



Procesos geomorfológicos en llanos de inundación y lagos costeros mediterráneos. El cambio ambiental histórico en la Albufera de Valencia (España)

Geomorphological processes on coastal mediterranean flood plains and lagoons. Environmental change in historical times in the Albufera of Valencia (Spain)

Carmona, P. ⁽¹⁾; Ruiz, J. M. ⁽¹⁾

(1) Departamento de Geografía, Universidad de Valencia, Avenida Blasco Ibáñez 28, 46010, Valencia
Pilar.Carmona@uv.es

Resumen

Se analizan los procesos geomorfológicos y los cambios ambientales del Holoceno final en el margen noroccidental de la laguna de la Albufera de Valencia en la costa mediterránea española. La cartografía histórica georreferenciada (siglos XVIII y XIX), la altimetría (MDT) Lidar y un fotomosaico (ortofoto) del año 1957, han permitido caracterizar un modelo geomorfológico compuesto de varios subambientes fluviales y lacustres tales como ciénagas, lagos, deltas, cuencas, llanos de inundación y diques fluviales. Se aportan datos sobre la evolución del perímetro de la laguna (últimos 300 años) así como de la transformación del ambiente palustre en una llanura de inundación. Los procesos geomorfológicos están relacionados con la progradación de deltas y la acreción de diques aluviales en el borde de la laguna que determinan una evolución progresiva hacia la continentalización. El proceso se inicia con la compartimentación del ámbito lagunar y el aislamiento de áreas deprimidas o cuencas de inundación. Los diferentes grados de colmatación de los bordes del marjal dan lugar a la aparición de una gran diversidad de humedales de transición. Dos dataciones C^{14} obtenidas en sondeos permiten constatar que la Albufera era salobre hacia las fechas 1060-920 y 960-760 (años calibrados BP). Finalmente se constata que las fluctuaciones climáticas de la Pequeña Edad del Hielo y la acción antrópica, fueron factores decisivos en la transformación de la Albufera salobre de época medieval en una laguna de agua dulce.

Palabras clave: Llano de inundación; Lago costero; Holoceno; Cambio ambiental; Mediterráneo

Abstract

Geomorphological processes and recent environmental changes in the northwestern margin of the coastal lagoon of the Albufera of Valencia in the Spanish Mediterranean coast are analyzed. Georeferenced historical



maps (XVIII and XIX), Lidar altimetry (MDT) and a photomosaic (orthophoto) of 1957, have allowed characterization of a geomorphological model composed of various fluvial and coastal lagoons sub-environments: marshes, lagoons, deltas, flood basins, flood plains and fluvial levees. Data on the evolution of the perimeter of the lagoon (300 last years) and on the transformation of the lacustrine environment in a floodplain are reported. The geomorphological processes are related to lagoonal delta progradation and accretion of alluvial levees on the edge of the lagoon. These processes determine a progressive evolution towards continentalization. Change starts with the compartmentation of the lagoon in topographically depressed areas (flood basins) with different degrees of siltation. This process produces the emergence of a diversity of transitional wetlands. Two ^{14}C datings obtained in surveys allow to state that the lagoon was brackish to 1060-920 and 960-760 cal years BP. Finally this work confirms that the process of change from the medieval brackish albufera in a freshwater lagoon may be related to climatic fluctuations during the Little Ice Age and land use changes.

Key words: Flood plain; Coastal lagoon; Holocene; Environmental change; Mediterranean sea.

1. Introducción

Los rasgos geomorfológicos de las llanuras bajas costeras valencianas son muy similares a las del resto del litoral mediterráneo occidental (Figura 1). Se caracterizan por una asociación de llanos de inundación y lagunas o albuferas, cerradas a la influencia marina por barreras de arena. A lo largo del Pleistoceno, estos ambientes han migrado a través de la plataforma continental siguiendo las fluctuaciones del nivel marino. Las llanuras albergan registros sedimentarios con gran cantidad de información paleoambiental. Así, diversos autores han identificado y analizado ambientes marinos, continentales y de transición (Viñals, 1996; Viñals y Fumanal, 1995; Blázquez, 2005; Blázquez y Ferrer, 2003; Bardají *et al.*, 2009; Blázquez y Usera, 2010; Carmona y Ruiz, 2011; Torres *et al.*, 2013; Marco-Barba *et al.*, 2013). Por otra parte, diferentes series de barreras relacionadas con los cambios del nivel del mar pleistoceno y holoceno, han sido bien estudiadas en la plataforma continental contigua a la Albufera (Albarracín *et al.*, 2012; Alcántara *et al.*, 2012).

Los sistemas de laguna-barrera actuales de la costa mediterránea se conformaron durante el último ciclo transgresivo marino de época holocena, cuyo máximo se alcanzó alrededor del 6000-5000 yrs BP (Pirazzoli, 2005). La transgresión sigue las pautas morfológicas de los modelos evolutivos de costas micro-

mareales de bajo gradiente, propuestos por Carter and Woodroffe (1994) y por Roy *et al.* (1994). También se relaciona con la evolución de muchos deltas mediterráneos (Grove and Rackham, 2001). Cuando el nivel del mar se estabilizó, se produjo el cierre y la progradación de las barreras y el paulatino relleno de las lagunas con sedimentos marinos, fluviales y lacustres (Ruiz y Carmona, 2005; Zazo *et al.*, 2008; González-Villanueva *et al.*, 2009; Santiesteban *et al.*, 2009; Carmona and Ruiz, 2011; Marco-Barba *et al.*, 2013). En la barrera costera frente a nuestra zona de estudio, se dató un nivel de playa hacia el 5550 a 5350 años cal BC (Ruiz y Carmona 2005). Por su parte, Santiesteban *et al.* (2009) y Marco-Barba *et al.* (2013), han descrito el desarrollo de un sistema holoceno de isla-barrera compuesta por cuatro unidades de playa progradantes (hacia el este), que se estableció a partir del 6250 BP.

En un estadio muy avanzado de la evolución geomorfológica holocena, el sector septentrional de la Albufera de Valencia presentaba una gran diversidad de ambientes geomorfológicos de transición entre la laguna y los llanos de inundación, la barrera costera y los márgenes preholocenos. Antes de su transformación artificial, tal y como como refleja la documentación medieval y la cartografía histórica, los diferentes usos del suelo (pastos, caza, pesca, etc.) se adaptaban a los diversos ambientes del humedal (de agua salobre, dulce, con deseca-

ción estacional, etc.). Centrándonos en el periodo histórico, nuestro objetivo es doble: en primer lugar, caracterizar las formas, los procesos y la evolución geomorfológica de las llanuras de inundación que circundan la antigua laguna costera y, en segundo lugar, analizar la transición entre los ambientes lacustre y fluvial relacionada con el cambio ambiental, con la variabilidad climática y la acción antrópica.

