

# Geología del Valle del Guadamar y áreas colindantes

Coordinadora: Marisol Manzano<sup>(1 y 2)</sup>

Autores: J. M.<sup>a</sup> Salvany<sup>(2)</sup>, C. Mediavilla<sup>(3)</sup>, R. Mantecón<sup>(4)</sup> y M. Manzano<sup>(1 y 2)</sup>

(1) Instituto Jaume Almera (CSIC). e-mail: marisol.manzano@upc.es

(2) Universidad Politécnica de Cataluña; Dept. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. e-mail: josepm.salvany@upc.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España, Sevilla. e-mail: oficina.sevilla@itge.mma.es

(4) Compañía General de Sondeos, Sevilla. e-mail: cgs\_sevilla@cgs-sevilla.supercable.es

## RESUMEN

Se ha realizado un estudio geológico del aluvial de los ríos Agrío y Guadamar hasta su conexión con los sedimentos de las marismas del Guadalquivir. El estudio (litoestratigráfico, geométrico y geocronológico) ha consistido en una cartografía superficial y en la confección y correlación de una veintena de secciones geológicas apoyadas en casi un centenar de sondeos perforados tras el accidente y en unos 200 registros de sondeos perforados mayoritariamente durante la década de 1970 para el Plan Regable Almonte Marismas. Además se ha realizado varias dataciones absolutas (<sup>14</sup>C) de restos de madera muestreados durante la perforación del primer conjunto de sondeos.

El modelo sedimentario establece la existencia de tres terrazas aluviales con registro sedimentario (T3, T2, T1) y otra erosiva (terrazza actual o T0). En el Agrío las terrazas se disponen de forma escalonada y simétrica a ambos lados del cauce, con cotas progresivamente más bajas cuanto más modernas (predomina el encajamiento). La terraza T3 está desconectada de las otras. En el Guadamar, hasta la confluencia con el arroyo Alcarayón el escalonamiento ocurre sólo en la margen derecha debido a un desplazamiento progresivo del eje del río hacia el E por causas tectónicas, si bien la base de la terraza T1 está siempre a cota más elevada que la de la terraza T2 (predomina el relleno sedimentario). La terraza T3 desaparece hacia el arroyo Alcarayón y no vuelve a aparecer más al S. Las bases de las terrazas T2 y T1 aparecen encajadas sobre las Margas Azules hasta Benacazón y sobre las formaciones Arenas Basales y/o Limos Basales (Plio-Cuaternario) entre Benacazón y la marisma. A partir del Vado del Vado del Quema los sedimentos aluviales comienzan a estar recubiertos por arcillas de marisma. El conjunto T2 + T1 + T0 es holoceno y parece haberse formado en su mayor parte tras la estabilización del nivel del mar después del último ascenso eustático (unos 6500 a BP), mientras la terraza T3 parece ser pleistocena.

En la marisma los niveles más groseros (gravas) de la base de las terrazas T2 y T1 aparecen entre los 30 y los 60 m de profundidad y están directamente en contacto con potentes niveles de gravas y arenas de la formación Arenas Basales (Plio-Cuaternario) pertenecientes al sistema acuífero Almonte-Marismas.

Palabras clave: Secuencias sedimentarias, Terrazas aluviales, Guadamar, Marisma, Doñana, Holoceno, Pleistoceno.

## ***Geology of the Guadamar river valley and adjacent areas***

### ABSTRACT

*A detailed geological study of the Agrío and Guadamar alluvial valley down to the Guadalquivir river marshes has been carried out. Lithostratigraphic, geometrical and chronological methods have been used to obtain a surface geological map, and a sedimentary model based on 100 boreholes drilled after the accident and some 200 lithological logs belonging to boreholes drilled during the 1970's for the Almonte-Marismas Irrigation Project.*

*Sedimentary bodies belonging to three alluvial terraces (T3, T2 and T1) have been recognised in the area in addition to the erosive present terrace (T0). Along the Agrío river valley the terraces display a stepped pattern. They are simetrically arranged on both rims, their basis displaying progressively lower elevations as they become younger. Terrace T3 is disconnected from the other two. This stepped pattern occurs only along the W rim of the Guadamar river valley due to a tectonically driven shift of the river to the E. However, the bottom of T1 is always more elevated than that of T2, pointing to the predominance of a filling-up process. Terrace T3 is no longer present S of the Alcarayón creek. Between the Agrío river and Benacazón village the bottom of T2 and T1 are in contact with the Miocene Blue Marls, while between Benacazón and the marshes they erode the Arenas Basales and Limos Basales Plio-*

