

# Cartografía de coberturas asociadas a las fluctuaciones de la laguna de Gallocanta

N. Díaz de Arcaya<sup>1</sup>, C. Castañeda<sup>1</sup>, J. Herrero<sup>1</sup> y J.A. Losada<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Apartado 727, 50800 Zaragoza. ccastanneda@aragon.es, jhi@aragon.es, nerearcaya@yahoo.es*

<sup>2</sup> *Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo Sagasta 24-26, 50071, Zaragoza. jlosada@chebro.es*

## RESUMEN

El estudio mediante imágenes satelitales permite identificar las coberturas ligadas al funcionamiento de los humedales. El tratamiento de una serie de imágenes Landsat de la laguna de Gallocanta y su entorno, tomadas en diferentes estaciones, ha proporcionado criterios útiles para reconocer las áreas funcionales de la laguna. La información extraída de las imágenes, cotejada con registros de agua y otras observaciones de campo, ha permitido formar una cartografía temática de este humedal.

**PALABRAS CLAVE:** laguna de Gallocanta, teledetección, humedal, playa-lake, régimen hídrico.

## ABSTRACT

The study of satellite imagery allows identifying the land covers related to the wetlands dynamics. The *Gallocanta* wetland and its surroundings has been study using a Landsat imagery series belonging to different seasons. The treatment of images has provided useful criteria for the recognition of functional areas in this playa-lake. The information extracted from the images has been compared with water records and other field observations in order to create a thematic cartography for this saline wetland.

**KEY WORDS:** laguna de Gallocanta, remote sensing, wetland, playa-lake, hydrological regime.

## INTRODUCCIÓN

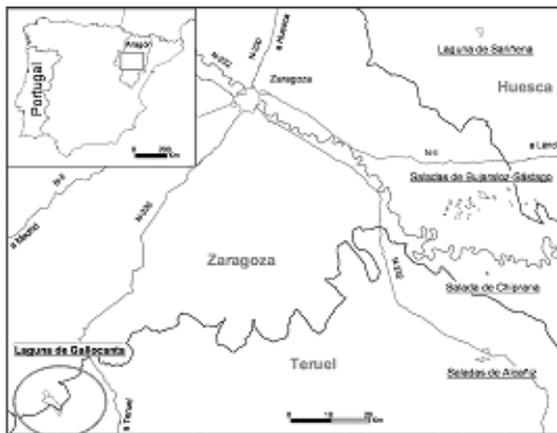
Los humedales tienen un reconocido valor porque favorecen la biodiversidad y se relacionan con otros componentes y subsistemas del territorio contribuyendo al funcionamiento del conjunto. Su dinámica está estrechamente vinculada a los acuíferos, siendo muy vulnerables ante acciones que alteren su régimen hidrológico natural, como la intensificación agraria, la extracción de aguas subterráneas, o el crecimiento urbano.

La protección de estos ecosistemas exige el conocimiento de su evolución y dinámica por las instituciones encargadas de su conservación y por el público. En este sentido, la teledetección se emplea cada vez más para caracterizar y estudiar los humedales. Así, en Aragón, el tratamiento de imágenes Landsat ha proporcionado información única para la reconstrucción del pasado hidrológico de humedales del desierto de Monegros (Castañeda, 2002; Castañeda y Herrero, 2005).

Este trabajo tiene como objetivo identificar coberturas ligadas a las fluctuaciones del agua de la laguna de Gallocanta, empleando imágenes Landsat. Ello permitirá caracterizar los estados de humedad de la laguna y estudiar la evolución del agua y de las áreas húmedas asociadas.

## LA LAGUNA DE GALLOCANTA

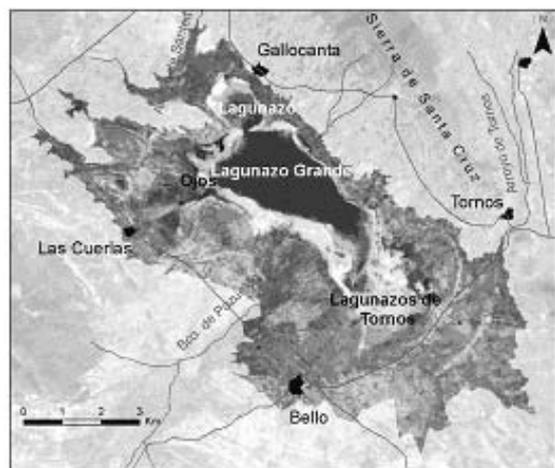
Es un humedal endorreico y salino en pleno corazón del Sistema Ibérico, entre las provincias de Zaragoza y Teruel (Figura 1). La cota de su punto más bajo es de 991.2 m (CHE, 2002a). El Ministerio de Medio Ambiente estudia este enclave debido a su valor ecológico, que ha llevado a aplicarle varias figuras de protección: Gallocanta está incluida en la lista RAMSAR junto a Chiprana; es refugio de fauna y flora silvestre junto a la Laguna de Sariñena, y Zona de Especial Protección para las Aves junto con las saladas de Bujaraloz-Sástago.



