24-28.  
50071 Zaragoza.*

*jsanroman@chebro.es; mgarciave@chebro.es; pcoloma@chebro.es*

(\*\*) *Eptisa. Arapiles 14. 28015. Madrid.*

*oblasco@eptisa.es*

**PALABRAS CLAVE:** Hidrogeología, hidrología superficial, modelo hidrológico, salinidad, humedal, gestión del agua, bombeo, desarrollo sostenible, hidrometría, batimetría.

**KEY WORDS:** Hydrogeology, surface hydrology, hydrological model, salinity, wetlands, water management, pumping, sustainable development, hydrometrics, bathymetry.

### RESUMEN

Los trabajos efectuados en 2000-2005 con nueva información de campo han permitido definir las principales características hidrológicas de la cuenca de Gallocanta y elaborar un modelo matemático de flujo para evaluar el efecto del uso agrícola en los niveles de agua de la laguna. La laguna se nutre de cuatro acuíferos principales: 1) calizas y dolomías del Muschelkalk, 2) calizas, dolomías y margas del Jurásico, 3) calizas y dolomías del Cretácico superior, y 4) Cuaternario. Se ha contado con datos de caudal de arroyos, estación meteorológica, extracción de pozos, nivel de agua en la laguna, y batimetría levantada al efecto. La recarga de agua a la laguna se ha evaluado con el modelo BALAN\_11 y se ha integrado toda la información con el modelo MODFLOW. Las conclusiones han sido: a) el modelo hidrológico conceptual planteado concuerda con los datos de campo; b) la afección de los bombeos a la laguna es reducida aunque desde el punto de vista ambiental no parece prudente incrementar el regadío; c) la extracción máxima para riego no debería sobrepasar 1 hm<sup>3</sup>/año; d) el seguimiento en campo de las variables hidrológicas de la laguna debe continuar para futuras revisiones del modelo hidrológico.

### ABSTRACT

The studies conducted in 2000-2005 based on new ground data allowed the main hydrogeologic features of Gallocanta basin to be defined and resulted in a mathematical flow model that allowed for the effect of agriculture on the water level of Gallocanta Lake to be assessed. The lake is fed by four main aquifers: 1) Muschelkalk limestones and dolomites, 2) Jurassic limestones and marls, 3) Upper Cretaceous limestones and dolomites, and 4) the Quaternary. Data on stream water flows, a weather station, pumping of wells, lake water level, and bathymetry were used. The return of water to the lake was assessed using the BALAN\_11 model and all the information was integrated with the MODFLOW model. The main conclusions are: a) the proposed hydrologic conceptual model agrees with field data; b) the effect of pumping is small, though from an environmental standpoint it is not prudent to increase irrigation; c) maximum extraction for irrigation should not exceed 1 hm<sup>3</sup>/year; d) field monitoring of hydrologic variables ought to continue so as to allow for future revisions of the hydrologic model.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La cuenca de la Laguna de Gallocanta recoge aguas de una cuenca vertiente superficial de 536 km<sup>2</sup> y de una cuenca subterránea de bastante menor extensión (143 km<sup>2</sup>). Es en realidad, un conjunto endorreico donde destacan, además, las lagunas de La Zaida y Guialguerrero. La precipitación y temperatura medias son de 430 mm y 10,7 °C, respectivamente (Figura 1).

En años especialmente húmedos (década de los 70) la extensión de la Laguna de Gallocanta llegó a ser de 14 km<sup>2</sup>, con una profundidad de 2,45 m, mientras que en épocas de sequía prolongada la laguna queda sin lámina de agua aparente. La salinidad varía notablemente de unos periodos a otros, superando ampliamente a la del mar cuando está próxima a secarse.

Desde el punto de vista administrativo, la Laguna de Gallocanta está relacionada con la masa de agua subterránea número 87 (Gallocanta), actualmente declarada como zona vulnerable a la contaminación por nitratos y como masa de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua.

Atendiendo a las características ambientales, constituye un enclave de extraordinario valor ecológico, siendo el mejor ejemplo de lago salado de Europa occidental. Su singular funcionamiento hídrico permite la existencia de comunidades biológicas adaptadas a estas especiales condiciones. En el año 1994 fue incluida por el Gobierno de España en la lista de zonas húmedas acogidas al convenio de RAMSAR. En el Decreto 42/2006 se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y se declara Reserva Natural Dirigida (Ley 11/2006 de 30 de noviembre; BOE nº 23 de 26 de enero de 2007). Además está catalogada como Lugar de Interés Comunitario (ES2430043) por ser la localidad más importante del paleártico occidental en el transcurso de la migración anual de la grulla común.

En el entorno de la laguna existen diversos aprovechamientos de aguas subterráneas; algunos de ellos son tradicionales y consisten en pozos excavados de gran diámetro que extraen recursos del acuífero cuaternario. A mediados de los años 80, con ocasión de una importante sequía, proliferaron las captaciones mediante sondeos de mayor profundidad, extrayéndose recursos de los acuíferos carbonatados mesozoicos. El volumen de agua bombeada llegó a alcanzar los 2 hm<sup>3</sup>/año. Actualmente el volumen bombeado es mucho menor. Las mediciones realizadas en los últimos nueve años con los contadores instalados en los 40 pozos que realmente bombean, arrojan una cifra inferior, en torno a 0,7 hm<sup>3</sup>/año, oscilando entre 0,54 hm<sup>3</sup> (2004) y 1 hm<sup>3</sup> (2001).

La posible afección de estos bombeos al régimen de la laguna motivó, a mediados de los 90 y con ocasión de otro periodo de sequía, una fuerte controversia entre las organizaciones conservacionistas y los regantes. La polémica se vio acrecentada por las propuestas urgentes para dotar de mayor protección a la laguna, la roturación de prados salinos (y la consiguiente apertura de un expediente sancionador por parte

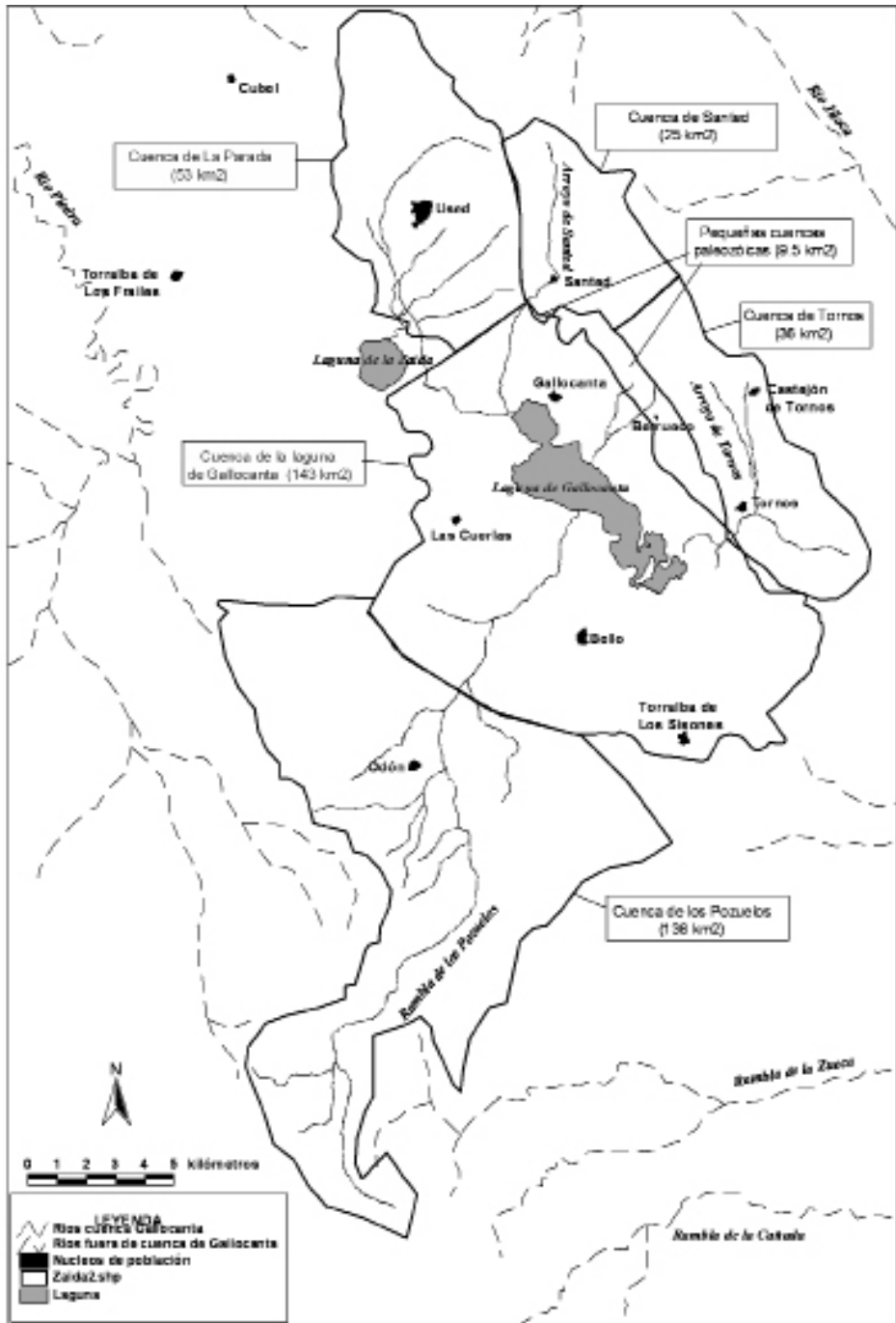


Figura 1. Situación de la cuenca subterránea de la Laguna de Gallocanta y de las cuencas superficiales que drenan hacia ella.  
 - Location of Gallocanta Lake basin and associated bassins.

de la Unión Europea), los intentos de declarar provisionalmente sobreexplotados los acuíferos y los trabajos de deslinde del Dominio Público Hidráulico de la laguna.

Los estudios hidrogeológicos que a comienzos de los años 90 habían realizado en la Laguna de Gallocanta el ICONA, la Diputación General de Aragón (DGA), la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), no eran totalmente concluyentes. Básicamente fallaba el modelo conceptual: se desconocía la extensión de los acuíferos relacionados con la laguna y se le daba una importancia excesiva al acuífero cuaternario perilagunar.

En 1995 la CHE definió con mayor precisión la unidad hidrogeológica, a la que se le asignó una extensión de 300 km<sup>2</sup>, e inició una campaña de construcción de piezómetros. En 1997 se ajustaron los valores del balance de agua en la unidad (CHE, 1997), concluyendo que su extensión debía ser todavía menor. La descarga subterránea a la laguna se estimó aproximadamente en 1/3 del aporte total, que se evaluaba en torno a 12 hm<sup>3</sup>/año.

En 1998 se inició un exhaustivo estudio hidrogeológico cuyo objetivo final era establecer el nivel de afección causado a la laguna hasta entonces, así como las posibilidades de coexistencia entre los pozos para regadío y el mantenimiento de los valores naturales de la laguna. Este trabajo (CHE, 2003a), conjuntamente con una serie de estudios complementarios (CHE, 1999; CHE, 2001; CHE, 2002; CHE, 2003b; CHE, 2003c; CHE, 2004a; CHE, 2004b; CHE, 2005) constituyen el último referente sobre la Hidrogeología e implicaciones ambientales, que ha sido publicado en varios artículos (BLASCO *et al*, 2004; SAN ROMÁN *et al*, 2005; SAN ROMÁN *et al*, 2006, SAN ROMÁN *et al*, 2007). De todos estos estudios hay que destacar el levantamiento de una cartografía geológica de detalle (1:25 000), la instalación y mantenimiento de una estación meteorológica completa, la restitución fotogramétrica del vaso de la laguna a escala 1:2000, la construcción de dos estaciones de aforo automatizadas en los barrancos de Santed y Tornos, la perforación de 19 piezómetros, la nivelación de todos los puntos de agua y la elaboración de un modelo matemático del funcionamiento de la laguna para simular los efectos de los bombeos.

## 2.- GEOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico, la cuenca endorreica se sitúa en la zona de enlace de las dos ramas de la Cordillera Ibérica: la aragonesa y la castellana. Estratigráficamente aparecen los siguientes materiales (Figura 2):

- *Paleozoico*. Afloran pizarras y cuarcitas que conforman la sierra de Santa Cruz al NE de la cuenca de la Laguna de Gallocanta.
- *Triásico*. El Triásico del área de estudio, como el de toda la Cordillera Ibérica, es de facies germánica y, por tanto, está compuesto de muro a techo por: Buntsandstein (130-150 m de potencia), Muschelkalk (140-200 m) y Keuper muy deformado (140-500 m), constituido por arcillas y yesos sobre los que se asienta la laguna.

MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA ENDORREICA DE GALLOCANTA

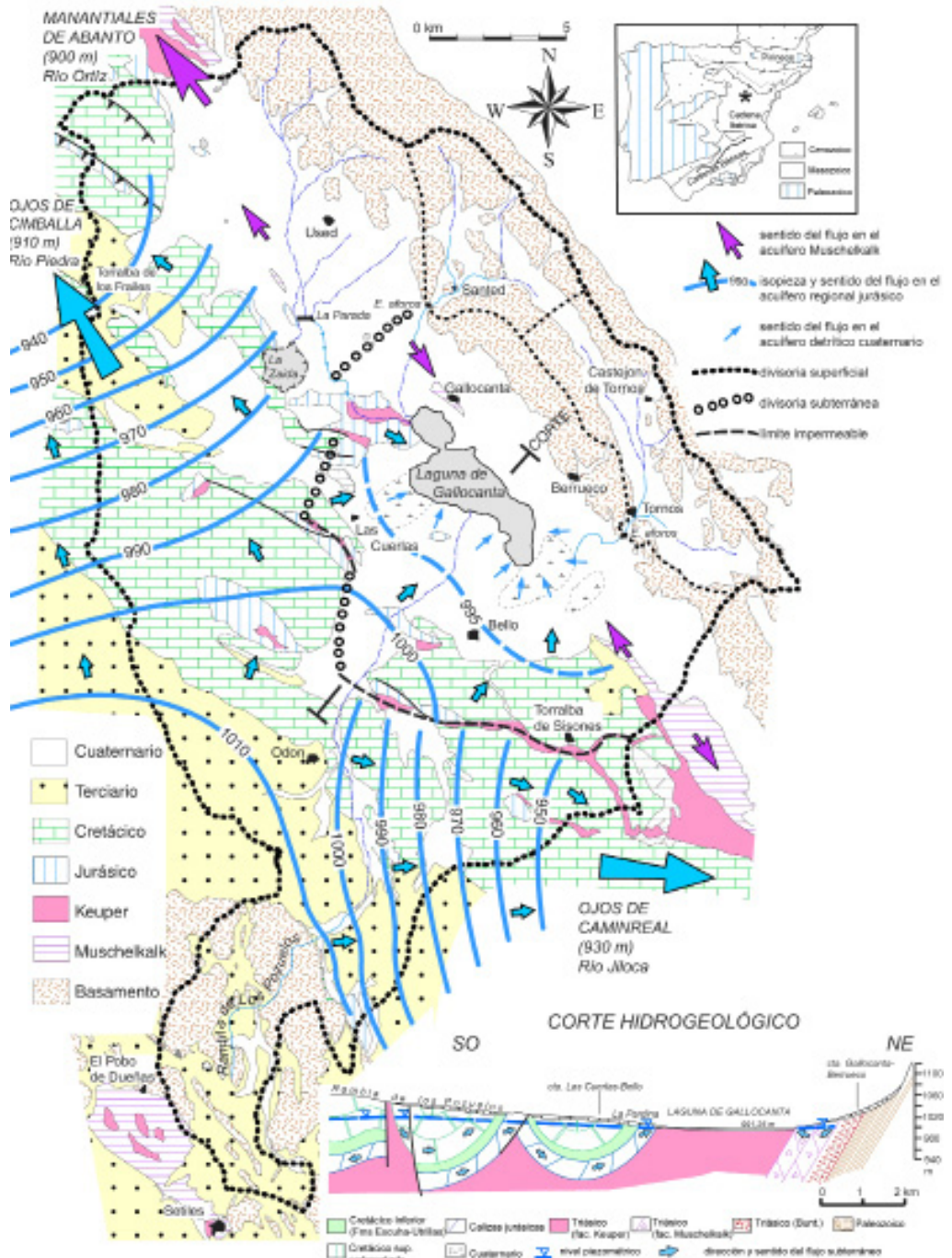


Figura 2. Mapa Hidrogeológico de la cuenca endorreica de la Laguna de Gallocanta.  
- Hydrogeological map of the Gallocanta Lake endorheic basin.

- *Jurásico*. El Jurásico está representado por una serie calcárea del Lías inferior e incluye las formaciones de Cortes de Tajuña (100-140 m), dolomías tableadas de Imón (15 m) y la formación Cuevas Labradas (100 m).
- *Cretácico*. Supone más del 50% de superficie de la mitad occidental del área de estudio. Incluye una potente serie de naturaleza detrítica en la base (facies Utrillas) que pasa a techo a calizas, dolomías y margas y con un espesor total de 450-600 m.
- *Terciario*. Estos materiales se localizan en la zona occidental, disponiéndose como restos o manchas aisladas entre sí, que tapan parcialmente las estructuras del Mesozoico o se alojan en estructuras sinclinales, sobre el Cretácico terminal.
- *Cuaternario y Pliocuaternario*. Los depósitos pliocuaternarios son detríticos gruesos de cuarcitas en superficies culminantes, se encuentran aislados y sin relación con la red hidrográfica de los alrededores. Su espesor alcanza varios metros. Los depósitos cuaternarios más importantes consisten en glaciares, conos de deyección, coluviones, depósitos de llanura aluvial, terrazas fluviales, depósitos de terrazas lacustres y depósitos de inundación lacustre. Su espesor puede alcanzar varios metros. En la zona perilagunar se han desarrollado depósitos de abanicos aluviales cuaternarios de amplia extensión que cubren parcialmente los materiales anteriormente descritos.

El origen del conjunto endorreico es exclusivamente cárstico, constituyendo la laguna lo que se denomina un polje, o gran sumidero, formado por coalescencia de varias dolinas. En la vecina laguna de La Zaida, se reconoce perfectamente la forma circular típica, al igual que en el denominado “lagunazo” de la Laguna de Gallocanta. La corrosión cárstica sobre las calizas mesozoicas se detiene al alcanzar en la vertical las facies Keuper, entonces las dolinas van aumentando en diámetro y uniéndose unas con otras. Posteriormente la captura de diversas cuencas trae consigo gran aporte de agua y sedimentos, que retrabajan el modelado original y lo cubren parcialmente.

### 3.- ACUÍFEROS DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

Los límites de la cuenca subterránea de la laguna son impermeables (Figura 2): el límite S se sitúa sobre un alargado afloramiento de las facies Keuper, el límite NE coincide con el contacto de los materiales paleozoicos, que a los efectos del modelo pueden considerarse como impermeables, los límites SE y ONO corresponden con divisorias hidrogeológicas más o menos fijas, a juzgar por la evolución piezométrica existente. Sólo existe una excepción y es la franja de calizas jurásicas que se extiende entre las lagunas de La Zaida (que funciona como un sumidero), y de Gallocanta. En esta zona se ha detectado un movimiento de la divisoria de hasta 3 km, de tal forma que en años muy húmedos se sitúa bajo la laguna de La Zaida, mientras que tras periodos secos prolongados se desplaza hacia la de la Laguna de Gallocanta.



Los principales acuíferos presentes en la cuenca de la Laguna de Gallocanta son:

- *Acuífero de calizas y dolomías del Muschelkalk*. Aflora en una banda longitudinal que recorre la zona de estudio de NO a SE entre la sierra de Santa Cruz y la laguna. Casi toda ella está recubierta por los materiales cuaternarios y confinada lateralmente por el Keuper. Funciona como un acuífero libre con permeabilidad de 1 m/día y porosidad eficaz media de 0,5%. Las entradas se producen por infiltración del agua de lluvia, directa o a través del cuaternario situado encima de él y por infiltración parcial de las escorrentías de los barrancos procedentes de las sierras de Pardos-Santa Cruz. Las salidas se producen en diversos manantiales situados en el entorno de la localidad de Gallocanta y aportaciones no visibles al cuaternario hacia la Laguna de Gallocanta.
- *Acuífero de calizas, dolomías y margas del Jurásico* (formaciones Cortes de Tajuña y Cuevas Labradas). Se comporta como un acuífero carbonatado de flujo difuso. Presenta los mejores parámetros de la zona, con una permeabilidad debida a la fracturación y carstificación que, en relación con el resto de unidades, puede considerarse como alta. Su permeabilidad se estima en 25 m/día y su porosidad eficaz media es de 1,5%. Forma parte del núcleo del sinclinal y la recarga se produce por infiltración del agua de lluvia en los sectores donde aflora o a través del cuaternario que lo cubre. En el sector de la laguna de la Zaida recibe aportaciones de la propia laguna en periodos muy húmedos (la divisoria de aguas subterráneas se desplaza hacia el oeste), infiltración en el azud de la Parada (de la cuenca procedente de Used) y de la acequia madre que conecta este azud con la propia Laguna de Gallocanta. La descarga se produce directamente a la laguna en el sector próximo al núcleo de Gallocanta denominado “Los ojos”, y mediante bombeos.
- *Acuífero de calizas y dolomías del Cretácico superior*, separado del anterior por el acuitardo constituido por la unidad de arenas de Utrillas. Se comporta como un acuífero carbonatado intermedio. Presenta una permeabilidad media debida a la fisuración y carstificación bastante más baja que la del Jurásico. Su permeabilidad se estima en 0,5-2,5 m/día y su porosidad eficaz media es de 0,2-0,5 %. Presenta la mayor superficie aflorante en la cuenca y se diferencian dos subunidades (Bello y Torralba de los Sisones-Valdemadera) conectadas puntualmente en dos zonas (rambla de los Pozuelos y la zona de Bello).

La subunidad de Bello se recarga mediante la infiltración del agua de lluvia y aportaciones puntuales de la otra subunidad en los puntos antes citados e infiltración de la rambla de los Pozuelos en los momentos en las que esta tiene un elevado caudal. La descarga se produce de forma no visible a los acuíferos cuaternarios próximos a la laguna y en los bombeos.

La subunidad de Torralba de los Sisones-Valdemadera se recarga por infiltración del agua de lluvia y por infiltración de la rambla de los Pozuelos en situaciones de elevado caudal y la descarga se produce puntualmente a la

subunidad de Bello y a través de bombeos.

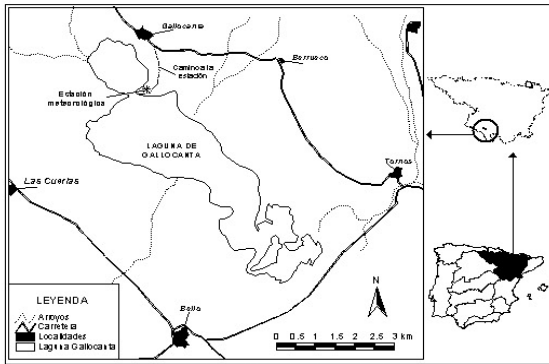
- *Acuífero detrítico*, que recubre al mesozoico en los alrededores de la laguna, con una geometría propia de relleno de cuenca endorreica. Está formado por las gravas y arenas del cuaternario perilagunar (5 m), aluviales, glaciares y abanicos cuaternarios. Este acuífero, que a grandes rasgos puede considerarse como libre y se ha denominado tradicionalmente “acuífero cuaternario de Gallocanta”, aunque en realidad su permeabilidad, debida a porosidad intergranular, puede considerarse como media en su conjunto. Únicamente en la parte basal de los depósitos cuaternarios, más próximos a la laguna por su extremo SO, existe un nivel de gravas de escaso espesor que parece ser el único hidrogeológicamente interesante. Se estima que tiene una permeabilidad de 50 m/día y porosidad eficaz media del 5%. Este acuífero detrítico perilagunar no presenta tan buenas características como cabría esperar, siendo su principal papel el de transmisor del flujo de los acuíferos hacia el humedal. La laguna, tal como ya se ha comentado, se asienta sobre las arcillas y yesos de las facies Keuper, es decir presenta un sustrato claramente impermeable.

Desde un punto de vista global, la entrada de agua a los acuíferos procede de la infiltración del agua de lluvia y de los barrancos laterales. Una vez que el agua penetra en los acuíferos, descarga muy lentamente a través de los poros y fracturas de las formaciones acuíferas descargándose en ésta a través de los materiales detríticos cuaternarios perilagunares conjuntamente con las aportaciones por lluvia directa y por escorrentías superficiales. El agua se evapora en la laguna, hecho que se ve acrecentado por el fuerte viento que frecuentemente barre la zona. También hay que considerar la evaporación por capilaridad desde el nivel freático y la evapotranspiración de plantas freatofitas en las inmediaciones de la laguna. La principal salida es, por tanto, la evaporación de agua en la Laguna de Gallocanta (tanto en lámina libre como en franja capilar) aunque también hay que hacer referencia a las salidas de agua para los regadíos situados en el entorno de la laguna.

#### 4.- DATOS HIDROLÓGICOS PARA EL CONOCIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

La Laguna de Gallocanta es uno de los humedales más estudiados de la cuenca del Ebro dadas sus importantes funciones ambientales. Se vienen tomando datos de campo de varias de sus componentes hidrológicas desde hace años. Es de destacar el registro de la lámina de agua desde octubre de 1974. A partir de la década de los 90 se ha venido ampliando el control de las variables hidrológicas para la mejora de su conocimiento.

