

Las formaciones Plio-Cuaternarias de El Abalarío, en el litoral de la provincia de Huelva (España)

The Pliocene and Quaternary formations of El Abalarío, in the Huelva province littoral (Spain)

J.M. Salvany¹, C. Mediavilla², A. Rebollo²

RESUMEN

El estudio de nuevos y antiguos sondeos en El Abalarío (Bajo Guadalquivir) permite identificar por encima de las margas miocenas, cuatro principales formaciones Plio-Cuaternarias, denominadas: Fm. Arenas de Huelva, Fm. Arenas de Bonares, Fm. Arenas y Gravas de Almonte, y Fm. Arenas de El Abalarío, respectivamente interpretadas como sedimentos marinos someros, deltaicos, aluviales y eólicos. En conjunto forman una potente sucesión de más de 250 metros de espesor, de estructura ligeramente inclinada y de espesor creciente hacia el sureste. Sólo algunos sondeos de la parte occidental de El Abalarío alcanzan las margas miocenas. En el resto del área de El Abalarío, las margas están a una profundidad desconocida, por debajo de los sondeos más profundos. Sobre ellas se disponen gradualmente los depósitos arenosos de la Fm. Huelva, sin ninguna apreciable ruptura sedimentaria. Hacia el norte, la parte superior de la Fm. Huelva grada lateralmente a los depósitos arenosos de la Fm. Bonares, principalmente desarrollada fuera del área de estudio. Ambas formaciones quedan cubiertas por los sedimentos clásticos más gruesos de la Fm. Almonte. Por encima se desarrollan las arenas de la Fm. El Abalarío, que configuran el relieve actual. El estudio mejora el modelo geológico existente y la conexión de unidades con los sectores vecinos.

Palabras clave: Litoestratigrafía, Sedimentología, Plioceno, Cuaternario, Bajo Guadalquivir.

ABSTRACT

The study of new and ancient boreholes in El Abalarío area (Lower Guadalquivir basin) permitted to identify four main plio-quaternary formations above the Miocene marls, namely: Huelva Sands, Bonares Sands, Almonte Sands and Gravels, and El Abalarío Sands. Respectively, they are interpreted as shallow marine, deltaic, alluvial and eolian sediments, together forming a marine to continental sequence that reaches a thickness of more than 250 metres. All sediments are arranged as a gentle dipping and thickening structure to the southeast. Only a few boreholes of the western border of El Abalarío reach the top of the Miocene marls. In the rest of the Abalarío area the Miocene marls are confined to an unknown level below the deepest boreholes. Upward, the marls grade to the Huelva sands, without any appreciable break in the sediments. To the north, the upper part of the Huelva formation grades to the Bonares sands, which is mainly developed outside the study area. Both formations are covered by the coarse clastic deposits of the Almonte formation. At the top, El Abalarío sands recover all previous deposits and configure the current relief. The study performs the early existing geology profile and the connection with the surrounding areas.

Key words: Lithostratigraphy, Sedimentology, Pliocene, Quaternary, Lower Guadalquivir Basin.

Introducción

El Abalarío es el relieve litoral que queda limitado entre las poblaciones costeras onubenses de Mazagón

al oeste y Matalascañas al este, y se extiende hacia el interior hasta el valle de La Rocina (fig. 1). Sus materiales afloran principalmente a lo largo del acantilado de El Asperillo, que sigue la línea de costa de forma

¹ Dept. Ingeniería del Terreny, Universitat Politècnica de Catalunya, C/ Gran Capità s/n, D2, 08034 Barcelona.
Email: josepm.salvany@upc.edu

² Instituto Geológico y Minero de España, Plaza de España, Torre Norte, 41013 Sevilla.

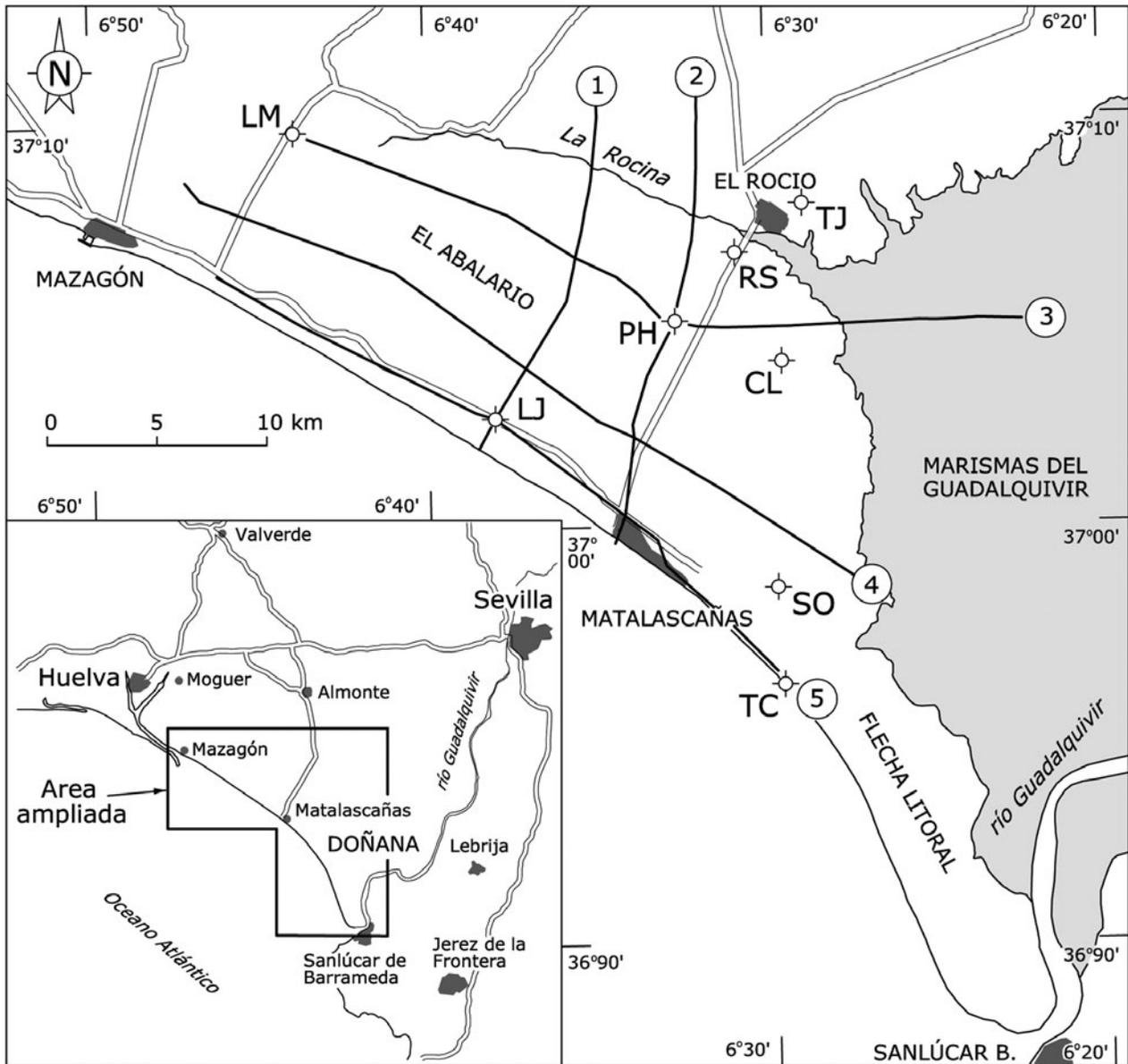


Fig. 1.—Mapa de situación del área de estudio, de los cortes de las figuras 4 y 5, y de los sondeos del IGME descritos en las figuras 2 y 3: TJ, sondeo Los Tarajales; RS, sondeos Rocina Sur; CL, sondeo Casa del Lobo; PH, sondeo Pequeña Holanda; LM, sondeo La Matilla; LJ, sondeo Laguna del Jaral; SO, sondeo Laguna de Santa Olalla; TC, sondeo Torre Carbonero.

prácticamente continua entre ambas poblaciones, a lo largo de aproximadamente 30 kilómetros. Sobre este acantilado se han desarrollado la mayor parte de estudios geológicos existentes, entre los que destacan los de Caratini & Viguiet (1973), Leyva & Pastor (1976), Dabrio *et al.* (1996), Borja & Díaz del Olmo (1992), Flor (1990), Rodríguez Ramírez (1998), y Zazo *et al.* (1999, 2003, 2005). Son estudios que describen los depósitos arenosos superficiales del macizo, de origen esencialmente eólico y de edad cuaternaria reciente.

La geología del subsuelo de El Abalarío es menos conocida. Desde la década de 1960, se han realizado numerosas perforaciones con fines principalmente hidrogeológicos (FAO, 1970; IRYDA, 1976). También se han realizado sondeos para la prospección de lignitos (IGME, 1980) e hidrocarburos (Perconig & Martínez Díaz, 1977). La revisión de algunos de estos sondeos permitió a Salvany & Custodio (1995) establecer los principales rasgos estratigráficos del subsuelo de este macizo, dentro de un estudio más

amplio sobre el Plio-Cuaternario del Bajo Guadalquivir. De él se deduce que las arenas eólicas que afloran en El Asperillo constituyen el techo de una potente formación que se extienden hasta 130 metros por debajo del nivel del mar. Por debajo, se desarrolla una capa intermedia de grava y arena, del orden de 20 metros de espesor (Unidad Deltaica) y más abajo una unidad basal margosa, sólo atravesada parcialmente por los sondeos hidrogeológicos más profundos (nivel impermeable de base de los acuíferos), atribuida a las Margas Azules miocenas.

