

## RASGOS DE PAISAJE Y SUELOS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA DE GALLOCANTA

Raquel Romeo Gamarra

Carmen Castañeda del Álamo

Melchor Maestro Martínez

María Teresa García-González

### Abstract

The social value of wetlands has evolved until its current account as irreplaceable ecosystems. The Gallocanta Lake, Aragón (NE Spain), is currently the largest and best preserved saline lake in Western Europe. The area has a high ecological value, being included in the Ramsar Convention international list and the Natura 2000 Network. Since 1971, several actions have been undertaken by Spanish Government to ensure environmental protection of this site. The current management plan (Plan de Ordenación de Recursos Naturales, PORN) limits the use and activities in the lake surroundings and promotes the implementation of protection and restoration measures for habitats conservation. However, the detailed delineation of saline wetlands in agricultural environments is hampered by the lack of soil and vegetation maps, which are crucial for wetland management, and by the difficulty of agreement with the landowners. The aim of this study is to provide a base map for the environmental studies involved in the management and protection of the Laguna de Gallocanta wetland. The geomorphological photointerpretation combined with territory data on a geographical information system, allowed to identify homogeneous landscape units related to its current use.

**Keywords:** *conservation; GIS; landscape; photointerpretation; wetland*

### Resumen

La valoración social de los humedales ha evolucionado hasta su consideración actual como ecosistemas insustituibles. En Aragón, la Laguna de Gallocanta constituye un enclave de extraordinario valor ecológico, siendo en la actualidad el mayor y mejor conservado lago salino de Europa occidental. Está incluida en la lista internacional del Convenio Ramsar y en la de la Red Natura 2000. Desde 1971 se han sucedido varias actuaciones de gestión por parte de la Administración encaminadas a su protección. El Plan de Ordenación de los Recursos Naturales limita los usos y actividades en la zona y promueve la aplicación de medidas de conservación, restauración y mejora de los hábitats. Sin embargo, la delimitación detallada de humedales salinos en entorno agrícola es conflictiva, por la falta de mapas de suelos y vegetación indispensables para la gestión, así como por la dificultad en llegar a un acuerdo con los propietarios de los terrenos afectados. El objetivo de este trabajo es aportar una base cartográfica para estudios ambientales aplicables a la gestión y protección de este humedal. La fotointerpretación geomorfológica combinada con datos del territorio en un sistema de información geográfica, permite delimitar unidades homogéneas del paisaje relacionables con su uso actual.

**Palabras clave:** *conservación; fotointerpretación; GIS; humedal; paisaje*

## 1. Introducción

### 1.1. La Laguna de Gallocanta: Humedal de importancia internacional

La Laguna de Gallocanta es el mayor y mejor conservado lago salado de Europa occidental y un enclave de extraordinario valor ecológico. Su singular funcionamiento hídrico, con alternancia de periodos de inundación y otros secos, permite la existencia de comunidades biológicas adaptadas a episodios de sequía.

Las actuaciones de la Administración encaminadas a su protección comenzaron en 1971. En los años de mayor nivel de agua y número de aves acuáticas, ICONA y el Ministerio de Agricultura aprobaron la Zona de Caza Controlada para regular la cacería de aves acuáticas que suponía el abatimiento del 1% de las aves que recalaban en la laguna (Leranoz y González, 2009). La desecación de la laguna, planificada a finales de los 70, no se llevó a cabo gracias al esfuerzo de conservacionistas alentados por la visita del emblemático conservacionista Félix Rodríguez de la Fuente.

En 1985 la laguna se declaró Refugio Nacional de Caza (6720 ha) y en 1987, Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), en aplicación de la Directiva de Conservación de aves silvestres de la Comunidad Europea (79/409/CEE), ampliando su delimitación en 2001 (17510 ha). En 1994 se incluyó en la lista internacional de humedales del Convenio Ramsar junto a Chiprana (BOE nº 135, de 07/06/94), especialmente como hábitat de aves acuáticas. Dicho Convenio internacional tiene en cuenta criterios ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos e hidrogeológicos (Leránóz y González, 2009) para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.

En 2006 se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) de la laguna (19303 ha), cuyo procedimiento se había iniciado 11 años antes (BOA nº 45 de 19 de abril de 1995). El Plan contempla plantas y aves pero no recoge aspectos abióticos como relieve, formas y procesos, y suelos. En 2007 se declara la Reserva Natural Dirigida de la laguna (1924 ha) (Ley 11/2006 de 30 de noviembre, BOE nº 23 26/01/2007) y su Zona Periférica de Protección (4553 ha). En ella, los valores naturales a conservar incluyen el paisaje y las formaciones geomorfológicas.

### 1.2. Estudios geológicos y edáficos previos

En los primeros estudios geológicos de la zona (del siglo XIX, ver Pérez y Roc, 1999) se estima la extensión máxima de la Laguna de Gallocanta en 1800 ha, correspondientes a 4 m de profundidad. Hernández-Pacheco y Aranegui (1926) describen algunas de sus geoformas y su uso propicio, como ocurre con el cultivo de los conos de deyección de la base de la Sierra de Santa Cruz y de la terraza entre Gallocanta y Berrueco. Dantín Cereceda (1941) aporta un estudio geomorfológico y geológico bastante completo de la laguna. Las primeras cartografías detalladas son las de Villena (1971, 1976) y Calvo et al. (1978).

Aranzadi (1980), en el trabajo geológico más antiguo consultado, ya señala el impacto ambiental de las actividades antrópicas en los sedimentos cuaternarios del entorno de la laguna. Incluye un mapa geológico continuo a escala aproximada 1:20000 y descripciones de sondeos (entre 4 m y 16 m) en la laguna y su periferia. Trabajos geomorfológicos posteriores, de menor escala, subrayan el origen kárstico de la laguna (Gracia y Gutiérrez, 1999) en un marco geológico regional.

El estudio de sedimentos actuales en 13 sondeos superficiales (entre 12 cm y 52 cm) al NW de la laguna (Pérez y Roc, 1999) y otros sondeos de hasta 2.3 m han permitido elaborar mapas de facies de la laguna y su entorno (Pérez et al., 2002). Con estudios mineralógicos e isotópicos de sondeos de hasta 2.8 m de profundidad se ha reconstruido la evolución de la

laguna durante el Holoceno (Luzón et al., 2007a; 2009). Se han mencionado, sin especificar, procesos edáficos en los sedimentos en relación a la presencia de suelos hidromorfos (Luzón et al., 2007b). Los datos sedimentológicos y de sondeos de estos trabajos no se han empleado para averiguar la funcionalidad actual de la laguna con vistas a su demarcación y a la gestión de los usos en su entorno

La gestión de los recursos hídricos del entorno de la laguna está condicionada por los estudios hidrogeológicos que han permitido conocer los efectos del bombeo de agua subterránea en la evolución de la presencia de agua en las últimas décadas (García-Vera et al., 2009). La conservación del nivel de agua en la laguna, su rasgo más notable, es fundamental para la biodiversidad, particularmente enfocada a poblaciones de aves migratorias (Lerános y González, 2009). Aunque la laguna sufre variaciones estacionales y cíclicas de su estado de humedad independientemente de la acción antrópica (Comín, 1991) se ha tenido en cuenta el impacto de la agricultura.

