

El sistema de terrazas del valle bajo del Guadalquivir y su relación con la Formación Arcillas de Marismas

The terraces system of the lower Guadalquivir valley and its relation with the Marismas Clay Formation

Ángel Salazar¹, Juan Cruz Larrasoña² y María del Pilar Mata¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera 1, Tres Cantos, 28760 Madrid. a.salazar@igme.es; p.mata@igme.es

² Instituto Geológico y Minero. C/Manuel Lasala 44, 9B, 50006 Zaragoza. jc.larra@igme.es

ABSTRACT:

The aim of this study is to set-up the geometric and temporal relationships between the Marismas Clay Formation and the fluvial terraces system of the lower Guadalquivir valley. In order to establish this correlation, the data provided by the geological - geomorphological maps of the area have been combined with the data of the lithological sections of boreholes. The gravels of terrace T13 (Middle to Upper Pleistocene) were buried by the Holocene fine grain alluvials as a consequence of the Flandrian transgression at the city of Seville. These gravels have continuity below the recent alluvials until near Coria del Río. This Pleistocene gravel alluvial level must be equivalent to the main alluvial intercalation existing in the Marismas Clay Formation in the Lebrija hydrogeological borehole, both being of the same age. The lower section of the Marismas Clay Formation (Middle Pleistocene) in the Lebrija borehole, which would have been formed in conditions of high sea level (MIS 6-7), would be related to the T12 or T11 terraces.

Key-words: lower Guadalquivir basin, fluvial terraces, Marismas Clay Formation, Quaternary, transgression

Geogaceta, 67 (2020), 115-118
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La Formación Arcillas de Marismas (Fm. Marismas) forma parte del relleno sedimentario final de la cuenca del Guadalquivir (Fig. 1), son depósitos relacionados con las últimas transgresiones marinas cuaternarias y se superponen a sedimentos aluviales previos, pertenecientes a la Formación Arcillas y Gravas de Lebrija (Fm. Lebrija, Plioceno sup. - Pleistoceno inf.). Ambas formaciones fueron definidas y descritas por Salvany *et al.* (2011), principalmente a partir de datos de sondeos hidrogeológicos.

La Fm. Marismas tiene edades de hasta 9,6 ka BP (Holoceno) en su mitad superior y edades fuera del rango del radiocarbono, pero posteriores a la reversión Brunhes-Matuyama, en su mitad inferior. Nuevas dataciones me-

diantes racemización de aminoácidos en valvas de ostrácodos han mejorado el modelo de edad de la Fm. Marismas e indican que su mitad inferior es del Pleistoceno Medio (Mata *et al.*, 2016). Por otro lado, en el valle bajo del Guadalquivir existe un complejo de terrazas escalonadas cuyos sedimentos constituyen formaciones superficiales de cronología similar a la Fm. Marismas (Baena Escudero y Díaz del Olmo, 1993).

El objetivo de este trabajo es establecer las relaciones geométricas y temporales entre la Fm. Marismas y los niveles de terrazas presentes en el valle bajo del río Guadalquivir.

Metodología

Las terrazas fluviales del Guadalquivir constituyen unidades infor-

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es establecer las relaciones geométricas y temporales entre la Formación Arcillas de Marismas (Fm. Marismas) y las terrazas fluviales del bajo Guadalquivir. Para establecer dicha correlación, se han combinado los datos proporcionados por la cartografía geológica - geomorfológica con los datos litológicos de sondeos. Las gravas de la terraza T13 (Pleistoceno Medio a Superior) fueron sepultadas por los aluviales de grano fino del Holoceno como consecuencia de la transgresión flandriense a la altura de Sevilla. Estas gravas tienen continuidad bajo los aluviales recientes hasta Coria del Río. Este nivel de gravas aluviales debe ser el equivalente a la intercalación aluvial principal existente en la Fm. Marismas en el sondeo Lebrija, siendo ambas de la misma edad. El tramo inferior de la Fm. Marismas (Pleistoceno Medio) en el sondeo Lebrija, que se habría formado en condiciones de nivel del mar alto (MIS 6-7), estaría en relación con la formación de las terrazas T12 o T11.