Esta sucesión estratigráfica, bien diferente de la observada en Las Marismas, llevó a considerar El Abalarío como un bloque de falla elevado con respecto a este otro sector (Salvany & Custodio, 1995). Entre El Abalarío y Las Marismas se interpretó una falla de extensión regional (falla de Guadimar-Matalascañas), activa al menos hasta el Cuaternario antiguo, coherente con el modelo estructural de bloques de falla propuesto por Viguier (1974, 1977) para el Bajo Guadalquivir y aceptado por otros estudios posteriores (Flores & Rodríguez Vidal, 1994; Goy *et al.*, 1994; Dabrio *et al.*, 1996).

En los últimos años, la realización de diversos sondeos de exploración geológica, realizados por el IGME en El Abalarío y su entorno, han permitido ver algunos errores en el modelo geológico propuesto por Salvany & Custodio (1995). Los errores son consecuencia principalmente de la falta de información en lugares y profundidades clave para una correcta identificación de las unidades, así como de una insuficiente resolución de las columnas de los sondeos entonces analizados.

Con la información de los nuevos sondeos del IGME y en una revisión más completa de los antiguos sondeos hidrogeológicos, el presente artículo tiene por objeto ofrecer un modelo actualizado de El Abalarío. El modelo simplifica la geología existente y se integra mejor con los otros sectores del Bajo Guadalquivir. En él se describen los materiales a partir de los testigos inalterados de los sondeos, hasta ahora inexistentes, y se redefinen las formaciones. Persisten, no obstante, algunas incertidumbres, principalmente en relación con la zona de enlace Abalarío-Marismas, que deberían ser objeto de futuros estudios de mayor detalle.

Marco geológico regional

El Abalarío es una parte de la cuenca neógena y cuaternaria del Bajo Guadalquivir, desarrollada al

oeste de Sevilla entre los relieves montañosos de Sierra Morena al norte y la Cordillera Bética al sureste. La mayor parte de esta cuenca está rellena de sedimentos marinos miocenos, que se agrupan en dos principales formaciones: Fm. Calcarenita de Niebla (Tortonense superior) y Fm. Arcillas de Gibraleón (Tortonense superior-Plioceno basal), definidas por Civis *et al.* (1987). La primera forma un nivel basal de grava, arena fosilífera y caliza, de origen aluvial-costero (Baceta & Pendón, 1999), que cubre una antigua superficie de erosión excavada sobre los materiales paleozoicos del basamento de la cuenca, con un espesor máximo de unos 15 metros. La segunda formación, también conocida regionalmente con la denominación de Margas Azules, forma una potente serie margosa, de origen marino profundo, rica en microfaua (Magne & Viguier, 1970; Sierro, 1985) y fuente de hidrocarburos (Perconig y Martínez Díaz, 1977, Martínez del Olmo *et al.* 1984 y 2005). En el margen septentrional de la cuenca, esta unidad no supera algunas decenas de metros de espesor, pero hacia el sur, en subsuelo, progresivamente aumenta de espesor con valores que llegan a superar los 1.000 metros.

Los depósitos pliocenos constituyen otras dos formaciones: Fm. Arenas de Huelva (Plioceno inferior) y Fm. Arenas de Bonares (¿Plioceno medio-Cuaternario basal?), definidas respectivamente por Civis *et al.* (1987) y Mayoral & Pendón (1986-1987). La primera se compone de arena margosa gris, de origen marino somero, con un importante registro fósil de micro y macrofauna (Ruiz *et al.*, 1997). La segunda se compone de arena y grava, de origen aluvial-deltaico. En conjunto, en la parte noroccidental de la cuenca donde han sido definidas, no superan algunas decenas de metros de espesor.

Los depósitos cuaternarios tienen una distribución más compleja. En la mitad norte del Bajo Guadalquivir, constituyen principalmente una formación aluvial compuesta por gravas rojizas, denominada Alto Nivel Aluvial por Pendón & Rodríguez Vidal (1986-1987) y «formación roja» en los mapas geológicos de la región, del orden de 10 metros de espesor. También forman diferentes niveles de terrazas aluviales en los valles de los ríos Guadalquivir y Guadimar (Salvany, 2004). En El Abalarío, los depósitos cuaternarios constituyen una potente formación arenosa eólica, de hasta 150 metros de espesor, denominada Unidad Eólica por Salvany & Custodio (1995). En Las Marismas se ha podido diferenciar una unidad superior arcillosa, de hasta 60 metros de espesor, denominada Unidad de las Marismas por Salvany & Custodio (1995), y una unidad inferior,

compuesta por capas de arcilla, arena y grava, de hasta 200 metros de espesor, denominada Unidad Aluvial por los mismos autores.

En líneas generales, el conjunto de formaciones neógenas y cuaternarias del Bajo Guadalquivir reflejan una cuenca que ha ido basculando hacia el sureste a lo largo de su historia de sedimentación. Por un lado, el buzamiento de las capas disminuye progresivamente desde los niveles más antiguos (Fm. Niebla) hasta los cuaternarios más modernos, que están prácticamente horizontales. Por otro lado, la mayoría de las formaciones muestran aumentos significativos de espesor desde el margen septentrional de la cuenca hacia el sureste. Ambos aspectos sugieren que el basculamiento ha sido un proceso sinsedimentario, relativamente continuo, probablemente relacionado con el empuje de la Cordillera Bética sobre el borde meridional del Bajo Guadalquivir.

Durante el Plioceno, la mitad septentrional de la cuenca ha sido levantada y erosionada. En ella ahora podemos ver aflorar las distintas unidades neógenas formando varias franjas cartográficas, paralelas al margen norte de la cuenca, dispuestas de norte a sur conforme su edad es más moderna. Sobre ellas encontramos discordantes y de manera discontinua los depósitos cuaternarios antiguos del Alto Nivel Aluvial y las terrazas de los ríos Guadiamar y Guadalquivir. La mitad meridional ha sido subsidente hasta la actualidad, permitiendo la acumulación de los potentes depósitos cuaternarios de El Abalarío y Las Marismas, concordantes sobre las formaciones neógenas expuestas en la mitad septentrional.

Material estudiado

El estudio se ha basado principalmente en el análisis estratigráfico y sedimentológico de ocho sondeos de exploración geológica realizados por el IGME entre los años 2002 y 2008 (figs. 2 y 3). Son concretamente los sondeos de La Matilla (276 m de longitud), Laguna del Jaral (309 m), Pequeña Holanda (136,2 m), Rocina Sur (144,4 m), Los Tarajales (150 m), Casa del Lobo (210 m), Laguna de Santa Olalla (319 m) y Torre Carbonero (229 m). Estos sondeos fueron realizados principalmente con recuperación de testigo continuo, y algunos tramos con tricono, a circulación directa, con recuperación de ripios en cada metro de perforación.

También se han revisado las columnas litológicas de un total de 343 sondeos correspondientes a las siguientes campañas hidrogeológicas anteriores:

1) Campaña de sondeos del proyecto de desarrollo agrario de FAO, realizados entre 1965 y 1970. En total se han revisado 12 sondeos profundos del entorno de El Rocío y Matalascañas. 2) Campaña de sondeos del proyecto de transformación agraria del IRYDA, realizados entre 1970 y 1975. En total se han revisado 276 sondeos correspondientes a los sectores III, IV y V del entorno de La Rocina. 3) Campaña de sondeos de ICONA, realizados en Mazagón, La Mediana, El Acebuche y El Abalarío, durante la década de 1980. En total 11 sondeos. 4) Campaña de sondeos del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP), realizados a lo largo de la costa entre Matalascañas y Mazagón, y en diferentes puntos del entorno de La Rocina y margen occidental de Las Marismas, durante la década de 1990. En total 12 sondeos. 5) Campaña de sondeos realizados por CGS para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, durante la década de 1990, localizados en diferentes puntos del entorno de Las Marismas. En total 17 sondeos. 6) Sondeos de abastecimiento de agua para las poblaciones de Mazagón (5 sondeos), Matalascañas (4 sondeos) y diversas fincas particulares (6 sondeos).

Estos otros sondeos fueron realizados con tricono y las columnas litológicas proceden del análisis de los ripios. Los sondeos que fueron realizados a circulación inversa (el ripio asciende por el interior del varillaje) permiten columnas litológicas relativamente buenas. Los sondeos que fueron realizados a circulación directa ofrecen en general columnas de peor calidad.

Adicionalmente también se han estudiado los materiales de la superficie del terreno, que principalmente corresponden al acantilado de El Asperillo, así como diversos afloramientos (taludes de carreteras, graveras, etc.) del interior del macizo.

Litoestratigrafía

Las columnas litológicas de los sondeos permiten diferenciar cuatro unidades litoestratigráficas principales con rango de formación: Arenas de Huelva, Arenas de Bonares, Arenas y Gravas de Almonte, y Arenas de El Abalarío. Las dos primeras formaciones fueron definidas formalmente en los estudios respectivamente de Civis *et al.* (1987) y Mayoral & Pendón (1986-1987), en base a los afloramientos situados al norte de El Abalarío. Las otras dos formaciones, a pesar de que ya en parte fueron identificadas por Salvany & Custodio (1995), se definen formalmente por primera vez en este estudio.