Datos meteorológicos. Los datos disponibles son las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología que suministran datos de precipitación y de temperatura diarios desde principios del siglo XX. Además, existe una estación meteorológica automática de Gallocanta (Figura 3) que suministra información quinceminutal desde febrero del año 2000 de la precipitación,



Localización de la estación



Vista general de la estación



Pluviómetro



Tª y humedad relativa



Dirección y velocidad del viento



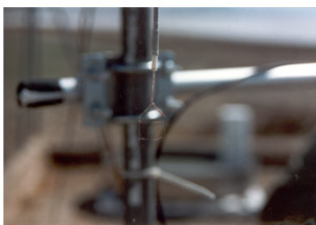
Radiación neta



Radiación solar incidente



Flujo de calor en el suelo



Termopar de alta precisión



Tanques de tipo A



Datalogger y modem

Figura 3. Estación meteorológica de Gallocanta en imágenes.

- Weather station at the Gallocanta Lake.

temperatura media y humedad relativa del aire, flujo medio de calor hacia el suelo a 3 y 6 cm de profundidad, radiación solar incidente, radiación neta, velocidad y dirección del viento, evaporación en tanque de tipo “A” de agua salada y dulce, temperatura del suelo promedio a 3 y 6 cm de profundidad y temperatura del aire medida con dos termopares de alta precisión. Inicialmente la instalación y el mantenimiento de la estación fueron realizados por la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC) y en el año 2005 pasó a ser mantenida por el Sistema Automático de Información Hidrológica de la CHE realizando alguna adaptación a la estación.

Datos de caudal en las estaciones de aforos de Santed y Tornos (entradas superficiales a las lagunas) y de niveles piezométricos de los distintos acuíferos.

Datos de volumen de agua extraída en los 40 pozos principales de la cuenca.

Evolución del nivel de agua y batimetría de la laguna. El seguimiento del control de la Laguna de Gallocanta se lleva realizando desde 1974 y en la actualidad se continúa con su control. Se ha registrado puntualmente la altura de la columna de agua desde el 5 de mayo de 1974 en una escala (“escala vieja”) situada al lado de la estación automática (Figura 4). Desde el 16 de octubre de 2003 se dispone, además, de una nueva escala en la zona más profunda de la Laguna de Gallocanta.

Para la transformación de la columna de agua registrada en la laguna a superficies y volúmenes, se han empleado las curvas de transformación obtenidas de la topografía de detalle realizada en CHE (2003a). Además, siguiendo el precedente de GARCÍA RODRÍGUEZ *et al.* (2001) y PÉREZ *et al.* (2001), se han integrado los datos de 25 imágenes de teledetección desde el 10 de julio de 1984 hasta el 18 de octubre de 2000 de manera que se han contrastado los datos de superficie derivado de estas imágenes con los datos registrados en las escalas (Figura 5).

Además, hay que tener en cuenta las numerosas campañas de control de la calidad del agua que se han realizado desde hace varios años para caracterizar las aguas de la cuenca. Estas campañas se han centrado, básicamente, en el análisis de los componentes mayoritarios del agua y del contenido de nitratos dado que la zona está declarada como vulnerable.

## 5.- BALANCE DE AGUA EN LA LAGUNA DE GALLOCANTA

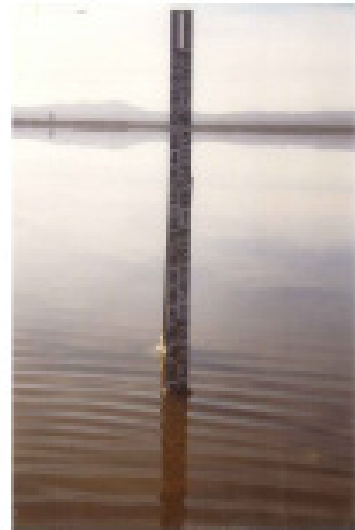
Para la cuantificación de las distintas componentes que forman parte del ciclo del agua se han realizado balances de agua a partir de los datos hidrológicos disponibles: precipitación, aportación de barrancos, evaporación y evolución del nivel de agua de la laguna. El balance consta de dos fases (Figura 6).

### 5.1. Balance en la laguna

Las variaciones de volumen de agua en la laguna responden a la diferencia entre las entradas y las salidas. Las componentes del balance para el periodo de 30 años comprendido entre mayo de 1974 y septiembre de 2004 son:



Escala vieja (18/3/2000)



Escala nueva en el fondo de la laguna

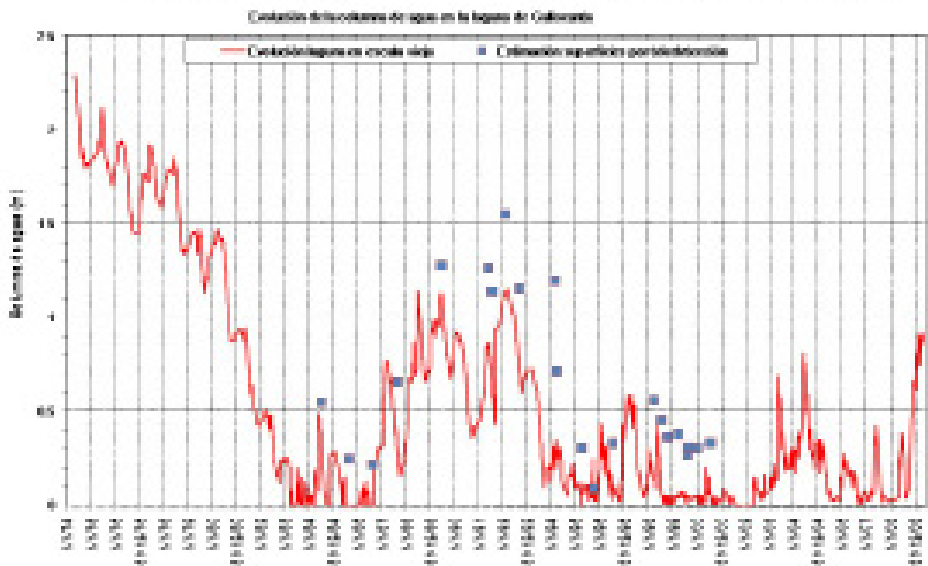


Figura 4. Escalas actualmente instaladas para el control de la Laguna de Gallocanta y evolución temporal de la altura de la laguna y comparación con las imágenes de teledetección.

- Markers used for controlling the Gallocanta Lake, measuring the change over time of the lake water level and for comparison of remote sensing data.



Topografía de la laguna y situación escala de la laguna (escala vieja) y fondo de la laguna (donde está instalada la escala nueva)

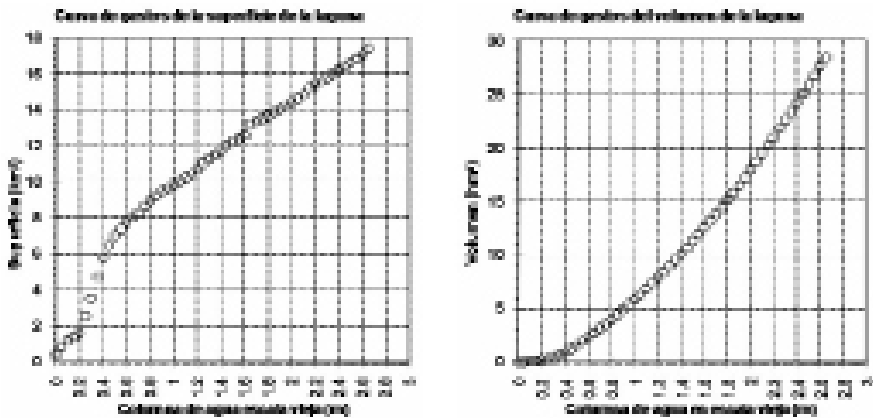


Figura 5. Topografía de detalle de la Laguna de Gallocanta y curvas altura-volumen-superficie.  
- Detailed topography of Gallocanta Lake and curves relating water level-volume-surface extent.

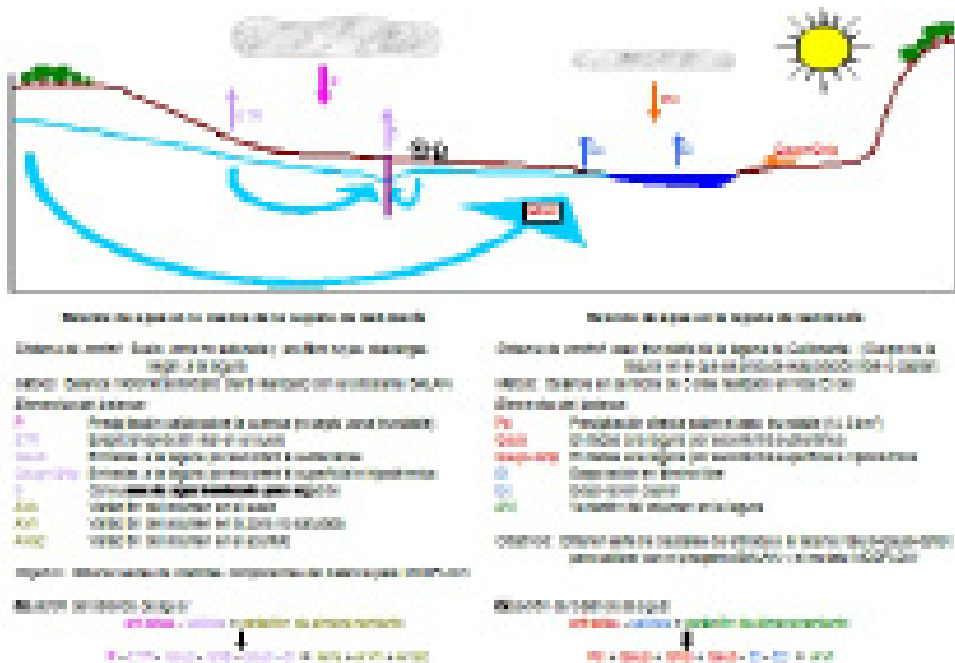


Figura 6. Esquema del balance de agua en la Laguna de Gallocanta.  
 - Sketch of the water balance in Gallocanta Lake.

5.1.1. Entradas de agua en la laguna (11,73 hm<sup>3</sup>/año)

Precipitación directa sobre la laguna, con 5,8 hm<sup>3</sup>/año. La superficie inundable se ha estimado en 14,5 km<sup>2</sup> a partir de los datos de la serie histórica de niveles de la laguna y de las 25 imágenes de la laguna tomadas por el satélite LANDSAT.

Entradas por escorrentía superficial y subterránea, con 5,93 hm<sup>3</sup>/año. Esta cifra ha sido estimada a partir del balance de agua en la Laguna de Gallocanta (diferencia entre entradas y salidas).

5.1.2. Salidas de agua de la laguna (12,49 hm<sup>3</sup>/año)

Evaporación de agua en lámina libre, con 7,87 hm<sup>3</sup>/a. Se ha estimado a partir de la tasa de evaporación media y la superficie realmente inundada. Para la estimación de las tasas de evaporación ha sido imprescindible la información aportada por la estación meteorológica automática que funciona de forma continua desde febrero de 2000. En ella hay instalados dos tanques de evaporación, uno con agua dulce y otro con agua salada.

Evaporación capilar, estimada en 4,62 hm<sup>3</sup>/año a partir de la tasa de evaporación capilar y la superficie no inundada del vaso de la laguna. Para la estimación de la

tasa de evaporación capilar se han utilizado los datos de evapotranspiración real obtenidos de la estación automática mediante la aplicación del método de renovación de la superficie (SPANÓ *et al.*, 1997; SPANÓ *et al.*, 2000).

La diferencia entre las entradas y salidas corresponde a la variación del almacenamiento, El balance no puede cuadrar ya que al comienzo del periodo considerado la laguna contenía 20 hm<sup>3</sup> y al final se encontraba seca.

## 5.2. Balance en la cuenca

Las escorrentías que descargan en la Laguna de Gallocanta proceden de la cuenca vertiente superficial y subterránea relacionada con ella. Se diferencian seis subcuencas en función de sus características hidrológicas:

Las subcuencas de Santed y Tornos se extienden sobre el paleozoico, descargando directamente en la laguna.

La subcuenca de la Rambla de los Pozuelos sólo aporta agua a la laguna con ocasión de fuertes crecidas; normalmente pierde su caudal por infiltración fuera de la masa de agua subterránea.

La subcuenca de la Zaida descarga en la de la Laguna de Gallocanta los años en los que se cultiva la laguna de la Zaida y siempre que se sobrepasa un umbral determinado de caudal, ya que de lo contrario se infiltra previamente.

Las denominadas subcuencas carbonatada y detrítica están delimitadas por la superficie aflorante de las calizas mesozoicas y del detrítico cuaternario perilagunar, dentro de la masa de agua subterránea.

Para cada una de las seis subcuencas se han estimado las componentes del balance de agua mediante un modelo de balances hidrometeorológicos cuyos resultados son coherentes con los datos de caudales circulantes por las estaciones de aforos de Santed y Tornos, y con las entradas de agua por escorrentía superficial y subterránea a la laguna.

Para cada subcuenca se ha calculado la serie de precipitación y temperatura diaria para el periodo 1/1/1925-31/12/2004. Estas series se han obtenido en dos fases. En primer lugar se han estimado los valores mensuales mediante el método de la inversa de la distancia al cuadrado ponderado por la altitud, considerando los datos de 84 estaciones meteorológicas suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología y la estación automática. Una vez obtenida la serie mensual se ha pasado a valores diarios aplicándole para cada mes la modulación registrada a la estación más cercana en cada mes al centro de gravedad de cada subcuenca.

Se ha ejecutado el programa BALAN para las seis subcuencas diferenciadas (Tabla 1). Las subcuencas de Santed y Tornos se han calibrado con datos diarios de las estaciones de aforos situadas a la salida de las cuencas (periodo 11/7/1999-25/10/2003). El resto de subcuencas se han calibrado con los datos de caudales descargados en la Laguna de Gallocanta y niveles de piezómetros representativos del



comportamiento medio de los acuíferos, manteniendo un reparto entre los volúmenes de agua aportados por cada una de ellas que fuera coherente con el conocimiento de las aportaciones específicas regionales de la zona.

Tabla 1. Resultados medios anuales para el periodo 1/1/1925-31/12/2004 (80 años) del balance en las distintas subcuencas vertientes hacia la Laguna de Gallocanta. P= precipitación; T= temperatura; ETP= evapotranspiración potencial; ETR= evapotranspiración real; Q= Caudal circulante en los arroyos procedentes de las escorrentías superficiales y subterráneas; Qsub= escorrentía subterránea; Q espec= caudal específico.

- Mean annual data for the period 1/1/1925-31/12/2004 (80 years) resulting from the balance in the different basins flowing into Gallocanta basin. P= precipitation; T= temperature; ETP= potential evapotranspiration; ETR= real evapotranspiration; Q= stream flows from groundwater and surface flows; Qsub= groundwater flow; Q espec= specific flow.

Cuenca	Cvert (km <sup>2</sup> )	P (mm/a)	T (°C)	ETP (mm/a)	ETR (mm/a)	Q (hm <sup>3</sup> /a)	Qsub (hm <sup>3</sup> /a)	Q espec l/s/km <sup>2</sup>
Carbonatada	36	428	11,26	675	397	1,10	0,98	1,0
Detrítica	95	441	11,31	678	427	1,25	1,08	0,4
Santed	25	465	11,60	686	401	1,59	0,93	2,0
Tornos	36	465	11,39	680	442	0,84	0,40	0,7
Pozuelo[1]	138	449	11,17	672	434	1,99	1,71	0,5
Zaida[2]	52	452	11,43	681	435	0,86	0,71	0,5

[1] De los 1,99 hm<sup>3</sup>/año generados en esta cuenca descargan hacia la Laguna de Gallocanta 0,15 hm<sup>3</sup>/año.

[2] De los 0,86 hm<sup>3</sup>/año generados en esta cuenca descargan hacia la Laguna de Gallocanta 0,15 hm<sup>3</sup>/año.

## 6. SIMULACIÓN FUTURA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA

El modelo de funcionamiento del flujo superficial y subterráneo ha sido reproducido en CHE (2003a) con un modelo matemático en tres dimensiones realizado con el programa visual MODFLOW comprobando que el esquema de funcionamiento considerado es coherente con los datos observados. Con ello se ha simulado el funcionamiento teórico de la laguna en el futuro con hipótesis de bombeos y sin bombeos. Las principales características del modelo realizado son:

Mallado regular ortogonal, con tamaño superficial de celdas de 250 por 250 metros (48 columnas y 72 filas). En la vertical, el ámbito modelado estuvo comprendido entre los 1150 y los 0 m.s.n.m., definiéndose un total de 43 capas de espesor variable.

El ajuste en régimen transitorio del modelo abarcó desde octubre de 1970 hasta diciembre de 2004. Este periodo de algo más de 34 años fue discretizado en 411 periodos de tiempo equivalentes a meses reales.

Las unidades hidroestratigráficas consideradas han sido 9, que corresponden a las principales formaciones geológicas.

Las entradas de agua en el modelo corresponden a la infiltración de las precipitaciones, las aportaciones de las ramblas, la escorrentía superficial de la cuenca vertiente a la laguna y la precipitación directa sobre la laguna y todas ellas han sido obtenidas de la aplicación del balance hidrometeorológico. Las salidas son exclusivamente la evaporación directa y en franja capilar en la laguna y las extracciones por bombeo desde pozos.

Se ha simulado el funcionamiento de la laguna para dos periodos:

*Periodo 1974-2004.* La simulación del funcionamiento de la laguna desde 1974 hasta el 2002 tanto en la situación real (con bombeos) como en la situación en la que no existan bombeos permite comparar el efecto de estos en el funcionamiento del acuífero y en el nivel de agua de la laguna (Figura 7). De ello se tiene que la inexistencia de bombeos durante los algo más de 34 años simulados no habría provocado que la laguna hubiese mantenido una lámina de agua durante un periodo de tiempo significativamente mayor.

Como consecuencia de los bombeos, el volumen de agua almacenado en la laguna se reduce en aquellos periodos de tiempo en los que la laguna presenta agua, aunque esta reducción no es simultánea ni directamente proporcional al volumen de las extracciones.

Para el periodo simulado se observa una reducción del volumen de agua en la laguna por el efecto de los bombeos de hasta 2 hm<sup>3</sup>, en el año 1981 (año de máxima afección). Este volumen se traduce, para ese año, en una disminución de la profundidad del agua de 0,20 m. Sin embargo la configuración del vaso de la laguna hace que la máxima afección en cuanto a superficie mojada se produzca en 1995, con una reducción por efecto de los bombeos de 300 ha.

*Periodo 1925-2004.* La simulación de todo este periodo (Figura 8) ha permitido concluir lo siguiente:

La laguna ha fluctuado a lo largo de los últimos 80 años llegando a presentar varios episodios de secado y un episodio extraordinariamente húmedo, a comienzos de los años 70. Estos resultados están en consonancia con los trabajos sedimentológicos realizados recientemente (RODÓ *et al*, 2002).

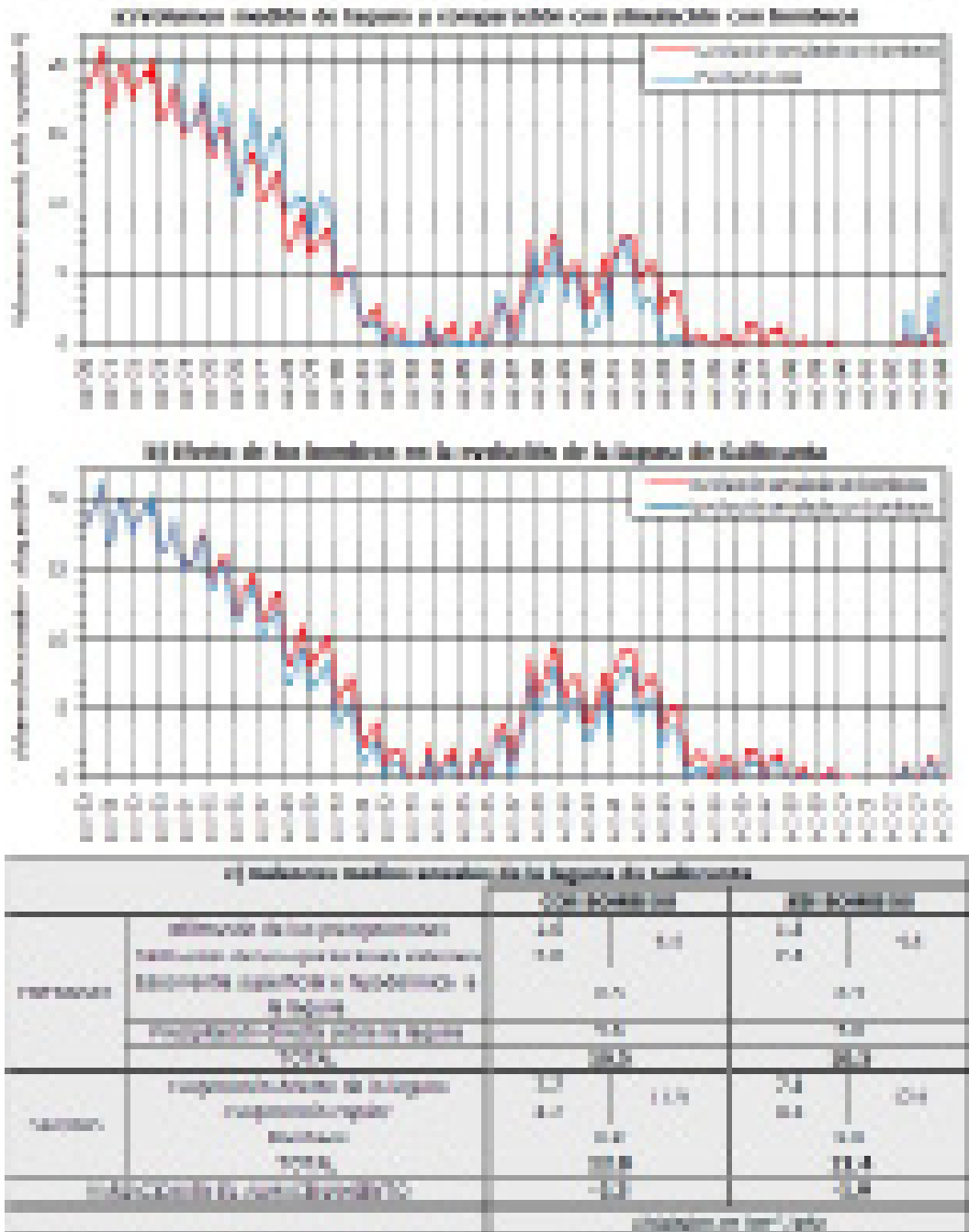


Figura 7. a) Evolución real de la laguna y comparación con los resultados del modelo, b) comparación de simulaciones con bombeos y sin bombeos; y c) resultados medios anuales con bombeos y sin bombeos.

- a) Actual fluctuation of the lake as compared with data from the model, b) comparison of simulations with and without pumping, c) mean annual results with and without pumping.

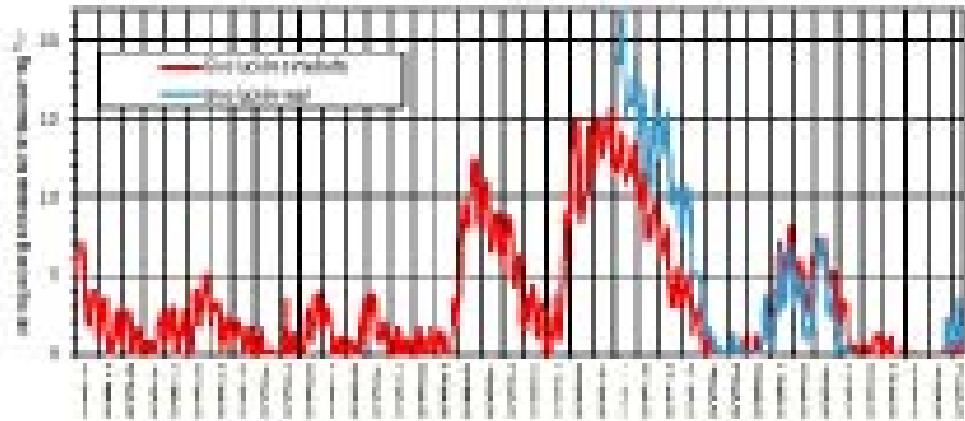


Figura 8. Evolución de la Laguna de Gallocanta desde 1925 considerando que la rambla de los Pozuelos no pierde agua durante el periodo comprendido entre enero de 1960 y septiembre de 1975.

- Variation in Gallocanta Lake since 1925, considering that no water was lost in the rambla de los Pozuelos from January 1960 to September 1975.

La evolución histórica obtenida con el modelo es coherente con los datos disponibles:

- Hay testimonios que apuntan hacia el año 1960 la laguna estuvo seca, hecho que es coherente con el secado de la laguna simulado en 1959.
- Hay fotos antiguas de paseos en barca por la laguna. Una de ellas está fechada entre los años 1946 y 1947. El modelo confirma este dato ya que indica que la laguna llegó a alcanzar en esas fechas 4 hm<sup>3</sup>.

El año 1974 fue de unas condiciones iniciales realmente extraordinarias, con la laguna totalmente llena. Según la memoria colectiva, esa situación (incluso con campos ribereños inundados) no se había producido a lo largo de todo el siglo XX y fue la causante de que se instalara la escala para medir la evolución de la laguna, así como que se drenaran los prados de Las Cuerlas.

La incertidumbre en los datos antiguos es más elevada. Por ejemplo los datos de precipitación anteriores a 1970 son mucho menores y la escala vieja sufrió un enterramiento de 18 cm lo que genera una incertidumbre en el volumen estimado de la laguna que podría llegar a ser < 3 hm<sup>3</sup> del registrado en el periodo desde que se instaló hasta que se enterró (se desconoce cuándo ocurrió esto).