**Figura 1.** Localización de la laguna de Gallocanta y otros humedales de Aragón.

El clima es semiárido semicontinental, con precipitación media anual de 488 mm, y una considerable oscilación pluviométrica, entre 650 mm y 320 mm anuales. La temperatura media mensual máxima, 21.1°C, se registra en julio, y la mínima, 2.9°C, en enero, siendo 39°C y -21°C la máxima y la mínima absoluta, respectivamente. Los frecuentes vientos del noroeste alcanzan a menudo velocidades superiores a los 80 km/h (CHE, 2002b).

Se ha delimitado el área de estudio mediante la curva de nivel de 1010 m (Figura 2). La superficie encerrada en ella comprende la laguna, zonas húmedas adyacentes, áreas cultivadas y pequeñas franjas con vegetación natural. Están representados los ambientes sedimentarios definidos por Pérez García y Roc Gargallo (Pérez y Roc, 1998).



**Figura 2.** Recorte del área de estudio. Imagen Landsat RGB 432, de 16 de marzo de 1994.

La laguna está formada por el Lagunazo y el Lagunazo Grande, unidos por el estrecho, y por los Lagunazos de Tornos, al sur. La máxima superficie inundada registrada es de unos 15 km<sup>2</sup> (CHE, 2002a).

Se nutre de manantiales (los Ojos de la Laguna), de escorrentías superficiales de arroyos y ramblas, y de acequias. Además, tiene aportaciones subterráneas localizadas y difusas. Es hipersalina, llegando a secarse en periodos de intensa evaporación. Las fluctuaciones del agua, asociadas a factores climáticos, producen variaciones de salinidad entre 40 dS/m y 70 dS/m (García Vera, com. pers., 2005) y condicionan el desarrollo de diferentes comunidades biológicas (Comín et al., 1991).

## MATERIAL Y MÉTODO

A partir del estudio hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2002a) se seleccionaron fechas, entre 1984 y 2000, con diferentes estados de humedad de la laguna. Se han estudiado 27 imágenes Landsat TM y ETM+, escenas 31/200 y 30/200.

Se ha dispuesto de lecturas de columna de agua en la laguna tomadas en la “escala vieja”, situada en el estrecho que une el Lagunazo con el Lagunazo Grande. Allí, el fondo tiene una cota 14.5 cm por encima del punto más profundo de la de la laguna según un levantamiento batimétrico posterior (CHE, 2002a; -2002b). Para 20 de las imágenes había lecturas en la escala con menos de tres días de diferencia, 2 con menos de 15 días, y en 5 de las imágenes no había lecturas próximas.

La lluvia registrada entre la toma de la imagen y la lectura del calado se ha empleado para contrastar la presencia de agua e interpretar el estado de la superficie del suelo en cada fecha.

Se ha visitado el área de estudio en distintas estaciones y se han consultado fotos de paisaje, fotografía aérea y la ortofoto SIG oleícola.

Las imágenes se corrigieron radiométricamente (Chávez, 1998; Chuvieco, 2002). Las escenas completas se ortorrectificaron con un modelo digital de elevaciones de 25 m de malla y se utilizó la ortofoto del SIG oleícola como referencia, y en su defecto el Mapa Militar de España, serie L. Se tomaron unos 100 puntos de control por cada escena y, con un RMSE inferior a 0.5 píxeles, se remuestrearon a 25 m.

El área de estudio, delimitada por la curva 1010 m a partir del modelo digital de elevación, tiene 60.45 km<sup>2</sup>.

Se extrajo información de los datos satelitales mediante clasificación no supervisada empleando el algoritmo ISODATA (Swain, 1973). La interpretación de la clasificación se apoyó en: (i) las composiciones RGB 432 y 457; (ii) la transformación IHS; (iii) la transformación Tasseled Cap; y (iv) el NDVI. Las 20 clases espectrales iniciales se agruparon siguiendo criterios espectrales y de contexto junto a la interpretación del conjunto de los tratamientos. El conocimiento del área de estudio y la experiencia con estas técnicas en otros humedales (Castañeda et al., 2005a; -2005b) se emplearon en la fase de asignación temática.