2. Marco regional del área de estudio y Metodología

La llanura costera donde se emplaza la Albufera de Valencia se localiza en la transición entre los sistemas Ibérico y Prebético, afectada por tectónica de tipo extensional durante el periodo Neógeno (Vegas, 1992). Los procesos distensivos compartimentaron la costa en bloques escalonados hacia el litoral, orientando una franja NE-SO de abanicos aluviales pleistocenos. La parte distal de los abanicos se solapa con la llanura aluvial costera formada por llanos de inundación en torno a sistemas de laguna-barrera (restinga-albufera) de época holocena (Figura 1).

Desde una perspectiva dinámica, los procesos costeros están controlados por el oleaje, el viento y el transporte longitudinal de sedimentos. La marea, cuya oscilación media es de unos 15 cm, apenas ejerce influencia. Los sedimentos aportados a la costa desde las desembocaduras fluviales han contribuido a la formación de deltas de oleaje (*wave dominated delta*) poco prominentes en los principales ríos (Turia y Júcar) que enlazan con las series de barrera litoral. Este tipo de delta es común en el área mediterránea debido a la práctica inexistencia de mareas y a la escasa entidad de la mayoría de los sistemas fluviales. Los sedimentos costeros, remodelados básicamente por el oleaje, configuran series de cordones progradantes a ambos lados de las desembocaduras fluviales. A la llanura afluyen los ríos Turia y Júcar, cuyas crecidas extraordinarias han superado los 3.700 m³/s y 15.000 m³/s respectivamente (Carmona y Ruiz, 2000).

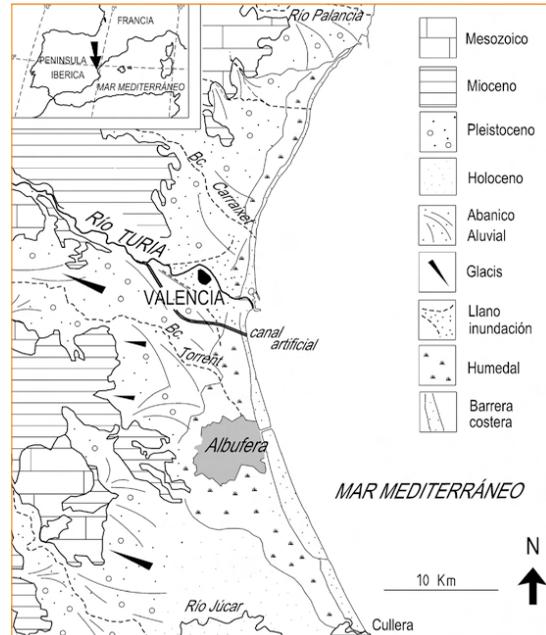


Figura 1: Localización del área de estudio. Rasgos morfológicos de las llanuras aluviales costeras valencianas (Carmona y Ruiz, 2011).

Figure 1: Location of the study area. Morphological patterns of the Valencian coastal plains (Carmona and Ruiz, 2011).

En el Holoceno medio un delta interior común de ambos ríos formaría la base del relleno de la Albufera tras el máximo transgresivo marino holoceno (Rosselló, 1972; Ruiz y Carmona, 2005). Durante los últimos milenios sus aportes fluviales han conformado sendos llanos de inundación en el perímetro continental de la laguna. Entre estos sistemas fluviales, se disponen otros llanos de inundación de pequeñas cuencas, entre las que destaca la del barranco de Torrent-Carroja (ver figura 1). Este barranco desemboca actualmente en el sector más interior del humedal y sus desbordamientos tienen incidencia directa en el aterramiento de la Albufera. El lago tiene en la actualidad una superficie de agua de 25-28 km² y una profundidad máxima en torno a 160 cm (Rosselló, 1995).

La metodología de estudio se ha basado en la integración de técnicas geomorfológicas y de SIG (Sistemas de Información Geográfica) sobre la base del modelo de elevaciones LIDAR

(*Light Detection And Ranging*) de 1 m (TE-RRASIT) y de 5 m (CNIG) de resolución (Figura 2). El estudio geomorfológico se ha realizado mediante identificación de formas y procesos actuales en campo, interpretación de foto aérea en un fotomosaico escala 1:33.000 (foto aérea de 1956 georreferenciada) (Berlanga, 2013) y análisis del microrelieve con *software* Global Mapper. También se ha controlado la evolución del contorno de la laguna así como los cambios de usos y de ambientes naturales mediante la cartografía histórica georreferenciada: “*Mapa de Reposición de mojones de los límites de la Albufera*” (s. XVIII), Mapa hecho por avtto de el Señor Don Joseph Pérez de Mesía Juez de Reposición de mojones de los límites de la Albufera; “*Plano de Valencia y sus alrededores*” (1883) tomado de Llopis y Perdigón (2010); y “*Carta Náutica desde el Cabo Cullera hasta el Grau de Valencia, comprendiendo la Albufera*”, levantada en 1877 por Rafael Pardo de Figueroa y editada por la Dirección de Hidrografía, Madrid en 1880.

Para el análisis del cambio ambiental se realizaron sondeos manuales con sonda Eijkelkamp de entre 1,5 y 3,75 m de profundidad en la zona próxima al Port de Catarroja, cerca del barranco homónimo y su antigua desembocadura al lago de la Albufera. Los sedimentos se analizaron en el Laboratorio de Geomorfología del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia. Se realizaron 3 dataciones C¹⁴ en el Laboratorio Beta Analytic (Florida, USA) (Tabla 1). Toda la información espacial se ha georreferenciado en un CAD (Microstation V8i) sobre una base de cartografía digital vectorial escala 1:5.000. Esta base ha servido para el trazado de la cartogra-

fía geomorfológica, el estudio estratigráfico y el análisis de los cambios.