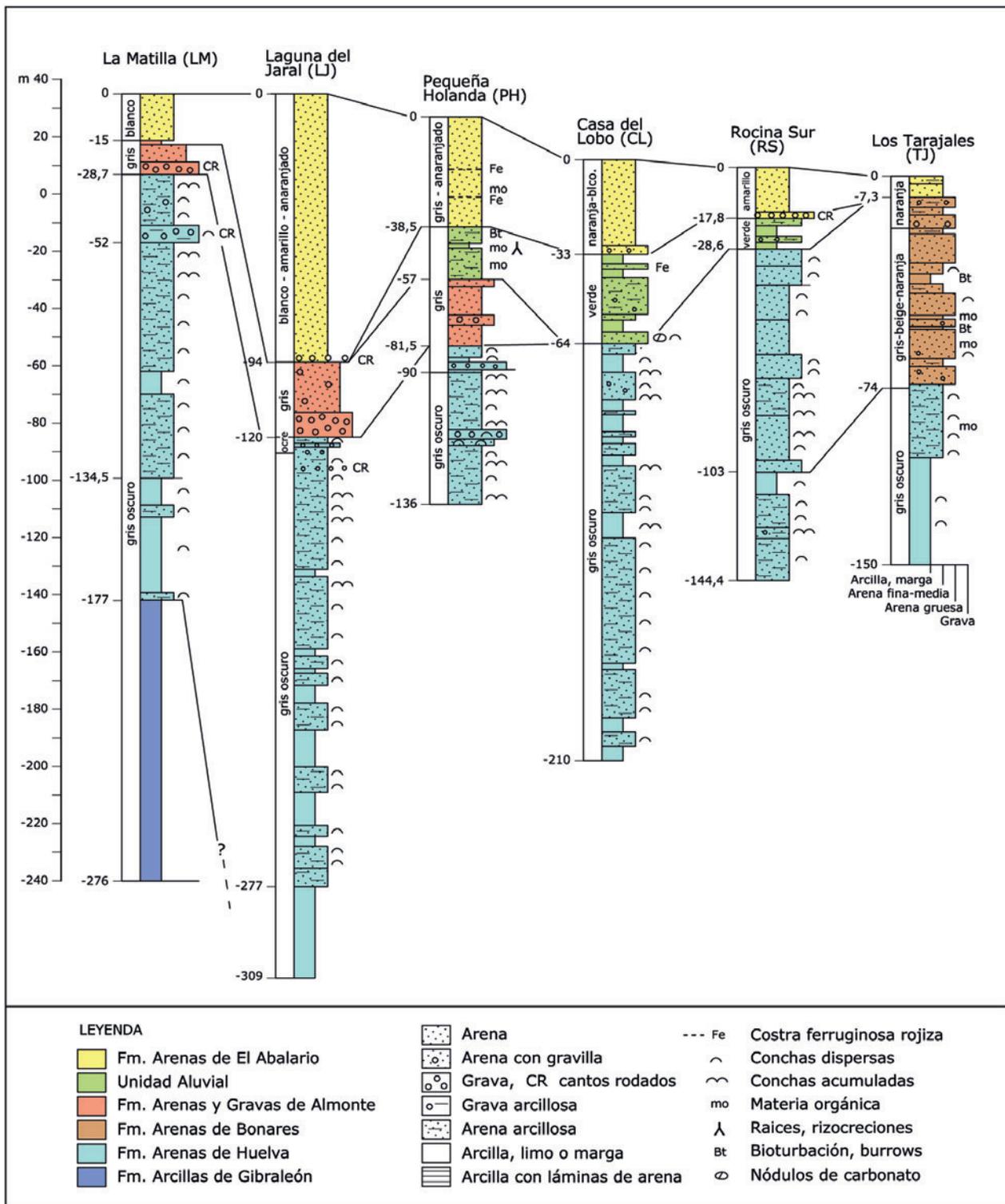


Fig. 2.—Columnas litológicas y correlación de unidades de los sondeos del IGME de La Matilla, Laguna del Jaral, Pequeña Holanda, Casa del Lobo, Rocina Sur y Los Tarajales. Véase situación en la figura 1.

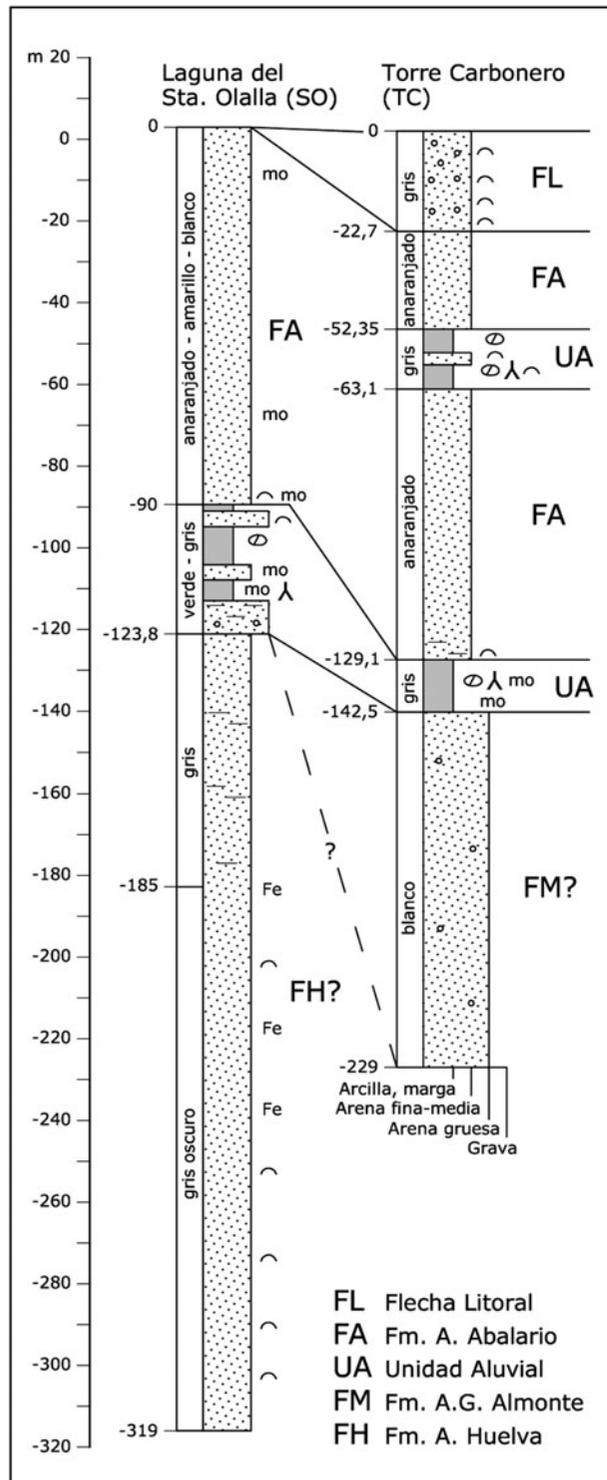


Fig. 3.—Columnas litológicas y correlación de unidades de los sondeos del IGME Laguna de Santa Olalla y Torre Carbonero. Leyenda similar a la de la figura 2. Véase situación en la figura 1.

Fm. Arenas de Huelva

Características litológicas

Se compone principalmente de arena margosa, principalmente fina-media, de color gris oscuro, con abundantes conchas de macrofauna marina (fig. 4). En algunos niveles la arena está bien cementada, formando capas de arenisca de hasta varios decímetros de espesor (fig. 4F). De forma subordinada, se intercalan niveles margosos. También incluye algunos niveles de arena gruesa y gravilla, mezclada con bioclastos, que suelen ser más limpios de matriz (fig. 4G a K). El alto contenido en conchas es el aspecto más característico de la formación. Son conchas, enteras o fragmentadas, con un tamaño de hasta varios centímetros, principalmente de bivalvos (ostreidos, pectínidos, cárdidos, etc.), pero también de escafópodos, gasterópodos, equinodermos y muchos otros organismos marinos. Su concentración puede variar desde niveles con escasos fragmentos de conchas dispersas en la arena, hasta capas lumaquéllicas de espesor métrico. En la vertical, hay una alternancia cíclica de niveles de mayor a menor concentración. Los ciclos son normalmente del orden de 5 a 10 metros de espesor.

La mayoría de sondeos de El Abalarío cortan esta unidad hasta varias decenas de metros, pero terminan en ella sin llegar a atravesarla en su totalidad. Uno de los cortes más completos es el que ofrece el sondeo de La Matilla (fig. 2). En él, desde los 28,7 metros hasta los 134,5 metros de profundidad, se corta una serie arenosa muy bioclastica, que representa las facies típicas de esta formación. Por debajo, hasta los 177 metros de profundidad, la serie es predominantemente margosa, con niveles subordinados de arena fina y con menos conchas. Finalmente, desde esta última cota hasta el final de sondeos, a 276 metros de profundidad, la serie es netamente margosa, con foraminíferos. Este último tramo puede atribuirse a las Arcillas de Gibralfó (Civis *et al.*, 1987). Según este sondeo, queda claro que ambas formaciones en la vertical evolucionan de forma gradual, sin que pueda establecerse un límite preciso. Los demás sondeos del IGME de El Abalarío no alcanzan estas arcillas.