El funcionamiento de la Laguna de Gallocanta en la época anterior a 1970 debe tener en cuenta:

- Cambio de comportamiento de la Rambla de los Pozuelos antes de 1970. Actualmente la Rambla infiltra sus caudales hacia los acuíferos jurásico y

cretácico fluyendo subterráneamente hacia: a) los Ojos de Caminreal el agua infiltrada en el tramo medio de la rambla; y b) la laguna de Gallocanta el agua infiltrada en el tramo bajo. En episodios de avenidas se produce una entrada importante de la Rambla hacia la laguna. Parece que el periodo extraordinariamente húmedo que se produjo entre los años 60 y 70 provocó un importante ascenso de los niveles piezométricos lo que provocó que todo el agua de escorrentía de la rambla de los Pozuelos descargase hacia la Laguna de Gallocanta. Este factor es, con toda probabilidad, el que más efecto tiene en el régimen hidrológico de la laguna en ese periodo.

- La transferencia de agua subterránea desde la laguna de La Zaida en los periodos húmedos. En los periodos secos se ha llegado a registrar el nivel piezométrico hasta profundidades de 50-60 m, fluyendo hacia los manantiales de Cimballa y en periodos húmedos el nivel se ha llegado a registrar a 14 m de profundidad. Ello indica que en periodos muy húmedos puede llegar a ocurrir que agua descargada superficialmente en la laguna de la Zaida se infiltre subterráneamente hacia la Laguna de Gallocanta, llegando a suponer una entrada significativa de agua, aunque notablemente menor que la aportada por la rambla de los Pozuelos.

- El suelo de la cuenca ha sufrido dos episodios significativos que pueden justificar un posible cambio de su comportamiento ante las lluvias. Por un lado, destaca la deforestación de las superficies de encinar para su uso agrícola producido entre los años 1960 y 1975, que pudo provocar un incremento de la escorrentía superficial. Por otro lado, a partir de mitad de siglo XX se ha producido un progresivo abandono de las tierras menos productivas lo que ha provocado una reforestación natural que puede llevar a una importante disminución de los recursos superficiales y subterráneos por el incremento de la interceptación vegetal y de la evapotranspiración. Este factor es de difícil cuantificación.

## 7. ASPECTOS HIDROQUÍMICOS

Las aguas de la cuenca de la Laguna de Gallocanta presenta una evolución muy marcada, desde las aguas de baja salinidad de las zonas de recarga, hasta las aguas de la laguna que llegan hasta la evaporación total. Esta elevada variabilidad química hace que el estudio de las características químicas de las aguas de esta cuenca tenga un interés muy elevado, especialmente por la interrelación con la cantidad de agua disponible en cada momento y por la relación con las condiciones ambientales de la laguna. Las principales características de las aguas de la cuenca de la Laguna de Gallocanta se detallan a continuación.

Las aguas que circulan por las cuencas paleozoicas de Santed y Tornos son las que tienen una menor salinidad (Figura 9) debido a que las rocas con las que están en contacto aportan reducidos contenidos en sales (< 500 mg/l) y un carácter químico variable.

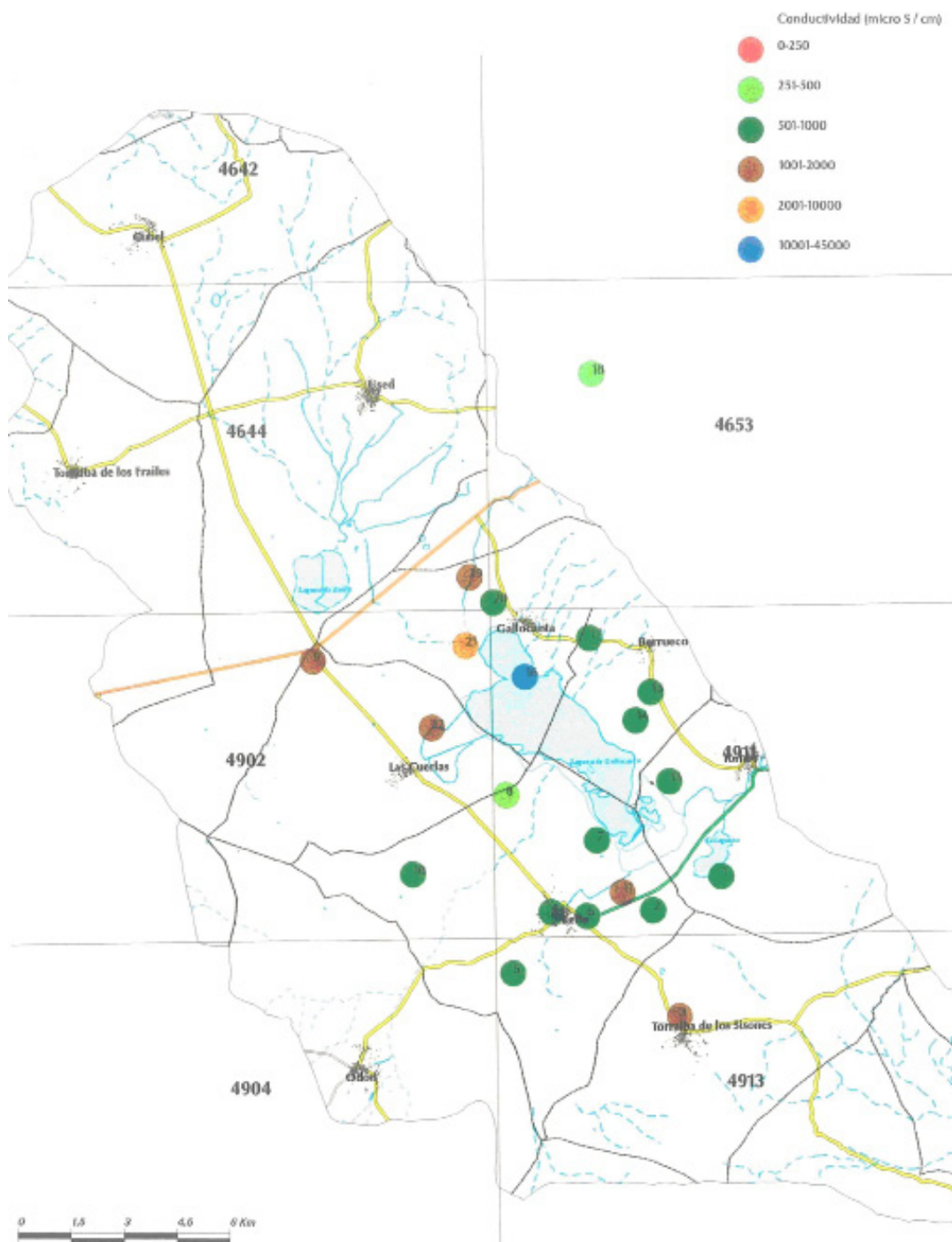


Figura 9. Conductividad eléctrica de muestras de agua tomadas en septiembre de 2000 en la cuenca de la Laguna de Gallocanta (CHE, 2003a).

- Water electrical conductivity from Gallocanta basin samples taken in September 2000.

Las aguas de los acuíferos carbonatados en las zonas de recarga presentan salinidades algo mayores, entre 500 y 1000 mg/l y un carácter químico variable en función del tipo de acuífero por el que ha circulado el agua de manera que:

- El acuífero del Muchelkalk aporta un carácter bicarbonatado cálcico-magnésico.
- El acuífero jurásico aporta un carácter bicarbonatado clorurado magnésico-cálcico.
- El acuífero cretácico aporta un carácter sulfatado magnésico-cálcico.

El agua del acuífero cuaternario perilagunar presenta una salinidad creciente conforme está más próximo a la laguna, con salinidades que pueden llegar a ser > 2000 mg/l y con un carácter químico muy variable pero predominantemente bicarbonatado cálcico.

Las aguas de la laguna presentan una variabilidad extrema. El control de estas aguas se ha hecho en numerosos estudios aunque el más reciente ha sido la caracterización elaborada en CHE (2005) con un muestreo mensual en cinco puntos distintos de la laguna observando que la laguna varía su composición química entre salinidades de 2 g/l hasta la desecación total. Son aguas propias de una senda hidroquímica evaporativa (Figura 10).

Espacialmente, las aguas de la zona comprendida entre la laguna y las sierras paleozoicas (desde Tornos a Used) existe un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas o cálcico magnésicas de baja salinidad. Sin embargo, en la zona NO-SE (Torralba de los Frailes, Las Cuerlas, Bello, Torralba de los Sisonos) hay una mayor variación composicional debido a que existe una mayor variedad litológica con flujos de largo recorrido.

Las especies nitrogenadas analizadas varían entre 1 y 150 mg/l. Los valores más altos se encuentran en la zona comprendida entre Las Cuerlas y Bello, al suroeste de la laguna, donde tienen mayor desarrollo las prácticas agrícolas y los valores más bajos se detectan entre Gallocanta y Tornos, al noreste de la laguna, vinculado con las descargas procedentes de las cuencas superficiales paleozoicas.

## 8. CONCLUSIONES

Los valores ambientales de la Laguna de Gallocanta son resultado del frágil equilibrio entre las aportaciones a la misma y las salidas por evaporación. Estas aportaciones son principalmente las infiltración directa del agua de lluvia, la descarga subterránea procedente de los acuíferos, y las aportaciones superficiales procedentes de las cuencas paleozoicas de Santed y Tornos, la rambla de los Pozuelos y la descarga procedente de la laguna de la cuenca del la Parada, regulada de forma artificial desde el azud de la parada en función de que se riegue o no la laguna de la Zaida.

El estudio del funcionamiento hidrológico de la Laguna de Gallocanta para la toma de decisiones ha requerido de la disponibilidad de datos de campo que permitan

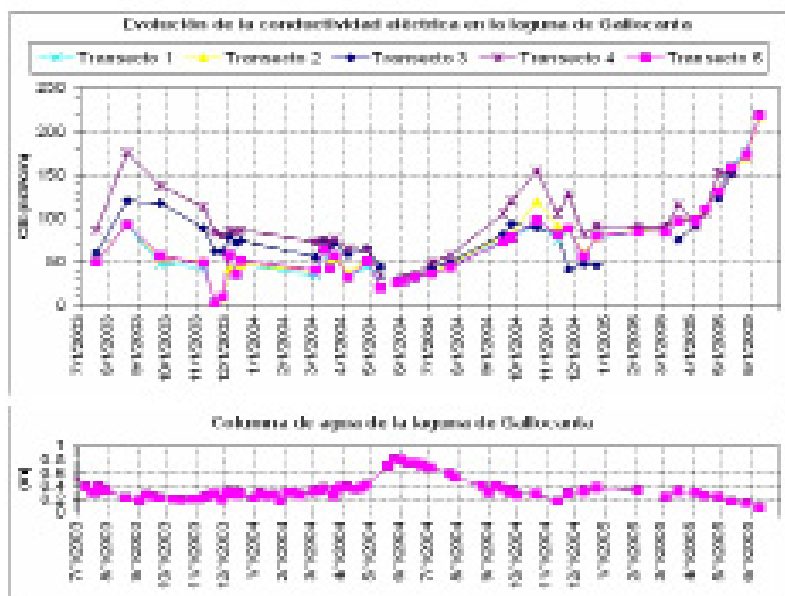
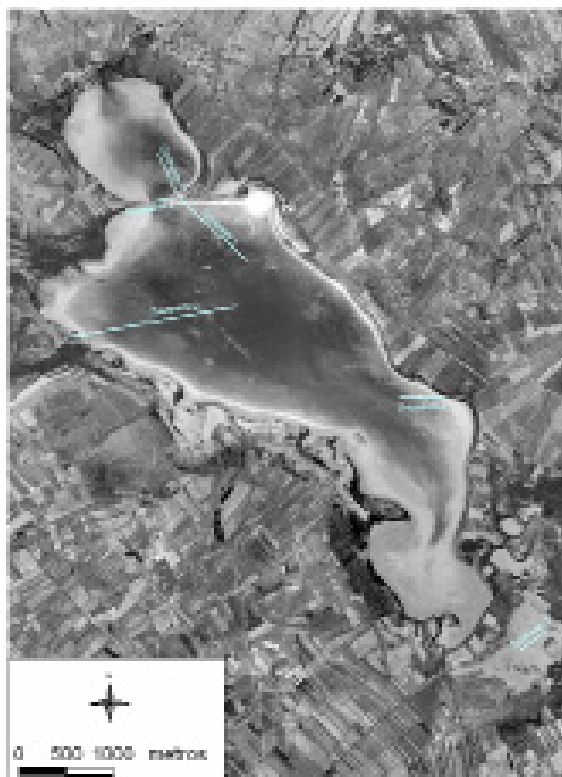


Figura 10. Evolución de la salinidad de la laguna en el periodo 2003-2005.  
- Fluctuations in water salinity from 2003-2005



comprender su dinámica. El control de la evolución del nivel de la laguna, junto con la batimetría detallada, además de la toma de datos de una estación meteorológica automática, el control de las descargas superficiales principales, de los bombeos, de los niveles piezométricos, conjuntamente con la calidad de las distintas componentes hidrológicas han sido los elementos fundamentales para la comprensión más completa del funcionamiento de la laguna. La integración de las imágenes obtenidas por teledetección en 25 fechas ha sido también un elemento muy importante para el conocimiento de la evolución de la Laguna de Gallocanta.

La modelación diaria en el periodo 1925-2004 ha permitido comprender de forma muy detallada el funcionamiento de la laguna en este periodo. Se ha visto que el modelo de funcionamiento contemplado hasta la fecha permite justificar la evolución observada en la laguna, teniendo en cuenta que en las décadas de los años 60 y 70 las condiciones excepcionalmente húmedas de la Rambla de los Pozuelos supusieron una entrada de agua muy importante en la laguna que en la actualidad no se está produciendo.

La simulación del comportamiento de la Laguna de Gallocanta considerando que no existan bombeos permite concluir que el impacto de estos en la laguna es menor de lo que se pensaba debido al efecto de amortiguación de los bombeos que producen los acuíferos. Estas conclusiones han permitido definir algunas líneas para la gestión del humedal entre las que se apuntan:

- El hecho de que el bombeo a partir de la década de los 90 sea mucho menor que el estimado para la década anterior señala que se ha hecho un esfuerzo por parte de los regantes en mantener una agricultura mas respetuosa con el medio ambiente.

- La afección, aunque reducida, existe y ello señala que desde el punto de vista ambiental no parece prudente que se pueda pensar en aumentar el regadío en la zona.

- Con respecto a los regadíos existentes en la zona de Bello actualmente se está en proceso de concentración parcelaria y más adelante está previsto constituir una comunidad de regantes con toma en pozos situados en las proximidades de Bello. De esta manera se distanciará el punto de toma con respecto a la situación actual y el efecto de estos bombeos en la laguna será más diferido que el producido en la actualidad.

- Se considera que una extracción máxima para regadío sostenible no debe sobrepasar 1 hm<sup>3</sup>/año.

- Se ha reemplazado el pozo de agua para abastecimiento de Bello por uno situado fuera de la cuenca de La Laguna de Gallocanta para mejorar su calidad y evitar el problema de los nitratos.

- La importancia de disponer de datos de campo básicos para el estudio de la laguna ha motivado a la Confederación Hidrográfica del Ebro para seguir controlando las variables hidrogeológicas: bombeos, niveles piezométricos, aportaciones de los barrancos, nivel de la laguna y datos meteorológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLASCO, O., SAN ROMÁN, J. & GARCÍA VERA, M.A. 2004. Modelado numérico de flujo de la U.H. Gallocanta (Cuenca del Ebro). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. **XXVI**: 513-523.
- CHE. 1997. *Balance de la unidad hidrogeológica de Gallocanta 7.03*. Consultor: M.A. García Vera. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 1999. *Evaluación metodológica para la estimación de la evaporación capilar en la laguna de Gallocanta*. Consultor: EPTISA. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2001. *La evaporación en la laguna de Gallocanta: comparación de métodos*. Consultor: CSIC (Est. Exp. Aula Dei). Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2002. *Aplicación del método de renovación de superficie para el cálculo de la ETR en humedales: aplicación a la laguna de Gallocanta*. Consultor: CSIC (Est. Exp. Aula Dei). Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2003a. *Establecimiento de las normas de explotación de la unidad hidrogeológica "Gallocanta" y la delimitación de los perímetros de protección de la laguna*. Consultor: EPTISA. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2003b. *Georreferenciación de imágenes del satélite Landsat del tramo central de la cuenca del Ebro con interés para estudios hidrológicos*. Consultor: Nerea Díaz de Arcaya. Informe interno. Zaragoza.
- CHE. 2003c. *Caracterización espacio-temporal del contenido de humedad en la zona no saturada del vaso de la laguna de Gallocanta*. Consultor: CSIC (Est. Exp. Aula Dei). Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2004a. *Estimación de la evolución reciente del vaso de la laguna de Gallocanta mediante técnicas de teledetección espacial*. Consultor: CITA (DGA). Informe interno. Zaragoza.
- CHE. 2004b. *Evolución del contenido de humedad y de la tasa de evaporación en humedales: aplicación a la laguna de Gallocanta*. Consultor: CSIC (Est. Exp. Aula Dei). Informe inédito. Zaragoza.
- CHE. 2005. *Recopilación de datos para la estimación de las entradas de agua en la laguna de Gallocanta mediante balance de sales*. Consultor: Asoc. Guías Laguna Gallocanta. Informe inédito. Zaragoza.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M. P., PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. & SANZ DONAIRE, J.J. 2001. Variación estacional de los niveles de agua en la laguna de Gallocanta (Zaragoza-Teruel). In: ROSELL J. & MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. (Eds.) *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*: 338-342.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. & SANZ DONAIRE, J.J. 2001. Estudio de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta mediante imágenes TM. *Revista de Teledetección*, **15**:27.37.
- RODÓ, X., GIRALT, S., BURJACHS, F., COMÍN, F.A., TENORIO, R.G. & JULIÀ, R. 2002. High-resolution saline lake sediments as enhanced tools for relating proxy paleolake records to recent climatic data series. *Sedimentary Geology* **148**: 203-220.

- SAN ROMÁN, J., GARCÍA VERA, M.A., BLASCO, O. & COLOMA, P. 2005. La laguna de Gallocanta: hidrogeología e implicaciones ambientales. *Naturaleza Aragonesa*, **15**: 50-60.
- SAN ROMÁN, J., GARCÍA VERA, M.A., BLASCO, O. & COLOMA, P. 2006. Toma de datos, modelación y gestión del agua subterránea en la cuenca endorreica de la laguna de Gallocanta (España). Jornadas internacionales: De la toma de datos y la realización de modelos de agua subterránea a la gestión integrada. *Publicaciones del IGME. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas*, **21**: 551-558.
- SAN ROMÁN, J., GARCÍA VERA, M.A., BLASCO, O. & COLOMA, P. 2007. Hidrogeología e implicaciones ambientales. *Xiloca*, **35**:65-86.
- SPANO, D., SNYDER, R.L., DUCE, P., PAW, U.K.T. 1997. Surface renewal analilsys for sensible heat flux density using structure functions. *Agriculture and Forest Meteorology*. **86**:259-271.
- SPANO, D., SNYDER, R.L., DUCE, P. & PAW, U.K.T. 2000. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. *Agriculture and Forest Meteorology*. **104**(3): 171-183.



# Teledetección de cambios en la Laguna de Gallocanta

## Remote sensing for detection of changes in Gallocanta Lake

**Carmen Castañeda del Álamo\* y Juan Herrero Isern\*\***

*\* Unidad de Suelos y Riegos (asociada al CSIC).  
Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA).  
Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España.  
ccastanneda@aragon.es*

*\*\* Estación Experimental de Aula Dei, CSIC.  
PO Box 13034, 50080 Zaragoza, España.  
jhi@ead.csic.es*

**PALABRAS CLAVE: Playa-lake, facies, Landsat, cartografía temática, gestión ambiental.**  
**KEY WORDS: Playa-lake, facies, Landsat, thematic maps, environmental management.**

### RESUMEN

La delimitación de un área de interés natural es el primer paso para poder gestionar su conservación frente a la intensificación agrícola. Esta tarea es técnicamente compleja en humedales de tipo sebkha, de medios áridos y semiáridos, debido a que la frecuencia y extensión de la inundación es muy variable. Tras el dificultoso acuerdo logrado entre agricultores y el gobierno regional, la reciente delimitación oficial de la Laguna de Gallocanta se ha basado en su presente apariencia, sin tener en cuenta las fluctuaciones relacionadas con periodos más húmedos que el actual.

En la Laguna de Gallocanta, tanto la superficie de agua como de las orlas de suelo húmedo y de vegetación varían mucho de una fecha a otras. Las imágenes de satélite atestiguan dicha variabilidad, y su estudio ha permitido discriminar facies en sus orillas y establecer la variación estacional e interanual del estado de humedad. Estos datos técnicos, junto al asesoramiento experto y otros trabajos de investigación, proporcionan indicadores incorporables a los procedimientos técnicos y de gestión del humedal y alrededores.

### ABSTRACT

Demarcating an area of natural interest is the very first step in conservation management against agricultural pressure. This task becomes complex in wetlands located in arid or semiarid environments —playa-lakes, sebkha or similar— because flooding is intermittent or very variable in frequency and extent. After arduous negotiations between the farmers and the regional government, an official demarcation of the protected area of Gallocanta Lake was recently adopted. The boundaries, based on the present extent of the lake, do not take into account the fluctuations that occur in more humid periods.

At Gallocanta Lake, the extent of both the water surface and the fringes of wet soil and wild vegetation undergo dramatic changes even over short time periods. The satellite images bear witness to this variability, and their study has revealed facies on the lake shore as well as seasonal and interannual changes in soil moisture. These data, along with expert assessments and other research efforts, provide indicators for inclusion into the management guidelines and procedures for this saline wetland and its surroundings.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tras identificar un humedal, su delimitación es imprescindible para la protección y el seguimiento, como ocurre con cualquier predio o espacio de interés. Cuando el predio tiene suficiente tamaño, resulta necesario discriminar diferentes ambientes para comprender el funcionamiento del paisaje. Esta información, además de su valor científico, puede ayudar a los gestores a arbitrar medidas de conservación, y a detectar intervenciones o usos indeseados, así como a plantear medidas disuasorias o de otro tipo.

Cuando la lámina de agua no es permanente y sufre marcadas fluctuaciones, la delimitación es técnicamente problemática y a menudo socialmente conflictiva. Ambas características son ya proverbiales en humedales de interior en zonas áridas, como lo son los *playa-lakes* o *sabkhas* del centro de la depresión del Ebro.

La identificación de los límites de estos humedales, como ocurre en zonas áridas de otros países, requiere un conocimiento científico básico y la adopción de criterios adaptados a las inundaciones intermitentes. Como sistemas dinámicos, los humedales requieren observaciones repetidas en el tiempo para capturar su evolución. Los datos de satélite permiten el seguimiento de sus masas de agua y de las coberturas del terreno asociadas, resultando de menor coste económico y de más fácil actualización que la fotografía aérea y las técnicas fotogramétricas. Mientras que los métodos tradicionales sólo permiten ubicar las coberturas mediante trabajo de campo sobre la cartografía disponible, las imágenes del satélite Landsat son especialmente útiles para el seguimiento del medio natural porque recogen información de un área determinada cada 16 días, siempre que no haya nubes.

En España se han empleado imágenes Landsat para cartografiar humedales con superficie de agua permanente, como los del sur de Salamanca (ANGEL-MARTÍNEZ, 1999) y el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (VELA *et al*, 1999; CASTAÑO *et al*, 2000). Estos autores señalan la dificultad de detectar agua somera cuando inunda áreas con cubierta vegetal densa, o cuando forma pequeños canales. También con imágenes Landsat, SÁNCHEZ *et al* (1999) estudian la llanura de inundación del Gígüela, en el sureste de la provincia de Toledo, y PÉREZ GONZÁLEZ *et al* (2001a) estudian los humedales de La Mancha. La Laguna de Gallocanta ha sido estudiada por PÉREZ GONZÁLEZ *et al* (2001b), y PUIG *et al* (2001) evalúan la extensión inundada en la marisma de Doñana utilizando imágenes Radarsat reconociendo dunas, salinas y otros elementos.

Las variaciones del nivel de agua de un *playa-lake* dependen de los meteoros y de la dinámica de las aguas subterráneas, y pueden ser estacionales, interanuales e incluso relacionarse con oscilaciones climáticas a largo plazo. Pequeños cambios de calado pueden traducirse en inundación o secado de una superficie importante afectando a la distribución y el estado de los componentes del ecosistema (hábitats), especialmente la distribución de la vegetación de las orillas. La ausencia de lámina de agua no implica la pérdida de funcionalidad del humedal. Muy al contrario, el suelo a menudo permanece húmedo incluso durante periodos de déficit hídrico, por la

proximidad del agua subterránea. Procesos claves para la mayoría de los seres vivos de este ecosistema, como la evaporación y el ascenso y descenso de agua y sales, se producen aún en ausencia de lámina de agua. Estas condiciones producen rasgos edáficos específicos, muchos de ellos de carácter diagnóstico tanto en la taxonomía de suelos como en las definiciones oficiales de humedal de algunos países.

El estudio mediante imágenes Landsat entre 1984 y 2000, encargado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2004), pone de manifiesto la variabilidad de la superficie de agua de la laguna y permiten discriminar las facies de sus orillas y su variación estacional e interanual (DÍAZ DE ARCAYA *et al*, 2005). Las observaciones satelitales, al representar un intervalo amplio de fluctuaciones de la laguna, pueden emplearse para gestionar el humedal y áreas limítrofes, en particular para delinear las facies de borde e informar acerca de su estado funcional. Un trabajo con datos simultáneos de teledetección y de campo permitiría establecer una cartografía de referencia de los hábitats ligados a la dinámica de la laguna. Dicha cartografía podrá servir de base para su seguimiento.

## 2. LA LAGUNA

En el límite de las provincias de Zaragoza y Teruel y a unos 1000 m de altitud, este humedal endorreico y salino es uno de los ecosistemas más importantes de la Península Ibérica y de la Europa Occidental (CHE, 2002a). Junto a la laguna de Chiprana son los únicos humedales aragoneses incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional RAMSAR, ambos por acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de marzo de 1994.