3. Resultados

3.1. Los rasgos geomorfológicos

Los ambientes geomorfológicos que aparecen en el entorno de una laguna costera difieren según nos situemos cerca del mar, o bien en el sector fluviodeltaico más continental, el medio más complejo según Roy *et al.* (1980) y Roy (1994). El escaso relieve en este tipo de ambientes obliga a utilizar topografía detallada para su estudio. En la imagen del MDT Lidar de 1 m de resolución de la zona que bordea el lago actual, aparece una extensa franja de bajo o nulo gradiente (entre 0 - 1 m snm), compartimentada por suaves prominencias topográficas, de disposición alargada y de mayor pendiente, que corresponden a diques fluviales naturales (Figura 2). Estos diques se han identificado en una antigua desembocadura deltaica del río Turia (Brosquil) y en el barranco de Catarroja. Entre los diques se disponen superficies planas deprimidas varios decímetros que se identifican como cuencas de inundación (Figura 3).

En nuestra zona de estudio, estos ambientes fueron paulatinamente transformados en huertas (desde la Edad Media) y en arrozal (sobre todo desde el siglo XVIII), de manera que en la actualidad es imposible reconocer la diversidad original de los antiguos humedales. La orilla del lago tiene un trazado geométrico y la conforman las parcelas de cultivo de arroz. No obstante, la cartografía histórica georrefe-

Tabla 1: Datos fechas C¹⁴ realizadas en los sondeos La Pipa 2 y La pipa 3.
Table 1: ¹⁴C dates carried out in cores La Pipa 2 and La Pipa 3.

Código Laboratorio	Muestra	Edad Radiocarbono	Edad Radicarbono Convencional	Calibración 2 Sigma
Beta 211348	La Pipa 2 (2,6 m)	840 +/- 50 BP	970 +/- 50 BP	Cal AD 990 a 1180 (Cal BP 960 a 760)
Beta 211349	La Pipa 3 (1,5 m)	230 +/- 40 BP	200 +/- 40 BP	Cal AD 1640 a 1690 (Cal BP 310 a 260 BP)
Beta 211350	La Pipa 3 (2,1)	970 +/- 40 BP	1060 +/- 40 BP	Cal AD 900 a 1030 (Cal BP 1060 a 920 BP)

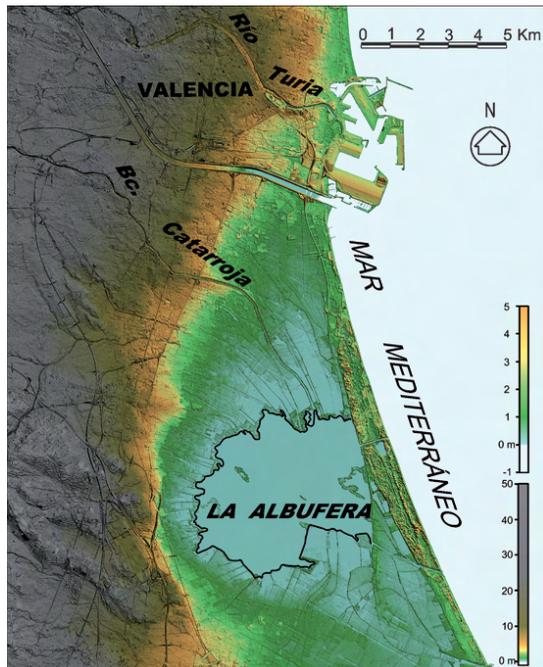


Figura 2: Modelo digital de elevaciones LIDAR (Light Detection And Ranging) de 1 m (TERRASIT).
 Figure 2: Digital Elevation Model LIDAR (Light Detection And Ranging) 1 m (TERRASIT).

renciada proporciona información cualitativa de los ambientes y de la antigua morfología del perímetro de la laguna. En particular destacamos la información de un mapa del margen septentrional de la Albufera del siglo XVIII (*Reposición de mojones de los límites de la Albufera*) (Figura 4). Este mapa, aunque muy pictórico, aporta elementos de medición y georreferenciación suficientes como para realizar un esquema geomorfológico de los ambientes del humedal (Berlanga, 2013). En primer lugar, se observa que representa un perímetro de Albufera muy alejado del lago actual. También representa el lecho natural del barranco de Catarroja que desaparecía o se bifurcaba con morfología multicanal antes de desembocar en la Albufera. En el sector septentrional traza la forma alargada del dique aluvial del Brosquil que corresponde a una antigua desembocadura deltaica del Turia. Por otro lado, en el humedal que bordea la Albufera se cartografiaban gran variedad de lagos interconectados entre sí (con someras láminas de agua), rodeados de extensas ciénagas (con

expresión gráfica de vegetación palustre). Finalmente, en el contorno del lago muestra un perímetro dentado, en el que alternan progradaciones alargadas denominadas “Puntas” (en las desembocaduras fluviales y de acequias) y entrantes denominados “Rincones”.

Otros detalles morfológicos los proporciona una de las hojas del “Plano de Valencia y sus alrededores” del año 1883 (Llopis y Perdigón, 2010), donde se observa que, a finales del siglo XIX, el cultivo de arrozal se extendía por

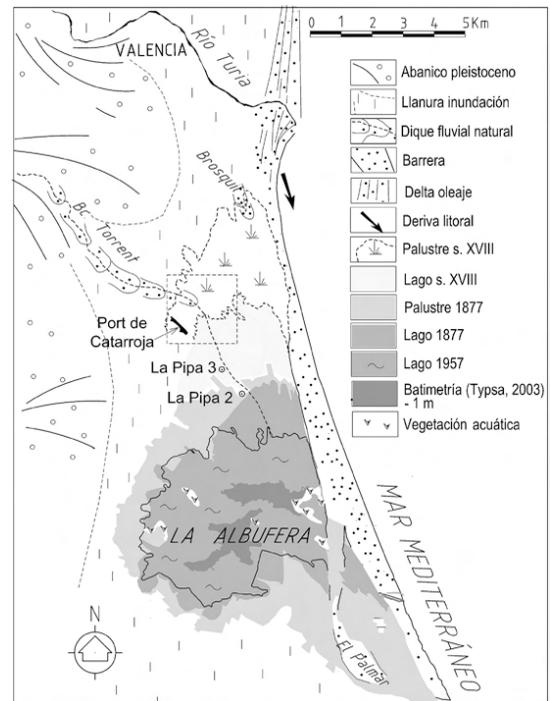


Figura 3: Geomorfología del sistema laguna-barrera de la Albufera de Valencia. Los datos de la extensión de la Albufera y humedal en 1877 (en gama de grises) corresponden a la georreferenciación de la Carta náutica de 1877 (Ruiz y Carmona, 2005). El borde de la laguna y humedal del s. XVIII corresponde a la restitución del “Mapa de reposición de mojones de los límites de la Albufera”. El área del recuadro corresponde a la ubicación de un detalle del “Plano de Valencia y sus alrededores” del año 1883 (Berlanga, 2013).
 Figure 3: Geomorphological map of the coastal barrier lagoon of the Albufera of Valencia. The Albufera of 1877 correspond to georeferencing of the Sea Chart of 1877 (Ruiz and Carmona, 2005). The lagoon of 18th century corresponds to “Mapa de reposición de mojones de los límites de la Albufera”. The boxed area corresponds to a detail of “Plano de Valencia y sus alrededores” (1883) (Berlanga, 2013).