Palabras clave: cuenca del bajo Guadalquivir, terrazas fluviales, Formación Arcillas de Marismas, Cuaternario, transgresión

Fecha de recepción: 01/07/2019
Fecha de revisión: 17/10/2019
Fecha de aceptación: 22/11/2019

males morfoestratigráficas (Frye y Willman, 1962) que se establecen por el desplazamiento y encajamiento sucesivo del sistema sedimentario. Las técnicas cartográficas son la base para la definición de las terrazas y para establecer sus relaciones cronológicas básicas (Salazar, 2017; en prensa). Por el contrario, la Fm. Marismas es una unidad litoestratigráfica formada por acumulación de sedimentos, que está relacionada genética y temporalmente con las terrazas, pero definida y estudiada a partir de secciones procedentes de testigos de sondeos (Salvany *et al.*, 2011).

Para establecer la correlación entre ambos tipos de unidades se han combinado los datos proporcionados por la cartografía geológica - geomorfológica y la interpretación litológica de sondeos.

Las terrazas del bajo Guadalquivir

El encajamiento del río Guadalquivir en los sedimentos neógenos de la cuenca del mismo nombre ha dado lugar a un sistema de hasta 13 niveles de terrazas no-pareadas (*unpaired*), cuyos niveles más altos se localizan hacia el borde bético y que señalan un desplazamiento total del río hacia el borde pasivo de la Cuenca de unos 20 km (Baena Escudero y Díaz del Olmo, 1993; Moral *et al.*, 2013). Los niveles más antiguos y elevados solamente se conservan en el sector del valle situado aguas arriba de la confluencia con el río Corbones (Carmona). Aguas abajo, en la zona de estudio (Fig. 1), tan solo aparecen de 4 a 6 niveles de terrazas (Moral *et al.*, 2013).

En la localidad de La Rinconada, situada a 85 km de la desembocadura del río en el océano Atlántico (perfil A-A', Figs. 1 y 2), aparecen representadas las terrazas denominadas T10 (o terraza de Saltillo) hasta la T13 (llamada Brenes), y cuyas edades son Pleistoceno Medio a Superior, así como una extensa llanura aluvial del Holoceno (Baena Escudero y Díaz del Olmo, 1993; Caro *et al.*, 2011). Todas las terrazas y el aluvial son del tipo solapado, tienen un espesor de sedimentos de entre 14 a 16 m y se apoyan discordantes sobre depósitos marinos del Neógeno.

Este sistema de terrazas presenta dos particularidades. La primera es que la granulometría de los sedimentos disminuye hacia los niveles más bajos, pasando de estar constituidos por cantos y gravas arenosas en las terrazas más altas (T10 y T11), a gravas, arenas con gravas y arenas en las terrazas bajas T12 y T13. Los aluviales recientes tienen granulometría aún menor, están formados por limos y arcillas, con un *lag* basal de unos 2 m de arenas finas y pocas o ninguna grava, como se aprecia en los sondeos geotécnicos S-2, S-7 y S-8, (Adell *et al.*, 1983). Estos aluviones actuales se intercalan con la Fm. Marismas a la que pasan lateralmente hacia al sur (Fig. 2). Al norte de la ciudad de Sevilla, los aluviones se apoyan discordantes sobre lutitas del Neógeno. En resumen, los niveles inferiores y más modernos muestran facies cada vez más distales.