Interpretación sedimentaria

Los depósitos que hemos descrito forman una secuencia progresivamente más arenosa y rica en macrofauna hacia techo que puede interpretarse

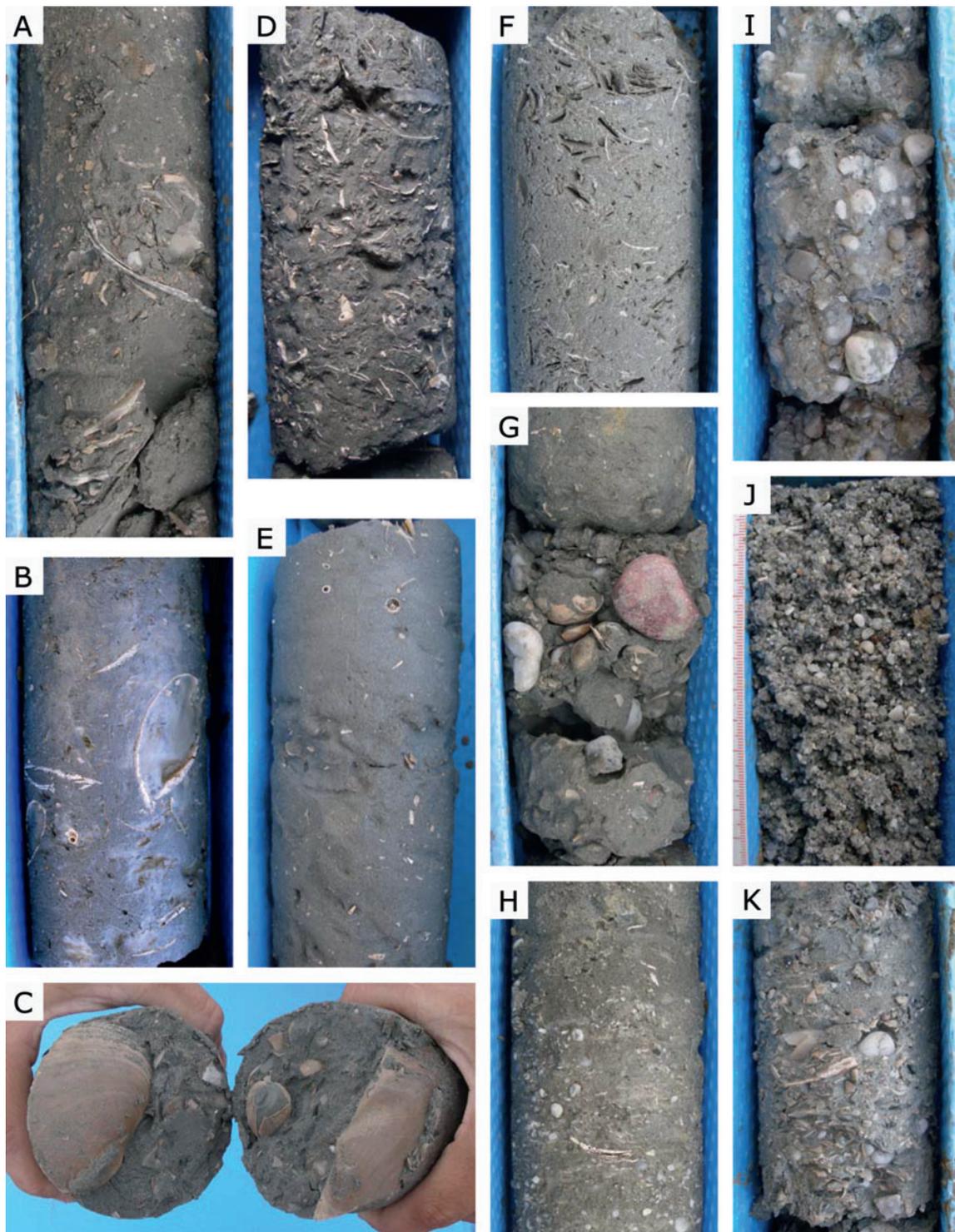


Fig. 4.—Litofacies de la Fm. Arenas de Huelva en los sondeos de El Abalarío: A y B) arena bioclástica de la Fm. Huelva, con fragmentos de conchas de bivalvos, respectivamente en los sondeos Laguna del Jaral, a 149,2 m, y Rocina Sur, a 123,8 m de profundidad. C) nivel de arena con grandes conchas enteras de bivalvo en el sondeo Pequeña Holanda, a 98,3 m. D) arena con abundantes fragmentos de bivalvos en el sondeo Laguna del Jaral. E) arena con fragmentos de escafópodos en el sondeo La Matilla, a 54,7 m. F) arenisca bioclástica, con abundante porosidad móldica, en el sondeo Tarajales, a 97,8 m. G) nivel con mezcla de grava y bioclastos en el sondeo Laguna del Jaral, a 129,2 m. H, I, J, K) niveles de arena y gravilla con bioclastos, respectivamente en los sondeos Laguna del Jaral, a 123 m, La Matilla, a 46,7 m, Pequeña Holanda, a 86,2 m, y La Matilla, a 43,2 m.

como de origen marino submareal, en una cuenca progresivamente somera, sin llegar a emerger. El hecho de que los bioclastos estén en buena parte enteros o poco fragmentados sugiere que han tenido un escaso transporte por las corrientes de marea y oleaje. En ningún caso se han reconocido bioclastos en posición de vida ni estructuras arrecifales. Los ciclos de mayor a menor concentración de bioclastos pueden reflejar variaciones en la tasa de aportes siliciclásticos a la cuenca. Los estadios de menor aporte favorecerían la concentración de bioclastos mientras que con un mayor aporte, éstos quedarían más dispersos.

Equivalencia con otras unidades y edad

Son las mismas facies que se pueden ver aflorar en diferentes localidades del sector noroccidental del Bajo Guadalquivir, entre Huelva y Moguer, y que han sido denominadas «arenas calcáreas fosilíferas» por Pérez Mateos & Riba (1961), «falun arcillas verdes» por Viguier (1974), «limos arenoso-calcáreos amarillos» por Pastor & Leiva (1976), y «arenas limoso-arcillosas amarillas» por Torres *et al.* (1977). Más recientemente, Civis *et al.* (1987) las definen formalmente como Formación Arenas de Huelva. En el estudio de Salvany & Custodio (1995), formarían parte de la Unidad Deltaica. Los afloramientos representan sólo una pequeña parte de una unidad que tiene una gran extensión regional, con un principal desarrollo en el subsuelo de la zona central del Bajo Guadalquivir, donde alcanza una potencia del orden del centenar de metros.

La Fm. Huelva ha sido objeto de numerosos estudios paleontológicos (Ruiz *et al.* 1997, citas ahí). Según su contenido en foraminíferos, Sierro (1985) le atribuye una edad del Plioceno Inferior. Esta edad ha sido también confirmada mediante datos de paleomagnetismo por Larrasoña *et al.* (2008).

Formación Arenas de Bonares

Características litológicas

Es una unidad esencialmente arenosa, con niveles de gravilla y grava, de color gris claro, beige o anaranjado. Incluye también niveles subordinados de arcilla o marga, generalmente de estructura laminada (fig. 5A). La arena puede ser fina, media o gruesa, y es generalmente limpia y muy silícea. De forma oca-

sional puede contener conchas de fauna marina, esencialmente fragmentos de bivalvos. La grava es bien rodada y también de composición silícea.

En el subsuelo de El Abalario, esta unidad forma dos cuñas sedimentarias que lateralmente, hacia el sur, se enclavan entre las arenas bioclásticas de la Fm. Huelva (fig. 6). Cada una de estas cuñas constituye un ciclo sedimentario compuesto por grava en la base y arena a techo, con un espesor total de hasta 30 metros. La grava basal de cada ciclo se dispone en contacto neto sobre las arenas bioclásticas y constituye un nivel más expansivo que se correlacionan bien con capas de materiales más gruesos (arena gruesa, con grava y conchas) intercaladas en la Fm. Huelva.

Interpretación sedimentaria

Estos materiales proceden del desarrollo de una llanura deltaica supramareal, con área fuente situada en Sierra Morena. La arena margosa bioclástica de la Fm. Huelva serían los sedimentos distales, submareales, del mismo sistema deltaico, situados en una posición más meridional. En conjunto formarían una secuencia deltaica progradante, ligada a una fase generalizada de regresión marina del anti-guo Bajo Guadalquivir.

Equivalencia con otras unidades y edad

Por su composición litológica y posición estratigráfica, estos materiales pueden considerarse equivalentes a las Arenas de Bonares expuestas en el sector de Almonte-Moguer (Mayoral & Pendón, 1986-1987). Serían equivalentes también a las «Arenas Basales» anteriormente descritas en los trabajos de Pastor & Leyva (1976) y Torres *et al.* (1977). Respecto al trabajo de Salvany & Custodio (1995), formarían parte de la Unidad Deltaica.

Las Arenas de Bonares han sido atribuidas al Plioceno medio-superior por Mayoral & Pendón (1986-1987) y al Plioceno superior-Pleistoceno inferior por Torcal *et al.* (1990).

Formación Arenas y Gravas de Almonte

Características litológicas

Está compuesta por arena gruesa y grava bien rodada, generalmente limpia, sin fósiles, de color blanco, gris claro o beige. La composición es domi-



Fig. 5.—A) nivel de arcilla laminada con trazas de bioturbación de la Fm. Arenas de Bonares, en el sondeo Tarajales, a 37,2 m de profundidad. B) arena y grava de la base de la Fm. Arenas de El Abalarío en el sondeo Rocina Sur, a 17 m. C y D) arenas ocre típicas de la Fm. El Abalarío, respectivamente en los sondeos Torre Carbonero, a 25 m, y Pequeña Holanda, a 38,6 m. E) arenisca ferruginosa de la Fm. El Abalarío, en el sondeo Pequeña Holanda, a 28,5 m. F) nivel de turba en una intercalación arcillosa de la Fm. El Abalarío, en el sondeo Torre Carbonero, a 142,6 m. G) arcilla verde con una traza de raíz vegetal (rizocreción) en el sondeo Laguna de Santa Olalla, a 114,8 m. H) arcilla con nódulos blancos de carbonato en el sondeo Torre Carbonero, a 58,3 m. I) arena bioclástica de la Flecha Litoral en el sondeo Torre Carbonero, a 13,3 m.