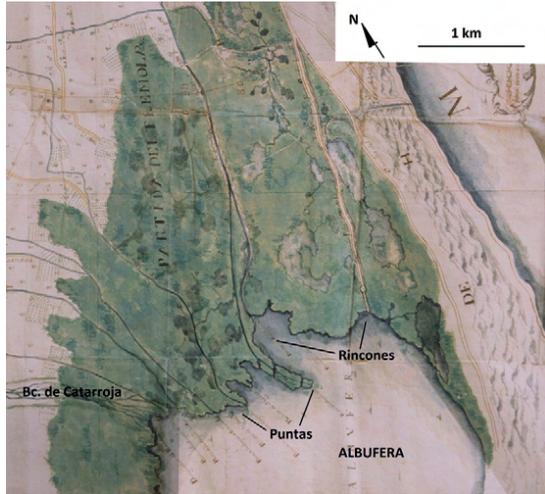


Figura 4: Detalle mapa: Reposición de mojones de los límites de la Albufera (siglo XVIII). Cartoteca Universitat de València.

Figure 4: Map detail "Reposición de mojones de los límites de la Albufera" (18th century). Map Library of the University of València.

un área que en la centuria anterior era lagunar y el barranco de Catarroja desaparecía en una pequeña ciénaga interior en los arrozales que bordean la Albufera (Figura 5). No obstante, con objeto de evacuar las crecidas y preservar las parcelas de cultivo, los agricultores canalizaron la escorrentía del barranco entre diques artificiales hasta el lago durante las primeras décadas del siglo XX.

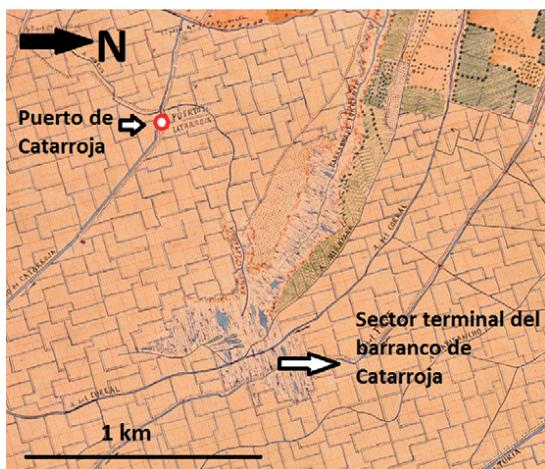


Figura 5: Detalle Plano de Valencia y sus alrededores (1883) en Llopis y Perdígón (2010).

Figure 5: Detail "Plano de Valencia y sus alrededores" (1883) in Llopis y Perdígón (2010).

Por su parte, la Carta Náutica de la Albufera de 1877 muestra que el perímetro lagunar se había reducido considerablemente como consecuencia de la expansión del arrozal en el humedal (Figura 6). Esta cartografía es muy precisa en la batimetría del lago y en la delimitación de sus orillas, conformadas por parcelas de arrozal. También traza con gran precisión la antigua flecha arenosa del Palmar (hacia el sur) que emergía como una estrecha y alargada franja arenosa en seco en el siglo XVIII (Ruiz y Carmona, 2005).

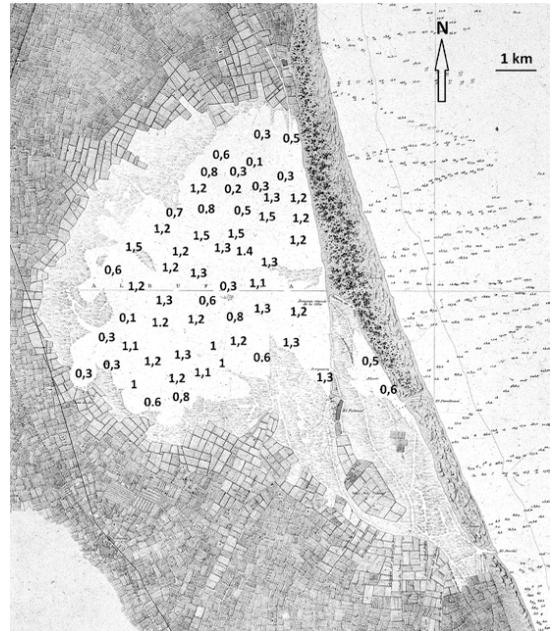


Figura 6: Fragmento de la Carta Náutica de 1877 de Rafael Pardo de Figueroa. Profundidades laguna en metros (redibujado).

Figure 6: Fragment of Nautical Chart 1877 (Rafael Pardo de Figueroa). Lagoon depths in meters (redrawn).

3.2. Los procesos fluviales: el aporte sedimentario en crecidas y desbordamientos

En la actualidad, los desbordamientos de los principales sistemas fluviales (Turia y Júcar) que afectan al lago de la Albufera están muy restringidos por embalses y encauzamientos. No obstante, durante las crecidas históricas era habitual que la inundación de estos

dos ríos se solapase en una lámina continua de agua que abarcaba todo el humedal transformado en época histórica (Carmona y Ruiz, 2000; Mateu, *et al.*, 2007; Mateu *et al.*, 2012) (Figura 7). Trabajos de fotointerpretación de la inundación de octubre de 1957 en la llanura de Valencia han permitido delinear con precisión las direcciones de los flujos desbordados desde el río Turia y los barrancos de Catarroja, Beniparrell y la Rambleta hacia el sector septentrional del humedal (Ruiz y Carmona, *en prensa*) (Figura 7). Por lo que respecta a los aportes sedimentarios, un desbordamiento reciente en octubre del año 2000 permitió caracterizar los procesos de inundación de una crecida extraordinaria del barranco de Catarroja (Figura 8) (Ruiz y Carmona, 2004). Durante los trabajos de campo posteriores a dicha inundación se identificaron flujos *overbank* y *cascading* y numerosas roturas de los diques artificiales construidos en las orillas del barranco, todo ello en el área de su desembocadura durante el siglo XVIII. Los flujos concentrados que salieron por estas roturas depositaron gran cantidad de sedimentos sobre el arrozal. Se estimó el volumen de sedimento (arenas,