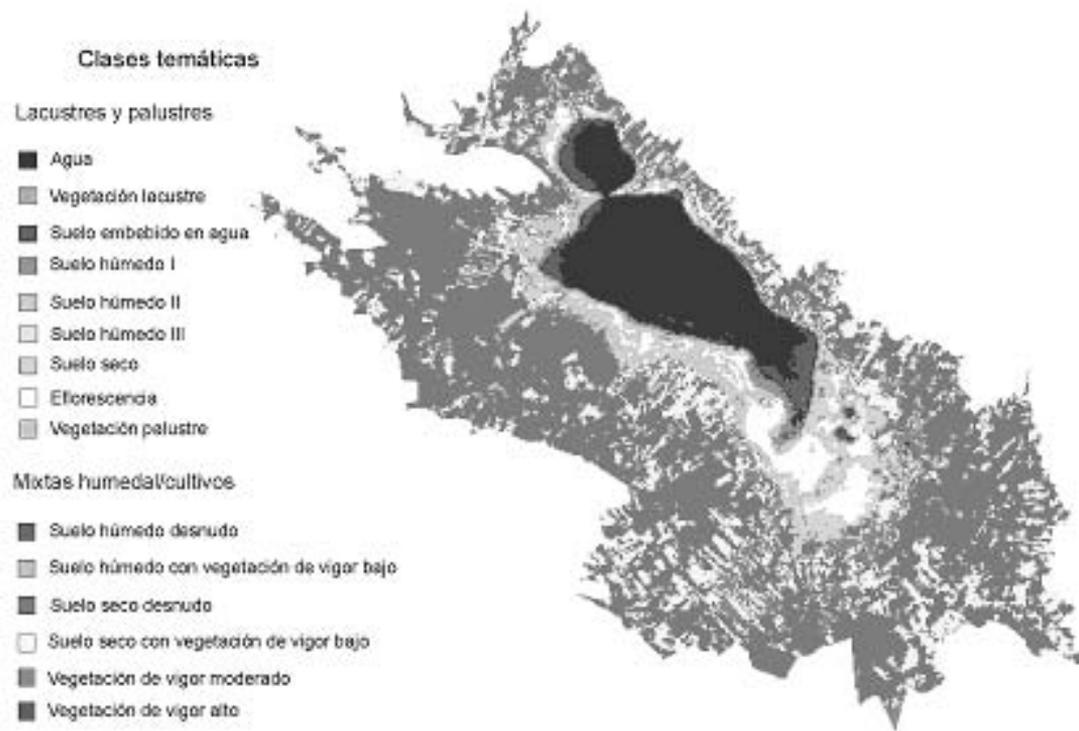
Los resultados se validaron mediante transectos espectrales y separabilidad de clases, por un lado; y por otro, mediante registros de calado, fotografías y consulta con los expertos mencionados en Agradecimientos.

Finalmente se redactó una leyenda y se formó el mapa temático para cada una de las 27 fechas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se han establecido 15 clases temáticas, siendo *agua* y *suelo embebido* (Castañeda, 2002) las dos clases computables como superficie inundada. Con las 15 clases se ha redactado una leyenda común a todas las imágenes tratadas, una de las cuales se presenta como ejemplo en la Figura 3. La leyenda organiza las clases en dos grupos, según expresen más o menos directamente aspectos de la funcionalidad lagunar con repercusiones en el estado ecológico del humedal. Dichos grupos son:

- *Clases lacustres y palustres*: corresponden a áreas temporalmente cubiertas de agua, encharcadas o húmedas, y con evidencia de relación directa con las fluctuaciones de agua de la laguna. Así mismo, corresponden a áreas con vegetación de humedal dentro del ambiente sedimentario palustre funcional definido por Pérez García y Roc Gargallo (1998) Este grupo comprende 9 clases temáticas.



\*Figura 3. Clasificación no supervisada de la Laguna de Gallocanta, 10 de julio de 1984; aparecen las clases temática de la leyenda presentes en dicha fecha.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

- *Clases mixtas humedal/cultivos*: en general son áreas más alejadas de la laguna, y puede observarse una gradación con algunas clases del grupo anterior. Así, pueden aparecer junto a clases palustres en los humedales de Las Cuerlas y Bello, dependiendo de la estación del año y de su pluviosidad. Este grupo engloba 6 clases temáticas.