Finalmente, el estudio de los suelos, soporte de los hábitats y testigo de las variaciones hídricas de la laguna, permitiría conocer los efectos de los usos actuales sobre la laguna y su entorno, siendo útiles para su gestión tanto con fines de conservación como agrícolas. Su salinidad y composición condiciona la distribución de la vegetación. Por ello, su estudio es básico para planificar la recuperación de las orlas de vegetación natural.

### **1.3. Demarcación y rasgos generales**

La laguna se emplaza a unos 1100 m de altitud, entre las provincias de Zaragoza y Teruel y próxima a la de Guadalajara (Figura 1). Se alimenta de aguas superficiales y subterráneas, procedentes éstas últimas de diferentes acuíferos, y ocupa el centro de una cuenca hidrogeológica de 54300 ha, de carácter endorreico (CHE, 2003). Cabe destacar el carácter salino (tipo clorurado-sódico) de sus aguas, relacionado con el sustrato margo-evaporítico triásico sobre el que se asienta. La extensión de la superficie de agua alcanzó 14 km<sup>2</sup>, con una profundidad de 2.45 m en años excepcionalmente húmedos (CHE, 2003). En épocas de sequía prolongada la laguna llega a secarse.

El clima es mediterráneo semiárido semicontinental típico de estepas de latitudes intermedias, con una precipitación media anual de 488 mm y considerable oscilación pluviométrica, entre 650 y 320 mm al año. La temperatura media anual es 10.7°C, con inviernos fríos y largos de temperatura media siempre < 5°C. Las temperaturas máximas sobrepasan 40°C. El viento, principalmente de procedencia NW, alcanza 100 km h<sup>-1</sup> (Pérez y Roc, 1999). El diagrama de Gausson (Pérez et al. (2009), Figura 2) muestra un periodo seco limitado a los dos meses centrales del año.

### **1.4. Rasgos geológicos y geomorfológicos**

La laguna y se sitúa en el sector central de la Cordillera Ibérica y constituye el nivel de base local de los cursos de agua fluviales (esporádicos o intermitentes) que vierten en ella. Limita al norte con la sierra paleozoica de Santa Cruz y al sur y suroeste con materiales carbonatados mesozoicos del Jurásico inferior y Cretácico superior. Tiene origen kárstico (Gracia et al., 1999) y ha profundizado hasta alcanzar el nivel impermeable de arcillas y yesos del Triásico superior (Keuper). Ocupa la parte más profunda de una depresión o polje de unos 550 km<sup>2</sup> de extensión que alberga más de 20 lagunas.

Destaca la gran extensión de los depósitos detríticos groseros pliocenos y holocenos (Pérez y Roc, 1999) bordeando la laguna, y que Aranzadi (1980) clasifica como glaciais, llanuras de barro, aluviones, coluviones, y eluviones. La cartografía geológica más reciente de toda la cuenca hidrológica (CHE, 2003) no representa a estos materiales pese a reconocer su complejidad e interés en el uso del suelo actual.

Los materiales aluviales y de fondo de valle terminan en abanicos aluviales o conos de deyección en el borde de la laguna, donde forman cordones y barras laterales. Hay tres niveles de terrazas que testimonian la sucesiva retracción de la laguna. Están situadas a 6-10, 4-5 y 2 m respecto a la orilla de la laguna (CHE, 2003).

El viento del NW es responsable de la dinámica lagunar, origina oleaje y corrientes hacia el SE, retrabaja los materiales y origina flechas litorales. Los trabajos revisados describen rasgos geomorfológicos de carácter general en relación con los procesos de la laguna y su entorno. En apartados posteriores se sintetiza su cartografía dentro del área estudiada en este trabajo.

### 1.5. Usos del suelo

Aranzadi (1980) diferencia usos del suelo relacionados con tres dominios geológicos: silíceo, carbonatado y mixto. El silíceo, de fuerte pendiente, es poco apropiado para la agricultura, mientras que los niveles pizarrosos, por su mayor alteración, dan áreas deprimidas con pendientes suaves y residuos de alteración de granulometrías más finas que propician el desarrollo de suelos. Los dominios carbonatado y mixto son los más apropiados para actividades agrícolas por su relieve suave y la presencia de niveles arcillosos, siendo importante la extensión del cereal en los glaciares. El mismo autor observa que las llanuras de barro no son aptas para el cultivo debido a la proximidad del nivel freático, la salinidad del suelo, y la propensión al encharcamiento. Sin embargo, están cultivadas con pobres rendimientos, limitando el crecimiento de su vegetación potencial.

**Figura 1. Localización de la Laguna de Gallocanta y ámbito del PORN (en rojo, Zona Periférica y, en verde, Reserva Natural). Se indican las provincias, los municipios y las Hojas del MTN.**