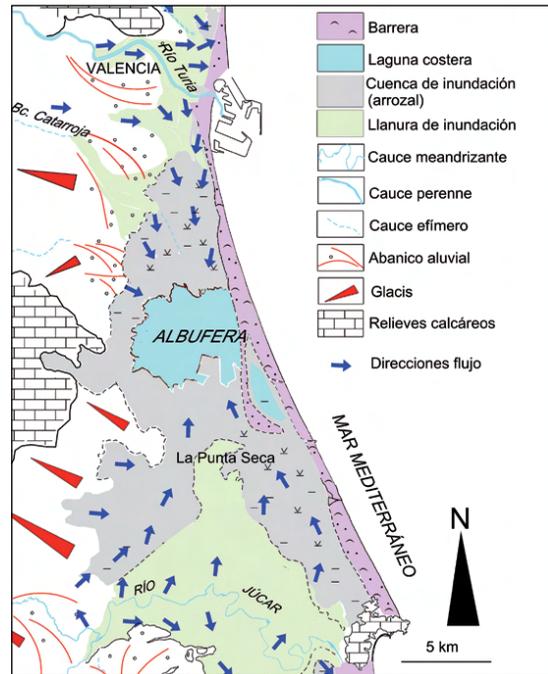


Figura 7: La cuenca de inundación del entorno de la Albufera. Las flechas indican las direcciones del flujo durante los desbordamientos (modificado de Mateu *et al.*, 2007).

Figure 7: The flood basin around the Albufera. The arrows indicate the flow directions during the overflow (modified from Mateu *et al.*, 2007).

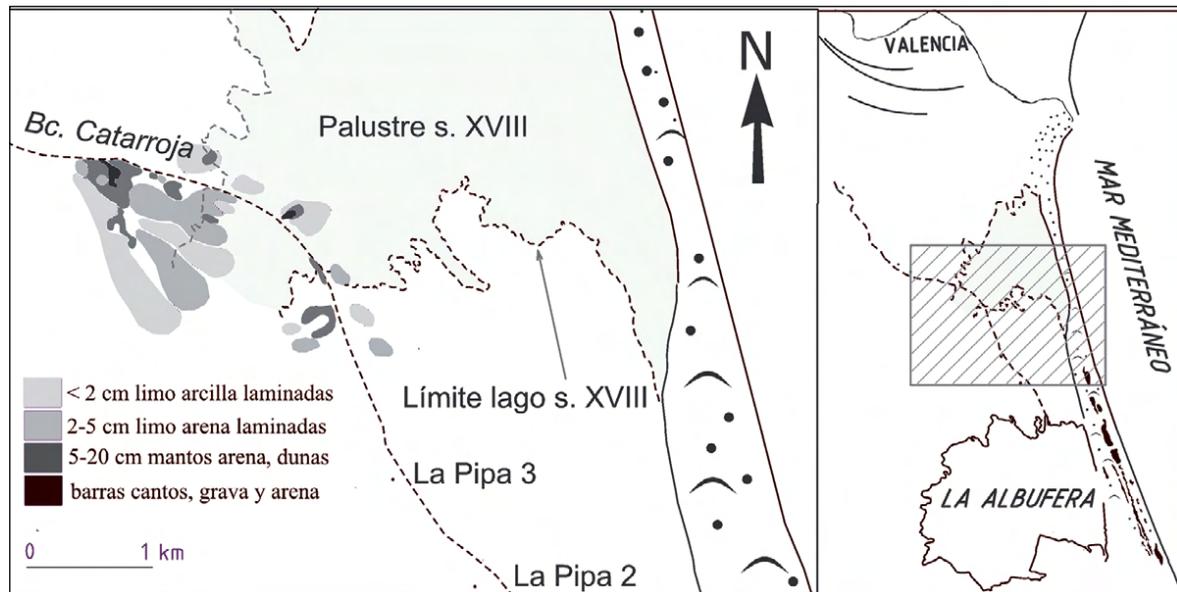


Figura 8: Sedimentación del episodio de desbordamiento del barranco de Catarroja en el entorno de la Albufera (crecida del año 2000) (Ruiz y Carmona, 2004).

Figure 8: Sedimentation for the flood episode of the Catarroja River around the Albufera (flood year 2000) (Ruiz y Carmona, 2004).

limo y arcilla) aportado durante el episodio en torno a 50.000 m³ en 70 hectáreas de superficie y se reconoció la transmisión de gran cantidad de limo, arena fina y arcilla (en forma de extensas capas con estratificación laminada y localmente conformando dunas) a distancias superiores a los 250 m del cauce artificial.

3.3. El cambio ambiental en el registro sedimentario

Se han realizado 6 sondeos manuales en el arrozal, en torno a la antigua zona de desembocadura del barranco de Catarroja, en el área ocupada por el lago en el siglo XVIII. El registro sedimentario identificado abarca una cronología de varios milenios del Holoceno. Presentamos en este epígrafe los datos del techo de la secuencia, a partir de los análisis de dos de los sondeos (La Pipa 2 y la Pipa 3) (Figuras 3 y 9). Se distinguen 3 ambientes (Figura 9):

- En la base aparece un nivel de facies arcillo limosas de tono gris claro, correspondiente a un ambiente de lago salobre con abundantes conchas de *Cerastoderma Glaucum* y *Abra ovata*. Se dataron muestras mediante ¹⁴C en el techo de esta secuencia lagunar, a 2,1 m (La Pipa 3) y 2,6 m (La Pipa 2) de profundidad, los resultados fueron de 1060 a 920 años cal BP y de 960 a 760 años cal BP respectivamente (Tabla 1). Las cotas de superficie en ambos sondeos son muy similares (en torno a 1 m snm) y el hecho de que la edad obtenida en Pipa 2 (más profunda) sea más moderna que la más somera de Pipa 3 puede deberse a incremento en las tasas de sedimentación hacia el depocentro de la Albufera.
- En el nivel intermedio aparecen facies palustres de limos y arcillas de color beige-gris con abundantes gasterópodos de agua dulce (*Bythinia tentaculata* y *Lymnaea*) y restos vegetales. Se dató una muestra a 1,5 m de profundidad (La Pipa 3) con el resultado de 310 a 260 años cal BP, lo que atestigua que, en efecto, dicha