Ambos están sometidos a una considerable oscilación pluviométrica, entre 650 y 320 mm anuales según registros de la Confederación Hidrográfica del Ebro tomados desde 1952 (CHE, 2002a). Sin embargo, el regadío circundante tiene un efecto inverso en su nivel de agua respectivo: Chiprana es ahora una laguna permanente alimentada (y dulcificada) por los retornos del regadío limítrofe; mientras que el nivel de agua en Gallocanta se ha visto afectado por el incremento de las extracciones de agua subterránea en su alfoz, aunque algunos autores han relacionado las variaciones del nivel de agua de la laguna con el comportamiento del fenómeno del Niño (RODÓ *et al*, 1997).

La intensificación agrícola, amenaza común de los humedales de interior en todo el mundo, ha alertado a las instituciones responsables de su conservación. La Confederación Hidrográfica del Ebro ha estudiado su funcionamiento hidrogeológico, para poder aplicar un perímetro de protección y, a la vez, establecer las normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica de Gallocanta (CHE, 2002b; CHE, 2003).

En la Laguna de Gallocanta, tanto las superficies del agua como de las orlas de suelo húmedo y de vegetación varían mucho de una fechas a otras, resultando sus límites desdibujados bajo diferentes aspectos de la superficie del suelo. Estudios previos establecen un *vaso* de la laguna con 11,3 km<sup>2</sup> de extensión (CHE, 2002a). Empleando criterios topográficos (CHE, 2003) se ha recortado el área de estudio

mediante la curva de nivel de 1010 m, lo que permite incorporar áreas limítrofes a la laguna como los suelos desnudos u ocupados por cultivos o por vegetación natural. Comprende 60,45 km<sup>2</sup>, un 81% más que la superficie contenida en la curva de 950 m (CHE, 2002a).

El límite así establecido perfila el sedimento lagunar por su costado Norte, mientras que en el costado sur encierra áreas palustres funcionales con vegetación natural, con evidencias históricas de relación estrecha con el estado de humedad de la laguna y directamente afectadas por sus variaciones de agua (Figura 1). Estas áreas son: el humedal que se extiende desde los Ojos de la Laguna hacia Las Cuerlas, y el que rodea los Lagunazos de Tornos. La superficie así delimitada recoge los ambientes sedimentarios lacustres y palustres definidos por PÉREZ & ROC (1999).

Morfológicamente, la Laguna de Gallocanta presenta tres sectores: el Lagunazo, el Lagunazo Grande y los Lagunazos de Tornos (Figura 1). Los manantiales que la nutren de agua dulce, junto a la acequia de La Reguera, condicionan el desarrollo de franjas de vegetación cuya tolerancia a la salinidad es mayor según se aproximan al borde del sedimento salino. En la zona húmeda destacan prados (Figura 2a), algunos cultivados hasta finales de los años 90 y actualmente con especies herbáceas típicas de campos de cultivo abandonados (COMÍN & SORANDO, 2005, com. pers.).

En el Lagunazo Grande, el cuerpo principal de la laguna, se encuentra el punto de profundidad máxima (CHE, 2002b), aunque el viento desplaza frecuentemente el agua hacia el SE de la laguna. La asimetría de su fondo se refleja en la diferencia entre los costados norte y sur. Al norte un talud bien definido, originado por la acción erosiva del agua y el viento en el fondo lagunar, limita directamente con los cultivos que se extienden hasta el pie de la Sierra de Santa Cruz. Al sur se han desarrollado playas que quedan sumergidas de manera intermitente, dejando amplias superficies de suelo húmedo o encharcado, colonizadas por tapetes microbianos y, a veces, cubiertas por eflorescencias. Hacia el exterior, el sedimento salino se funde con los Prados de Bello. Aquí el abandono de la agricultura ha evidenciado el gran interés ecológico del paraje al permitir su ocupación por especies de prado salino y de humedal (Figura 2b, c) cuya irregular distribución aun trasluce el trazado de las antiguas parcelas (Figura 2d) (SORANDO, 2005, com. pers.).

Al sureste, los Lagunazos de Tornos constituyen un área palustre inundada en momentos de máximo llenado, por rebosamiento del Lagunazo Grande. Tras la inundación, y pese a su escasa profundidad, el agua tiende a permanecer en los lagunazos y, cuando ésta ha desaparecido, se conservan húmedos por la proximidad del nivel freático. De acuerdo con la salinidad del agua, los suelos, a menudo con eflorescencias, permanecen desnudos o con algunos halófitos. En este área destacan topográficamente las Lomas de Bello, parceladas y con uso agrícola actual (Figura 2e, f). Hacia la llanura exterior y de manera continua se extienden los cultivos de cereal, girasol, patata y leguminosas. Predominan las parcelas pequeñas aprovechando incluso las tierras fértiles cercanas a los bordes salinos de la laguna. Aquí, las estrechas parcelas agrícolas se disponen en paralelo confinando los prados semisalinos y salinos.



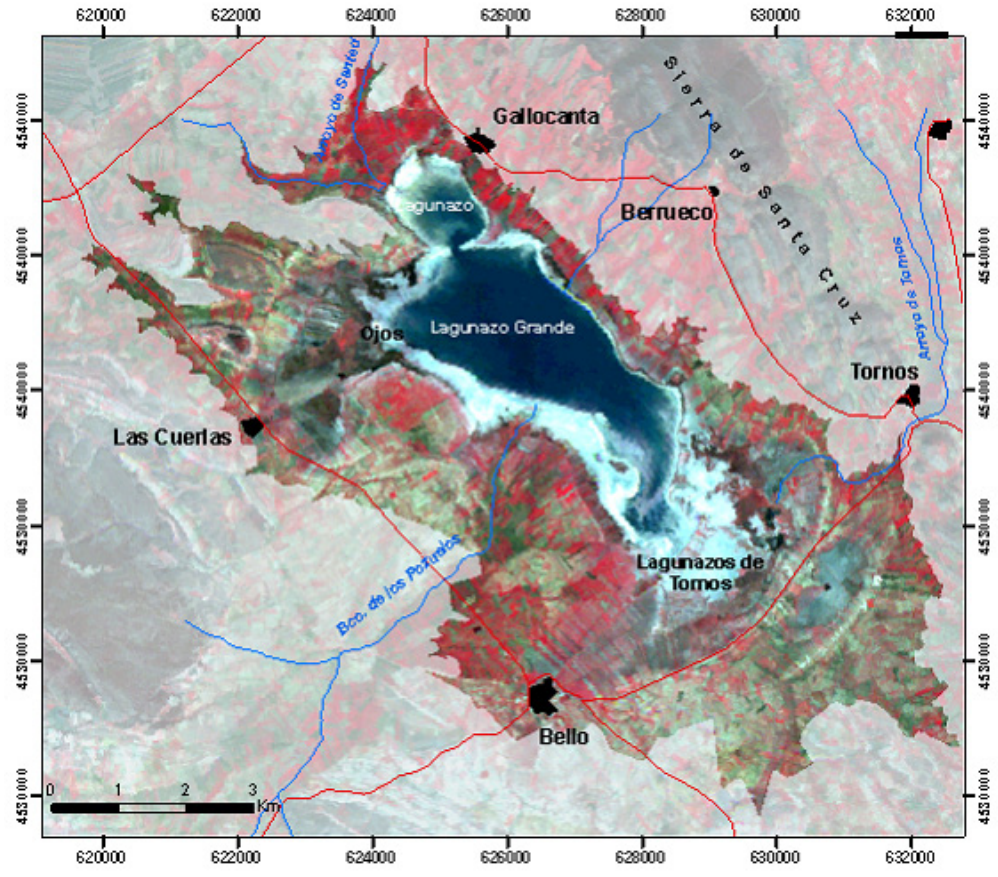


Figura 1. La Laguna de Gallocanta y su entorno delimitado por la curva de 1010 m. Imagen Landsat RGB 432, de 16 de marzo de 1994.

- Gallocanta Lake and surrounding area delimited by the 1010 m contour line. Landsat image RGB 432 from March, 16 1994.

La superficie encerrada por el perímetro de la reserva natural, unas 1900 ha, comprende una mínima parte de la extensa llanura lacustre de inundación ocasional desarrollada en épocas anteriores más húmedas (GRACIA, 1995), constituida por sedimentos palustres en gran medida antropizados. La reserva comprende dos orlas de similar extensión. La zona interior ocupa el 52% de la superficie de la reserva, suele inundarse en fechas de máxima humedad según los registros de las últimas décadas, y corresponde al ambiente sedimentario de “área lacustre central y marginal” (PÉREZ & Roc, 1999). La orla externa, el 48% restante, es de gran interés ecológico y en ella aún colisionan los intereses agrícolas con la conservación y la restauración de la vegetación natural, visiblemente reducida. Tiene su máxima extensión en las zonas húmedas de Las Cuerlas y Los Lagunazos.

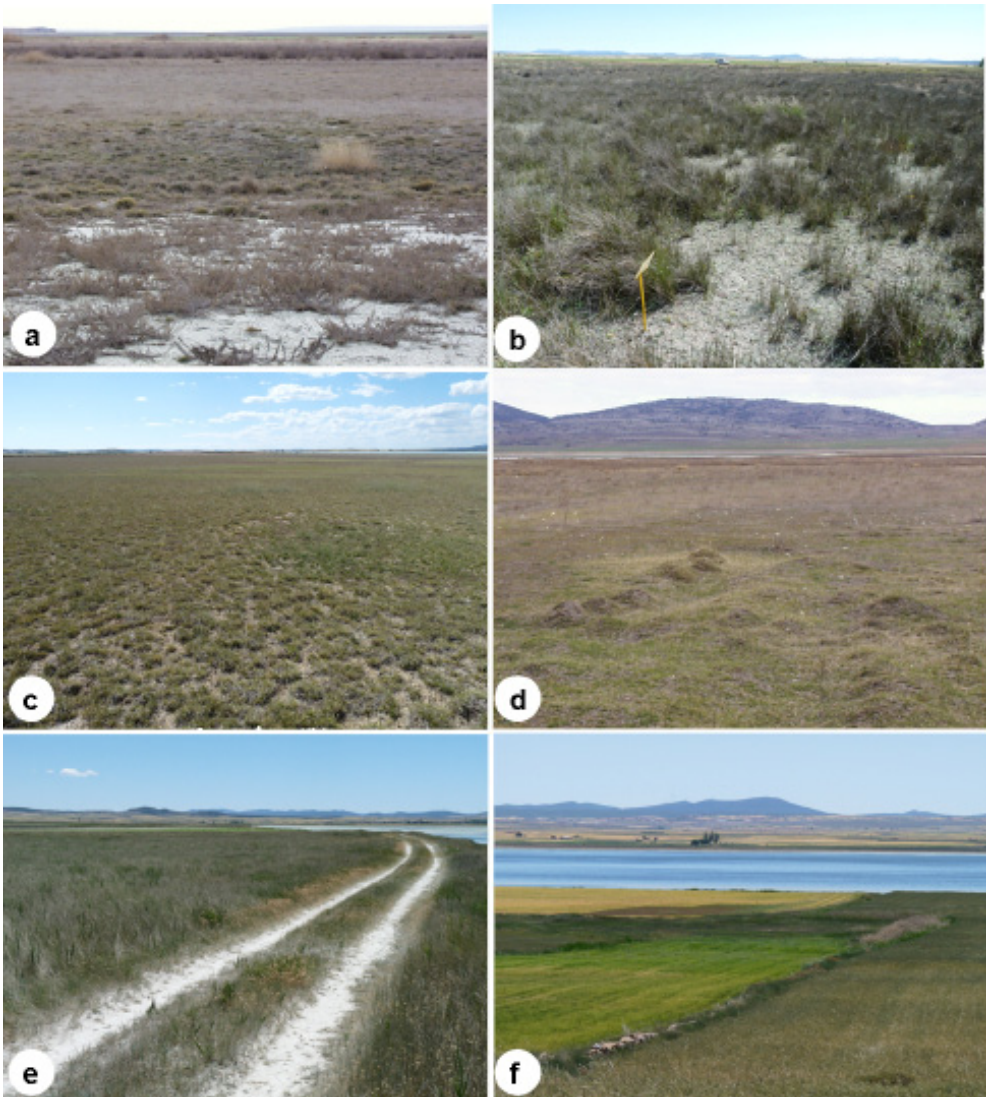


Figura 2. Laguna de Gallocanta en febrero de 2004 (a y d) y en junio de 2009 (b, c, e, f). En el humedal de la Reguera, vegetación halófila con *Salicornia ramosissima* en primer plano y un prado salino de *Puccinellia pungens* al fondo (a). Vegetación de humedal (b) y prado salino (c) cerca del Barranco de los Pozuelos. Plantas colonizadoras de campos abandonados en los prados de Bello, en el costado sur del Lagunazo Grande (d). Campos de cultivo en las Lomas de Bello (e) y en las márgenes norte y sur de la laguna (f).

- Gallocanta Lake in February 2004 (a, d) and June 2009 (b, c, e, f). Halophytes in the Reguera wetland, with *Salicornia ramosissima* in the foreground and a saline grass in the background (a). Wetland vegetation (b) and saline grass (c) near the Pozuelos stream. Abandoned field with pioneer plants in Bello meadows, at the Lagunazo Grande southern border. Crops in the Lomas de Bello area (e) and in the northern and southern lake borders (f).

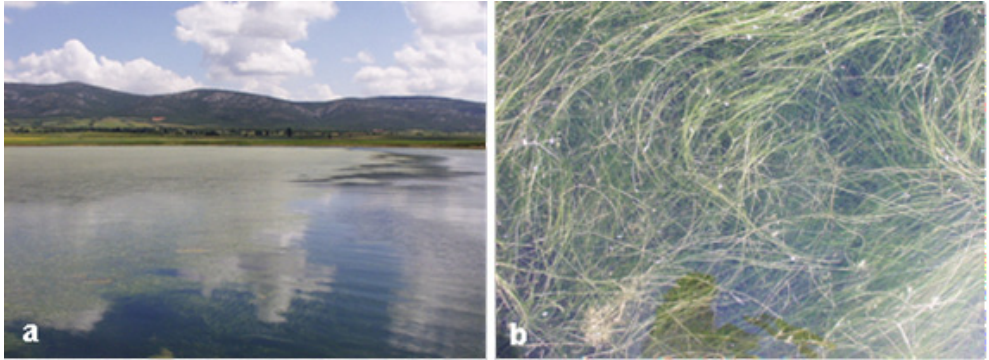


Figura 3. Laguna de Gallocanta en época húmeda (junio de 2004). En presencia de lámina de agua, el fondo de la laguna puede estar ocupado por densos prados subacuáticos (a). Un detalle de los mismos en (b).

- Gallocanta Lake during the wet season (June 2004). Densely growing submerged vegetation (a). A close-up of this aquatic vegetation (b).

Entre las ayudas agroambientales establecidas en aplicación de la legislación europea para la conservación de las aves, la medida “1.4. Retirada de tierras con cultivos herbáceos de secano en zonas perilagunares de Reservas Naturales” en el Programa 2007-2013, cuya gestión está en manos del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, incluye en el ámbito de aplicación los recintos agrícolas incluidos en las Reservas Naturales Dirigidas en el PORN de las Lagunas de Gallocanta y Chiprana. Por esta medida, los beneficiarios de la misma se comprometen a: (1) retirar de la producción al menos 1 hectárea dedicada al cultivo o aprovechamiento ganadero durante los 5 años que dure el compromiso, (2) no efectuar labores agrícolas, (3) no usar agroquímicos, entre otros.

Los recintos susceptibles de solicitar esta medida agroambiental aparecen especificados en el Anexo VI de la Orden de 23 de enero de 2007, de los Departamentos de Agricultura y Alimentación y de Medio Ambiente, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas en materia de medidas agroambientales en el marco del Programa de Desarrollo Rural para Aragón, 2007-2013. En la declaración oficial de de la PAC de la campaña 2008-2009, los recintos agrícolas acogidos a ayudas agroambientales en el entorno de la laguna suponen unas 786 ha, y ocupan el 83% de la orla externa de la reserva. Un 2% de la superficie acogida a dichas ayudas queda fuera del perímetro de la reserva, colindante con ella.

La Laguna de Gallocanta es un lago hipersalino de tipo Na-Mg-Cl-(SO<sub>4</sub>) (PÉREZ & Roc, 1999) y se observa sin lámina de agua en periodos de intensa evaporación. Las fluctuaciones del nivel de agua producen importantes variaciones de su salinidad y condicionan el desarrollo de diferentes comunidades biológicas (COMÍN *et al*, 1991) (Figura 3). El agua proviene de manantiales, acequias y de aportaciones subterráneas localizadas y difusas (CHE, 2002b).

### 3. INFORMACIÓN SATELITAL

#### 3.1. Fechas de las imágenes y datos de campo relacionados

Se consultó el archivo histórico de imágenes Landsat TM y ETM+ que las agencias espaciales toman cada 16 días desde 1984. Se seleccionó una serie de imágenes teniendo en cuenta tres criterios principales: (1) fechas de adquisición no afectadas por lluvias previas, (2) ausencia de nubes en las imágenes y (3) fechas de diferentes estaciones. Con ello se pretende conocer el estado de humedad del nivel de base de la laguna relacionado con el acuífero.

La Confederación Hidrográfica del Ebro suministró las imágenes empleadas en este estudio, once de las cuales provienen del archivo del Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). Se han empleado las 6 bandas multispectrales de cada imagen, recortada al área de estudio (Figura 1), georreferenciadas en coordenadas UTM 30N, Elipsoide Internacional 1909, y Datum Europeo (España y Portugal) (CHE, 2003).

En la Tabla 1 se tiene la distribución estacional de las 27 imágenes. El calado de la laguna, estimado mediante teledetección, permite agrupar las fechas en 4 estados de humedad: (1) sin agua, (2) calado < 0,5 m, (3) calado entre 0,5 m y 1 m, (4) calado > 1 m. Se ha contado con mayor número de imágenes durante el periodo estival, siendo el de mayor variabilidad de estados de humedad.

Se dispone de los registros de precipitación de la estación Gallocanta (1997), la más próxima a la laguna. Las lluvias acumuladas de 15 días previos a la fecha de cada imagen y en los días mediantes entre fechas de calado e imagen se han utilizado para verificar la concordancia entre calado y agua detectada en la imagen, así como para interpretar el estado de la superficie del suelo en cada fecha. La lluvia anual media en el periodo estudiado es 464 mm, observándose una variación de ritmo casi decadal y una disminución de la precipitación anual (Figura 4).

En el seguimiento de la laguna, las lecturas históricas de nivel de agua provienen de la escala situada en el estrecho de la laguna, ligeramente al E de la parte más profunda. Por ello la lámina de agua puede ser detectable de visu o en imágenes aéreas o satelitales siendo nulo el registro de la escala situada en el estrecho. Un levantamiento batimétrico reciente (CHE, 2002b) ha localizado una zona más profunda en el sureste del Lagunazo Grande (Figura 5). La nueva escala allí instalada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en 2001 tiene una diferencia de cota con la escala vieja de 14,5 cm, por lo que puede registrar el agua no medible en el estrecho.

Tabla 1. Fechas de las imágenes Landsat empleadas en este estudio. Entre paréntesis, el calado estimado mediante teledetección. La intensidad de gris aumenta con el estado de humedad.

- Dates of the Landsat images used in this study. In brackets, the water depth estimated from remote sensing. The grey level increases with the wetness.

### Fechas imágenes Landsat y calado, en m

Primavera	Verano	Otoño	Invierno
	10/07/1984 (0.25)		
	30/08/1985 (0)		
	17/08/1986 (0)		
	20/08/1987 (0.33)		
	6/08/1988 (0.91)		
	22/06/1989 (1.1)		
27/05/1991 (0.84)	14/07/1991 (0.65)		
	2/09/1992 (0.65)		7/02/1992 (1.13)
			25/02/1993 (0.72)
			16/03/1994 (0.29)
4/04/1995 (0)	26/08/1995 (0)	27/09/1995 (0)	
	11/07/1996 (0)		
27/03/1998 (0)	17/07/1998 (0)	21/10/1998 (0)	
30/03/1999 (0)	21/08/1999 (0)		9/11/1999 (0)
	29/08/1999 (0)		
	30/07/2000 (0)	18/10/2000 (0)	12/01/2000 (0)
			8/03/2000 (0)

### 3.2. Composiciones color de bandas originales

Las superficies de agua, por absorber la mayor parte de la radiación incidente, suelen manifestarse con tonalidades oscuras, tanto más cuanto menor sea la reflectividad de sus fondos. Si las aguas son someras, aumenta la influencia del fondo en la energía total recibida por el sensor y, por tanto, el color del agua varía. También la turbidez, las bacterias y la vegetación subacuática influyen en el color del agua (Chuvieco, 2002), por ello es importante estudiar su respuesta espectral con diferentes combinaciones de bandas para interpretar las imágenes. Las visualizaciones de estas combinaciones de bandas se hacen eligiendo tres bandas y asignando a cada una de ellas los tres colores primarios, rojo, verde y azul (RGB: red-green-blue).

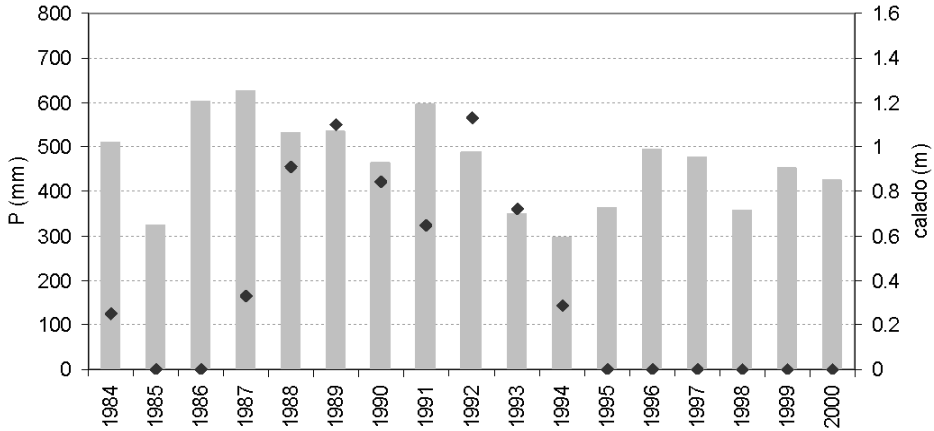


Figura 4. Lluvia anual entre 1984 y 2000 (barras en gris) y calado máximo anual (rombos en negro) en las 27 fechas estudiadas.  
 - Annual rainfall from 1984 to 2000 (grey bars), and maximum annual water depth for the 27 dates studied (black diamonds).

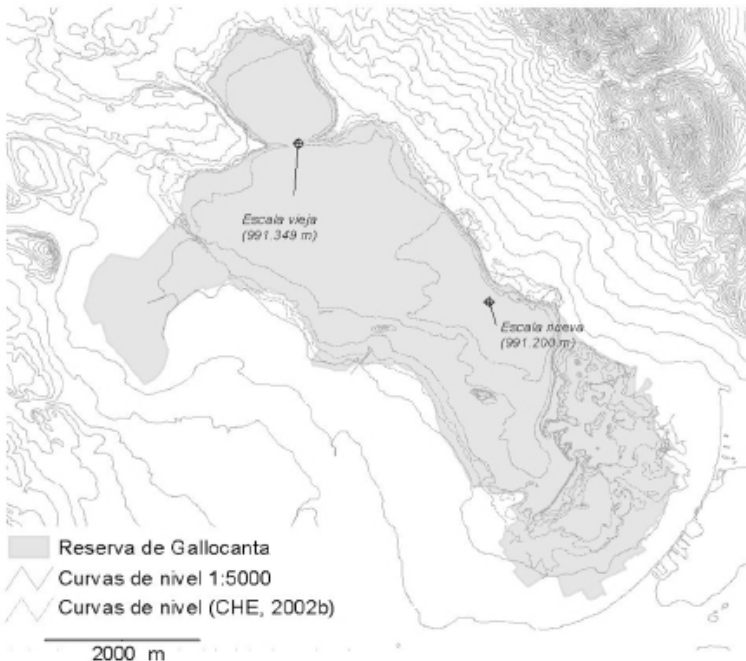


Figura 5. Localización y altitud de las escalas que permiten a la CHE el seguimiento del calado de la laguna, sobre la topografía detallada de la zona. La delimitación de la Reserva, en gris, es en parte disconforme con las curvas de nivel.  
 - Location and elevation data of markers used by CHE for monitoring the water depth in the lake, superimposed on the detailed topography. The boundary of the Reserve, in grey, does not match the contour lines.

Las composiciones falso color RGB de las bandas Landsat 432 y 457 son las más útiles para identificar extensiones de agua y suelos húmedos (ÁNGEL-MARTÍNEZ, 1994; GARCÍA & PÉREZ, 1999; PÉREZ GONZÁLEZ *et al*, 2000; CASTAÑEDA, 2002; CASTAÑEDA *et al*, 2005). La reflectividad de los suelos disminuye al aumentar la humedad y cuando son de color oscuro. La vegetación dispersa puede quedar enmascarada cuando el suelo está encharcado o muy húmedo. La presencia de eflorescencias aumenta la reflectividad de los suelos.

En las Figuras 6 y 7 se muestran las composiciones RGB 432 y 457 de las imágenes del 7 de febrero de 1992 y del 10 de julio de 1984, respectivamente. Ambas composiciones permiten apreciar el estado de humedad de la laguna con distintas tonalidades. Mientras que la composición RGB 432 recoge el comportamiento espectral del área de estudio en el espectro infrarrojo cercano y visible, la RGB 457 da cuenta del infrarrojo cercano y medio.

La imagen de febrero, con un calado de 1,12 m, presenta agua en todo el fondo, incluso en los Lagunazos de Tornos. En la composición RGB 432 se ve el agua en azul oscuro y en la RGB 457, en negro. Estas tonalidades oscuras reflejan una profundidad del agua, suficiente para impedir la influencia del fondo en la energía captada por el sensor. En ambas composiciones el agua está rodeada por una orla oscura y rojiza de suelo húmedo que se extiende hacia las zonas palustres de Las Cuerlas y Bello. También destaca una zona húmeda desde la laguna hacia el Barranco de los Pozuelos. El tono rojo denota presencia de vegetación de poco vigor.