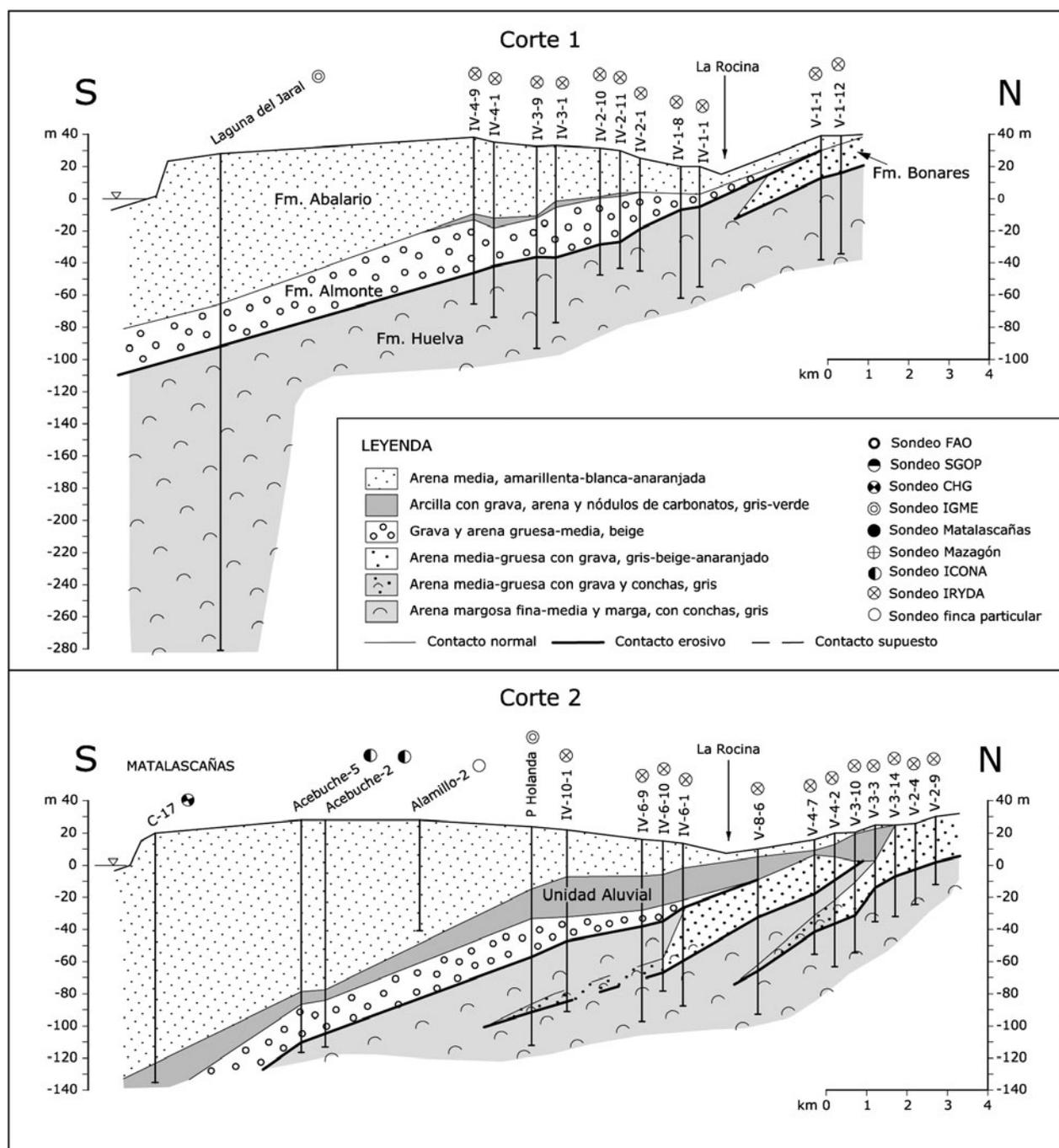


Fig. 6.—Cortes litoestratigráficos 1 y 2 perpendiculares a la línea de costa. Véase situación en la figura 1.

nantemente silíceas, con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, que ponen de evidencia un área fuente situada en Sierra Morena.

Estos materiales forman una capa continua en el subsuelo de El Abalarío, con un espesor relativamente constante, de hasta 26 metros en el sondeo

Laguna del Jaral, con tendencia granodecreciente hacia techo. La grava está principalmente desarrollada en la parte inferior de la unidad y progresivamente domina la arena hacia techo. La base forma un contacto neto (erosivo) sobre la Fm. Huelva, que constituye un buen nivel de correlación entre

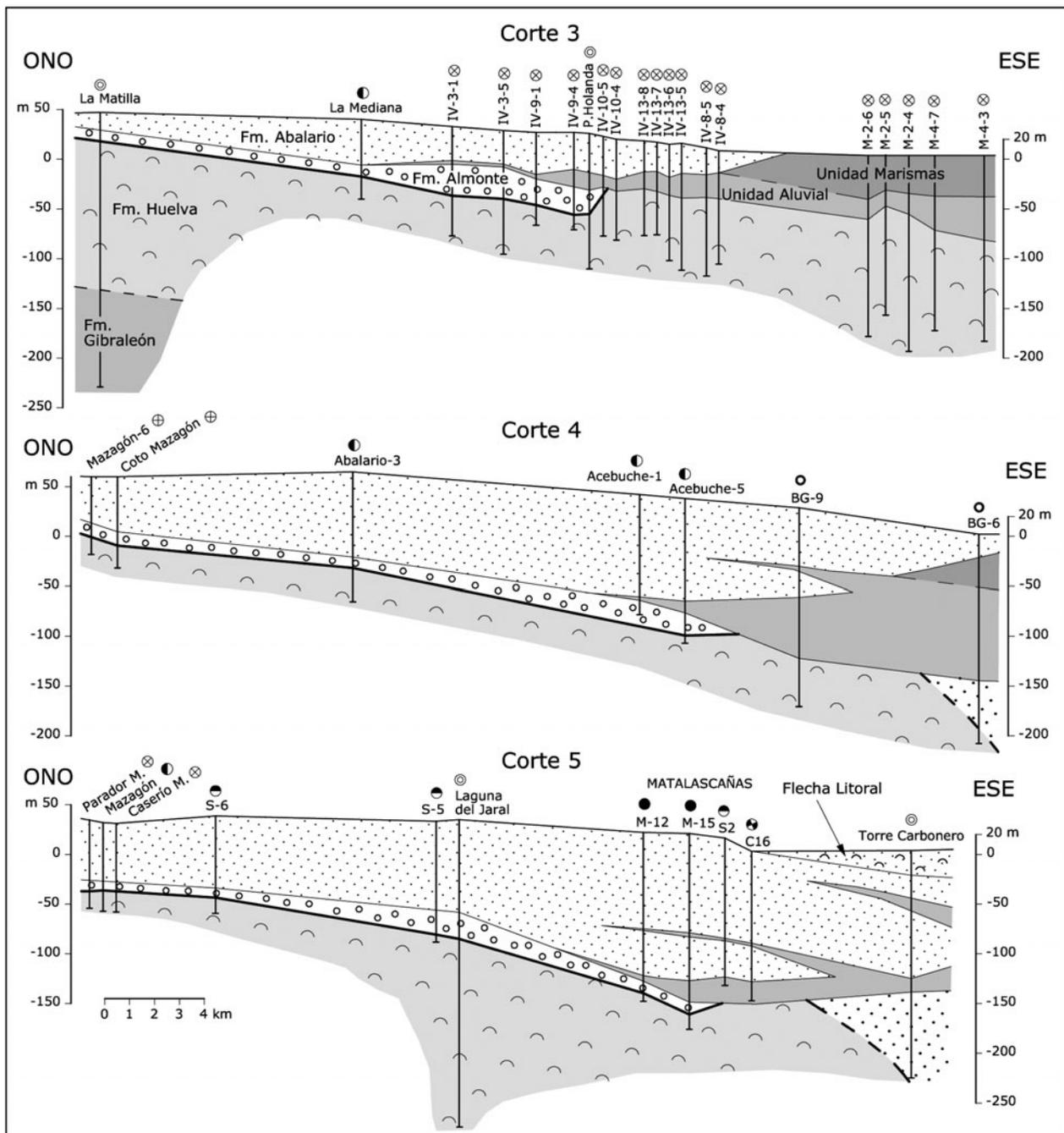


Fig. 7.—Cortes litoestratigráficos 3, 4 y 5, paralelos a la línea de costa. Véase situación en la figura 1.

los diferentes sondeos. Este contacto define una superficie muy plana, con un ligero buzamiento hacia el sureste (figs. 6 y 7). En esta misma dirección, la formación termina lateralmente y no tiene continuidad en el sector vecino de Las Marismas. Por el sur, la formación se extiende más allá de la actual línea de costa.

Interpretación sedimentaria

En su conjunto, los depósitos de la Formación Almonte se pueden interpretar como el desarrollo de un manto aluvial que cubrió, con base erosiva, los depósitos de las formaciones Bonares y Huelva, por todo el dominio occidental del Bajo Guadalquivir.

Equivalencia con otras unidades y edad

La Fm. Almonte sería equivalente a las «areniscas y conglomerados rojos» de Viguier & Thibault (1973), «formación roja» de Pastor & Leyva (1976) y Torres *et al.* (1977), «glacis de cobertera» de Vanney & Menanteau (1985), y al Alto Nivel Aluvial, de Pendón & Rodríguez Vidal (1986-1987) y Rodríguez Vidal (1989). En el subsuelo de El Abalarío, estarían integrados en la Unidad Deltaica de Salvany & Custodio (1995).

A los depósitos del Alto Nivel Aluvial se les ha atribuido una edad de Plioceno final-Pleistoceno antiguo (Rodríguez Vidal, 1989). Esta edad es, no obstante, difícil de demostrar dado el carácter azoico de los materiales que forman esta unidad. En los sondeos estudiados no se reconoce ninguna ruptura sedimentaria con desarrollo de suelos pisolíticos ferruginosos como la descrita entre las Arenas de Bonarés y el Alto Nivel Aluvial por Rodríguez Vidal *et al.* (1985) y Rodríguez Vidal (1989).

Formación Arenas de El Abalarío

Características litológicas

Es una unidad arenosa muy uniforme, que se extiende por toda la zona de estudio, con un espesor muy variable según los lugares. En líneas generales, forma un cuerpo sedimentario con una potencia máxima en la zona de Matalascañas, de hasta 153 metros (fig. 8), que se acuña progresivamente hacia el norte y el oeste (figs. 6 y 7). Hacia el este, la unidad se descompone en varias cuñas de arena que se enclavan en los sedimentos arcillosos de las unidades Aluvial y de las Marismas que conforman el subsuelo de Las Marismas (Salvany & Custodio, 1995).