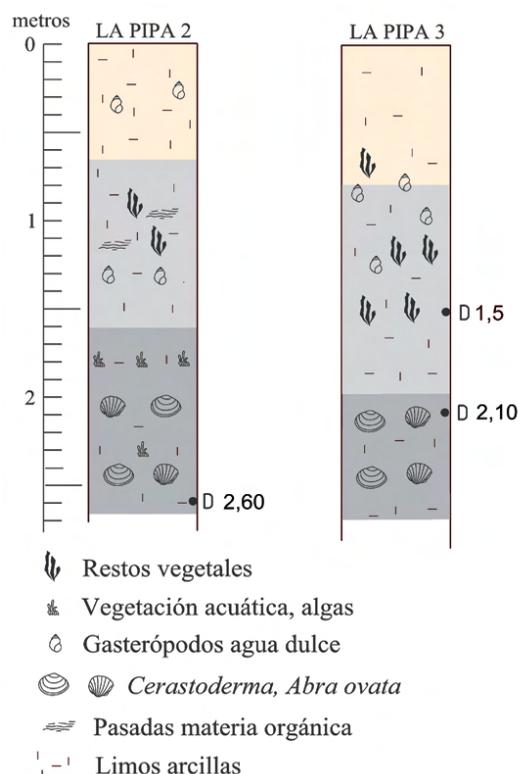


Figura 9: Registros sedimentológicos de los sondeos de la Pipa 2 y la Pipa 3. Ubicación en figuras 3 y 8.

Figure 9: Sedimentological records of soundings La Pipa 2 y La Pipa 3. Location in figures 3 and 8.

zona todavía era un ambiente lacustre, aunque ya de agua dulce, en el siglo XVIII.

- El nivel superior corresponde a limos arcillosos de inundación de color marrón claro grisáceo. A techo de la secuencia aparece el suelo agrícola artificial del arrozal con potencia de pocos decímetros.

3.4. La incidencia de la Pequeña Edad del Hielo y la acción antrópica directa

Aterramientos, bonificaciones y derivación de agua de los cauces hacia la llanura deltaica son procesos antrópicos directos, claves en el cambio ambiental histórico del humedal. El desarrollo paulatino de los regadíos en el entorno de la Albufera desde finales del siglo XV y la expansión del arrozal en los dos últimos

siglos implicaron un cambio sustancial en el balance hídrico del humedal que tuvo gran incidencia en la transformación del lago en un sistema de agua dulce. Grandes volúmenes de agua eran derivados cada año en dirección a la Albufera, generándose un enorme volumen de “sobrantes” que cambiaría definitivamente el carácter hídrico del primitivo ecosistema (Sanchis, 2001).

Por otro lado y según destaca la documentación histórica, algunos procesos naturales incidieron en la misma dirección, pues durante la Pequeña Edad del Hielo (siglos XIV-XIX) se constata una frecuencia de desbordamientos mucho mayor que la actual en las llanuras de inundación costeras de los ríos Turia y Júcar (Ruiz *et al.*, en prensa). Durante algunas décadas (1590, 1610, 1670, 1770-90, 1850-1900) las frecuentes inundaciones aceleraron los procesos geomorfológicos y desencadenaron un cambio ambiental en el lago de la Albufera y en las llanuras de inundación de ambos ríos. Estos procesos se refieren, por un lado, a un notable ascenso de los niveles freáticos que debió incidir notablemente en el proceso de dulcificación del lago de la Albufera (primera mitad del siglo XVII) y, por otro lado, en el aporte extraordinario de sedimentos que producía un rápido aterramiento de cauces y llanos de inundación. En efecto, la carga gruesa transferida durante los repetidos desbordamientos elevaba el lecho de los cauces al tiempo que reducía su capacidad. A ello hay que sumar un proceso reiteradamente relatado en las crónicas de época moderna (siglos XVII-XVIII), referido al rápido crecimiento de la vegetación en los ámbitos palustres y lacustres de la Albufera (Sanchis, 2001; Ruiz *et al.*, en prensa).

4. Discusión y conclusiones

La evolución secular de la Albufera de Valencia y su llanura contigua está determinada por varios tipos de procesos naturales: las inundaciones, la progradación fluvial, la migración lateral de los cauces y la sedimentación orgánica. La llanura que bordea el lago

está expuesta a inundaciones fluviales y sus procesos son similares a los de un llano de inundación de gradiente casi nulo. Durante los desbordamientos la carga más gruesa se deposita cerca del cauce y el material más fino en las partes distales de topografía más baja, incluyendo el fondo del lago. Durante la inundación de octubre del año 2000, los derrames depositados junto a las roturas de los diques del barranco de Catarroja, dejaron acumulaciones de arena entre 21 cm de potencia media en zonas proximales y 2 cm en zonas distales (Ruiz y Carmona, 2004). La tasa de sedimentación o acreción es máxima junto a las orillas y decrece de forma exponencial con la distancia al cauce, lo que origina, a lo largo de décadas o siglos, relieve en forma de diques aluviales en la llanura de inundación. En cambio, las partes más bajas de las llanuras de inundación que bordean un lago son lisas o con poco relieve y suelen estar mal drenadas, razón por la cual aparecen pantanos, turberas y lagunas, de manera que los sedimentos de derrames y diques progradan en cuerpos de agua lagunares (Bridge, 2003). Así el sistema de llanura de inundación fluvial más continental conecta con crestas deltaicas o “puntas” en ámbito lagunar. Se ha constatado que estas progradaciones tienen nombre propio en la cartografía histórica (Punta del Turia y Punta Seca o *Llonga* del Júcar, al sur de la Albufera) (Ruiz y Carmona, 2005), y muchas otras “puntas” menores aluden a las superficies aluviales construidas por la sedimentación de las acequias. En consecuencia, la progradación y el desvío de las desembocaduras fluviales pueden acelerar la colmatación de diferentes sectores de la laguna. Como ejemplo, la desembocadura medieval del río Turia en la zona de la Punta d’En Silvestre (Ruiz y Carmona, 1999), unos tres kilómetros hacia el sur de la actual, supondría aportes sedimentarios mucho más elevados hacia el sector septentrional de la Albufera y tasas de acreción mucho más elevadas durante este periodo. Por el contrario, en zonas de la laguna más alejadas de los cauces las tasas de acreción son mucho más bajas. Así se deduce de las dataciones de niveles medievales y modernos del sondeo la Pipa 3. Para los 600

mm acumulados entre las dos muestras dadas en este sondeo puede estimarse una tasa de acreción de entre 0,8 y 1,14 mm/año (Tabla 2). Durante este periodo se produjo el cambio de laguna de agua salobre a dulce y se aceleró la acreción por el crecimiento de la vegetación palustre en las márgenes de la Albufera. El techo de la secuencia (1,5 m) refleja una rápida colmatación por aterramientos artificiales asociados al arrozal y por el incremento de los aportes fluviales desde el barranco de Catarroja. Por su parte, Sanjaume *et al.* (1992) dan una tasa de acreción aún más baja de 0,57 mm/año en el interior del lago actual entre el 1110 BP y la actualidad.