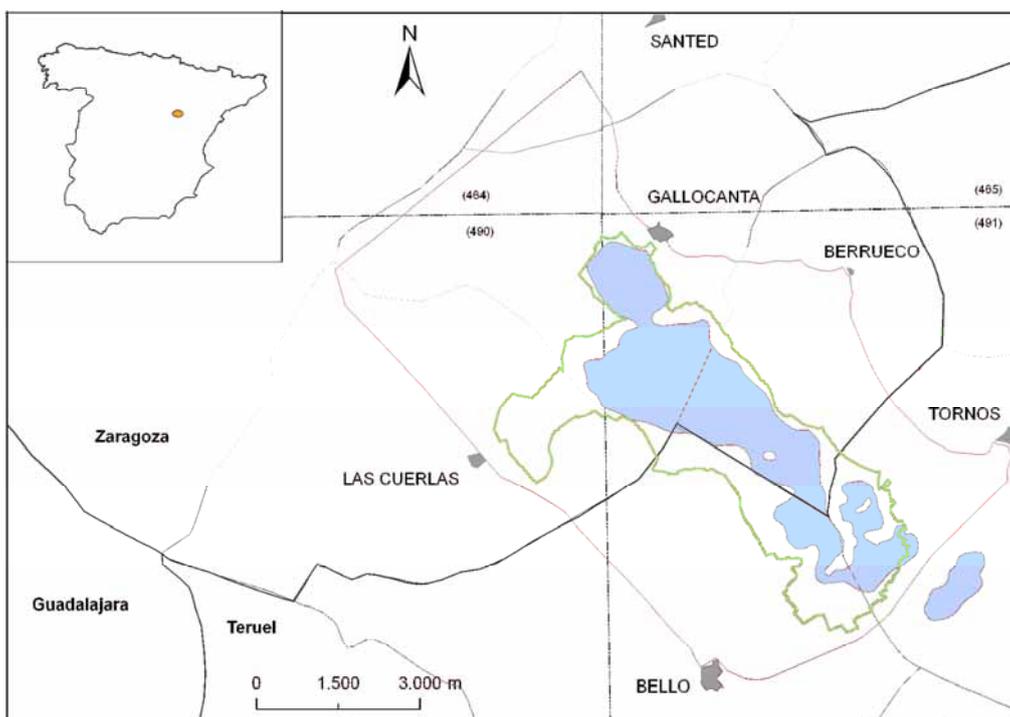
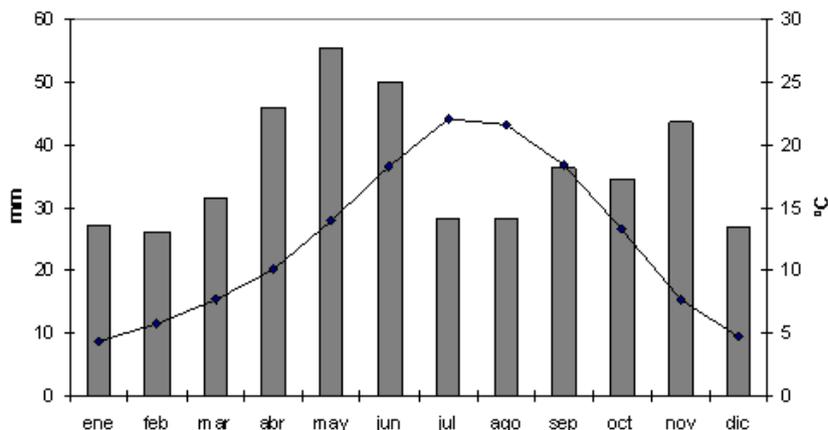


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de Daroca (1961-1990), modificado por Pérez et al. (2009).



El cereal en secano es la base económica de la comarca, y se considera una unidad ambiental del PORN dado su interés para las aves esteparias. En el 80% de la superficie de la Reserva Natural domina la cebada, en zonas más secas, y el trigo, en las más húmedas. Se riegan unas 400 ha mediante aguas subterráneas, al sur (Bello y Tornos) y oeste (Las Cuerlas). Una parte de la laguna es de propiedad particular, y un elevado porcentaje es propiedad municipal. Algunos límites parcelarios no pueden establecerse por el estado de los planos catastrales. Las situaciones conflictivas relacionadas con el uso del territorio han impedido hasta la fecha el deslinde del dominio público hidráulico por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La zona se considera un recurso para actividades de ocio, interpretación y aire libre. La degradación más importante se debe a la agricultura. El conflicto entre el desarrollo de la agricultura y la conservación del medio se amortigua mediante la aplicación de medidas en el marco de la Política Agraria Comunitaria.

## 2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es aportar una base cartográfica de la Laguna de Gallocanta para estudios ambientales aplicables a la gestión y protección del humedal y su entorno. Para ello se desarrolla un trabajo de fotointerpretación geomorfológica que permitirá delimitar unidades homogéneas del paisaje relacionables con el desarrollo de los suelos y su uso actual como soporte de hábitats y del aprovechamiento agrícola.

Determinar los ambientes morfológicos, sedimentarios y de formación de suelos es necesario para conocer la dinámica natural del humedal y su sensibilidad a los cambios de uso.

Se pretende llevar a cabo las siguientes tareas específicas:

- Selección de áreas representativas de la dinámica de la laguna y su entorno donde confluyen intereses de conservación de hábitats y de uso agrícola,
- Síntesis de los estudios cartográficos existentes
- Elaboración de un mapa geomorfológico detallado sobre la base de la cartografía existente y aplicable al estudio del medio natural
- Integración de los rasgos de paisaje y suelos al uso actual

### 3. Metodología

#### 3. 1. Selección del área de estudio

La marcada disimetría morfológica de la laguna con relación a su eje de máxima elongación (NW-SE) es reflejo de diferencias litológicas y topográficas entre ambas vertientes. Ello se traduce en diferentes ambientes sedimentarios y aportes de agua en ambos lados de la laguna. Por ello se seleccionaron dos zonas representativas de ambas vertientes, franja norte (FN) y franja sur (FS), respectivamente (Figura 3), donde confluyen procesos fluviales y lacustres. La franja norte (FN), al pie de la Sierra de Santa Cruz, tiene 600 ha y 1500 m de anchura media. Su variación topográfica es de 100 m, desde 925 m a la orilla de la laguna hasta 1025 m al pie de la sierra. Limita con el Arroyo de Prado Ancho, vertiente al Lagunazo Grande, y se extiende hasta la Fuente del Cañizar, junto a Los Lagunazos. La franja sur (FS), paralela a la carretera A-2506, se extiende a ambos lados del Barranco de Los Pozuelos, entre las localidades de Las Cuerlas y Bello. Su variación topográfica es de 15 m.

**Figura 3. Áreas de estudio seleccionadas sobre la ortofoto SIG Oleícola de 1997.**



#### 3. 2. Material y métodos

Se ha recopilado material cartográfico que incluye fotografías aéreas de vuelos históricos y actuales, y mapas topográficos y geológicos (Tabla 1). Como técnicas básicas se ha empleado la fotointerpretación estereoscópica (estereoscopio de espejos) y el análisis de ortofotos e información territorial y temática sobre la base del sistema de información geográfica ArcGIS. Los fotogramas históricos se han georreferenciado para trasponer las formas resultantes de la fotointerpretación estereoscópica sobre las ortofotos actuales. Se ha tenido en cuenta la deformación entre ambos documentos.

Los fotogramas históricos USAF-B y las ortofotos de 1997 y 2006 se han empleado para seleccionar las dos franjas de estudio. Los fotogramas del vuelo Interministerial se han empleado para elaborar el mapa de rasgos geomorfológicos superponible a las ortofotos actuales. Paralelamente se ha empleado la información topográfica proporcionada por los modelos digitales del terreno y las curvas de nivel. Las formas resultantes se han contrastado en campo mediante GPS.