En los sondeos del entorno de La Rocina, en la base de la formación se reconoce un nivel de grava y arena gruesa, de hasta varios metros de espesor (fig. 5B), de aspecto similar a la grava de la Fm. Almonte, lo que podría dar lugar a confusión. No obstante, ambos niveles quedan estratigráficamente bien diferenciados al tener entre medio los materiales arcillosos verdosos de la Unidad Aluvial (fig. 2, sondeo Rocina Sur).

La arena es de grano fino-medio, limpia (sin matriz arcillosa), muy homogénea, de color blanco, amarillo o anaranjado (fig. 5C y D). Incluye también arenas rojizas cementadas por óxidos de hierro, que forman nódulos y costras ferruginosas de espe-

sor decimétrico (fig. 5E). En la zona de enlace con las Marismas la serie intercala niveles de arcilla gris o verde, que pueden incluir capas menores de turba, nódulos de carbonato y trazas de raíces de vegetación (fig. 5F, G y H). Estas capas, localmente pueden llegar a tener una cierta continuidad. A excepción del nivel basal antes descrito, en ningún caso se intercalan niveles de grava y tampoco de conchas (son materiales azoicos). Es una arena silíceo, compuestas principalmente por cuarzo, acompañado por feldespatos y minerales opacos. Estos últimos pueden estar concentrados formando niveles oscuros. Estudios detallados sobre la composición de esta arena han sido realizados por Pérez Mateos & Riba (1961), Caratini & Viguier (1974) y Leyva & Pastor (1976).

En el acantilado de El Asperillo se puede observar la parte superior de la formación (20 a 30 metros superiores). La arena forma sets de estratificación cruzada de mediana y gran escala. Localmente se pueden reconocer capas oscuras ricas en materia orgánica y costras ferruginosas. Los niveles orgánicos entre la arena no se identifican en ninguno de los sondeos estudiados. Las costras ferruginosas son similares a las cortadas por alguno de los sondeos. Aparentemente no tienen gran continuidad lateral, ni pueden ser considerados como niveles guía en la correlación de sondeos.

Interpretación sedimentaria

Es una arena de origen esencialmente eólico. Entre ella pueden intercalarse niveles subordinados de paleosuelos, niveles orgánicos, etc. como resultado normal de las heterogeneidades del medio sedimentario. La arena forma un manto que se ha ido expandiendo desde el noroeste hacia el sureste de forma progresiva a lo largo del Cuaternario. La expansión sigue principalmente la dirección de la línea de costa, pero también lo hace hacia el interior, recubriendo primero los depósitos aluviales subyacentes de la Fm. Almonte y posteriormente *onlapando* los sedimentos de Las Marismas. En la actualidad, el macizo de El Abalarío supone un depósito eólico estabilizado y en proceso de erosión. Sus características sedimentológicas han sido descritas por Flor (1990) y Dabrio *et al.* (1996). Los procesos eólicos activos persisten en la Flecha Litoral (Rodríguez Ramírez, 1998) y también en algunas partes de El Asperillo (Flor, 1990).

Un aspecto controvertido es el de la procedencia de la arena. Algunos autores sugieren que se trata

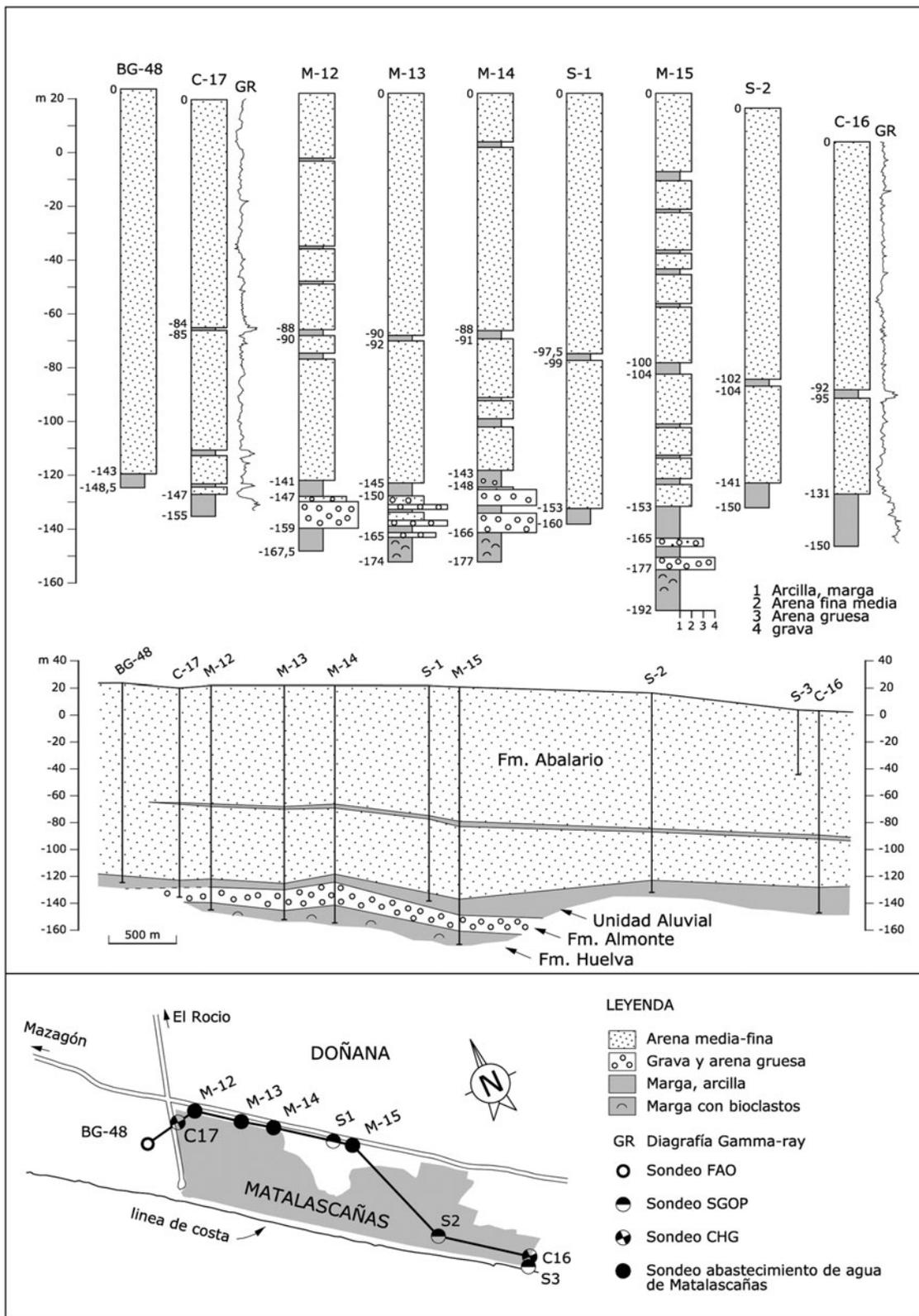


Fig. 8.—Sondeos del entorno de Matalascañas. De arriba a abajo: columnas litológicas, corte geológico y mapa de situación de los sondeos y del corte.

de un reciclaje eólico de arena costera (playas), a partir de vientos dominantes procedentes del SO, similares a los actuales (Flor, 1990). Por otro lado, Caratini & Viguier (1973) piensan que se trata de una arena procedente del interior (del NO), reciclada de los antiguos depósitos aluviales pliocenos expuestos al pie de Sierra Morena. Esta consideración se basa en dos aspectos petrográficos de la arena eólica: 1) la angulosidad de los granos, que sería poco compatible con un transporte en un medio litoral, que fácilmente tiende a redondear los granos; 2) la ausencia de granos bioclásticos, muy abundantes en las arenas litorales, que en mayor o menor grado deberían estar presentes en la formación. Sobre este segundo punto, Leyva & Pastor (1976) y Flor (1990) sugieren que el carácter azoico de la arena puede ser debido a la disolución de los bioclastos por efecto de la infiltración de las aguas pluviales.

Equivalencia con otras unidades y edad

La Fm. El Abalarío se corresponde con la Unidad Eólica descrita por Salvany & Custodio (1995). Esta unidad fue inicialmente reconocida en El Asperillo por los sondeos de prospección de lignitos del IGME (1980), aunque en este estudio no se le atribuye ninguna denominación concreta.

Rodríguez Ramírez *et al.* (1996) y Rodríguez Ramírez (1998), con criterio geomorfológico, identifican en El Abalarío varios mantos o sistemas eólicos de edad holocena. Estas diferentes unidades no se llegan a reconocer en las columnas de los sondeos.

Borja & Días del Olmo (1992) y Zazo *et al.* (2005) aportan datos cronoestratigráficos de las arenas del acantilado de El Asperillo. De ellos se deduce una edad Pleistoceno superior-Holoceno para la parte alta, aflorante, de la formación, pero quedan sin datar los niveles más profundos. No obstante, en líneas generales puede aceptarse una edad cuaternaria para el conjunto de la formación.

Evolución sedimentaria

La sucesión estratigráfica Plio-Cuaternaria de El Abalarío permite diferenciar dos ciclos sedimentarios principales: 1) un ciclo marino regresivo, compuesto por las formaciones Huelva y Bonares, de edad esencialmente pliocena, y 2) un ciclo continental, compuesto por las formaciones Almonte y

El Abalarío, de edad principalmente cuaternaria. El límite Plioceno-Pleistoceno estaría situado dentro de este segundo ciclo.