De esta manera y siguiendo el modelo de Suter (1994), la llanura deltaica estaría subdividida en dos sectores, la parte alta o superior de ambiente esencialmente fluvial y la baja o inferior de ambiente lacustre o palustre. La progradación de las puntas o diques aluviales determina una evolución progresiva hacia la continentalización, transformando paulatinamente el lago-humedal en un llano de inundación fluvial. El proceso se inicia con la fragmentación y compartimentación del ámbito lagunar y el aislamiento de áreas deprimidas (cuencas de inundación) que con mayor o menor grado de colmatación dan lugar a la aparición de una gran diversidad de humedales de transición. Este modelo geomorfológico evolutivo o de cambio de laguna a llanura de inundación sigue las pautas morfológicas establecidas en costas micromareales, propuestas por Roy *et al.* (1980; 1994), Roy (1994) y Cooper (1994), que puede ser analizado con diversas resoluciones (temporales y espaciales). También concuerda con el descri-

to a escala holocena en la llanura de inundación deltaica del río Júcar, donde el modelo se completa con la progradación de los deltas de oleaje y las barreras costeras (Ruiz, 2002; Ruiz y Carmona, 2005).

Finalmente, hay que resaltar que las variables naturales del modelo geomorfológico acusan la influencia del cambio climático y/o la acción antrópica, con incidencia en las tasas de aporte sedimentario, también en la definición de biofacies dulces o salobres y en el sistema hídrico. En nuestro caso, tal y como indican los sondeos, hacia el año 1000 DC el lago era todavía salobre, pero entre la edad Moderna y Contemporánea se había conformado un sistema dulceacuícola y el área lagunar había disminuido de manera considerable. Los aportes de agua dulce y sedimentos procedentes tanto del regadío como de las recurrentes inundaciones de los ríos Turia y Júcar durante la Pequeña Edad del Hielo aceleraron el cambio ambiental de la Albufera.

Agradecimientos

Agradecemos la atenta revisión y sugerencias efectuadas por el Dr. Rafael Baena, un revisor anónimo y el editor de la revista el Dr. Pedro Huerta. Todas ellas han contribuido a mejorar notablemente la calidad del trabajo. Esta investigación es una contribución al proyecto: CSO2012-32367 Procesos y cambios hidromorfológicos en llanuras de inundación costeras mediterráneas ante la variabilidad climática y la acción humana. Una aproximación multiescalar. Dirección General de Investigación Científica y Técnica.

Tabla 2: Datos correspondientes al cálculo de tasas de sedimentación en el sondeo La Pipa 3.
Table 2: Data for calculating sedimentation rates in La Pipa 3 core.

SONDEO LA PIPA 3	PROFUNDIDAD (mm)	EDAD MAXIMA (años)	EDAD MINIMA (años)	PROMEDIO (años)
	1500	310	260	285
	2100	1060	920	990
DIFERENCIA	600	750	660	705
TASA DE SEDIMENTACIÓN mm/año				
Tramo 2,1-15 m		0,80	1,14	0,94

Referencias

- Albarracín, S.; Alcántara, J.; Barranco, A.; Sánchez, M.J.; Fontán, A.; Rey, J. (2012). Seismic evidence for the preservation of several stacked Pleistocene coastal barrier/lagoon systems on the Gulf of Valencia continental shelf (western Mediterranean). *Geo-Marine Letters An International Journal of Marine Geology*, 33 (2-3), 217-223.
- Alcántara, J.; Albarracín, S.; Montoya, I.; Flor, G.; Fontán, A.; Rey, J. (2012). An indurated Pleistocene coastal barrier on the inner shelf of the Gulf of Valencia (western Mediterranean): evidence for a prolonged relative sea-level stillstand. *Geo-Marine Letters An International Journal of Marine Geology*, 33 (2-3), 209-216.
- Bardají, T.; Goy, J.L.; Zazo, C.; Hillaire-Marcel, C.; Dabrio, C.J.; Cabero, A.; Ghaleb, B.; Silva, P.G.; Lario, J. (2009). Sea level and climate changes during OIS 5e in the Western Mediterranean. *Geomorphology*, 104 (1/2), 22-37.
- Berlanga, M.J. (2013). *El cambio ambiental en el margen septentrional de la Albufera de Valencia*. Tesis de Máster inédita. Máster de Postgrado de la Universitat de València: Técnicas para la gestión del Medio Ambiente y del Territorio. Valencia, 90 pp. + anexo 11 mapas.
- Blázquez, A. M. (2005). *Evolución cuaternaria de l'Albufera d'Elx: Paleoaambientes y foraminíferos fósiles*. *Memorias del Museo Paleontológico de Elche*, 1. Museo Paleontológico de Elche Alicante (MUPE 1), 334 pp.
- Blázquez, A. M.; Ferrer, C. (2003). L'Albufereta d'Alacant: foraminíferos y evolución paleoambiental. *Cuaternario y Geomorfología*, 18, 55-72.
- Blázquez, A. M.; Usera, J. (2010). Palaeoenvironments and Quaternary foraminifera in the coastal lagoon of Elx (Alicante, Spain). *Quaternary International*, 221, 68-90.
- Bridge, J. (2003). *Rivers and floodplains. Forms, Processes, and Sedimentary Record*. Ed. Blackwell, 491 pp.
- Carmona, P.; Ruiz, J.M. (2000). Las inundaciones de los ríos Turia y Xúquer. En: *Serie Geográfica 9. Las inundaciones en España en los últimos veinte años. Una perspectiva geográfica*. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 49-69.
- Carmona, P.; Ruiz, J.M. (2011). Historical morphogenesis of the Turia River coastal flood plain in the Mediterranean littoral of Spain. *Catena*, 86, 139-149.
- Carter, R.W.G.; Woodroffe, C.D. (eds) (1994). *Coastal evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press, 517 pp.
- Cooper, J.A.G. (1994). Lagoons and microtidal coasts, In: *Coastal Evolution* (R.W.G. Carter; C.D. Woodroffe, eds). Cambridge University Press, 219-265.
- González-Villanueva, R.; Pérez-Arlucea, M.; Alejo, I. (2009). Climatic-related factors controlling the sedimentary architecture and sequenciality of a barrier lagoon complex in the context of the Holocene transgression. *Journal of Coastal Research*, 56, 627-631.
- Grove, A.T.; Rackham, O. (2001). *The nature of Mediterranean Europe an Ecological History*. Yale University Press, London, 334 pp.
- Llopis, A.; Perdígón, L. (2010). *Cartografía histórica de la ciudad de Valencia: (1608-1944)*. Universitat Politècnica de València, Valencia, 127 pp.
- Marco-Barba, J.; Holmes, J.; Mesquita, F.; Miracle, M.R. (2013). The influence of climate and sea-level change on the Holocene evolution of a Mediterranean coastal lagoon: Evidence from ostracod palaeoecology and geochemistry. *Geobios*, 46, 409-421.
- Mateu, J.F.; Carmona, P.; Ruiz, J.M. (2007). *Las llanuras costeras de la Confederación Hidrográfica del Júcar: los ambientes geomorfológicos de las desembocaduras fluviales*. Informe para la Confederación Hidrográfica del Júcar, Valencia, 39 pp + gráficos.
- Mateu, J.F.; Ruiz, J.M.; Portugués, I.; Carmona, P.; Bonache, X.; Marco, J.B. (2012). Materiales inéditos para el estudio de la riada del Turia en Valencia (Octubre de 1957). *Cuadernos de Geografía*, 91-92, 181-196.
- Pirazzoli, P.A. (2005). A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight Late Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews* 24, 1989-2001.
- Rosselló, V.M. (1972). Los ríos Júcar y Turia en la génesis de la Albufera de Valencia. *Cuadernos de Geografía*, 11, 7-25.
- Rosselló, V.M. (1995). *L'Albufera de València*. Publicaciones de l'Abadía de Monserrat. Sèrie il·lustrada, 11, Barcelona, 190 pp.
- Roy, P.S., Thom, B.G., Wright, L.D. (1980). Holocene sequences on an embayed high energy coast: an evolutionary model. *Sedimentary Geology*, 26, 1-19.
- Roy, P.S. (1994). Holocene estuary evolution-stratigraphic studies from southeastern Australia.