Se han analizado muestras de suelo tomadas mediante sondeo con barrena manual en sitios seleccionados. Se han determinado: salinidad mediante la medida de conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada, carbonato cálcico equivalente (CCE) (MAPA, 1994), yeso (Artieda et al., 2006) y textura mediante difracción láser. Para la identificación mineralógica de las fracciones suelo total ( $\leq 2$  mm) y arcilla ( $\leq 2$   $\mu$ m) de determinadas muestras de suelos se ha utilizado la técnica de difracción de rayos X (difractor Philips X`Pert con radiación Cu-K $\alpha$  monocromada con grafito).

**Tabla 1. Documentos cartográficos empleados. Soporte P: papel; DV: digital vectorial; DR: digital ráster.**

Documento	Escala / resolución y precisión	Fecha	Soporte	
Hoja del Mapa Topográfico Nacional de España	491 Calamocha 1ª ed.	50000	2006	P
	490 Odón 1ª ed.	50000	2006	P
	491-I Bello 2ª ed.	25000	2006	P y DV
	490-II Las Cuerlas 2ª ed.	25000	2002	P y DV
Hoja del Mapa Geológico de España, MAGNA serie 2ª 1ª ed.	491	50000	1983	P y DV
	490	50000	1983	P y DV
Pares estereoscópicos de fotografías aéreas	Vuelo USAFB	33000	1956-57	P
	Interministerial	18000	1976-1980	P
Fotografías aéreas ortorrectificadas	Ortofotos "SIG Oleícola	1 m / píxel	1997	DR
	Ortofotos PNOA*	0.5 m / píxel	2006	DR
Modelo digital del terreno	SIG Oleícola	20 m / píxel 4 m precisión aprox.	1997/98	DR
	ASTERDEM	30 m / píxel	2000	DR
Mapa topográfico de Aragón	Hojas 490, 491, 464, 465	5000	2000	DV
Imágenes de satélite	Landsat 5TM escena 200/32	30 m / píxel	09/1999 01/2000	DR
Información territorial	Red hidrográfica, núcleos de población y límites administrativos	50000	1995/2000	DV
	Mapa hidrogeológico	25000	2003	DV
	Delimitación PORN**	25000	2005	DV

\*PNOA: Plan Nacional Ortofotografía Aérea; \*\*PORN: Plan de Ordenación de Recursos Naturales

## 4. Resultados

### 4.1. Síntesis geológica

Las discrepancias encontradas entre las unidades geológicas y formaciones superficiales de las Hojas 490 y 491 se han resuelto en una tabla de correspondencias terminológicas (Tabla 2). **Las formaciones superficiales** de FN y FS son de origen lacustre excepto los abanicos aluviales de la base del Pleistoceno inferior y la llanura aluvial de la base del Holoceno, ambas en FN.

**Tabla 2. Síntesis de la terminología usada en los mapas y memorias de las Hojas 491 y 490 del Mapa Geológico de España E=1:50000 serie MAGNA (1983).**

	Leyenda Hoja 491	Leyenda Hoja 490	Memoria. Formaciones superficiales				
			Leyenda geomorfológica H491 y H490	Ambiente sedimentario		Unidad cartográfica	
				H491	H490	H491	H490
Holoceno	51. Limos y gravas con materia orgánica	47. Limos y gravas con materia orgánica	Áreas endorreicas	Fondos endorreicos		L <sub>1</sub> h	
	50. Gravas cuarcíticas y limos	48. Gravas cuarcíticas y limos	Superficies de depósito (en relación con áreas endorreicas)	Terrazas fluvio-lacustres		L <sub>2</sub> h	
	54. Gravas y limos. Aluviales	*	Valles de fondo plano	Fondos vaguadas, llanuras aluviales	*	F <sub>1</sub> h	*
Pleistoceno medio	47. Conglomerados cuarcíticos y fangos. Cementaciones locales	40. Conglomerados cuarcíticos y fangos. Cementaciones locales	Superficies de depósito (en relación con áreas endorreicas)	Terrazas fluvio-lacustres		L <sub>3</sub> m	L <sub>4</sub> m
Pleistoceno inferior	42. Arenas y gravas finas.	39. Conglomerados y microconglomerados sueltos		L <sub>4</sub> i	L <sub>5</sub> c		
	43. Conglomerados y brechas sueltas con matriz limo-arcillosa. Abanicos	*	Conos de deyección	Conos y abanicos aluviales	*	F <sub>7</sub> i	*
No existe correspondencia							

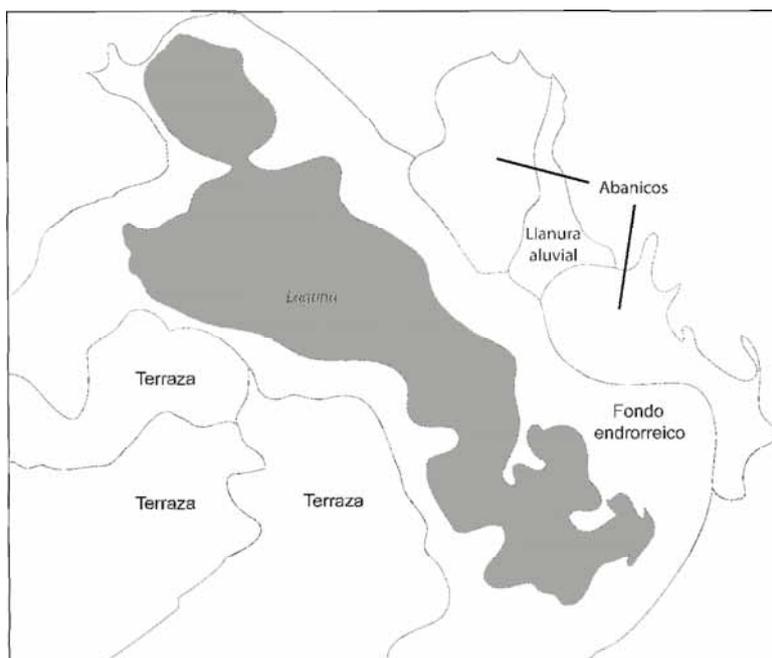
Del Pleistoceno inferior se conservan (1) **Terrazas fluvio-lacustres** (42, L<sub>4</sub>i) y (39, L<sub>5</sub>i) formadas por limos y arcillas con niveles de gravas de cuarcita y caliza con cementaciones locales extremadas, y (2) **Conos y abanicos aluviales** (43, F<sub>7</sub>i) compuestos por gravas,

limos y arcillas no cementados. Del Pleistoceno medio se tienen las **Terrazas fluvio-lacustres** (47, L<sub>3m</sub>) y (40, L<sub>4m</sub>) compuestas por limos y arcillas con niveles de gravas de cuarcita y caliza con importantes cementaciones locales.