La segunda característica particular es que las terrazas pierden paulatinamente cota con respecto a la llanura aluvial. La terraza más baja T13 se eleva entre +12 m y +14 m sobre el *talweg* del

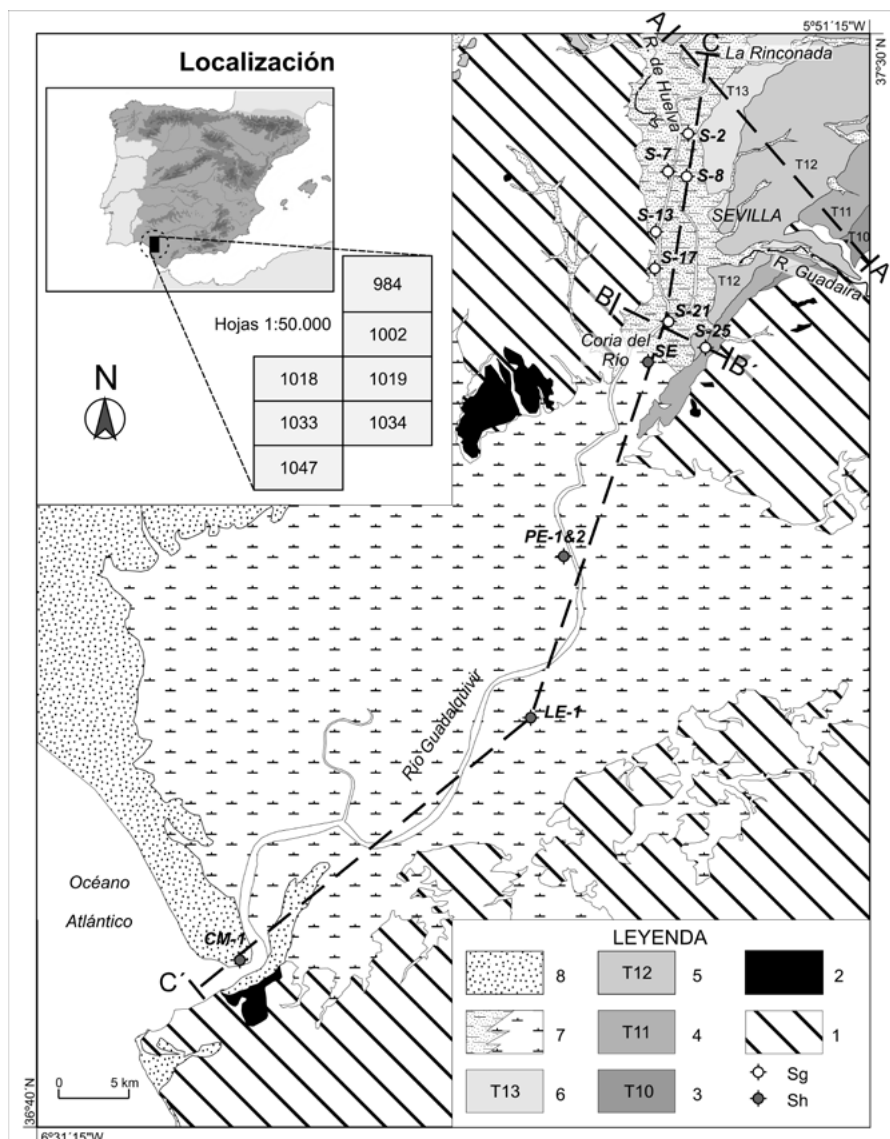


Fig. 1.- Esquema geológico de la zona de trabajo y localización de los perfiles de la Fig. 2. Leyenda 1: Neógeno marino. 2: Plioceno continental (alto nivel aluvial o formación roja). 3: Terraza T10 (Saltillo). 4: Terraza T11 (Tarazona). 5: Terraza T12 (Las Jarillas - San José). 6: Terraza T13 (Brenes). 7: Aluviales actuales del Guadalquivir y Formación Arcillas de Marismas. 8: Depósitos de dunas y costeros (Formación Arenas de Abalarío). Sg: sondeos geotécnicos (S-2, S-7, S-6, S-13, S-17, S-21, S-25). Sh: sondeos hidrogeológicos (SE: El Sequero, LE: Lebrija, PE 1&2: Poblado Escobar 1 y 2, CM: Cuartel de Malandar). Fuentes: Adell *et al.*, 1983; Salvany *et al.*, 2011. Cartografía: GEODE (IGME) y Salazar (en prensa).