- In: *Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*. SEPM Special Publication nº 51 (Society for Sedimentary Geology), 241-263.
- Roy, P.S., Rowell, P.J., Ferland, M.A., Thom, B.G., (1994). Wave-dominated coasts. In: *Coastal Evolution* (R.W.G. Carter; C.D Woodroffe, eds). Cambridge University Press, 121-186.
- Ruiz, J.M. (2002). *Hidrogeomorfología del llano de inundación del Júcar*. Tesis Doctoral inédita. Departamento de Geografía, Universitat de València, 201 pp. + gràfics.
- Ruiz, J.M.; Carmona, P. (1999). La desembocadura del Guadalaviar en época medieval: progradación deltaica y avulsión. En: *Geoarqueología i Quaternari litoral*, Memorial M^a Pilar Fumanal, Universitat de València, Departament de Geografia, 245-257.
- Ruiz, J.M.; Carmona, P. (2004). Flujos y sedimentos de inundación (octubre del 2000) en el entorno de la Albufera de Valencia. *Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología*, Toledo, 59-67.
- Ruiz, J.M.; Carmona, P. (2005). La llanura deltaica de los ríos Júcar y Turia y la Albufera de Valencia: En: *Geomorfología litoral*. Homenaje a V.M. Rosselló (E. Sanjaume; J.F. Mateu, eds). Departament de Geografia, Universitat de València, 399-419.
- Ruiz, J.M.; Carmona, P.; y Pérez Cueva, A. (en prensa). Flood frequency and seasonality of the Jucar and Turia Mediterranean Rivers during the "Little Ice Age". *Méditerranée*, Aix en Provence, France.
- Ruiz, J.M.; Carmona, P. (en prensa). Fotointerpretación y cartografía de la inundación de Octubre de 1957 en la llanura costera de Valencia. En: *La riada del Turia de 1957. Una revisió del suceso hidrológico* (J.F. Mateu; J.B. Marco, eds.). Universidad de Valencia.
- Sanchis, C. (2001). *Regadiu i canvi ambiental a la Albufera de València*. Publicacions de la Universitat de València. Departament de Geografia. Centre Valencià d'Estudis del Reg, 332 pp.
- Santiesteban C.; Marco, J.; Miracle, M.R. (2009). La evolución Holocena de la Albufera de Valencia. *Geogaceta*, 46, 99-102.
- Sanjaume, E.; Segura, F.; López García, M.J.; Pardo, J.E. (1992). Recent sedimentation in the Valencia Lagoon: Preliminary results. *Journal of Coastal Research*, 8 (3), 668-698.
- Suter, J.R. (1994). Deltaic coast. In: *Coastal Evolution* (R.W.G Carter; C.D Woodroffe, eds). Cambridge University Press, 87-120.
- Torres, T.; Ortiz, J.E.; Martín-Sánchez, D.; Arribas. I.; Moreno, L.; Ballesteros, B.; Blázquez, A.; Domínguez, J.A.; Rodríguez Estrella, T. (2013). The long Pleistocene record from the Pego-Oliva marshland (Alicante-Valencia, Spain) *Geological Society, London, Special Publication*. Jul, 22, 2013. doi 10.1144/SP388.2
- TYPSA (2003). *Batimetría actual del lago de l'Albufera*. Informe Typsa, E 1:20.000. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- Vegas, R. (1992). The Valencia trough and the origin of the western Mediterranean basins. *Tectonophysics*, 203 (1/4), 249-261.
- Viñals, M.J., (1996). El marjal Pego Oliva *Evolución geomorfológica*. Generalitat Valenciana Conselleria de Agricultura y Medio ambiente. Valencia, 352 pp.
- Viñals, M.J.; Fumanal, P. (1995). Quaternary development and evolution of the sedimentary environments in the Central Mediterranean Spanish coast. *Quaternary International*, 29 (30), 119-128.
- Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J.; Lario, J.; Mercier, N.; Bardají, T.; Silva, P.G.; Borja, F.; Cabero, A. (2008). Coastal archives of palaeoenvironmental changes along the Mediterranean-Atlantic area during the last 15 Kyr. *Quaternary International*, 181, 72-87.