Los sedimentos del Holoceno incluyen (1) **Terrazas fluvio-lacustres** (50 y 48, L<sub>2h</sub>) con limos y arcillas con niveles de gravas de cuarcita y caliza con cementaciones locales extremadas, (2) **Fondos endorreicos** (51 y 47, L<sub>1h</sub>) rellenos de arcilla y limo con materia orgánica y gravas débilmente cementados o con cementaciones locales extremadas y (3) **Llanuras aluviales** (54, F<sub>1h</sub>) formadas por gravas silíceas y/o carbonatadas no cementadas.

Los abanicos y los valles de fondo plano de FN se disponen alternantes y enraizados al pie de la Sierra de Santa Cruz, pasando de forma discordante al fondo endorreico que bordea la laguna. En FS alternan tres unidades de terrazas fluvio-lacustres (L<sub>3m</sub>, L<sub>4i</sub>, L<sub>2h</sub>), del Pleistoceno inferior y medio, respectivamente. La superficie más moderna corresponde a terrazas fluvio-lacustres en contacto discordante con el área endorreica de la laguna (Figura 4).

**Figura 4. Esquema simplificado de las unidades geológicas en el área estudiada, modificado de las Hojas MAGNA 490 y 491.**



#### 4.2. Estudio geomorfológico

Los mapas de la Figura 5 recogen los rasgos geomorfológicos destacables de las zonas estudiadas. Siguiendo los estándares cartográficos del IGME (2004) así como mapas de geomorfología aplicada a la cartografía de suelos (Artieda, 1996) se han establecido tres tipos de geoformas, en el sentido amplio del término (Evans, 2011): estructurales, de erosión, y de acumulación.

Se han delimitado cinco formas de acumulación o formaciones superficiales: **abanico aluvial**, **valle aluvial**, **terrazza**, **playa** y **banda de suelos grises**. La delineación de las tres primeras se ha adaptado del mapa geológico MAGNA; se han añadido las bandas de playa

y de suelos grises mediante la interpretación de ortofotos (Tabla 1) y de imágenes Landsat (ver siguiente apartado).

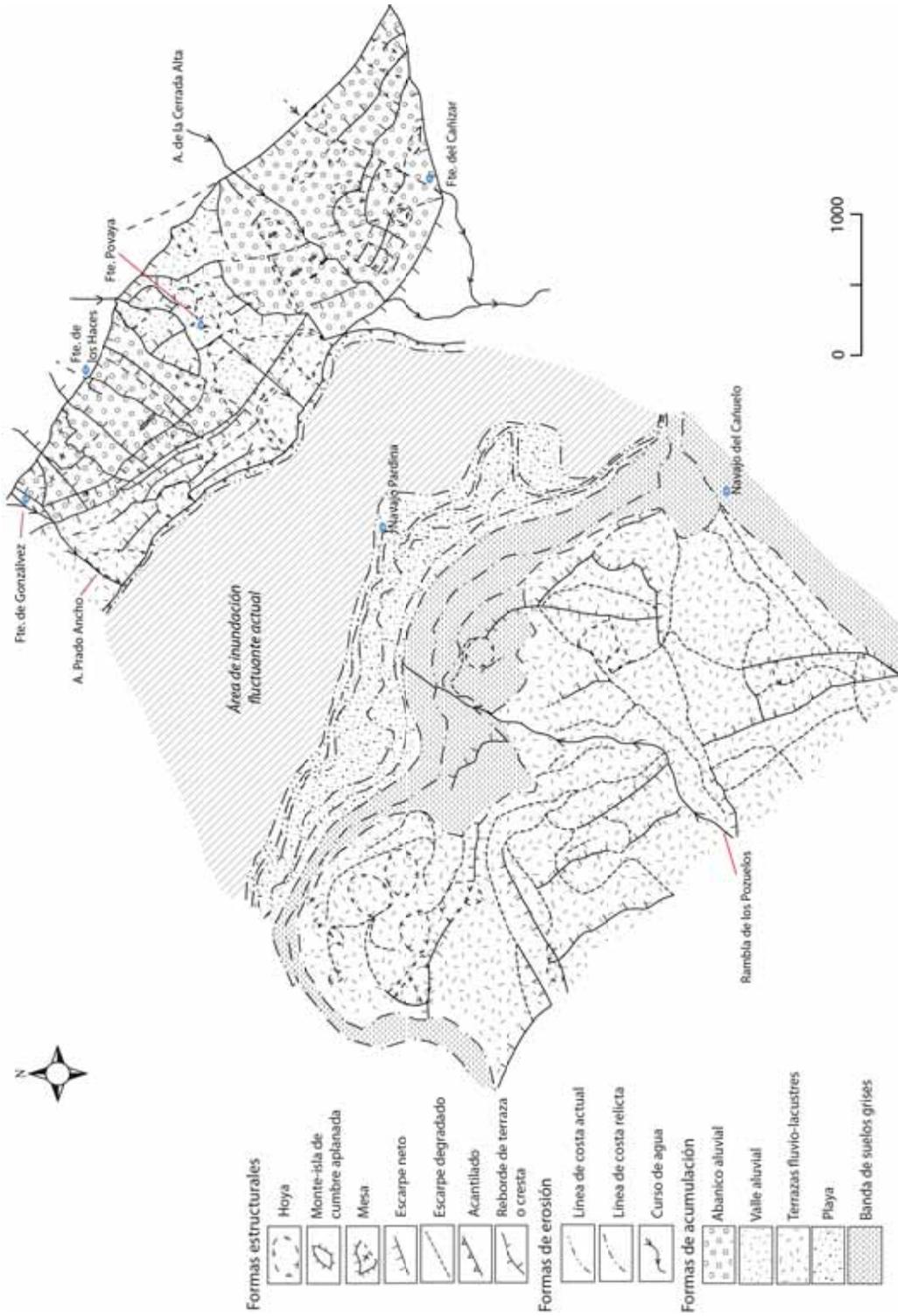
Las formas estructurales delineadas son: **acantilado**, **eskarpe**, **hoya**, **loma**, **mesa**, **monte-isla de cumbre aplanada**, y **reborde de terraza** o **cresta**. Las **hoyas** se dan en ambas franjas de la laguna. Se emplea este término descrito por González Bernáldez (1992) para designar depresiones o alvéolos que están presentes en glacis y terrazas y no están conectadas a la red fluvial; son de forma circular o subcircular y acumulan humedad. Algunas son alargadas y se disponen en dirección transversal a la orilla de la laguna. Suelen reconocerse en campo por la vegetación, color del suelo, o diferencias en el crecimiento del cultivo. Los **monte-isla de cumbre aplanada** (en FN) son formas poligénicas (Martín et al., 2004) que constituyen pequeñas elevaciones elípticas paralelas a la línea de costa y cuyas dimensiones del eje mayor varían entre 40 m y 100 m. Las **mesas** (en FN) son relieves aplanados horizontales de diversa morfología (Abad et al., 2005), cuya longitud de eje mayor en la zona no supera los 350 m.