El primer ciclo parte de las margas miocenas (Fm. Gibraleón), que representan una cuenca marina abierta hacia el océano Atlántico, que habría formado una bahía relativamente profunda sobre la mayor parte del antiguo Bajo Guadalquivir. Durante el Plioceno, la cuenca se someriza progresivamente y sobre las margas profundas se depositan gradualmente las facies arenosas bioclásticas, submareales, de la Fm. Huelva. Los depósitos de la Fm. Bonares suponen el desarrollo de una llanura deltaica, ligada al margen septentrional de la cuenca, que prograda hacia el sur sobre las facies marinas de la Fm. Huelva. Esta evolución somerizante y regresiva de la cuenca ha sido también reconocida en los estudios de Sierro *et al.* (1996), Ruiz & González Regalado (1996) y Civis *et al.* (2004).

El segundo ciclo se inicia con el desarrollo de un extenso sistema aluvial (Rodríguez Vidal, 1989), con área fuente en Sierra Morena, representado en El Abalarío por las gravas de la Fm. Almonte, que recubren una superficie erosiva previamente excavada en el techo de la serie marina. Posteriormente tiene lugar el desarrollo del sistema eólico de El Abalarío. La arena de este sistema recubre primero a la Fm. Almonte y posteriormente se expande hacia el sureste recubriendo los depósitos más modernos del sector de Las Marismas. Se puede suponer que era un manto eólico costero, con una línea de costa situada mar adentro con respecto a la línea de costa actual. Las playas de esta antigua línea de costa han sido recicladas por las corrientes de deriva litoral. Así, el actual acantilado de El Asperillo representa un corte de los depósitos eólicos inicialmente formados tierra adentro. Este segundo ciclo se prolonga hasta la actualidad, con el desarrollo del sistema activo de dunas y playas de la Flecha Litoral, descrito por Rodríguez Ramírez (1998).

Discusión y conclusiones

La nueva definición de formaciones de El Abalarío comporta cambios significativos con respecto al modelo anterior de Salvany & Custodio (1995), que pueden resumirse en los siguientes puntos (fig. 9):

1. Las margas basales de El Abalarío queda ahora claro que corresponden a la Fm. Huelva. El sondeo Laguna del Jaral, que tuvo como principal

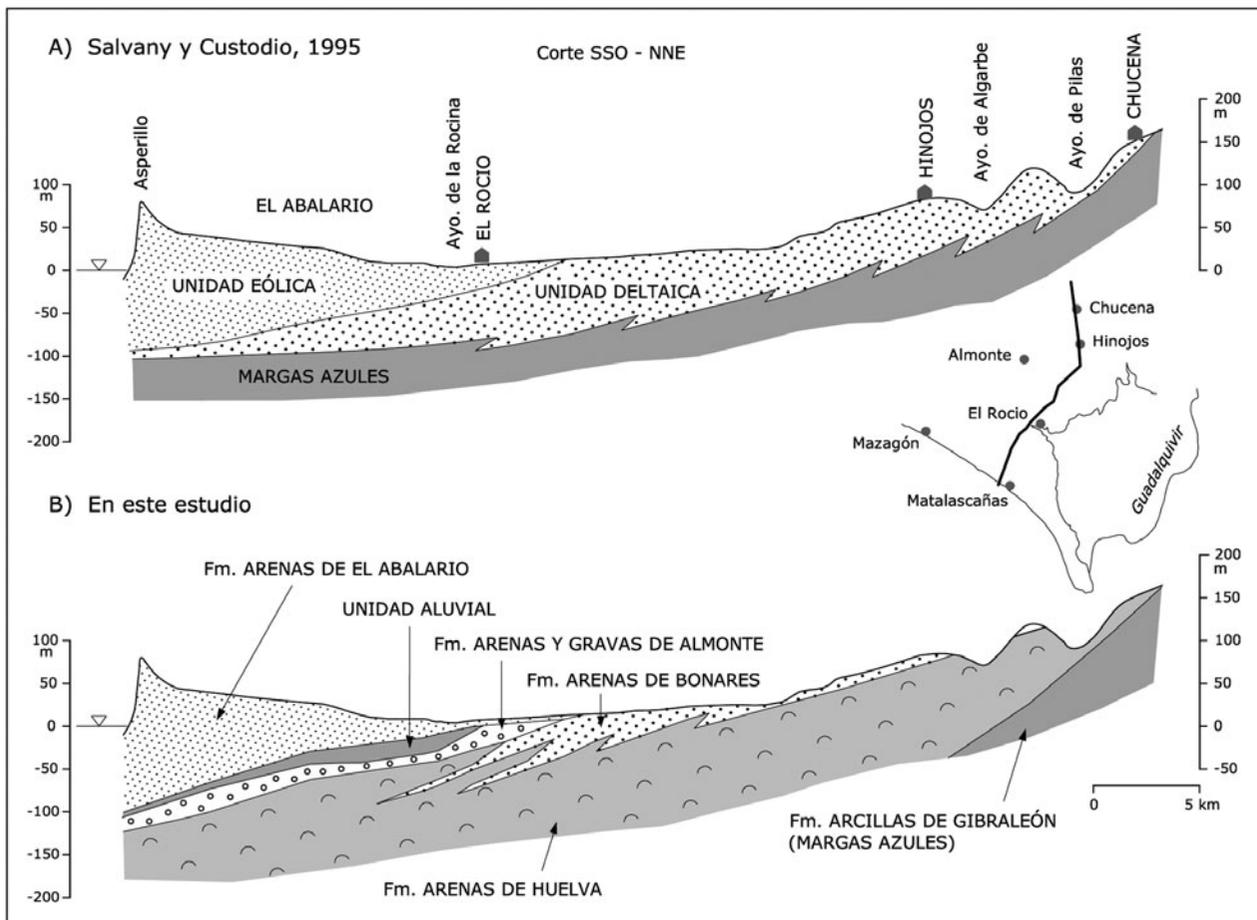


Fig. 9.—Arriba: corte geológico de El Abalarío propuesto por Salvany y Custodio (1995), con indicación de las principales unidades litoestratigráficas. Abajo: el mismo corte, reinterpretado en el presente estudio, con la nueva denominación de unidades.

objetivo resolver esta duda, demuestra que las arenas bioclásticas de la Fm. Huelva se extienden desde la base de las gravas de la Fm. Almonte al menos hasta la cota -277 (fig. 2). Supone un tramo de 157 metros de espesor, con las facies típicas de esta formación cortadas también en los otros sondeos de El Abalarío. El tramo margoso final (entre -277 y 309) podría corresponder al techo de la Fm. Gibráleón o bien ser uno de los tramos margosos intercalados dentro de la Fm. Huelva, característicos de la zona de tránsito entre ambas formaciones.

2. La Unidad Deltaica queda ahora descompuesta en dos diferentes unidades: la Fm. Bonares, esencialmente arenosa, y la Fm. Almonte, compuesta principalmente por grava.

3. La Unidad Eólica y la Fm. Abalarío en líneas generales siguen teniendo las mismas características, aunque en la zona de Matalascañas queda separada de la grava de Almonte por un continuo nivel

arcilloso que en el modelo anterior no se había identificado, correspondiente a un nivel basal más expansivo de la Unidad Aluvial del subsuelo de Las Marismas.

4. El Abalarío y el sector de Almonte-Moguer definen conjuntamente una continua estructura sedimentaria progradante. Sobre los depósitos marinos de la Fm. Huelva progradan primero los depósitos deltaicos de la Fm. Bonares, seguidos de los aluviales de la Fm. Almonte y finalmente los eólicos de la Fm. Abalarío. No se identifica ningún accidente estructural, como la falla de La Rocina, interpretada por algunos estudios anteriores sobre la traza del río que lleva el mismo nombre.

5. Por lo que se refiere a la relación de El Abalarío con Las Marismas, el nuevo modelo hace también innecesaria la falla de Matalascañas. La Fm. Huelva se extiende de forma continua, con las mismas características litológicas, entre los dos secto-

res. La Fm. Almonte se interrumpe bajo el margen oriental de El Abalarío. Esta interrupción se interpreta como el límite deposicional de la formación, que rellena una antigua superficie de erosión excavada sobre la serie marina. La Fm. Abalarío se encaja lateralmente, mediante varias cuñas, entre los depósitos cuaternarios aluviales y estuarinos de Las Marismas.

Los sondeos de la zona de enlace Abalarío-Marismas son, con frecuencia, difíciles de correlacionar y reflejan un mayor grado de complejidad de las unidades Plio-Cuaternarias que el expuesto en los cortes de la figura 7. Así, por ejemplo, en los sondeos Torre Carbonero y BG-6, por debajo de la serie eólica con intercalaciones de arcilla, no están desarrolladas las arenas bioclásticas de la Fm. Huelva. En su lugar tenemos una potente sucesión arenosa con algo de gravilla que no tiene una clara correspondencia con los materiales del subsuelo de El Abalarío. Se pueden interpretar como el relleno de un paleovalle excavado en el techo de la Fm. Huelva, equivalente al que dio lugar a la Fm. Almonte. Éste, y otros aspectos menores, son difíciles de resolver con la información existente (zona escasamente sondeada), pero deberían ser un futuro tema de investigación para terminar de completar el modelo geológico que se ha expuesto.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo presenta una parte de los resultados de un proyecto de modelación estratigráfica y sedimentológica de los depósitos Plio-Cuaternarios del área de Doñana y su entorno, desarrollado por el IGME, en colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya, entre los años 2004 y 2008. El proyecto fue promovido por el entonces Director del IGME, Emilio Custodio, y desarrollado bajo la supervisión de Vicente Gabaldón, a quienes los autores quieren agradecer el interés y la ayuda prestada. También agradecen las aportaciones de los dos revisores del manuscrito original, la Dra. Caridad Zazo del Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC de Madrid y el Dr. Francisco Ruiz de la Universidad de Huelva.