En julio, con un calado de 0,31 m, se ve una orilla emergida de considerable extensión en el costado sur. Los Lagunazos de Tornos conservan pequeñas zonas inundadas. La eflorescencia salina de la orilla se aprecia en blanco en la RGB 432 debido a la alta reflectividad de su superficie seca. El agua es azul, más oscura hacia el centro de la laguna, indicando un gradiente de profundidad; hacia la orilla el azul se aclara porque interviene la reflectividad del fondo. Los Lagunazos de Tornos, en blanco, aparecen casi secos en superficie y cubiertos con sales. La composición RGB 457 presenta la eflorescencia más oscura, quizás debido a agua contenida en las sales. En el interior, el agua aparece negra de manera más homogénea y apenas se detectan diferencias de profundidad.

### 3.3. Cambios de la humedad del terreno

Se ha resaltado la humedad de la zona lagunar mediante la componente *Humedad* de la transformación Tasseled Cap (KAUTH & THOMAS, 1976; CRIST & CICONE, 1984) que emplea las bandas 1 a 5 y 7 de las imágenes Landsat TM y ETM+. Dicha componente H resalta la humedad de la superficie del terreno en un sentido amplio. Sus valores más altos corresponden al agua y los suelos húmedos aunque también participa la humedad contenida en la vegetación. La turbidez del agua aumenta el valor de este componente, que no permite detectar diferencias de profundidad (CRIST & CICONE, 1984).

En la Figura 8 se muestra la componente H obtenida en dos fechas. En la imagen del 20 de agosto de 1987 la componente H no permite discriminar profundidades

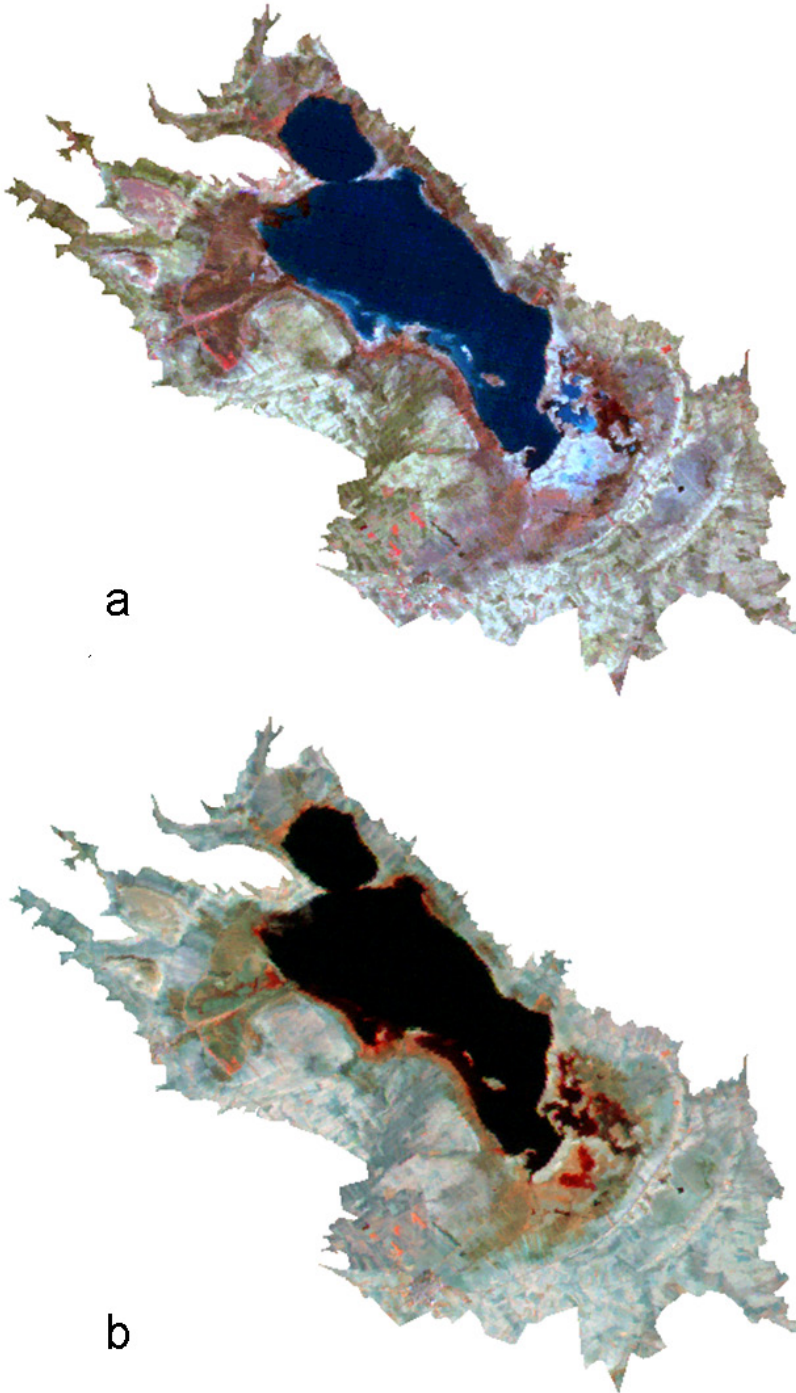


Figura 6. Composiciones RGB 432 (a) y 457 (b) de la imagen del 7 de febrero de 1992.  
- RGB 432 (a) and 457 (b) compositions from the February 7, 1992 image.



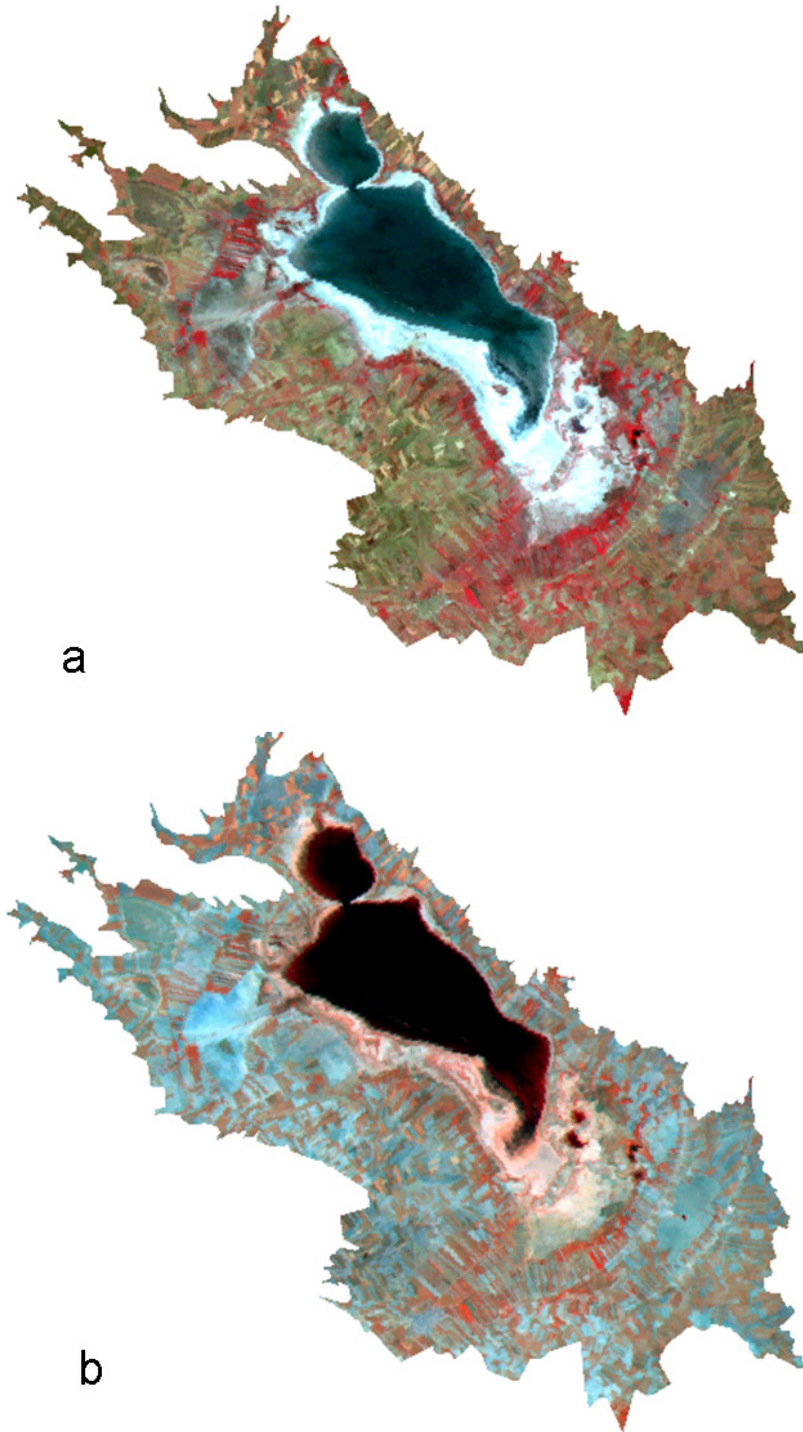


Figura 7. Composiciones RGB 432 (a) y 457 (b) de la imagen del 10 de julio de 1984.  
- RGB 432 (a) and 457 (b) compositions from the July 10, 1984 image.

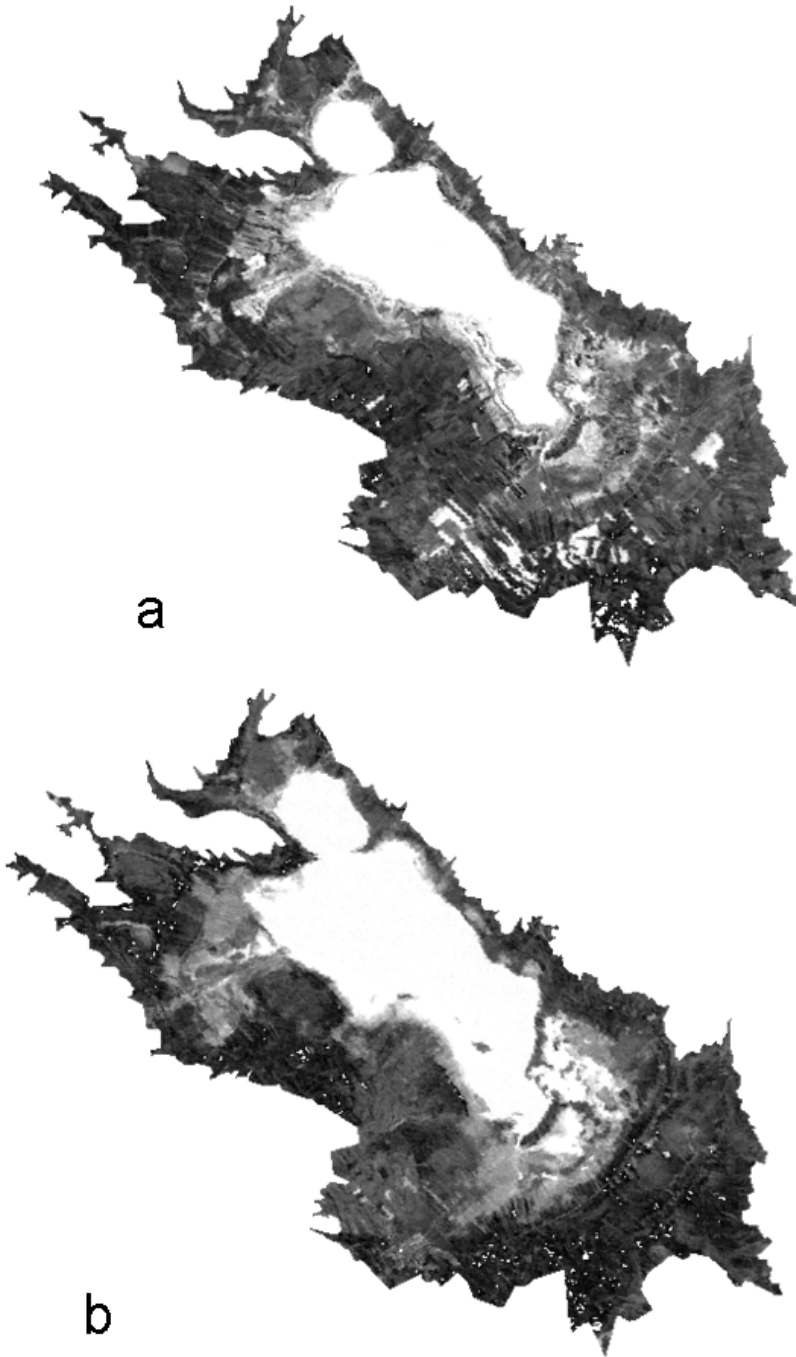


Figura 8. Componente *Humedad* de la TTC el 20 de agosto de 1987 (a) y el 7 de febrero de 1992 (b).  
- Wetness component produced from TTC of August 20, 1987 (a) and February 7, 1992 (b).

de agua; tampoco diferencia el agua del suelo húmedo ni de la vegetación, cuyo contenido de agua también contribuye con tonos claros. En la componente H correspondiente al 7 de febrero de 1992, se tiene la extensión de la humedad en el momento de máximo llenado en la serie estudiada, y se pueden detectar las zonas de mayor humedad asociadas a la laguna: una franja alrededor del agua, los humedales de Las Cuerlas y La Reguera, Los Lagunazos de Tornos y el Barranco de los Pozuelos. Alrededor, los suelos húmedos se diferencian claramente de los secos en función del vigor de la vegetación.

La interpretación visual de estas componentes ofrece una información cualitativa. Los cambios interanuales y estacionales de la humedad de la superficie del terreno pueden cuantificarse mediante el tratamiento de estas componentes. En la Figura 9a, la zona coloreada en verde muestra la superficie donde se ha registrado una diferencia de humedad entre dos fechas de invierno, el 7 de febrero de 1992 y el 12 de enero de 2000. Dicha zona se extiende más allá de los límites de la reserva natural y representa una disminución  $> 10\%$  de humedad en la segunda fecha con respecto a la primera. La Figura 9b corresponde a la diferencia estacional de la componente *Humedad* entre el 12 de enero y el 8 de marzo de 2000, año de pluviometría media aunque sin registro de agua en las imágenes. En dicha figura, el área azul representa un incremento de humedad superior al 10% en marzo, con respecto a enero, y afecta mayormente al interior de la laguna.

### 3.4. Verdor y estado de humedad

Se ha aplicado el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para caracterizar el estado de la vegetación. Su valor varía entre  $-1$  y  $1$ , y aumenta con el vigor vegetativo de las plantas. El umbral crítico para detectar vegetación suele definirse con valores del NDVI entre  $0,1$  y  $0,2$ , mientras que una vegetación densa puede dar valores entre  $0,5$  y  $0,7$  (HOLBEN, 1986). El NDVI discrimina, además, estados de humedad en la laguna, pues las superficies de agua presentan valores negativos de este índice, tanto más cuanto menor sea la influencia de los materiales del fondo y/o de la vegetación acuática. Los suelos desnudos tienen valores intermedios, entre  $0,0$  y  $0,2$ ; y conforme la vegetación se hace más densa y vigorosa, los valores se hacen más altos.

En dos fechas de época húmeda, febrero de 1992 y julio de 1984, se han obtenido diferentes resultados de este índice. En ambas fechas los valores más bajos del NDVI identifican el agua y las zonas húmedas, con valores mínimos del NDVI en febrero (Figura 10a) y con un intervalo de valores más amplio en julio (Figura 10b). En esta última fecha se observan varias categorías dentro de la laguna, desde la 2 en el centro, hasta la 5 en la orilla. La 2 y la 3, con valores negativos del NDVI, representan una disminución de la profundidad del agua. Las categorías 4 y 5 tienen valores positivos y corresponden a áreas no inundadas.

Los cultivos, exentos en ambas fechas de vegetación vigorosa (en febrero el cereal está iniciando su desarrollo y en julio está cosechado), están representados por las categorías 6, 7 y 8, categorías intermedias. Tampoco las halófitas e higrófilas que

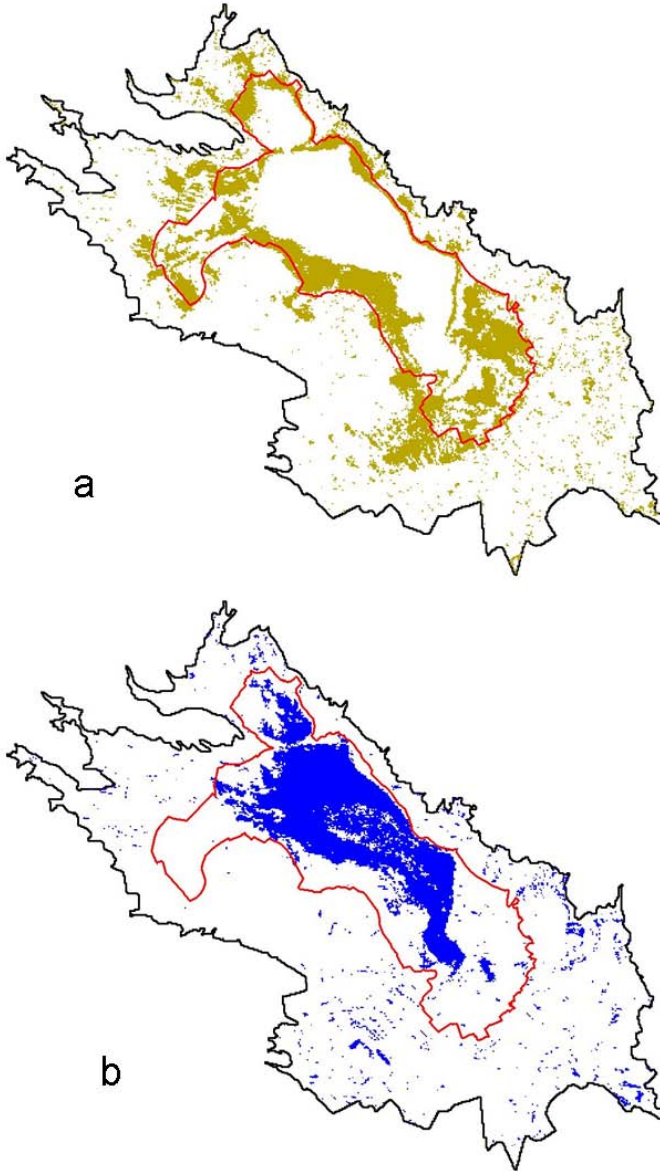


Figura 9. Diferencia del componente *Humedad* de la transformación TTC entre fechas: disminución de humedad entre el 7 de febrero de 1992 y el 12 de enero de 2000 (a) y aumento de humedad entre el 12 de enero y el 8 de marzo de 2000 (b). El polígono rojo delimita la reserva natural.

-Difference in wetness component from the TTC transformation between two dates: decrease in wetness between February 7, 1992 and January 12, 2000 (a); and increase in wetness between January 12 and March 8, 2000. The red polygon delimits the natural reserve.

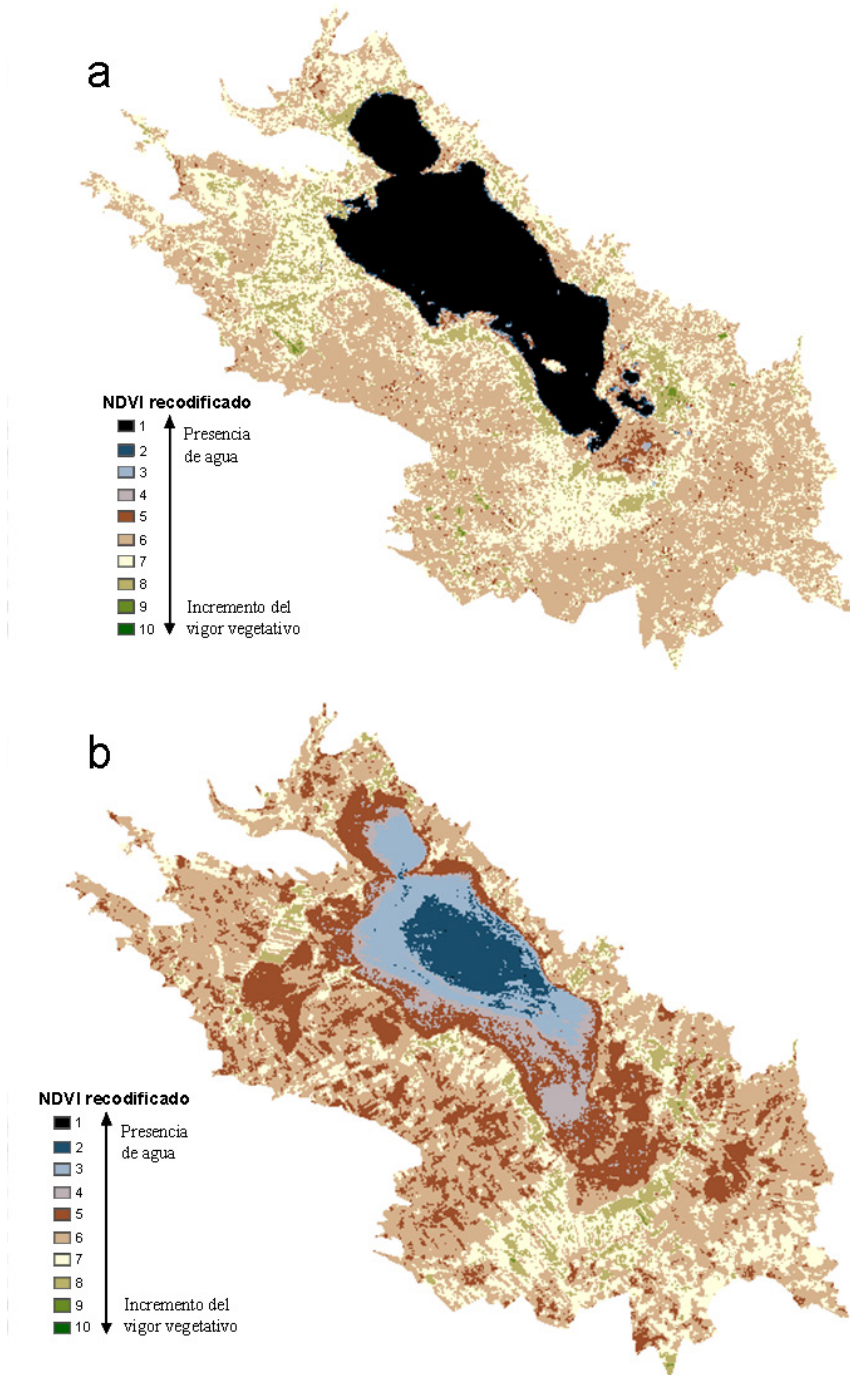


Figura 10. NDVI aplicado a la imagen del 7 de febrero de 1992 y del 10 de julio de 1984.  
- NDVI applied to the February 7, 1992 and to the July 10, 1984 images.

orlan la laguna se detectan en estas fechas debido a su escasa actividad.

La delimitación de la lámina de agua mediante el NDVI está condicionada por la presencia de vegetación acuática; así, en junio de 1989 y en julio de 1991 se obtienen categorías altas del NDVI dentro de la laguna (Figura 11). En la primera fecha (Figura 11a) el calado es  $> 1$  m mientras que la laguna presenta valores de NDVI positivos similares a las áreas agrícolas. Se observa una gradación de la actividad fotosintética dentro de la lámina de agua, con las categorías 6 y 7; los valores del NDVI vuelven a ser negativos en las zonas de menor profundidad (costado sur y Lagunazo). En 1991 (Figura 11b) la actividad fotosintética detectada en el cuerpo central abarca menor extensión (clases 7 y 8); casi toda el agua presenta valores negativos excepto en el Lagunazo, donde la vegetación alcanza una extensión considerable.

En cuanto a los cultivos, en junio de 1989 el índice revela parcelas agrícolas con vigor alto mientras en julio de 1991 la mayor parte del cereal ha sido cosechado, por ello los valores del NDVI son más bajos; excepto al este de Bello, donde se detectan cultivos de verano desarrollados. En ambas fechas hay evidencias de vegetación halófila e hidrófila orlando la laguna, con valores de NDVI similares a los que presentan los cultivos.

#### 4. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

La clasificación de las imágenes (DÍAZ DE ARCAYA *et al*, 2005) ha permitido identificar y cuantificar las cubiertas relacionadas directamente con el estado de humedad de la laguna y con rasgos del uso del territorio en su entorno. Las clases temáticas o facies se han englobado en dos grandes grupos (Tabla 2), según expresen o no aspectos de la funcionalidad lagunar con repercusiones en el estado ecológico del humedal (CASTAÑEDA *et al*, 2006). Para ello se han aplicado criterios forjados a partir de la experiencia del gabinete en teledetección en el estudio de humedales salinos, el conocimiento del área de estudio, las opiniones de expertos y la revisión bibliográfica. Los dos grupos establecidos son:

- *Clases lacustres y palustres*. Son áreas temporalmente cubiertas de agua, encharcadas o húmedas, con vegetación de humedal y con signos evidentes de relación con las fluctuaciones de agua de la laguna. Este grupo engloba 7 clases temáticas.

- *Clases mixtas humedal/cultivos*. Son áreas en general más alejadas de la laguna y más secas; actualmente están antropizadas aunque puede observarse una gradación espacial con algunas clases del grupo anterior; así, en los humedales de Las Cuerlas, La Reguera y Bello, se detectan cubiertas tanto de zona palustre como de cultivo, dependiendo de la estación del año y de su pluviosidad. Este segundo grupo recoge 3 clases temáticas.