*Fig. 1.- Geological outline of the working area showing the location of the sections of Fig. 2. Legend 1: Marine Neogene. 2: Continental Pliocene (high alluvial level or red formation). 3: Terrace T10 (Saltillo). 4: Terrace T11 (Tarazona). 5: Terrace T12 (Las Jarillas - San José). 6: Terrace T13 (Brenes). 7: Alluvial deposits of the Guadalquivir and Marismas Clay Formation. 8: Dunes and seashore deposits (Fm. Abalarío sands). Sg: geotechnical boreholes (S-2, S-7, S-6, S-13, S-17, S-21, S-25). Sh: hydrogeological boreholes (SE: El Sequero, LE: Lebrija, PE 1&2: Poblado Escobar 1 & 2, CM: Cuartel de Malandar). Sources: Adell *et al.*, 1983; Salvany *et al.*, 2011. Cartography: GEODE (IGME) and Salazar (in press).*

río Guadalquivir a la altura de La Rinconada (perfil A-A', Figs. 1 y 2) y disminuye su altura relativa hacia el sur, hasta situarse yuxtapuesta y a la misma cota que la llanura aluvial justo al norte del casco urbano de Sevilla, en el barrio de San Jerónimo, y desaparece dentro del casco urbano (Borja y Barral, 2005; Salazar, en prensa).

Otro tanto ocurre con la terraza T12 (Las Jarillas - San José), cuya altura dis-

minuye desde +25 a +30 m en La Rinconada, hasta tan solo +12 m en Sevilla, y alcanza el mismo nivel que la llanura aluvial del Guadalquivir unos 12 km al sur de la ciudad. La terraza T11 presenta también una disminución progresiva de altura y ambas desaparecen hacia el sur.

La polaridad magnética de las terrazas T10 a T13 es normal, por lo que se puede atribuir todo el conjunto al Pleistoceno Medio y Superior (Baena Escu-

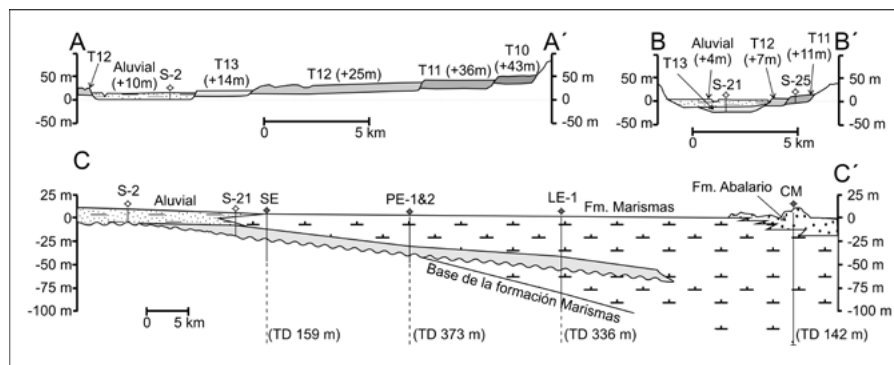


Fig. 2.- Perfiles de las terrazas del Guadalquivir. Ver localización y leyenda en la Fig. 1.
 Fig. 2.- Sections of the Guadalquivir valley terraces. See location and legend in Fig. 1.