Las composiciones RGB 432 y 457 han señalado de manera aproximada la extensión de la lámina de agua; con la primera se han discriminado dos coberturas dentro de la superficie inundada: agua y suelo embebido en agua; la segunda ha sido útil para resaltar el suelo húmedo dentro y fuera del área inundable.

La composición color de la transformación IHS ha diferenciado las áreas inundadas frente a las no inundadas, y ha resultado sensible a la actividad fotosintética. Con la composición color de la transformación Tasseled Cap se han localizado distintos grados de humedad del suelo, si bien dentro de la superficie inundada no se han hallado diferencias.

El índice NDVI ha diferenciado grados de desarrollo de la vegetación, y, en ausencia de ésta, grados de humedad en el suelo.

La clasificación no supervisada ha proporcionado clases espectrales netamente diferenciadas. Ello, junto a su distribución coherente y su aparición reiterada en la serie de imágenes, ha avalado su significado temático.

Los transectos espectrales, las fotografías y las observaciones de campo han sido congruentes con los resultados de la clasificación. En general, se ha observado concordancia entre calado y superficie inundada, si se contabiliza únicamente la cobertura agua. Si se suma además la superficie de suelo embebido, se encuentran discordancias sobre todo en los estados más secos de la laguna. En esos casos la parte más profunda de la laguna puede estar inundada sin que lo registre la escala.

La cartografía temática obtenida define el estado de humedad de la laguna en 27 fechas. Son de especial interés: el área más frecuentemente inundada, las orlas ligadas a las fluctuaciones de la laguna, y las zonas húmedas no inundadas aunque con conexión evidente a la dinámica del humedal.

El examen de cada uno de los 27 mapas revela matices del estado general (superficie evaporante, vegetación, presión agrícola, etc.), cuya interpretación y aplicación queda en manos de los ecólogos o de los gestores del territorio.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de una serie de 27 imágenes Landsat, desde 1984 hasta 2000, apoyado en los datos de campo disponibles, ha permitido sistematizar el estudio histórico de la presencia de agua y coberturas asociadas en la Laguna de Gallocanta.

Mediante la clasificación ISODATA y el análisis de las composiciones color y de las transformaciones IHS y TTC e índice NDVI, se han establecido unas clases temáticas básicas que conforman mapas seriales del estado de humedad de la laguna y alrededores.

Esta cartografía es coherente con las observaciones y datos de campo, y sirve de base para el seguimiento espacio-temporal de la laguna.

La cartografía temática informa del alcance de la funcionalidad lagunar y permite contrastar y completar el seguimiento de los niveles de agua y de otras variables del balance hidrológico.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo, financiado por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se inscribe en el Plan Nacional de I+D+I, proyecto REN 2003-00742.

Se agradece la información y los comentarios de F. Comín (IPE, CSIC) y de R. Sorando (Asociación de Guías de la Laguna de Gallocanta).

## BIBLIOGRAFÍA

- 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, 158 p.
- CASTAÑEDA, C. y HERRERO, J. 2005. The water regime of the Monegros playa-lakes, established from ground and satellite data. *Journal of Hydrology*. 310: 95-110.
- CASTAÑEDA, C., HERRERO, J. y CASTERAD, M.A. 2005a. Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros Desert. *Journal of Arid Environments*. 63: 497-516.
- CASTAÑEDA, C., HERRERO, J. y CASTERAD, M.A. 2005b. Facies identification within the playa-lakes of the Monegros Desert, Spain, with field and satellite data. *Catena*. 63: 39-63.
- CHAVEZ, P. S. 1988. An improved dark-object substraction technique for atmospheric scattering

- correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.
- C.H.E. 2002a. Balance en la Laguna de Gallocanta en el periodo 1970-2001. Informe inédito.
- C.H.E. 2002b. Establecimiento de las normas de explotación de la unidad hidrogeológica "Gallocanta" y la delimitación de los perímetros de explotación de la laguna. Informe inédito.
- CHUVIECO, E. 2002. *Teledetección ambiental*. Ed. Ariel, Madrid, 586 p.
- COMÍN, F., JULIÀ, R. y COMÍN, P. 1991. Fluctuations, the key aspect for the ecological interpretation of saline lake ecosystems. *Oecologia aquatica* 10: 127-135.
- PÉREZ GARCÍA, A. y ROC GARGALLO, A.C. 1998. *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, 113 p.
- SWAIN P. H. 1973. Pattern recognition: a basis for remote sensing data analysis (LARS information note 111572). West Lafayette, Indiana: The Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University.