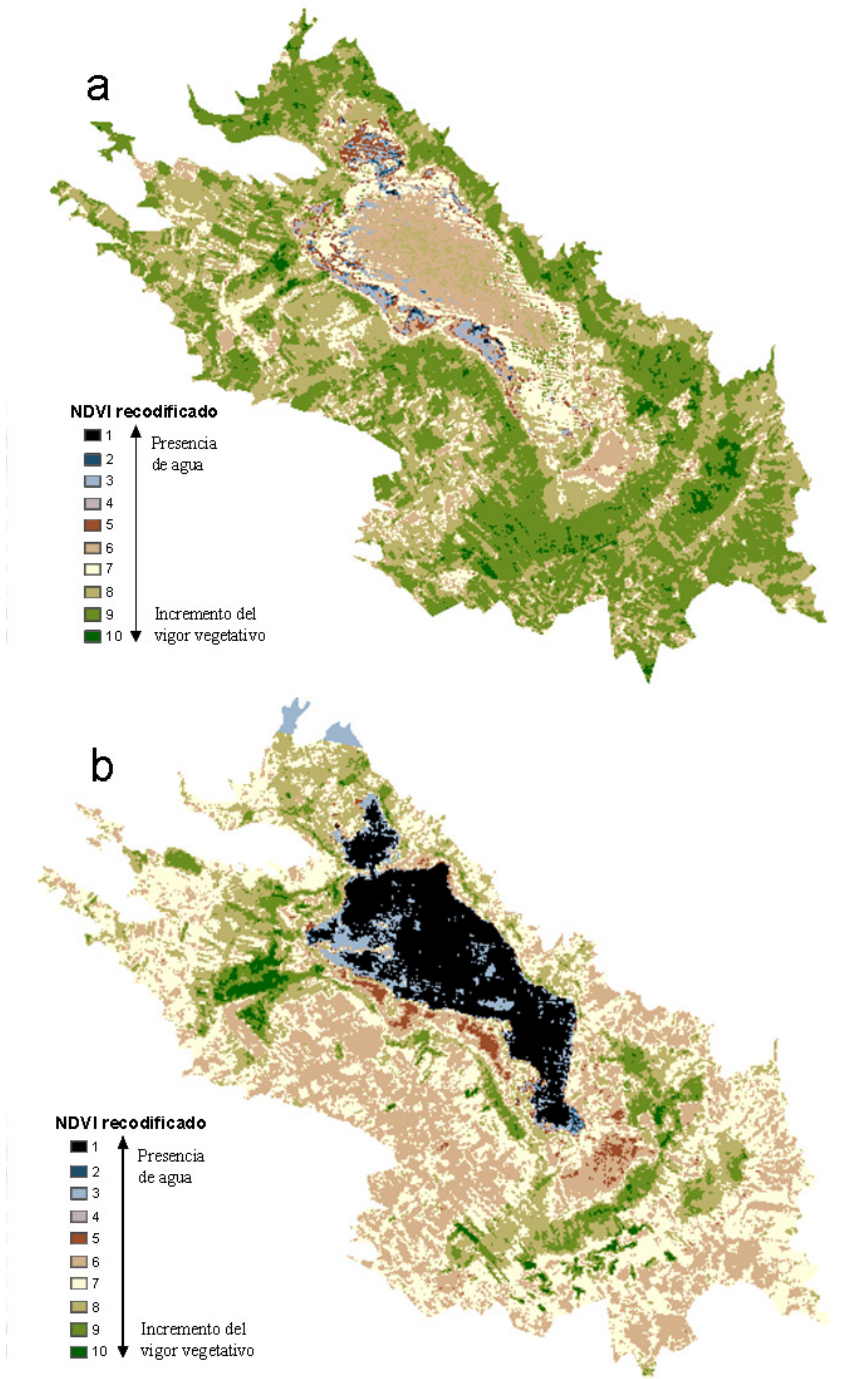


Figura 11. NDVI aplicado a la imagen del 22 de junio de 1989 y del 14 de julio de 1991.  
 - NDVI applied to the June 22, 1989 and to the July 14, 1991 images.

Tabla 2. Clases temáticas establecidas en la Laguna de Gallocanta tras la agrupación e interpretación de las clases espectrales obtenidas de la clasificación no supervisada.

- Thematic classes established in Gallocanta Lake following the grouping and interpretation of spectral classes obtained from unsupervised classification.

<b>Clases lacustres y palustres</b>	<b>Clases mixtas humedal/cultivos</b>
agua	
vegetación lacustre	suelo húmedo (desnudo y con vegetación de vigor bajo)
suelo embebido en agua	suelo seco (desnudo y con vegetación de vigor bajo)
suelo húmedo (I, II y III)	vegetación (de vigor moderado y alto)
suelo seco	
eflorescencia	
vegetación natural	

La cartografía temática generada informa del alcance de la funcionalidad lagunar, es decir, del ámbito que muestra signos evidentes de relación con las fluctuaciones de agua de la laguna y con repercusiones en su estado ecológico. Las mayores superficies de agua se han detectado entre 1987 y 1994, en varias estaciones del año, siendo su máxima extensión 1164,5 ha en junio de 1989, ocupando casi un 20% del área circunscrita en la curva de nivel de 1010 m (Figura 12). Los periodos secos de la laguna comprenden parte de los años 1985-1986 y 1999-2000. En los años 1995 y 2000 (Figura 12) la laguna se presenta en su estado más seco.

El 56% de las imágenes estudiadas presentan lámina de agua de calado suficiente para leerse, mediante prismáticos, en la escala clavada en el fondo; el 88% presentan la facies suelo embebido en agua, es decir, lámina de agua dispersa en charcos más o menos interconectados y de calado milimétrico, detectable sólo mediante satélite. La orla de suelo seco con o sin eflorescencia y la de vegetación palustre, son las más afectadas por las variaciones del nivel de agua, habiéndose detectado sólo en el 36 % de las imágenes estudiadas. Por otra parte, la discriminación de los prados salinos puede enmascarse por su baja cobertura dado su pequeño porte, y por la presencia de humedad y de sales en la superficie del suelo. El agrupamiento de las facies lacustres y palustres mediante un análisis de similitud (Figura 13) muestra que la facies vegetación palustre tiene mayor relación con la presencia de la facies agua de mayor calado; mientras que la presencia de orlas de suelo seco con o sin eflorescencia está más relacionada con la presencia de suelo embebido en agua.

El estudio histórico de la presencia de agua y coberturas asociadas en la Laguna de Gallocanta y alrededores mediante el tratamiento de imágenes Landsat TM y ETM+ proporciona información de la laguna en 27 ventanas discretas de fechas no periódicas dentro de un lapso de 17 años. Siendo más de 350 las imágenes tomadas por la familia de satélites Landsat en ese tiempo, el estudio podría mejorarse aumentando el número y/o la periodicidad de dichas ventanas y dependiendo de la disponibilidad de imágenes sin nubes.



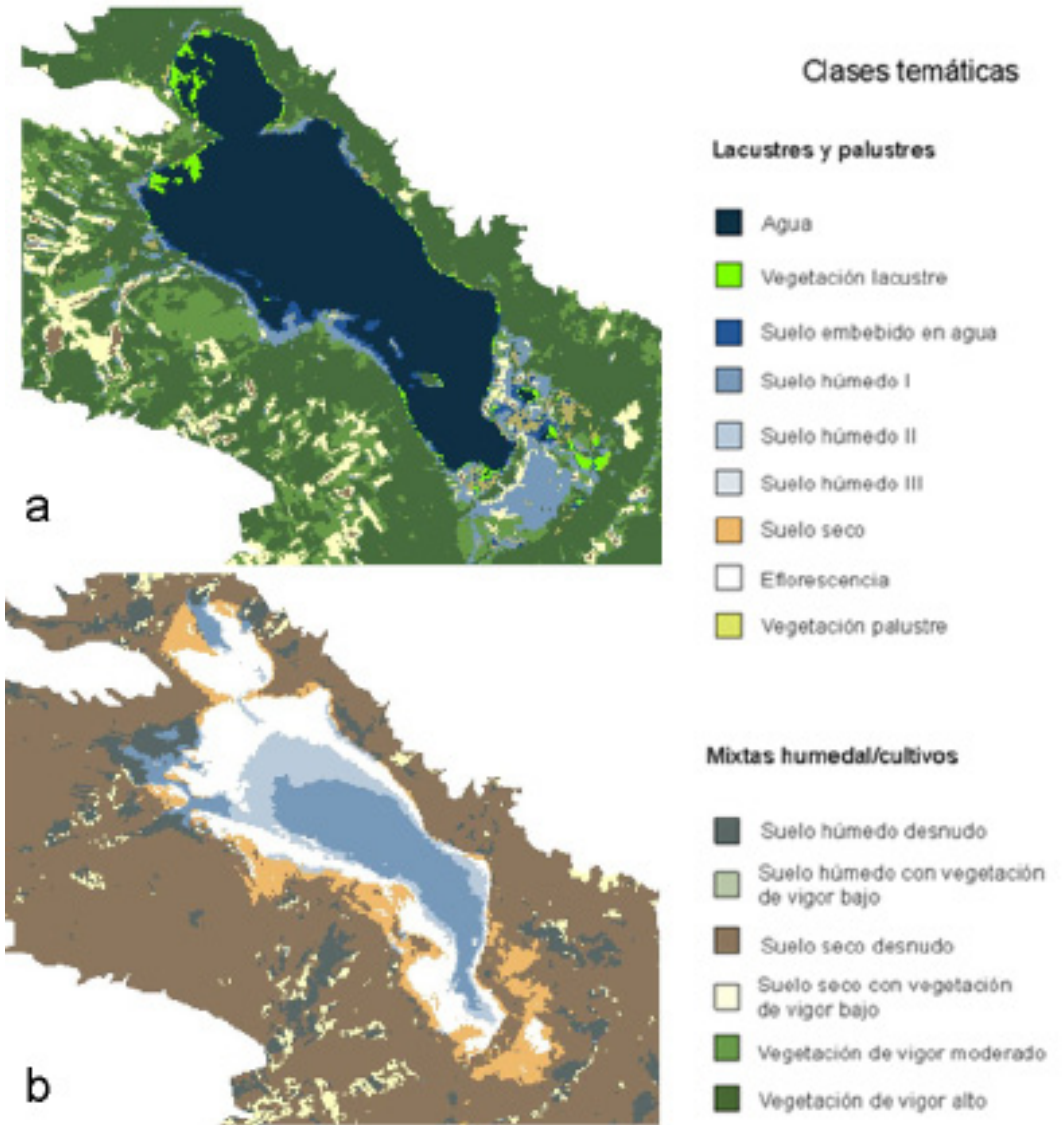


Figura 12. Mapa de facies (clases temáticas) de la laguna en momentos extremos de máxima y mínima presencia de agua en las fechas estudiadas, el 22 de junio de 1989 (a) y el 8 de marzo de 2000 (b), respectivamente.

- Map of facies (thematic classes) of the lake at the extremes of maximum and minimum water level for the period studied, on June 22, 1989 (a) and on March 8, 2000 (b), respectively.

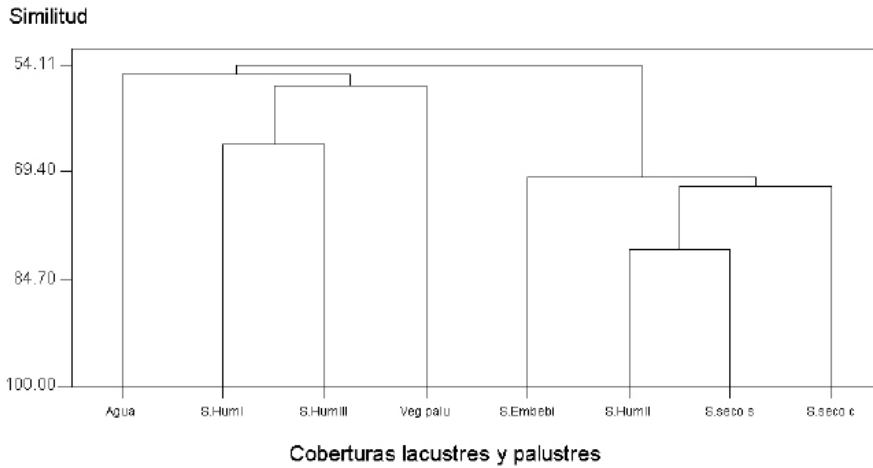


Figura 13. Dendrograma que muestra la similitud de las facies lacustres y palustres discriminadas en la laguna según su extensión en las fechas estudiadas.

- Dendrogram showing the similarity of lacustrine and palustrine facies observed in the lake based on their extent on the dates studied.

La identificación de rasgos evidentes asociados a la inundación y la dinámica de humedales de tipo playa-lake es técnicamente compleja, debido a que la frecuencia y extensión de la inundación es muy variable. Trazar el límite de máxima inundación (ordinaria o conocida) debería ser una información clave para la gestión del humedal a largo plazo. En países con experiencia en la delineación de este tipo de humedales se emplean conjuntamente los datos técnicos disponibles, el asesoramiento experto y, principalmente, un estudio específico de cada humedal. Los trabajos de investigación, en campo y en laboratorio, procedentes de disciplinas diversas como hidrogeología, edafología, sedimentología, botánica, entre otras, proporcionan indicadores incorporables a los procedimientos técnicos y de gestión.

#### AGRADECIMIENTOS

Los proyectos AGL-01283 y GA-LC-006-2008 financian trabajos de investigación en que complementan la información extraída de las imágenes de satélite en Gallocanta.

#### BIBLIOGRAFÍA

ÁNGEL MARTÍNEZ, C. 1994. *Aplicación de la teledetección en la localización de superficie de agua*. CEDEX. Ministerio de Obras, Públicas, Transportes y Medioambiente, Madrid.

BROSTOFF, W., LICHVAR, R. & SPRECHER, S. 2001. *Delineating Playas in the Arid*

- Southwest. A literature review.* US Army Corps of Engineers. ERDC TR-01-4.
- CASTAÑEDA, C. 2002. *El agua de las saladas de Monegros sur estudiada con datos de campo y de satélite.* Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón, Zaragoza.
- CASTAÑEDA, C., HERRERO, J. & CASTERAD, M.A. 2005. Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros Desert. *Journal of Arid Environments* **63**: 497-516.
- CASTAÑEDA, C., SORANDO, R., HERRERO, J. & COMÍN, F. 2006. *Remotely sensed imagery of temporal changes in the status of Gallocanta Lake (Spain) as a management tool.* Symposium Proceedings, CD ISBN 92-9092-945-6.
- CASTAÑO, S., MEJUTO, M.F., QUINTANILLA, A., RUIZ, J.R. & GARCÍA, CONSUEGRA, J. 1999. Utilidad del NDVI para el estudio de la dinámica de los humedales costeros. O Sapal de Castro Marim (Portugal). In: S. CASTAÑO & A. QUINTANILLA (Eds.) *Teledetección, Avances y Aplicaciones. Asociación Española de Teledetección. VIII Congreso Nacional de Teledetección.* Albacete 22-24 de septiembre. Papeles de la Diputación de Albacete.
- CHE. 2002a. *Balance en la Laguna de Gallocanta en el periodo 1970-2001.* Inédito.
- CHE. 2002b. *Establecimiento de las normas de explotación de la unidad hidrogeológica "Gallocanta" y la delimitación de los perímetros de protección de la laguna.* Inédito.
- CHE. 2003. *Georreferenciación de imágenes del satélite Landsat del tramo central de la cuenca del Ebro con interés para estudios Hidrogeológicos. 2003-PH-37-I.* Inédito.
- CHE. 2004. *Estimación de la evolución reciente del vaso de la L mediante técnicas de teledetección espacial. 2004-PH-22-I.* Inédito.
- CHUVIECO, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio.* 1º edición. Editorial Ariel. Barcelona. España.
- COMÍN, F., JULIÀ, R. & COMÍN, F. 1991. Fluctuations, the key aspect for the ecological interpretation of saline lake ecosystems. *Oecologia Aquatica* **1**: 127-135.
- CRIST E.P. & CICONE, R.C., 1984. A physically based transformation of thematic mapper data-the TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **GE22**: 256-263.
- DÍAZ DE ARCAYA N., CASTAÑEDA C., HERRERO J. & LOSADA J.A. 2005. Cartografía de coberturas asociadas a las fluctuaciones de la Laguna de Gallocanta. *Revista de la Asociación Española de Teledetección* **24**: 61-65.
- GARCÍA, M.P. & PÉREZ, M.E. 1999. Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). In: CASTAÑO, S. & QUINTANILLA, A. (Eds.). *Teledetección Avances y Aplicaciones. Asociación Española de Teledetección. VIII Congreso Nacional de Teledetección.* Albacete, 22-24 de septiembre Papeles de la Diputación de Albacete.
- GRACIA, F.J. 1995. Shoreline forms and deposits in Gallocanta Lake (NE Spain). *Geomorphology* **11**: 323-335.
- HOLBEN, B.N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* **7**: 1417-1434.
- KAUTH, R.J. & THOMAS, G.S. 1976. *The Tasseled cap - a graphic description of the*

- spectral -temporal development of agricultural crops as seen by Landsat*. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, W. Lafayette, IN.
- PÉREZ, A. & ROC, A.C. 1999. *Los sedimentos de la Laguna de Gallocanta y su comparación con las calizas de La Muela de Zaragoza*. Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón, Zaragoza, 114 pp.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M. E., SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA, A., GARCÍA RODRÍGUEZ, M. P. & SANZ DONAIRE, J. J., 2000. Análisis mediante imágenes de satélite de la salinización en la laguna Larga de Villacañas (Toledo). En: *Lecturas Geográficas, Homenaje a José Estébanez Alvarez*, Ed. Complutense, vol. 2: 1655-1665.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. & GARCÍA RODRÍGUEZ, 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). In: ROSELL URRUTIA, J.I. & MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A. *Teledetección: Medio Ambiente y Cambio Global*. Asociación Española de Teledetección. IX Congreso Nacional de Teledetección. Lérida 19-21 de septiembre. Universidad de Lérida. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias el Suelo.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. & SANZ DONAIRE, J.J. 2001. Variación estacional de los niveles de agua en la Laguna de Gallocanta (Zaragoza-Teruel). ROSELL URRUTIA, J.I., & MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A. *Teledetección: Medio Ambiente y Cambio Global*. Asociación Española de Teledetección. IX Congreso Nacional de Teledetección. Lérida 19-21 de septiembre. Universidad de Lérida. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias el Suelo.
- PUIG, C., MARTÍNEZ-BENJAMÍN, J.J., LANTADA, N., & GILI, J.A. 2001. Aplicación de imágenes Radarsat a la zona de la marisma de Doñana. ROSELL URRUTIA, J.I., y MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A. *Teledetección: Medio Ambiente y Cambio Global*. Asociación Española de Teledetección. IX Congreso Nacional de Teledetección. Lérida 19-21 de septiembre. Universidad de Lérida. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias el Suelo.
- RODÓ, X., BAERT, E. & COMIN, F.A. 1997. Variations of seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the el Niño-Southern oscillation. *Climatic Dynamics* **13**: 275-284.
- SÁNCHEZ, A., GARCÍA, M.P. & PÉREZ, M.E. 1999. Cambios paisajísticos en la llanura de inundación del río Cigüela. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, 22-24 de septiembre. In: CASTAÑO, S. & QUINTANILLA, A. (Eds.) *Teledetección, Avances y Aplicaciones*. Asociación Española de Teledetección. Papeles de la Diputación de Albacete.
- 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. En: CASTAÑO, S. & QUINTANILLA, A. (Eds.) *Teledetección, Avances y Aplicaciones*. Asociación Española de Teledetección. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, 22-24 de septiembre. Papeles de la Diputación de Albacete.

# Características hídricas y microclimáticas de la Laguna de Gallocanta

## Microclimatic and hydrologic characteristics of Gallocanta Lake

**M<sup>a</sup> Eugenia Pérez González, M<sup>a</sup> Pilar García Rodríguez y  
Juan José Sanz Donaire**

*Depto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.*

*Facultad de Geografía e Historia.*

*Universidad Complutense de Madrid.*

*28040 Madrid.*

*meperez@ghis.ucm.es; mpgarcia@ghis.ucm.es; jjsanzdo@ghis.ucm.es*

**PALABRAS CLAVE: Landsat TM, NOAA-AVHRR, medio ambiente abiótico, microclima, humedal.**

**KEY WORDS: Landsat TM, NOAA-AVHRR, abiotic environment, microclimate, wetlands.**

### RESUMEN

La interpretación visual y el tratamiento digital de imágenes Landsat y NOAA de la Laguna de Gallocanta y otros humedales menores próximos, permite conocer su evolución hídrica y microclimática durante las últimas tres décadas. El análisis multitemporal de dichas imágenes permite definir distintas fases de inundación y desecación de estos humedales. Además, se investiga la relación entre la variación térmica y otros factores como topografía, humedad, litología, vegetación, y ocupación del suelo. Con ello se conocerán las diferencias entre la variación térmica de la laguna y la del área circundante y, si este humedal amortigua los extremos de temperatura.

### ABSTRACT

A visual and digital analysis of Landsat and NOAA images of Gallocanta Lake and small associated wetlands revealed their water and microclimatic variations over the three last decades. Multitemporal analysis highlights the different phases of flooding and drying of these wetlands. Also being studied is the relationship between temperature variation and factors such as topography, wetness, lithology, vegetation, and land use, which should reveal the differences in temperature variability between the lake water body and the surrounding area, and also whether this wetland can buffer the temperature extremes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales, por ser espacios acuáticos con poca profundidad, son idóneos para el estudio y seguimiento con imágenes de satélite. Habitualmente destacan por su riqueza faunística y vegetal, pero esta visión sería muy incompleta si no se comprenden las características del medio abiótico que posibilita la existencia de las aguas permanentes o semipermanentes, dulces o salobres, someras o más profundas. Aquí se analizarán las lagunas de la depresión intraibérica aragonesa: Gallocanta, La Zaida y Guialguerrero, destacando las características hídricas y microclimáticas más relevantes de cada una de ellas.

Para ello se han escogido diferentes imágenes de los satélites Landsat (sensores TM y ETM) y NOAA (sensor AVHRR). Asimismo se han seleccionado imágenes de fechas muy contrastadas entre 1987 y 2003 para tratar de recoger la mayor variabilidad temporal, haciendo hincapié en las imágenes más recientes que reflejan la situación actual de las lagunas.

El microclima se ha analizado a partir de tres imágenes TM correspondientes a un año pluviométricamente normal, 1999, y en distintas fechas del año (30 de marzo, 4 de julio y 9 de noviembre). Las imágenes han sido georreferidas a coordenadas UTM mediante numerosos puntos de control y tratadas mediante el programa ERDAS Imagine 8.3.1. Con él se ha hecho un estudio visual y digital de las distintas bandas y se han seleccionando algunos perfiles correspondientes a la banda térmica del TM (6). Los valores de temperatura superficial se transforman a grados centígrados mediante la ecuación de WUKELIC *et al* (1989).

Las temperaturas obtenidas con el sensor TM se han comparado con datos de campo, coincidiendo una de las fechas (9 de noviembre) con el paso del satélite. Para la toma de temperaturas del suelo se han utilizado los siguientes termómetros: registrador portátil de temperatura y humedad HI-91610 con registros horarios, termómetro digital de 120 mm con pantalla LCD y termohigrómetro digital HI-93640 con registro de máxima y mínima. Los datos resultantes se han tratado con el programa Microsoft Excel.

Por último, las temperaturas se comparan con los datos obtenidos por los canales térmicos (4 y 5) del sensor AVHRR del satélite NOAA 14 en las mismas fechas, entorno a las 15 horas (TMG). Los números digitales obtenidos con este sensor se transforman en grados centígrados mediante la ecuación de Caselles *et al.* (1997).

Las imágenes utilizadas para el estudio de las lagunas de Gallocanta, La Zaida y Guialguerrero están recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Imágenes de satélite y sensores utilizados.  
Satellite images and sensors used.

Satélite y sensor	Escena	Fecha
Landsat 5- TM	200-32	14-04-1987
Landsat 5- TM	200- 31/32 (flotante)	30-03-1999
Landsat 5- TM	200- 31/32 (flotante)	04-07-1999
Landsat 5- TM	200- 31/32 (flotante)	09-11-1999
Landat 7-ETM+	200-31	30-07-2000
Landat 7-ETM+	200-32	30-05-2001
NOAA 14-AVHRR	Miniescena	30-03-1999
NOAA 14-AVHRR	Miniescena	03-07-1999
NOAA 14-AVHRR	Miniescena	09-11-1999

## 2. VARIABILIDAD HÍDRICA DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT

La Laguna de Gallocanta debe su origen al emplazamiento en una semi-fosa tectónica y a la suma de aportes hídricos, pluviales y kársticos. Así, uno de los puntos más representativos de la laguna lo constituyen los denominados “Ojos”, surgencias de aguas subterráneas. Esta expresión “ojos” se emplea en otras muchas lenguas del área mediterránea, como en el lenguaje bereber de Marruecos, en los que se los llama “titauen” de donde proviene *Tetuán*, o en Arabia donde se emplea el término “ain”, cuyo plural es “aiun” de donde deriva *Aaiún*, ciudad del Sahara (GARCÍA *et al.*, 2006).

El carácter salino de las aguas viene determinado por los sedimentos sobre los que se asienta la laguna, que corresponden a materiales triásicos y cuaternarios, de tamaño fino, mezclados con cantidades significativas de materia orgánica producida por las algas. Los materiales mesozoicos aportan las sales que, al secarse la lámina de agua, forman eflorescencias de espesor milimétrico. El área salina, en las épocas estivales suele alcanzar una extensión aproximada de 850 ha.