dero y Díaz del Olmo, 1993). La terraza T13 es pre-Holocena, probablemente del Pleistoceno Medio a Superior. La terraza T12 es la que ocupa una mayor extensión, e incluye un resto o testigo al oeste de la T13 (en el polígono el Malecón, San José de la Rinconada) y también está presente en el valle del Guadaira y en el interfluvio Guadalquivir - Ribera de Huelva (Salazar, en prensa). La terraza T12 contiene restos de *Elephas (Palaeoloxodon) antiquus* (Calderón, 1888) y de otros mamíferos, abundante industria lítica Achelense y del Paleolítico medio, y ha sido datada por termoluminiscencia con una edad superior a 150 ka (Baena-Escudero *et al.*, 2014), es por tanto atribuible al Pleistoceno Medio. Las terrazas T11 (o Tarazona) y T10 (Saltillo) contienen industria lítica Achelense y se deben atribuir también al Pleistoceno Medio (Baena Escudero y Díaz del Olmo, 1993; Caro *et al.*, 2011).

Formación Arcillas de Marismas

Buena parte del área ocupada por la Fm. Marismas constituyó una albufera o *lagoon* de estuario en tiempos históricos (Gavala, 1936). El sondeo Lebrija (LE-1, Fig. 1) fue realizado en el año 2005 por el Instituto Geológico y Minero de España con objetivos hidrogeológicos (coordenadas UTM, X=755426, Y=4096447, Z=2m, huso 29 ETRS89), siendo su profundidad total de 336 m. El sondeo fue perforado a rotación con recuperación de testigos, salvo los tramos: 49,3 - 52,5 m, 86 - 96 m, 230 - 336 m (perforados con tricono y muestreo de ripios). El testigo cortó al completo la secuencia pliocena y cuaternaria de la zona, incluyendo en su parte superior 79 m de espesor de la Fm. Marismas (Salvany *et al.*, 2011).

La Fm. Marismas se apoya sobre sedimentos aluviales de la Fm. Lebrija, de edad Plioceno sup. - Pleistoceno inf.

determinada por magnetoestratigrafía (Salvany *et al.*, 2011). La Fm. Marismas en el sondeo Lebrija tiene polaridad magnética normal y en ella se diferencian tres tramos.

Tramo 1 (0 - 41 m): arcilla marrón y gris oscuro, con conchas de bivalvos y niveles negros de materia orgánica. Incluye algunas capas de arena fina arcillosa y un nivel entre 17 a 18,2 m de acumulación de conchas. Las dataciones por radiocarbono (Salvany *et al.*, 2011) indican una edad Holoceno, que fue ratificada mediante racemización de aminoácidos en valvas de ostrácodos (Mata *et al.*, 2016).

Tramo 2 (41 a 56 m): arena media-gruesa gris-ocre, con niveles de cantos redondeados de hasta 7 cm en la mitad inferior del tramo, formando una secuencia grandodecreciente. Su base es un contacto neto y erosivo. Representa un episodio de bajo nivel del mar cuya edad queda constreñida por los tramos superior e inferior (Mata *et al.*, 2016).

Tramo 3 (56 a 79 m): arcilla gris oscuro, masiva, con algunos niveles negros laminados de materia orgánica (turba) y un nivel de arena fina de 2 m en la base. Este tramo, que tiene una edad radiocarbónica superior a 49 ka BP (Salvany *et al.*, 2011), fue datado mediante racemización de aminoácidos en valvas de ostrácodos, con edades que oscilan entre 164,7 ± 14 y 202,8 ± 30 ka BP en su parte alta (Pleistoceno Medio), es decir, en el entorno del límite de los estadios isotópicos MIS 6-7 (Mata *et al.*, 2016).

Correlación

Datos geotécnicos de la línea 1 del Metro de Sevilla, tramo Prado de San Sebastián - San Bernardo, así como otros sondeos próximos a la Catedral e investigaciones geoarqueológicas en el casco urbano, han mostrado que la terraza T13

queda cubierta en Sevilla por sedimentos de estuario y aluviales datados como Holoceno por su contenido arqueológico y por radiocarbono (Borja y Barral, 2005; Borja *et al.*, 2008; Borja y Borja, 2009). La desaparición de la terraza T13 en el casco urbano de Sevilla no es debida por tanto a su erosión, sino al hecho de que sus sedimentos han quedado sepultados bajo los aluviones y sedimentos holocenos del Guadalquivir, como consecuencia de la transgresión flandriense.