Se han diferenciado varios tipos de líneas de ruptura. El **eskarpe neto**, la forma de relieve más frecuente en FN, es un cambio de pendiente brusco pero de escaso salto vertical. Se ha identificado en el contacto entre valle aluvial y abanico, dentro de ambas formaciones y también en la terraza lacustre. Por su disposición se distinguen dos familias, una perpendicular y otra paralela a la orilla de la laguna, respectivamente. En FS este tipo de cambio de ruptura es menos habitual debido a que el relieve es más suave, y la costa de la laguna no presenta un trazado rectilíneo evidente como en FN. Cuando esta línea de ruptura se atenúa se tiene un **eskarpe degradado**, más habitual en FS.

En FN se ha reconocido un eskarpe de 2.6 km de longitud en el límite entre la terraza y las formas que descienden de la sierra (abanicos y valle aluvial). Presenta una doble vertiente en gran parte de su recorrido, probablemente marcado por el laboreo agrícola. Por su continuidad y características distintivas se ha denominado **reborde de terraza**. De forma similar, los **rebordes de terraza** o **crestas** de FS se consideran modeladas principalmente por el laboreo. Se ha mantenido el término **acantilado** empleado por Gracia (1993) para el salto vertical de 1 m a 1.5 m existente entre la terraza y la playa en FN; se caracteriza por su continuidad y nitidez, y constituye un rasgo específico de esta orilla.

Las formas de erosión delimitadas son las **líneas de costa** y los  **cursos de agua**. Se observa la continuidad y nitidez de la **línea de costa** en la orilla de FN, correspondiendo a los cordones de arena de Aranzadi (1980) y a la zona de *Salicornia* y algas de Pérez y Roc (1999) y Luzón et al. (2007a). Entre la línea de costa y la de ruptura de pendiente (acantilado) queda la **playa** que frecuentemente contiene orlas de halófitos, acumulaciones de tapices de algas y eflorescencias. Los  **cursos de agua** pueden ser permanentes, como los arroyos, e intermitentes, como los regueros, barrancos o ramblas. Todos ellos presentan cambios bruscos en la dirección de su trayecto, posiblemente modificado por el uso agrícola. En FN, el trazado del reguero de la Fuente Povaya es rectilíneo (antropizado) en su tramo final; el Arroyo de la Cerrada Alta presenta tramos escalonados (en planta) que parecen coincidir con el trazado del eskarpe. La Rambla de los Pozuelos, en FS, sólo vierte agua a la laguna tras largos periodos húmedos o con ocasión de fuertes crecidas (San Román et al., 2007).

Figura 5. Mapa de rasgos geomorfológicos de FN y FS.

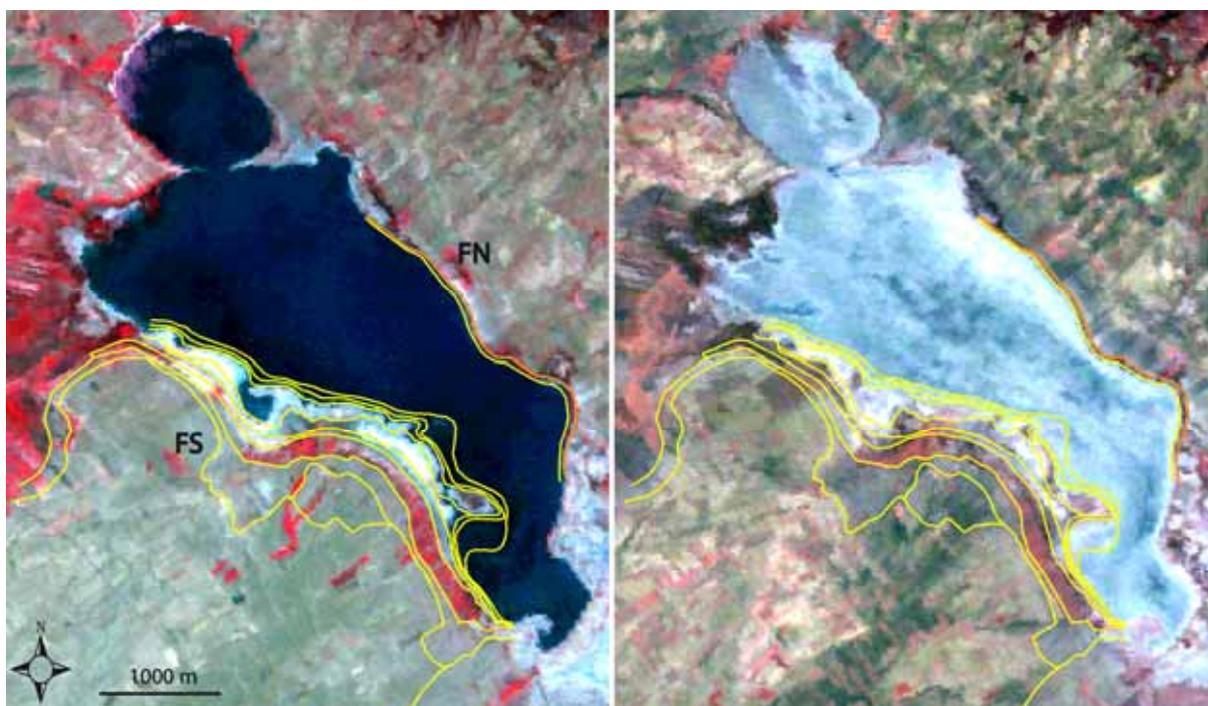


#### 4.3. Incorporación de rasgos geomorfológicos al paisaje y uso actual: las orillas FN y FS de la laguna

Las formas de relieve en las orilla de la laguna atraen la atención de forma particular porque caracterizan morfológicamente un área mixta de elevado dinamismo donde confluyen la actividad lagunar y el uso agrícola. Aunque aún no se ha acometido plenamente la concentración parcelaria en la zona, se comprobó tanto en campo como en las ortofotos de diferentes fechas, que ha habido numerosos cambios principalmente por modificación de parcelas y la apertura de nuevas pistas de acceso. En las ortofotos actuales la variación de color del suelo trasluce lindes, caminos y hoyas, difuminados por el uso agrícola, que produce un paisaje alomado o “campiña” homogéneo, excepto los estrechos campos (actuales y abandonados) dispuestos en empalizada orlando las orillas de la laguna.