En las últimas décadas la Laguna de Gallocanta ha experimentado un notable descenso de vol y pérdida de calidad de sus aguas. Este ciclo seco se ha interrumpido desde la primavera de 2008. En las últimas décadas GRACIA PRIETO (1993) atribuía a la laguna un calado de hasta de 2 m. Durante la década de los noventa y hasta el invierno de 2008 los humedales de la depresión ibérica no alcanzaron más que una somera lámina de agua, con alta estacionalidad (PÉREZ *et al.*, 2001, 2006). Al menos en el período reciente (1999-2007) la Laguna de Gallocanta no ha sobrepasado los 20 cm de calado y, la mayor parte del año, apenas estaba cubierta por unos milímetros de agua o solamente albergó un suelo saturado. Las surgencias de estas

aguas a la Laguna de Gallocanta, bien recogidas en la toponimia con el nombre de “Los Ojos”, fueron cada vez menores durante ese período. Ello hacía pensar que las lagunas se estaban desecando. Sin embargo, las elevadas precipitaciones de los años 2008 y 2009 han favorecido la recuperación de todas las lagunas y con ello, el notable incremento en las poblaciones de aves. En la primavera de 2009 la laguna ha alcanzado 85 cm de calado, valor que no se conocía desde hace treinta años.

El seguimiento de la laguna a través de imágenes Landsat durante las últimas décadas permite observar los cambios en la cantidad y calidad del agua de estos humedales. Frente a las fotografías aéreas convencionales, con información sólo del espectro visible, que únicamente permiten diferenciar lagunas con o sin agua y con o sin depósitos salinos en superficie, la teledetección posibilita diferenciar las que tienen aportes de aguas subterráneas o subsuperficiales y cómo influyen éstas en el desarrollo de los depósitos salinos.

En las Figuras 1 a 4 se destacan los resultados más visibles en cuanto a cantidad de agua en la Laguna de Gallocanta y en otra muy próxima a ella -La Zaida-, entre 1987 y 2001. En la imagen de abril de 1987 los vasos lagunares de ambos humedales tenían un importante volumen de agua, por lo que ofrecen colores azulados que permiten delimitar con mucha precisión el área inundada. Además, los perfiles espectrales son característicos de aguas con cierta profundidad, especialmente en la Laguna de Gallocanta. Este volumen de agua no se repite en las imágenes de las décadas posteriores. Además, en la imagen de 1987 se aprecian con nitidez las surgencias de agua subterráneas en los denominados “Ojos” de la Laguna Gallocanta, mediante dos círculos negros pequeños en el norte y noroeste de la laguna (Figura 1). En 1999 se ha comprobado, con datos de campo, que la Laguna de Gallocanta apenas tenía agua y que la laguna de La Zaida ya había sido transformada para su uso agrícola (PÉREZ *et al.*, 2000, 2001).

Durante el largo período seco reciente, al observar la Laguna de Gallocanta *in situ*, era muy frecuente que desde cierta distancia pareciera que tenía agua, cuando en realidad no albergaba más que unos milímetros o simplemente humedad edáfica. Sin embargo, la posición topográfica deprimida de la laguna y su gran extensión ofrecía al visitante, en ocasiones, una visión falsa de la realidad, a modo de espejismo.

En las Figuras 2 y 3 también puede identificarse la pequeña laguna kárstica de Guialguerrero, situada al norte de La Zaida y Gallocanta. Pese a sus reducidas dimensiones este humedal tiene una mayor profundidad, por lo que muestra tonos muy oscuros, que contrastan con los tonos claros de la Laguna de Gallocanta. Así, la imagen de verano del año 2000 (Figura 3) muestra el centro de la Laguna de Gallocanta con colores azules, que indican una pequeña lámina de agua. Esto contrasta con la imagen de primavera de 2001 (Figura 4) en la que la lagunas sólo refleja un suelo saturado y gran parte del vaso está ocupado por sales. Llama la atención que la laguna de La Zaida en la imagen de 2001 continúa transformada en campos de cultivo, desdibujándose ya el contorno de su mitad oriental.



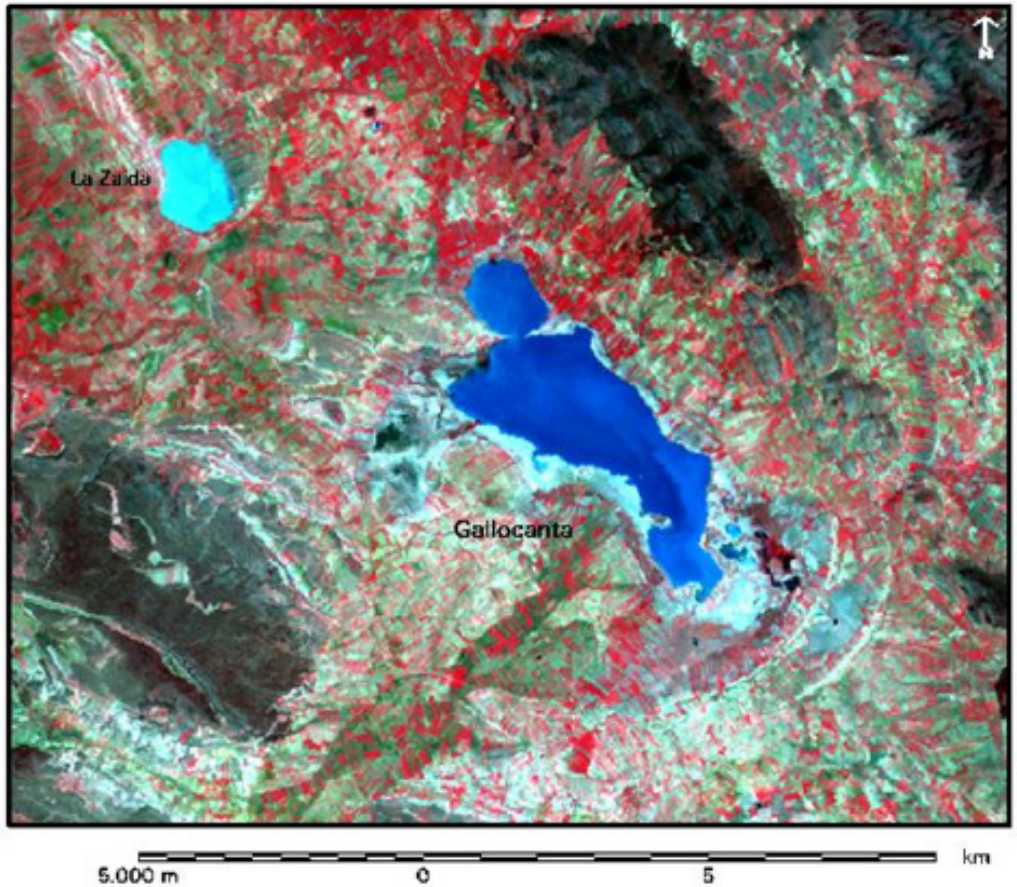


Figura 1. Imagen Landsat TM de 14-04-1987, RGB 432, mostrando las lagunas de Gallocanta y La Zaida con agua. La superficie inundada, 21 km de perímetro y 994 ha para Gallocanta, y 5 km y 161 ha, para La Zaida, no se ha vuelto a alcanzar hasta 2009. Los diferentes azules indican distinta profundidad, siendo La Zaida más somera. Dentro de la Laguna de Gallocanta se diferencian áreas más someras en los bordes y más profundas en el centro. La vegetación aparece en rojo y el suelo desnudo en tonos claros. Los colores más oscuros corresponden a materiales paleozoicos y mesozoicos cubiertos en parte con vegetación natural.

- Landsat TM image from 04-14-1987, RGB 432, showing Gallocanta Lake and La Zaida with water. The extent of flooding, 21 km perimeter and 994 ha for Gallocanta, and 5 km perimeter and 161 ha for La Zaida, was not repeated until 2009. Different shades of blue indicate different water depths, especially shallow in La Zaida. Within the Gallocanta Lake the borders present shallow waters increasing in depth towards the centre. Vegetation is red and bare soil has light colours. Darker colours correspond to Palaeozoic and Mesozoic rocks covered by natural vegetation.

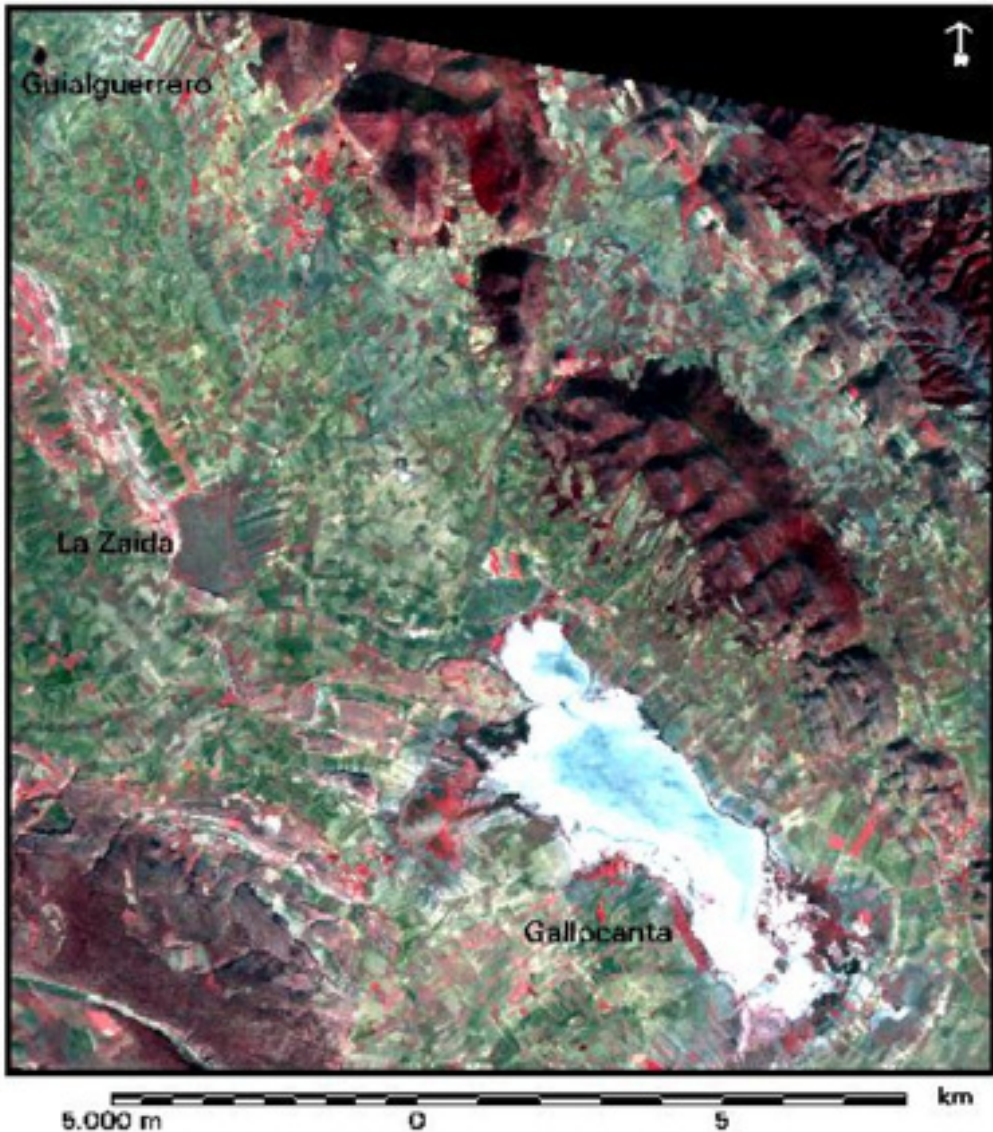


Figura 2. Imagen Landsat TM del 9-11-1999, RGB 432, correspondiente a la estación seca. En blanco destaca la amplia superficie cubierta de sales, y en azul claro el suelo saturado sin lámina de agua. La Zaida está cultivada y en su mitad oriental se distinguen marcas del laboreo. La vegetación natural en las sierras, en granate, tiene elevada actividad clorofílica; mientras el cereal, en verde, aún no se ha desarrollado.

- Landsat TM image from 09-11-1999, RGB 432, corresponding to the dry season. The large area covered with salt is white; saturated soils without water appear in light blue. La Zaida is cultivated along its eastern half where tillage tracks can be seen. The natural vegetation, in maroon, still shows a high chlorophyll activity. In contrast, cereals in the Central Iberian Depression have not yet developed, in green.

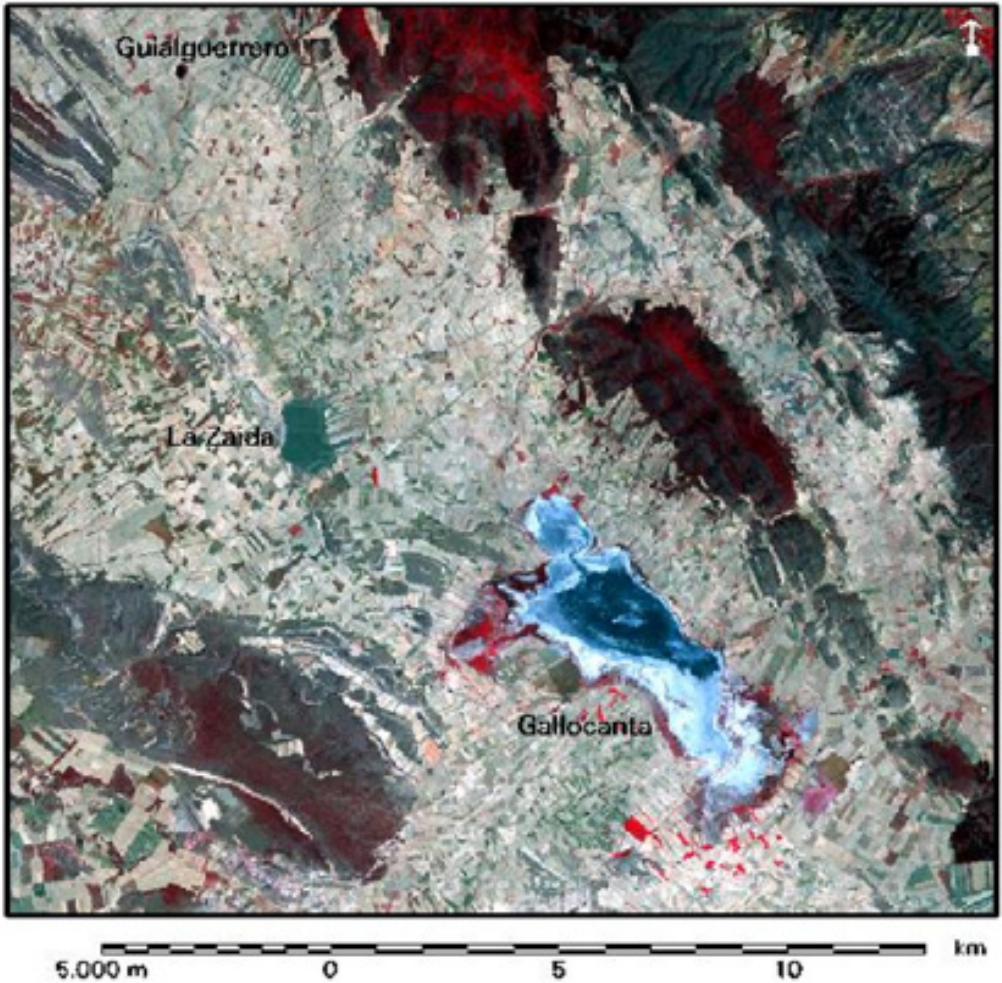


Figura 3. Imagen Landsat ETM de 30-07-2000, RGB 432. La laguna tiene colores azules más oscuros hacia el centro, indicando una pequeña lámina de agua procedente de aportes subterráneos y de tormentas estivales. En su borde, los tonos claros son de eflorescencia y suelos muy secos. La Zaida está, en parte, ocupada por cultivos. Los cultivos recolectados dan tonos claros debido al suelo desnudo. Los colores rojizos reflejan la actividad clorofílica de la vegetación natural y de algunas parcelas de regadío.

- Landsat ETM image from 07-30-2000, RGB 432 Gallocanta Lake shows blue colours, darker in the centre, indicating a small sheet of water from groundwater and summer storms. At the edge, light tones correspond to efflorescence and very dry soils. La Zaida appears partly occupied by crops. Most crops have been harvested, so most of them have light colours due to bare soil. Reddish colour indicates chlorophyll activity of natural vegetation and irrigated plots.

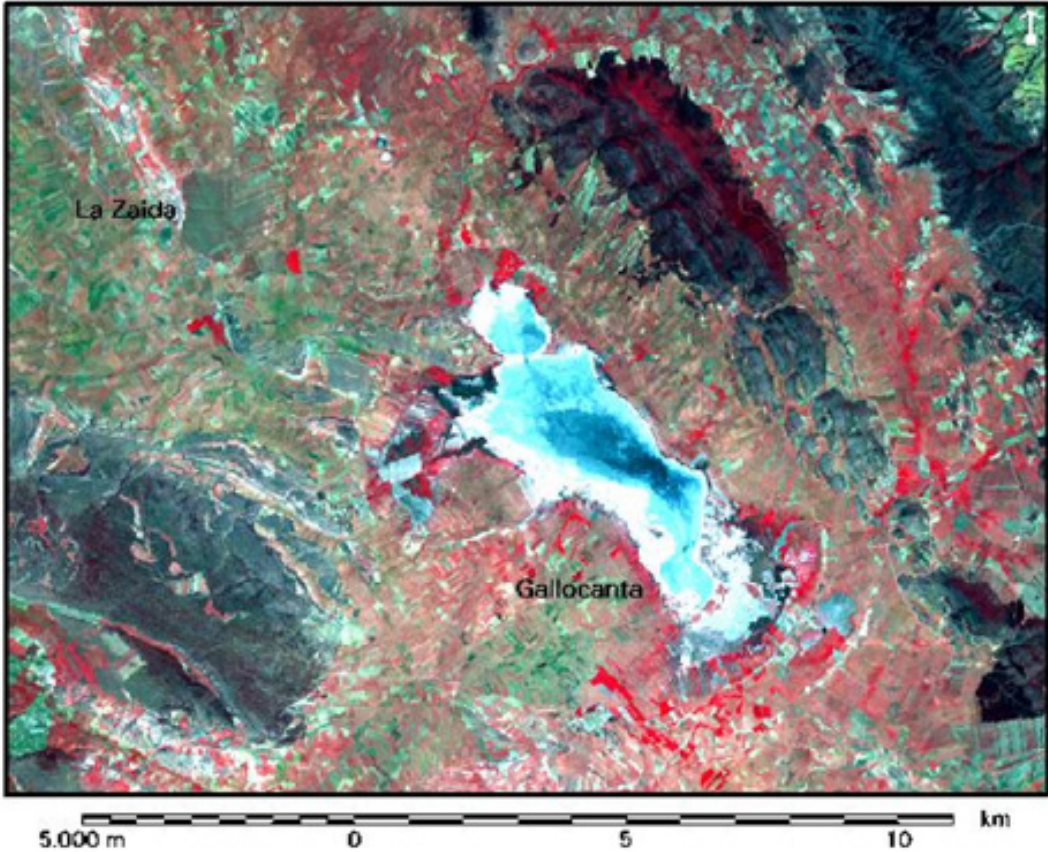


Figura 4. Imagen Landsat ETM del 30-05-2001, RGB 432. La Laguna de Gallocanta tiene efflorescencias (color blanco) en gran parte de su borde. Sólo el centro refleja colores azulados, característicos de un suelo saturado con apenas agua superficial. La Zaida está completamente cultivada y apenas se diferencia en su mitad oriental de los cultivos adyacentes. En la depresión intraibérica se discriminan bien, en diferentes tonos rojizos, el regadío y el secano.

- Landsat ETM image from 05-30-2001, RGB 432. There is efflorescence (white) along most of the Gallocanta Lake edge. Only the centre is blue, characteristic of a saturated soil, with shallow surface water. La Zaida is completely cultivated and it is hard to distinguish its eastern half from nearby crops. In the Central Iberian Depression, the irrigated land and the rain-fed areas are clearly visible (red colours).

En las últimas décadas los tres humedales han experimentado una evolución muy dispar. Las dos lagunas más contrapuestas son Guialguerrero y La Zaida; mientras que la primera, por su mayor profundidad y borde rocoso, apenas ha cambiado desde 1987, La Zaida ha sido transformada para su uso agrícola, con canalizaciones que permiten la evacuación del agua de la laguna y sólo ocasionalmente mantiene una somera lámina de agua, aunque también en la primavera de 2009 la laguna ha recuperado un gran volumen de agua.

Frente a estas lagunas, la Laguna de Gallocanta ha mantenido hasta 2009 características de laguna salobre estacional, que se secaba durante el verano y parte del otoño. En las imágenes del satélite Landsat esta laguna se define perfectamente por su gran tamaño y bordes bastante nítidos que muestra una gran variabilidad en el contenido en sales y cantidad de agua. Por tanto, para conocer la dinámica superficial de las lagunas debe tenerse en cuenta los distintos aportes hídricos, la meteorología local y las transformaciones antrópicas en los mismos vasos lagunares y en la cuenca de avenamiento que los alimenta.

### 3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y MICROCLIMÁTICAS LA LAGUNA DE GALLOCANTA A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT Y NOAA

Las características climáticas generales de esta depresión intraibérica se han analizado a partir de los datos de la estación meteorológica de Daroca, situada a unos 16 km al norte de la laguna y fuera de su cuenca de avenamiento, pero que dispone de 30 años de registros continuos termopluviométricos (1961-1990). Por el contrario, las estaciones meteorológicas incluidas dentro de la cuenca de avenamiento de la laguna tienen series de datos incompletas y de pocos años.

Las precipitaciones anuales medias son de 432,2 mm con un rango de 433,6 entre el año más húmedo, 1979 (659,1 mm) y el año más seco, 1988 (225,5 mm). Sin embargo, aunque los valores anuales son los habituales para buena parte de la España semiárida, difiere su régimen pluviométrico estacional. Destaca el invierno por registrar los mínimos anuales de precipitación (18,4%) debido a la lejanía o debilitamiento de las borrascas más frecuentes en el resto de la Península (de procedencia atlántica, mediterránea, septentrional o meridional), mientras que en verano se recoge de media el 24,1% de la precipitación anual. Estas lluvias estivales son generalmente de tipo tormentoso a consecuencia de las grandes nubes de desarrollo vertical formadas en los calurosos días del verano. Por el contrario, las precipitaciones máximas anuales son habitualmente equinociales, siendo la primavera la estación más lluviosa del año, aunque apenas superen los 50 mm/mes (Figura 5). Del cálculo de los regímenes pluviométricos estacionales durante el período 1961-1990 resulta que sólo el 5,3% de los años han registrado máximos pluviométricos en invierno frente al casi 40% en primavera.

La temperatura del aire del período 1961-1990 refleja una notable oscilación térmica mensual y anual, con máximas estivales que rozan los 40 °C y mínimas absolutas que aún rebajan los -22 °C (Tabla 2). Las medias mínimas denotan un invierno temprano y frío propio de un área continental, con temperaturas negativas

casi diarias en enero y mínimas mensuales por debajo de cero de noviembre a abril. Con ello el periodo de heladas es considerable y el riesgo permanece casi todo el año, excepto el período estival. Bajo estas condiciones medias es importante detallar los comportamientos térmicos locales, que puedan favorecer o amortiguar las temperaturas extremas y, con ellas los fenómenos meteorológicos asociados (heladas, nieblas, tormentas, granizo, escarcha, olas de frío o de calor, etc.).

El diagrama de Gaussen (Figura 5) refleja un período seco limitado a los dos meses centrales del verano, precipitaciones escasas y claramente equinocciales y temperaturas medias anuales bastante contrastadas, con dos meses por debajo de 5 °C y julio con 22 °C, propias de las regiones del interior peninsular.

Atendiendo a los valores termoplumiométricos del periodo 1961-1990 este sector aragonés se define por un clima Cfa<sub>3</sub> (KÖPPEN, 1958; LÓPEZ GÓMEZ & LÓPEZ GÓMEZ, 1959), siendo una de las regiones españolas de continentalidad más acusada, que se caracteriza por su carácter templado, pero con inviernos secos y fríos, y veranos cálidos. No obstante, pese a las escasas precipitaciones invernales, conforme a la clasificación fitoclimática de Köppen el semestre más frío, octubre-marzo, recoge el 44% de la precipitación anual y, por tanto, se clasifica como “f”, con precipitaciones regulares a lo largo del año.

Tabla 2. Temperaturas del observatorio meteorológico de Daroca (Zaragoza), 1961-1990.

T1= temperatura máxima; T2= t. máxima media; T3= t. media máximas; T4= t. media; T=t. media mínima; T6= t. mínima media y T7= t. mínima.

- Temperature of Daroca Observatory (Zaragoza), 1961-1990. T1= absolute maximum temperature; T2= maximum average temperature; T3= maximum mean temperature; T4= mean temperature; T5= minimum mean temperature; T6= average minimum temperature; and T7= absolute minimum temperature.

	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>My</i>	<i>J</i>	<i>Jl</i>	<i>Ag</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Año</i>
T1	19,8	23,2	27,0	29,9	33,5	39,0	39,7	39,0	37,0	30,6	25,0	20,0	39,7
T2	15,4	18,0	21,9	24,2	28,5	32,9	36,6	35,7	31,8	26,2	20,0	15,2	25,5
T3	9,2	11,0	13,9	16,0	20,1	25,2	29,7	29,3	25,1	19,1	12,9	9,3	17,0
T4	4,3	5,7	7,6	10	13,9	18,2	22	21,6	18,4	13,2	7,6	4,7	12,3
T5	-5,4	2,9	1,7	4,1	7,7	11,5	12,7	14,6	11,2	6,9	2,6	3,4	6,2
T6	-7,3	-6,3	-4,4	-2,0	1,3	5,4	7,6	8,2	4,8	4,8	-4,1	-6,9	3,0
T7	-20,4	-13,0	-10,2	-5,0	-2,0	2,0	5,2	1,0	0,0	-3,2	-10,4	-22,4	-22,4

Para el análisis microclimático se ha seleccionado un año pluviométricamente normal, del que se disponen además datos de campo (GARCÍA & PÉREZ, 2001). En él se analizan diferencias estacionales en la cantidad y calidad del agua y su influencia en el microclima de la Laguna de Gallocanta.