Los sondeos geotécnicos S-13, S-17 y S-21 (Adell *et al.*, 1983; localización en Fig. 1) muestran que, en la base de los aluviones de grano fino (arena, limo y arcillas) típicos del Guadalquivir, no aparecen ya las lutitas del Neógeno, sino que existe un nivel de depósitos aluviales de granulometría gruesa, de entre 4,5 m y 10 m de espesor, formado por arenas con gravas, gravas y cantos de hasta 7 cm de diámetro, que están más compactados que el aluvial de grano fino superpuesto, según se deduce de los ensayos SPT (Adell *et al.*, 1983). Estos sondeos ponen así en evidencia que las gravas de la terraza T13 tienen continuidad hacia el sur, pero están cubiertos por los aluviones limosos y arcillosos del Holoceno (perfil C-C', Figs. 1 y 2).

El sondeo hidrogeológico El Sequero (SE, Figs. 1 y 2) se localiza a tan solo 3 km más sur del sondeo geotécnico S-21, pero ya sobre la Fm. Marismas. Este sondeo muestra en sus primeros metros una columna litológica similar a la de S-21 (Salvany *et al.*, 2011), con 15,5 m de arenas arcillosas con materia orgánica, bajo las cuales hay un nivel de gravas de 11,5 m de espesor que están discordantes sobre sedimentos marinos del Neógeno. Ese paquete de gravas se atribuyó en el sondeo El Sequero a la Fm. Lebrija (Salvany *et al.*, 2011). La Fm. Lebrija fue definida en subsuelo a partir de datos de sondeos y está compuesta por arcillas, arenas y gravas depositadas en ambientes fluviales distales a proximales, se apoya y pasa lateralmente a la Formación Arenas y Gravas de Almonte (Salvany *et al.*, 2011), que también es de origen fluvial y representa la continentalización de la cuenca en el Plioceno. La edad de la Fm. Lebrija por magnetoestratigrafía es Plioceno superior a Pleistoceno inferior (Salvany *et al.*, 2011).

El perfil B-B' (Figs. 1 y 2), que se sitúa próximo a Coria del Río, evidencia que las gravas bajo la Fm. Marismas en los sondeos S-21 y El Sequero están encajadas

en los depósitos de las terrazas T11 y T12, cortadas por el sondeo geotécnico S-25 y cuya edad es Pleistoceno Medio. Dichas gravas a la base de la Fm. Marismas no deberían tener una edad anterior a la de las terrazas en las que se encajan y, por lo tanto, su asignación a la Fm. Lebrija del Pleistoceno inferior es problemática. Además, este nivel de gravas, solo comienza a estar presente en los sondeos al sur de Sevilla, una vez que la terraza T13 ha quedado sepultada bajo el aluvial holoceno del Guadalquivir. Este nivel puede seguirse a través de los mencionados sondeos geotécnicos S-13, S-17 y S-21.

La edad establecida para el tramo 2 de la Fm. Marismas en el sondeo Lebrija por Mata *et al.* (2016) es perfectamente compatible con la edad atribuida a la terraza T13 (Pleistoceno Medio a Superior), por lo que proponemos que se trata de un mismo nivel, cuya sedimentación se produjo en relación a una bajada del nivel del mar, posiblemente durante el MIS-2, y que quedó parcialmente cubierto por la transgresión flandriense. Por lo tanto, el tramo 3 de la Fm. Marismas en el sondeo Lebrija se habría sedimentado en relación con las terrazas T11 o T12 (perfil C-C', Figs. 1 y 2). Los sondeos hidrogeológicos Poblado Escobar 1 y 2 (PE 1&2, Figs. 1 y 2), situados en una posición intermedia, muestran un paquete de arenas y gravas de 8,7 m (Salvany *et al.*, 2011) que, por su posición estratigráfica, también podrían ser continuación de la terraza T13 y tramo 2 de la Fm. Marismas.