La interfase humedal – cultivo es una de las zonas de mayor interés desde el punto de vista de la conservación de los hábitats, como ocurre en otros humedales salinos de Aragón (Conesa et al., 2011). La **playa** y las **líneas de costa** se han delimitado con el apoyo del SIG, que ha permitido la superposición de ortofotos e imágenes Landsat de diferentes fechas. Las imágenes Landsat muestran diferentes estados de humedad de la laguna (Díaz de Arcaya et al., 2004) y ofrecen una perspectiva temporal que complementa la visión de detalle de las ortofotos. La fluctuación de la superficie de agua entre las estaciones seca y húmeda de las últimas décadas es visible (Figura 6), y concuerda con las múltiples líneas de costa paralelas, particularmente en FS, donde la suave pendiente permite una importante fluctuación de la lámina de agua, que inunda parcelas que se cultivan en años secos.

**Figura 6. Líneas de costa (en amarillo) de FN y FS sobrepuestas a imágenes Landsat (RGB 457) de fechas húmeda (02/09/1992) y seca (12/01/2000).**



Las líneas de costa reflejan la localización de la orilla de la laguna en diferentes épocas y en campo se perciben como cambios de microtopografía y de vegetación, muy sensible a la persistencia de inundación (Figura 7a). Las líneas de costa se han considerado relictas si se sitúan aguas arriba de los cultivos, y se han considerado actuales aguas abajo de los

mismos. Las líneas de costa relictas delimitan la **banda de suelos grises** (Figuras 5 y 7b) que, con gran continuidad lateral, indica una composición del suelo producida por condiciones de inundación y de cubierta vegetal diferentes a las actuales.

El suelo, elemento clave del paisaje, tiene interés como testigo de las fluctuaciones de la laguna y de los cambios de uso. La caracterización edáfica de la interfase humedal –cultivo es fundamental para conocer las condiciones hídricas actuales y pasadas del entorno, las limitaciones para su uso actual, y las condiciones de desarrollo de la vegetación natural con vistas a su preservación y restauración. En este sentido, el gradiente de composición del suelo puede ilustrarse a partir de muestras tomadas en las dos orillas estudiadas. Las muestras provienen de 12 sondeos de hasta 175 cm de profundidad ubicados a lo largo de dos transectos de 174 m y 469 m, perpendiculares a las orillas FN y FS, respectivamente.

**Figura 7. Franjas de vegetación (*Salicornia*, en primer plano) y suelo gris en FN, en octubre de 2010.**



La vegetación del transecto FS incluye praderas de *Salicornia*, *Puccinellia* y *Limonium* cerca de la orilla; y praderas de *Juncus* y gramíneas hacia el cultivo (guisantes). En FN, la vegetación de la orla más salina incluye *Aeluropus litoralis*; *Suaeda splendens*; *Suaeda spicata*, *Salicornia herbacea*; *Sphenopus divaricatus*; *Limonium costae*; en parcelas actualmente no cultivadas (erial) aparecen especies como *Elymus* cf. *Pungens*; *Dactylis glomerata*; *Medicagosativa*; *Tragopogon dubius*; y *Crepis pulcra*.

La salinidad del suelo, medida en el extracto de pasta saturada, es mayor en la orilla sur. Aquí varía entre 1.2 y 87 dS m<sup>-1</sup> mientras que en FN varía entre 7.3 y 61.2 dS m<sup>-1</sup>. Como cabía esperar, la salinidad edáfica aumenta hacia el interior de la laguna, y no siempre es máxima en los horizontes superiores. Los suelos de los cultivos muestreados no son salinos en FS. Los valores medios de algunos componentes del suelo (Tabla 3) muestran diferencias entre ambas márgenes, y en nuestros muestreos llama la atención la mayor proporción de carbonatos (CCE) en la orilla norte, donde el sustrato tiene una composición más silíceo (Aranzadi, 1980).

El 32% de las muestras analizadas tienen una textura franco-arcillosa, con mayor porcentaje de texturas más finas en FN (Tabla 3). La composición mineralógica de muestras seleccionadas de FS revela el predominio del cuarzo (31 - 79%) en la fracción ≤ 2 mm, seguido de la calcita (18 - 39%) y la dolomita (3 - 28%). En FN el cuarzo (3 - 40%) y la calcita (11%) son menos abundantes mientras que la dolomita aumenta (49 - 80%) y se detecta yeso (17%).

La fracción de arcilla  $\leq 2 \mu\text{m}$  contiene esmectita en ambas márgenes, en sondeos cercanos a la lámina de agua, los de mayor salinidad, con porcentajes entre el 11 - 15%. La illita es el componente mayoritario de esta fracción (hasta el 73%), y dolomita (3 - 9%) y cuarzo (8 - 15%) se identifican en ambas márgenes. La calcita aparece sólo en pequeña proporción (4%) en FS y como trazas en FN.

**Tabla 3. Datos relativos al muestreo y a la composición media del suelo en FN y FS, obtenidos en 2009. MO: materia orgánica, CCE: carbonato cálcico equivalente.**

Franja	Profundidad de los sondeos (cm)	Longitud del transecto (m)	Salinidad edáfica ( $\text{dS m}^{-1}$ )	MO (%)	CCE (%)	Yeso (%)	Textura USDA
FN	30 a 150	174	30.3	0.5	41.2	3.9	Franco-arcillosa
FS	115 a 175	469	38.1	0.9	29.0	4.3	Franco arcillosa, Franca, y Franco-arenosa

## 5. Conclusiones

Se ha elaborado una cartografía de rasgos geomorfológicos aplicando una metodología extensible a todo el entorno de la Laguna de Gallocanta. Los estudios previos sobre la geología y geomorfología de la zona han mostrado algunas discrepancias debido a los variados objetivos y escalas de cada trabajo.

El mapa obtenido presenta, además de su interés científico, una información básica para la gestión territorial, tanto para la protección de la laguna y su entorno como para el desarrollo agrícola y para otros usos. La incorporación de los rasgos del relieve a la cartografía actual es una labor fundamental aunque compleja, pues está condicionada por la variedad y calidad de los documentos cartográficos disponibles.