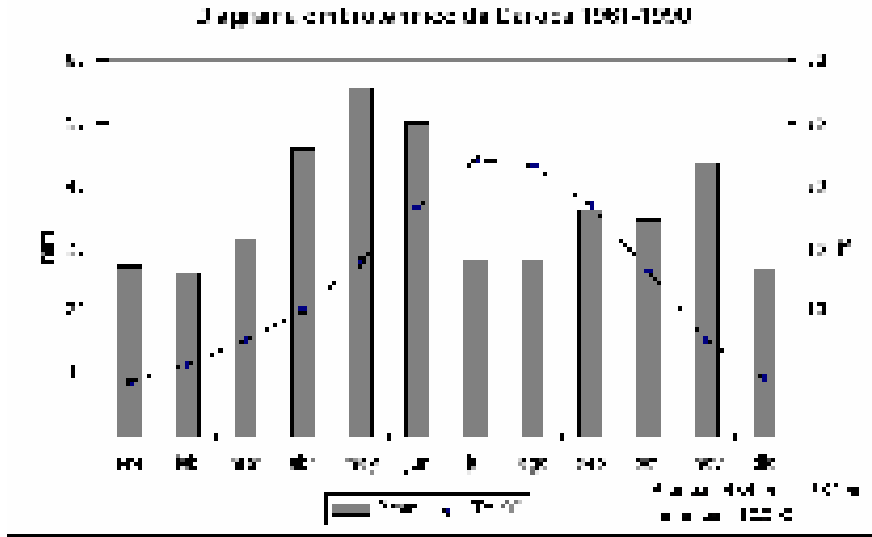


Figura 5. Diagrama de Gausson de Daroca (1961-1990).  
 - Gausson diagram of Daroca (1961-1990).

Con el fin de conocer la fiabilidad en los datos microclimáticos obtenidos mediante el canal térmico (banda 6) del sensor Thematic Mapper, se han comparado los resultados obtenidos con datos medidos en el campo en una de las fechas de las imágenes (9 de noviembre) a la misma hora de paso del satélite. Estos resultados se recogen en la Tabla 3. En ella se puede comprobar que la diferencia entre ambos métodos es casi siempre inferior a 2 °C, obteniendo valores ligeramente más elevados con el sensor TM. Como este sensor tiene una resolución espacial de 120 m en esta banda, se obtiene una media en la que se incluyen pequeñas variaciones topográficas, sectores situados en solana, variabilidad en la vegetación, composición y color de los materiales, etc. Solamente al comparar los valores del área encharcada de la laguna se obtienen diferencias superiores a 4 °C, debido a las variaciones en la humedad del suelo, a las eflorescencias salinas y a la diversidad que esta salinidad introduce en el recubrimiento vegetal (algas, halófitos, tapetes algales, suelo desnudo, etc.); también hay cambios en el microrrelieve del área inundable debido a la acción del viento que forma pequeños ripples, con áreas contrastadas de insolación.

Tabla 3. Temperaturas superficiales medidas *in situ* y con el sensor TM (banda 6) el 9-11-1999.

- Surface temperature obtained from field data and from the TM sensor (band 6) on 11-9-1999.

Puntos de muestreo	T °C en campo	T °C TM B6	Diferencia T campo y T sensor TM
Laguna: área encharcada, (995 m)	5,0-7,1	6,5-8,0	0,9 a 1,5
Laguna: área no encharcada	5,8-6,3	6,5-10,5	0,7 a 4,2
Erial (1100 m)	8,5-12,5	9,0-12,0	0,5
Barbecho (1100 m)	9,1-10,1	9,5-12,0	0,4 a 1,9
Cerro Mediano (1206 m)	3,3-5,8	4,9-6,5	1,6 a 0,7

Tras comprobar la fiabilidad de las temperaturas obtenidas a partir del TM se han trazado varios cortes espaciales que recogen la variación de la temperatura a lo largo de la laguna y sus áreas circundantes en tres fechas diferenciadas del año (Figuras 6, 7 y 8).

En el perfil espacial NW-SE efectuado en la imagen del 30 de marzo de 1999 (Figura 6) destaca claramente el área inundada, debido al importante descenso térmico que se produce en ella, registrándose la temperatura más baja, 12,0 °C, frente a una media de 19,5 °C en el resto del vaso lagunar y 26,0 °C en los suelos secos del sur de la laguna; la amortiguación térmica del agua es, por tanto, de unos 7,5 °C en la laguna y de 13,6 °C respecto al área circundante seca dedicada a cereal, que en esta época aún no ha crecido. Así el contorno de la laguna se delimita visual y térmicamente con toda nitidez.

Al analizar la imagen del 4 de julio de 1999 (Figura 7), momento en que Gallocanta presenta mayor volumen de agua, se comprueba un comportamiento térmico totalmente diferente: en el vaso lagunar las temperaturas insuperan a las del entorno, al menos durante las primeras horas de la mañana; esto se debe al rápido e intenso caldeoamiento diurno de los fondos de valle durante el verano, apenas amortiguado por el suelo saturado del fondo lagunar o la milimétrica lámina de agua. Esto queda reflejado en el perfil espacial de la Figura 7, donde no es posible discriminar la laguna en el canal térmico que, además, presenta numerosas oscilaciones en todo el área analizada.

La figura correspondiente al 9 de noviembre de 1999 (Figura 8) discrimina perfectamente el vaso lagunar, respecto al entorno cultivado, con una diferencia media de 9 °C, más frío el interior de la laguna. En esta fecha no hay agua superficial, pero el suelo está muy húmedo por lo que la laguna es, en conjunto, bastante homogénea, con pequeñas oscilaciones térmicas debidas a cambios de humedad y composición



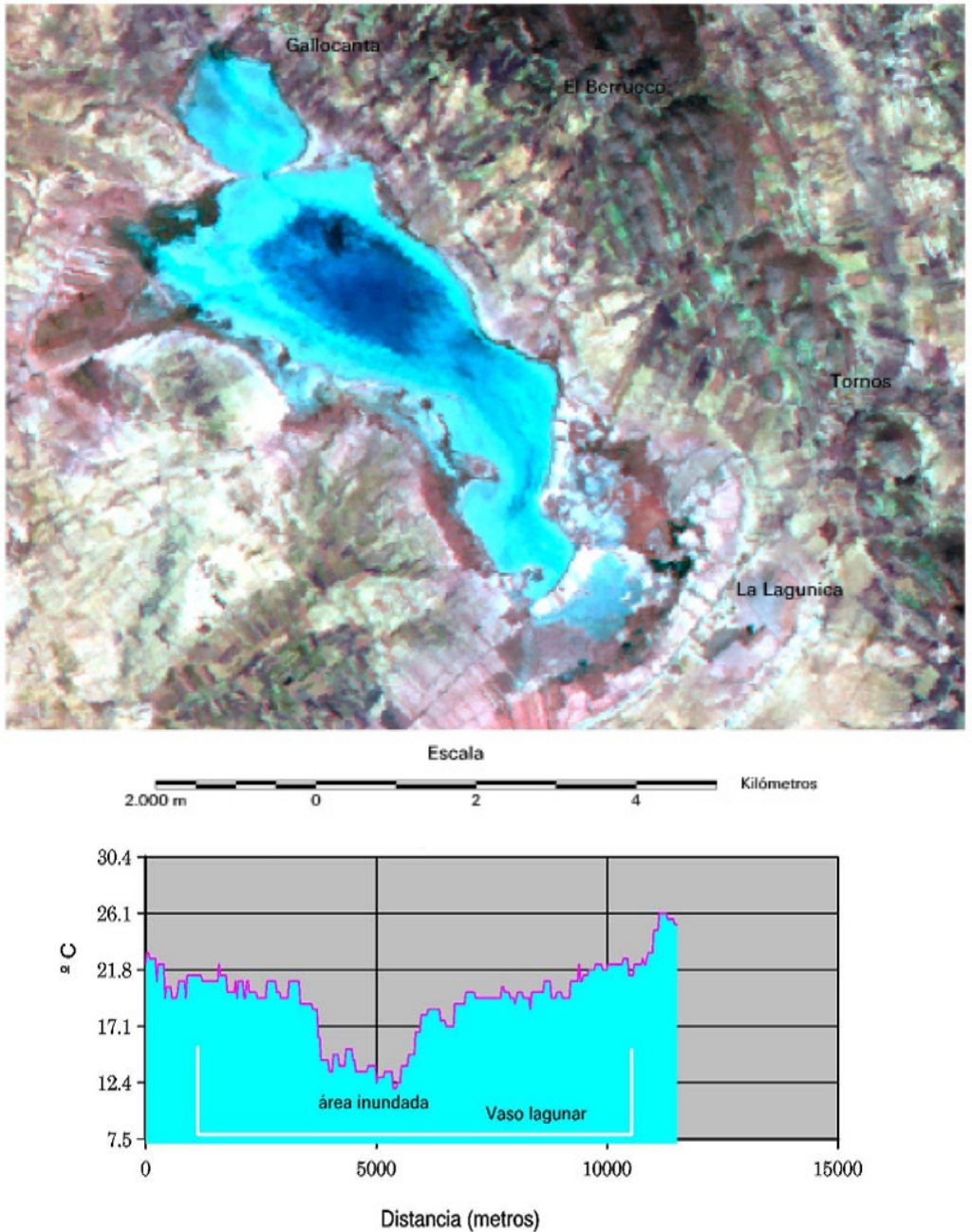


Figura 6. Imagen Landsat TM de 30-03-1999, RGB 532 y perfil térmico (banda 6) de un transecto de la laguna de dirección NW - SE. La laguna, con escasa agua, muestra un descenso térmico de 5 a 8 °C respecto al entorno no montañoso.

- Landsat TM image from 03-30-1999, RGB 432 and thermal profile (band 6) along a NW - SE transect. The lake, with little water, shows a temperature drop of between 5 and 8 °C compared to the flat surroundings.

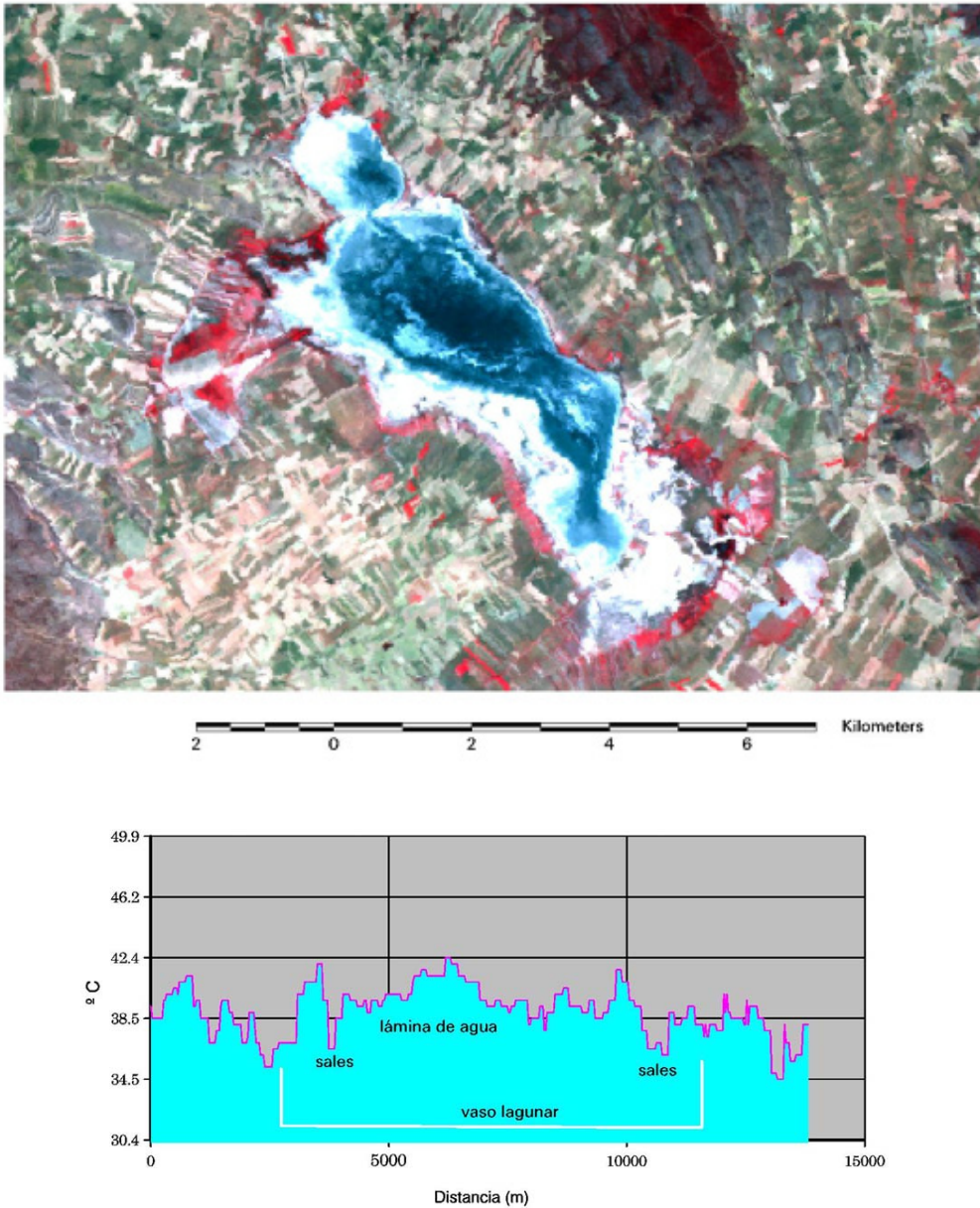


Figura 7. Imagen Landsat TM de 04-07-1999, RGB 432 y perfil térmico (banda 6) del transecto de la laguna de dirección NW - SE. En verano y con poca agua, la laguna apenas se diferencia térmicamente del entorno. La temperatura es más alta en su centro debido al rápido caldeoamiento diario.

- Landsat TM image from 07-04-1999, RGB 532 and thermal profile (band 6) along a NW - SE cross section. In summer the lake has little water and it is barely differentiated thermally from its surroundings. The temperature is highest at its centre due to rapid daytime heating.

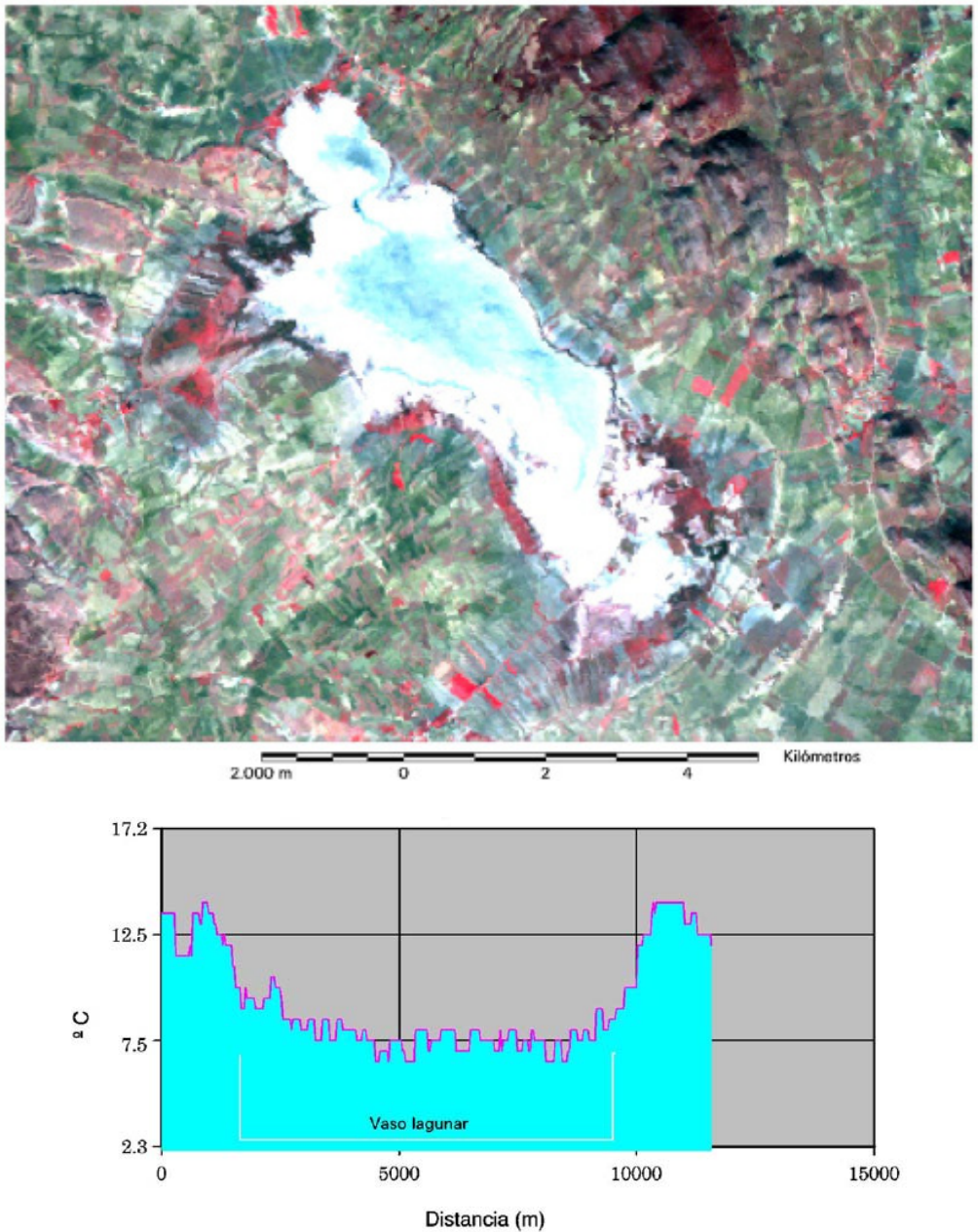


Figura 8. Imagen Landsat TM de 09-11-1999, RGB 432 y perfil térmico (banda 6) del transecto de la laguna de dirección NW - SE. Se detecta un claro descenso térmico en el interior del vaso lagunar respecto al entorno debido a la inercia térmica del suelo húmedo (aún con sales en superficie).

- Landsat TM image from 11-09-1999, RGB 432 and thermal profile (band 6) along a NW - SE transect. A clear drop in temperature is noticeable inside the lake as compared to the flat surroundings due to the thermal inertia of the humid soil (even with salts on the surface).

del suelo. Con estos resultados y el apoyo de los datos de campo (Tabla 3) se puede constatar la inversión térmica característica de un área de valle, en el cual hay un destacado enfriamiento nocturno en el área ocupada por la laguna con temperaturas inferiores al borde lagunar no montañoso y partes de la sierra. La inversión resulta máxima poco después del amanecer, siendo la diferencia térmica entre ambos puntos de 3 °C. Sólo en las horas centrales del día puede romperse esta inversión, por un mayor caldeoamiento del fondo del valle.

Teniendo en cuenta las diferencias de altitud entre la sierra y el fondo lagunar puede afirmarse que durante el otoño e invierno, la inversión térmica es casi permanente, al menos bajo condiciones de estabilidad atmosférica y ausencia o escasa lámina de agua. Cabe esperar que, en años más húmedos o si la extracción del acuífero disminuye, el mayor volumen de agua atenúe la inversión térmica.

Los resultados obtenidos con las imágenes del satélite Landsat se han comparado con los obtenidos a partir de las bandas térmicas de las imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA 14. De ellas se han recogido las temperaturas superficiales de la laguna, de suelos al sur de la misma y de la Sierra de Santa Cruz. Estos valores corresponden aproximadamente a las horas en las fechas: 30 de marzo, 3 de julio (dado que el día 4 a esta hora estaba cubierto de nubes) y el 9 de noviembre de 1999. Los resultados se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperatura superficial obtenidas por el sensor AVHRR.  
- Surface temperature from AVHRR sensor.

<b>Fechas</b>	<b>Agua</b>	<b>Suelo sur laguna</b>	<b>Sierra</b>
30-Marzo-1999	30,71°C	31,10°C	28,36°C
3-Julio-1999	37,65°C	41,77°C	34,51°C
9-Noviembre-1999	15,96°C	15,41°C	10,77°C

El paso del satélite NOAA 14 sobre la Península Ibérica a las 15 horas (TMG), permite conocer el comportamiento de las temperaturas máximas diarias o próximas a ellas. En la Tabla 4 destaca, lógicamente, la sierra con valores más bajos que el valle (laguna y suelos circundantes) en cualquier época del año. Sin embargo, las diferencias son muy pequeñas entre el área inundada y los suelos secos del entorno, sobre todo en primavera y otoño. En verano, durante las horas centrales del día el vaso lagunar registra menos temperatura que el suelo seco del borde. La contradicción respecto a los datos obtenidos mediante el sensor TM se deben tanto a la diferencia horaria entre ambos satélites como a la distinta resolución espacial que, en caso del NOAA es de 1,1 km. Por ello, un mismo valor digital (“píxel”) corresponde a superficies contrastadas, especialmente en el vaso lagunar (suelo inundado, agua, vegetación halófila y eflorescencias salinas e incluso parcelas cultivadas). Por el contrario, el

suelo más alejado de la laguna está muy seco y desprovisto de vegetación durante el verano e inicios del otoño, por lo que a las 15 horas (TMG) el caldeoamiento ha sido mayor.

#### 4. CONCLUSIONES

El seguimiento multitemporal con imágenes Landsat, desde los años ochenta hasta fechas recientes, muestra el fuerte retroceso en la cantidad de agua de la Laguna de Gallocanta hasta el año 2007 y transformaciones notables en otros humedales próximos.

La teledetección resulta muy adecuada para el estudio de humedales aunque el análisis visual de las imágenes puede inducir a falsas apreciaciones sobre la superficie real y volumen de agua, pues los suelos saturados ofrecen a veces una imagen similar a la obtenida en lagunas someras. Este error puede evitarse mediante el análisis digital y trabajo de campo.

Los canales térmicos de los sensores TM del LANDSAT 5 y AVHRR del NOAA 14 sirven de apoyo para los estudios microclimáticos. La elección de uno u otro depende, en gran medida, de la escala de trabajo, aunque es preferible la utilización de ambos, pues debido a sus diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales se complementan.

Es necesario contrastar estos resultados con los datos de campo, aunque en este estudio los errores medios entre los diferentes métodos no superaron los 2° C. Además, la variabilidad espacial de la temperatura puede dificultar la definición de los microclimas de algunas áreas, por lo que es aconsejable la integración de datos recogidos por distintas fuentes.

La Laguna de Gallocanta cuando alberga gran volumen de agua debe ejercer un destacado efecto de amortiguación térmica. Este hecho se produjo hace treinta años y se está repitiendo en la actualidad (2008-2009). Sin embargo, la fuerte reducción de su lámina de agua durante períodos secos da lugar a contrastes pequeños respecto a los suelos secos circundantes y muestra un microclima propio de fondos de valle sin apenas amortiguación por parte de la exigua lámina de agua.

Las frecuentes inversiones térmicas en áreas de valle durante el otoño e invierno quedan reflejadas en los datos de satélite y de campo. No obstante, las fluctuaciones hídricas, anuales e interanuales, características de los humedales conllevan variaciones en el comportamiento térmico.

Los humedales desecados-inundados temporalmente para fines agrícolas (La Zaida), con muy baja productividad por la abundancia de sales, contribuyen a elevar la temperatura superficial.

Los estudios microclimáticos son especialmente relevantes en áreas continentales con riesgos elevados de que se produzcan fenómenos meteorológicos adversos (heladas, nieblas, golpes de calor, etc.), propios del sector ibérico analizado.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer la información aportada por la Guardería de la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta y por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

## BIBLIOGRAFÍA

- CASELLES, V., COLL, C., RUBIO, E., SOSPEDRA, F. & VALOR, E. 1997. La medida de la temperatura y de la emisividad desde satélites: estado actual y perspectivas futuras. En: CASANOVA, J.L. & SANZ, J., (Ed.) *Teledetección: usos y aplicaciones*. Ed. Univ. Valladolid. 487-492.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. & PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. 2001. Variación estacional de los niveles de agua en la llanura de Gallocanta (Zaragoza-Teruel). En: ROSELL URRUTIA, J. & MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, Universidad de Lleida, 338-340.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P., PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. & SANZ DONAIRE, J.J. 2006. Variabilidad hídrica y edáfica de humedales interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM+). *Estudios Geográficos*, **LXVII**, 260: 57-78.
- GRACIA PRIETO, F.J. 1993. Fisiografía de la laguna de Gallocanta y su cuenca. *Xiloca*, **11**: 177-204.
- KÖPPEN, W. 1958. *Climatología. Con un estudio de los climas de la Tierra*, traducción de Hendrichs Pérez, P. R. de la 2<sup>a</sup> Ed. Alemana (1931). México, Fondo de Cultura Económica, 478 pp y 1 mapa.
- LÓPEZ GÓMEZ, J. & LÓPEZ GÓMEZ A. 1959. El clima de España según la clasificación de Köppen. *Estudios Geográficos*, **75**, 169-187.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. & GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. 2000. Estudio microclimático de la laguna de Gallocanta. In: AGUADO, I. & GÓMEZ, M. (Ed.). *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid: 102-114.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. & SANZ DONAIRE, J.J. 2001. Estudio de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta mediante el sensor TM. *Revista de Teledetección*, **15**: 27-37.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. & GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. 2006. Aplicación de la teledetección en Hidrología. *Observatorio Medioambiental*, **9**:171-186.
- WUKELIC, G.E; GIBBONS, D.E; MARTUCCI, L.M. & FOOTE, H.P. 1989. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper thermal band. *Remote Sensing Environmental*, **28**: 339-347.











Con la colaboración de:



**REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL**

Facultades de Biología y Geología.

Universidad Complutense de Madrid.

28040 Madrid

[rsehno@bio.ucm.es](mailto:rsehno@bio.ucm.es)

[www.historianatural.org](http://www.historianatural.org)