Conclusiones

Mediante el uso combinado de cartografía geológica - geomorfológica y la

reinterpretación de antiguos sondeos geotécnicos se ha determinado que la terraza T13 (Pleistoceno Medio a Superior) del Guadalquivir, que es sepultada por los aluviales holocenos como consecuencia de la transgresión flandriense a la altura de Sevilla, tiene continuidad bajo dichos aluviales, pudiéndose seguir hasta Coria del Río. Este nivel es equivalente a la intercalación aluvial principal existente en la Fm. Marismas en el sondeo hidrogeológico Lebrija, siendo ambas de la misma edad.

El tramo inferior de la Fm. Marismas, datado como Pleistoceno Medio en el sondeo Lebrija, que se habría formado en condiciones de nivel del mar alto (MIS 6-7), estaría en relación con la formación de las terrazas T12 o T11.

Agradecimientos

A Davinia Díez-Canseco y José Eugenio Ortiz por sus comentarios y correcciones. Trabajo financiado por el proyecto GUADALTYC (CGL2012-30875) y fondos del IGME (Actualización del mapa geológico de España E. 1:50.000 2002-05; Plan de Edición de Cartografía 2013-16).

Referencias

Adell, F., Estefania, S. y Cerrredo, I. (1983). *Mapa Geotécnico para ordenación territorial y urbana de Sevilla E. 1:25.000, memoria y anejos*. IGME, Madrid, 4 vol.
 Baena Escudero, R. y Díaz del Olmo, F. (1993). *Geogaceta* 15, 102-104.
 Baena-Escudero, R., Fernández-Caro, J.J., Guerrero-Amador, I. y Posada-Simeón, J.C. (2014). *Cuaternario y Geomorfología* 28 (3-4), 107-125.

Borja, F. y Barral, M.A. (2005). En: *La Catedral en la ciudad: Sevilla, de Astarté a San Isidoro (I)* (A. Jiménez, Ed.). Catedral de Sevilla - Aula Hernan Ruiz, Sevilla, 5-36.
 Borja, F. y Borja, C. (2009). En: *VII Reunión del Cuaternario Ibérico*. Libro de Resúmenes, 54-58.
 Borja, F., Hunt, M.A., Uberta, J.L., Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Barral, M.A., Llergo, Y. y Borja, C. (2008). En: *VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Actas, 87-96.
 Calderón, S. (1888). *Anales de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 27, 32-34.
 Caro, J.A., Díaz del Olmo, F., Cámara, R., Recio, J.M. y Borja, C. (2011). *Quaternary International* 243, 143-160.
 Frye, J.C. y Willman, H.B. (1962). *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 46, 112-113.
 Gavala, J. (1936). *Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Hoja N° 1017 (El Asperillo) y memoria*. IGME, Madrid, 68 p.
 Mata, M.P., Salvany, J.M., Torres - Hidalgo, T., Salazar, A., Larrasoña, J.C., Ortiz, J.E. y Mediavilla, C. (2016). *Geo-Temas* 16 (2), 315-318.
 Moral, F., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Rodríguez-Rodríguez, M. (2013). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 54, 143-146.
 Salazar, A. (2017). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 25 (1), 5-13.
 Salazar, A. (en prensa). *Mapa Geológico Digital de España 1:50.000, hoja n° 984 (Sevilla), mapa Geomorfológico y memoria*. IGME, Madrid.
 Salvany, J.M., Larrasoña, J.C., Mediavilla, C. y Rebollo, A. (2011). *Sedimentary Geology* 241, 22-39.