La metodología aplicada permite rescatar rasgos desaparecidos o no identificables en campo pero condicionantes del uso actual del territorio. En este sentido, es esencial conocer la persistencia de líneas de costa, hoyas y humedales, y su funcionalidad, así como el trazado de escarpes y discontinuidades del relieve que han sido nivelados, principalmente por el uso agrícola.

La localización y descripción de las formas del relieve permite conocer el medio natural con los procesos actuales y pasados, e integrar elementos de diferentes disciplinas en estudios tanto generalistas como enfocados a cartografías específicas, por ejemplo, de suelos y de vegetación.

La caracterización de los suelos en la interfase humedal-cultivo, proporciona datos básicos acerca de la funcionalidad del humedal y puede emplearse para delimitar los diferentes usos, siendo necesaria para conocer los condicionantes de la vegetación con vistas a su preservación.

## Agradecimientos

El trabajo se ha financiado por el MICINN dentro del proyecto AGL2009-08931. La información territorial ha sido proporcionada por el SITAR (Sistema de Información Territorial de Aragón), por la Confederación Hidrográfica del Ebro y por el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

## 6. Referencias

- Abad, M., Ruiz, F., Cantano, M., Rodríguez-Vidal, J., Pendón, J.G., González-Regalado, M.L., Mantero, E.M., Cáceres, L., & Tosquilla, J. (2005). Análisis de modelados de erosión y depósitos residuales transgresivos en el Sector Central de la Cuenca del Guadalquivir (Tortonense, SO de España). *Geogaceta*, 37, 207-210.
- Aranzadi, J. (1980). *Estudios de Impactos Ambientales sobre la Laguna de Gallocanta por la acción del desarrollo agrario*. PROYEX, S.A. CEOTMA (MOPU). Madrid, 184 pp.
- Artieda, O. (1996). *Génesis y distribución de suelos en un medio semiárido. Quinto (Zaragoza)*. Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Madrid, 222 pp.
- Artieda, O., Herrero, J., & Drohan, P.J. (2006). Refinement of the Differential Water Loss Method for Gypsum Determination in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1932–1935.
- Calvo, J., González, J.M., González, J., & Villena, J. (1978). Primeros datos sobre la sedimentación de dolomía de la Laguna de Gallocanta (provincias de Zaragoza y Teruel). *Tecniterrae*, 21, 1-10.
- CHE. (2003). *Establecimiento de las normas de explotación de la unidad hidrogeológica "Gallocanta" y la delimitación de los perímetros de protección de la laguna*. Consultor: EPTISA, Zaragoza. Informe inédito.
- Comín, F. A., Julià, R., & Comín, P. (1991). Fluctuations, the key aspect for the ecological interpretation of saline lake ecosystems. *Oecologia Aquatica*, 10, 127-135.
- Conesa, J.A., Castañeda, C., & Pedrol, J. (2011). *Las saladas de Monegros y su entorno. Hábitats y paisaje vegetal*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 540 pp. ISBN: 978-84-89862-76-0. En prensa.
- Dantín, J. (1941). La laguna salada de Gallocanta (Zaragoza). *Estudios Geográficos*, 3, 269-301.
- Díaz de Arcaya, N., Castañeda, C., Herrero, J., & Losada, J.A. (2005). *Revista de Teledetección*, 24, 61-65.
- Evans, I.S. (2011). Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? *Geomorphology* (In press), doi: 10.1016/j.geomorph.2010.09.029.
- García-Vera, M.A., San Román Saldaña, J., Blasco Herguedas, O., & Coloma López, P. (2009). Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta e implicaciones ambientales. En M.A. Casterad & C. Castañeda (Eds.), *La Laguna de Gallocanta: medio natural, conservación y teledetección*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural T VII (Pp. 79-103).
- González Bernández, F. (1992). *Los paisajes del agua. Terminología popular de los humedales*. J.M. Reyero editor, Madrid, 216 pp.
- Gracia, F.J. (1993). Fisiografía de la Laguna de Gallocanta y su cuenca. *Xiloca*, 11, 177-204.
- 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.

- Hernández-Pacheco, F., & Aranegui, P. (1926). La Laguna de Gallocanta y la geología de sus alrededores. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XXVI, 419-429.
- Leránoz, B., & González, J.M. (2009). Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta e implicaciones ambientales. En M.A. Casterad y C. Castañeda (Eds.), *La Laguna de Gallocanta: medio natural, conservación y teledetección*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural Tomo VII (Pp. 7-30).
- Luzón, A., Mayayo, M.J., & Pérez, A. (2009). Stable isotope characterisation of co-existing carbonates from the Holocene Gallocanta lake (NE Spain): palaeolimnological implications. *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1129-1150.
- Luzón, A., Pérez, A., Sánchez, J.A., Soria, A.R., & Mayayo, M.J. (2007a). Evolution from a freshwater to saline lake: a climatic or hydrogeological change? The case of Gallocanta Lake (northeast Spain). *Hidrogeological Processes*, 21, 461-469.
- Luzón, A., Pérez, A., Mayayo, M.J., Soria, A.R., Sánchez, M.F., & Roc, A.R. (2007ba). Holocene environmental changes in the Gallocanta lacustrine basin, Iberian Range, NE Spain. *The Holocene*, 17(5), 649-663.
- MAPA. (1994). *Métodos oficiales de análisis*. Tomo vol. III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Martín-Serrano, A., Salazar, A., Nozal, F., & Suárez, A. (2004). *Mapa geomorfológico de España. Escala 1:50.000. Guía para su elaboración*. Ministerio de Educación y Ciencia. IGME, Madrid, 128 pp.
- Pérez, A., & Roc A.C. (1999). *Los sedimentos de la Laguna de Gallocanta y su comparación con las calizas de la Muela en Zaragoza*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 114 pp.
- 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 Gallocanta Lake, Iberian Chain, NE Spain. *Sedimentary Geology*, 148, 185-202.
- San Román Saldaña, J., García-Vera, M.A., Blasco Herguedas, O., & Coloma López, P. (2007). Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta. *Xiloca*, 35, 65-86.
- Villena, J. (1971). Estudio geológico de un sector de la Cordillera Ibérica comprendido entre Molina de Aragón y Monreal. Tesis doctoral inédita. Universidad de Granada, 227 pp.
- Villena, J. (1976). Estudio geológico de un sector de la Cordillera Ibérica comprendido entre Molina de Aragón y Monreal (provincias de Guadalajara y Teruel). *Boletín Geológico y Minero*, 87(4), 329-354.