Referencias

- Baceta, J.I. & Pendón, J.G. (1999). Estratigrafía y arquitectura de facies de la Formación Niebla, Neógeno Superior, sector occidental de la cuenca del Guadalquivir. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12: 419-438.
- Borja, F. & Díaz del Holmo, F. (1992). Eastern sector of the cliff at El Asperillo (Huelva coast, SW Spain): formation and chronology. *MBSS Newsletter*, 14: 87-93.
- Caratini, C. & Viguier, C. (1973). Étude palynologique et sédimentologique des sables holo-gènes de la falaise littorale d'El Asperillo (province de Huelva). *Estudios Geológicos*, 29: 325-328.
- Civis, J.; Sierro, F.J.; González Delgado, J.A.; Flores, J.A.; Andrés, I.; Porta, J. & Valle, M.F. (1987). El Neógeno marino de la provincia de Huelva: antecedentes y definición de las unidades litoestratigráficas. In: *Paleontología del Neógeno de Huelva*. Ediciones de la Universidad de Salamanca, Salamanca (Spain), 9-21.
- Civis, J.; Dabrio, C.J.; González Delgado, J.A.; Goy, J.L.; Ledesma, S.; Pais, J.; Sierro, F.J. & Zazo, C. (2004). Cuenca del Guadalquivir. In: *Geología de España* (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid: 543-550.
- Dabrio, C.J.; Borja, F.; Zazo, C.; Boersma, J.R.; Lario, J.; Goy, J.L. & Polo, M.D. (1996). Dunas eólicas y facies asociadas pleistocenas y holocenas en el acantilado del Asperillo (Huelva). *Geogaceta*, 20: 1089-1092.
- FAO (1970). *Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir: informe técnico*. 1 AGL: SF/SPA 9, Roma (informe inédito), 115 pp.
- Flor, G. (1990). Tipología de dunas eólicas. Procesos de erosión-sedimentación costera y evolución litoral de la provincia de Huelva (Golfo de Cádiz occidental, Sur de España). *Estudios Geológicos*, 46: 99-109. doi:10.3989/egeol.90461-2442
- Flores Hurtado, E. & Rodríguez Vidal, J. (1994). Rasgos morfotectónicos del interfluvio costero Guadiana-Guadalquivir (Golfo de Cádiz). In: *Geomorfología en España* (Arnáez, J.; García Ruiz, J.M. & Gómez Villar, A., eds.). Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, 13-19.
- Goy, J.L.; Zazo, C.; Dabrio, C.J. & Lario, J. (1994). Fault controlled shifting shorelines in the Gulf of Cadiz since 20ky BP. *1º Simposio sobre a margem continental ibérica atlântica, Lisboa. Abstracts*, 24.
- IGME (1980). *Prospección general de lignitos en el área de Mazagón (Huelva)*. Informe ENADIMSA (informe inédito), 25 pp.
- IRYDA (1976). *Informe final de los sondeos de la zona regable de Almonte-Marismas (Huelva-Sevilla)*. Memoria, anejo y planos, Sevilla (informe inédito), 100 pp.
- Larrasoaña, J.C.; González Delgado, J.A.; Civis, J.; Sierro, F.J.; Alonso Gavilán, G. & Pais, J. (2008). Magnetostratigraphic dating and environmental magnetism of Late Neogene marine sediments recovered at the Huelva-1 and Montemayor-1 boreholes (lower Guadalquivir basin, Spain). *Geo-Temas*, 10: 1175-1178.
- Leyva, F. & Pastor, F. (1976). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 1017, El Abalarío*. IGME, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria.
- Magné, J. & Viguier, Cl. (1970). Stratigraphie du Néogène de la bordure méridionale de la Sierra Morena entre Huelva et Carmona (Espagne du Sud-Ouest). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 12: 200-209.
- Martínez del Olmo, W.; García Mallo, J.; Leret Verdu, G.; Serrano Oñate, A. & Suárez Alba, J. (1984). Modelo tectosedimentario del Bajo Guadalquivir. I Congreso Español de Geología, tomo I: 199-213.

- Martínez del Olmo, W.; García Mojonero, C. & Torrescusa, S. (2005). The Guadalquivir and Gulf of Cádiz gas basins (SW, Spain). *Publ. Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo, 25 aniversario*: 105-121.
- Mayoral, E. & Pendón, J.G. (1986-87). Icnofacies y sedimentación en zona costera. Plioceno superior (?), litoral de Huelva. *Acta Geológica Hispánica*, 21-22: 507-513.
- Pastor, F. & Leyva, F. (1976). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 1000, Moguer*. IGME, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria.
- Pendón, J.G. & Rodríguez Vidal, J. (1986-87). Caracteres sedimentológicos y geomorfológicos del Alto Nivel Aluvial cuaternario en el litoral de Huelva. *Acta Geológica Hispánica*, 21-22: 507-513.
- Perconig, E. & Martínez Díaz, C. (1977). Perspectivas petrolíferas de Andalucía Occidental. *Boletín Geológico y Minero*, 88: 417-433.
- Pérez Mateos, J. & Riba, O. (1961). Estudio de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de Huelva. *II Reunión de Sedimentología*, Sevilla, CSIC: 87-94.
- Rodríguez Ramírez, A. (1998). *Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su entorno*. Publ. Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales, 146 pp.
- Rodríguez Vidal, J. (1989). El inicio de la red fluvial cuaternaria en el sector occidental de la Depresión del Guadalquivir. In: *El Cuaternario en Andalucía Occidental* (Díaz del Olmo F. y Rodríguez Vidal, J., eds.). AEQUA Monografías, 1: 27-31.
- Rodríguez Vidal, J.; Mayoral, E. & Pendón, J.G. (1985). Aportaciones paleoambientales al tránsito Plio-Pleistoceno en el litoral de Huelva. *I Reunión del Cuaternario Ibérico*, Lisboa, vol. 1: 447-459.
- Ruiz, F. & González-Regalado, M.L. (1996). Les ostracodes du Golfe Mio-Pliocene du Sud-Ouest de l'Espagne. *Revue de Micropaléontologie*, 39: 137-151. doi:10.1016/S0035-1598(96)90038-0
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L. & Redondo, J.L. (1997). *Guía de fósiles del sur de la provincia de Huelva*. Diputación de Huelva, 205 pp.
- Salvany, J.M. (2004). Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin, SW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 145-160. doi:10.1002/esp.1005
- Salvany, J.M. & Custodio, E. (1995). Características litoestratigráficas de los depósitos plio-cuaternarios del bajo Guadalquivir en el área de Doñana: implicaciones hidrogeológicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8: 21-31.
- Sierro, F.J. (1985). Estudio de los foraminíferos plantónicos, bioestratigrafía y cronoestratigrafía del Mio-Plioceno del borde occidental de la Cuenca del Guadalquivir (SO de España). *Studia Geologica Salmanticensis*, 21: 7-85.
- Sierro, F.J.; González Delgado, J.A.; Dabrio, C.J.; Flores, J.A. & Civis J. (1996). Late Neogene depositional sequences in the foreland basin of Guadalquivir (SW Spain). In: *Tertiary basins of Spain, the stratigraphic record of crustal kinematics* (Friend, P.F. & Dabrio, C.J., eds.). World and Regional Geology, 6. Cambridge University Press: 339-345.
- Torcal, L.; Zazo, C. & Marfil, R. (1990). Caracterización mineralógica y cronológica de los depósitos arenosos neógenos y cuaternarios del litoral de Huelva. España. (Área: Río Tinto-Río Guadalquivir). *Estudios Geológicos*, 46: 153-164. doi:10.3989/egeol.90463-4447
- Torres Perezhidalgo, T. de; Fernández Luanco, M.C.; Leyva Cabello, F.; Granados, L.F.; Martínez Fresneda, F.; Pan Arana, T. del & Antón Alfonso, S. (1977). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 1001, Almonte*. IGME, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria.
- Vannev, J.R. & Menanteau, L. (1985). *Mapa fisiográfico del litoral atlántico de Andalucía 1:50.000*. Junta de Andalucía.
- Viguié, C. (1974). *Le Néogène de l'Andalousie Nord-Occidentale (Espagne): histoire géologique du Bassin du bas-Guadalquivir*. Thèse d'Etat, Universidad de Bourdeaux: 450 pp.
- Viguié, C. & Thibault, C. (1973). Nouveaux éléments de datación des formations de Piémont de la Sierra Morena a l'ouest de Séville. *Estudios Geológicos*, 29: 351-354.
- Zazo, C.; Dabrio, C.J.; Borja, J.L.; Lézine, A.M.; Lario, J.; Polo, M.D.; Hoyos, M. & Boersma, J.R. (1999). Pleistocene and Holocene aeolian facies along the Huelva coast (southern Spain): climatic and neotectonic implications. *Geologie en Mijnbouw*, 77: 209-224. doi:10.1023/A:1003689518310
- Zazo, C.; Silva, P.G.; Roquero, E.; Mercier, N.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J.; Borja, F.; Lario J.; Soler, V. & Polo, D. (2003). Tectónica y sedimentación reciente en el litoral de El Abalarío, Huelva (Golfo de Cádiz). *Talasas*, 19: 79-80.
- Zazo, C.; Mercier, N.; Silva, P.G.; Dabrio, C.J.; Goy, J.L.; Roquero, E.; Soler, V.; Borja, F.; Lario, J.; Polo, D. & De Luque, L. (2005). Landscape evolution and geodynamic control in the Gulf of Cadiz (Huelva coast, SW Spain) during the Late Quaternary. *Geomorphology*, 68: 269-290. doi:10.1016/j.geomorph.2004.11.022

Recibido el 20 de mayo de 2009

Aceptado el 23 de noviembre de 2009

Publicado online el 15 de febrero de 2010