*Quaternary formations. From Vado del Quema to the S the alluvial sediments become covered by marshy clays. Both the T2, T1 and T0 terraces have been dated as Holocene, while T3 is more probably Pleistocene (chronological dates are not available).*

*About 30 to 60 m under the marshes the bottom gravels of T2 and T1 contact directly the sand and gravel layers of the Arenas Basales formation, which belong to the Almonte-Marismas aquifer system.*

*Key words: Sedimentary sequence, Alluvial terraces, Guadiamar, Marshes, Doñana, Holocene, Pleistocene.*

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen los modelos sedimentológicos correspondientes a los aluviales de los ríos Agrío y Guadiamar y a la zona de enlace del Guadiamar con las marismas del Guadalquivir. Han sido elaborados con el propósito de apoyar los estudios hidrogeológicos que se presentan en otros capítulos de esta publicación. Estos depósitos son (Fig. 1): (1) las terrazas cuaternarias de los ríos Agrío y Guadiamar y su prolongación por debajo de las marismas; (2) los depósitos cuaternarios de las marismas del Guadalquivir y (3) los depósitos fluvio-deltáicos plio-cuaternarios situados por debajo de los anteriores y que constituyen las formaciones Arenas Basales y Limos Basales (IGME, 1983). Este conjunto sedimentario se dispone sobre un substrato margoso de diferente edad según los lugares. Bajo el valle del Guadiamar son las Margas Azules miocenas (Viguier, 1974). Bajo las marismas se trata de margas con intercalaciones de limos y arenas, que lateralmente son equivalentes a los Limos Basales y también a las capas inferiores de las Arenas Basales. Serían por tanto margas de edad pliocena.

Las Arenas Basales y los Limos Basales son dos formaciones de gran extensión regional en el Bajo Guadalquivir. Al este del valle del Guadiamar (provincia de Sevilla) ambas formaciones constituyen la unidad hidrogeológica Aljarafe, si bien la mayor parte del acuífero se corresponde con la primera formación ya que la segunda está muy escasamente representada. Al oeste del valle del Guadiamar (provincia de Huelva) y bajo las marismas, las dos formaciones constituyen la unidad hidrogeológica Almonte-Marismas. En este caso se da la situación opuesta, es decir, la mayor parte del acuífero se corresponde con las Arenas Basales pues los Limos Basales están menos representados. Ambas formaciones equivalen respectivamente a

las formaciones Arenas de Bonares (Mayoral y Pendón, 1986-87) y Arenas de Huelva (Civis et al., 1987) y conjuntamente equivalen también a la Unidad Deltaica de Salvany y Custodio (1995).

La separación de los mismos sedimentos en dos unidades hidrogeológicas (o sistemas acuíferos) distintas a ambos lados del valle del Guadiamar es una cuestión administrativa.

Los depósitos aluviales del río Guadiamar y sus afluentes (Agrío, Alcarayón, etc.) se extienden de forma continua desde Aznalcóllar hasta las marismas. El acuífero aluvial del río Guadiamar está formado por los depósitos de sus dos terrazas inferiores (T1 y T2).

### 3.1. Información previa y estudios de caracterización realizados

Los estudios geológicos sobre las terrazas del Guadiamar previos a la rotura de la presa de Aznalcóllar son prácticamente inexistentes. Se limitan a los mapas geológicos del IGME, a escala 1:50 000, de Sanlúcar La Mayor (1976) y Almonte (1977). Con posterioridad a la rotura, la empresa Compañía General de Sondeos (CGS) realizó un mapa geológico del Guadiamar a escala 1:10 000 para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) basado en datos exclusivamente de superficie (CGS, 1998). Este mapa abarca una franja de terreno de unos 4 kilómetros de anchura media, situada a ambos márgenes del río Guadiamar y comprendida desde la corta de la antigua mina, al norte, hasta la zona de Entremuros, al sur. Se realizó con la ayuda de los mapas del IGME antes referidos y de un vuelo fotogramétrico de ASAJA del 2 de mayo de 1998.

Sobre el substrato neógeno y cuaternario existe un mayor número de estudios previos, general-

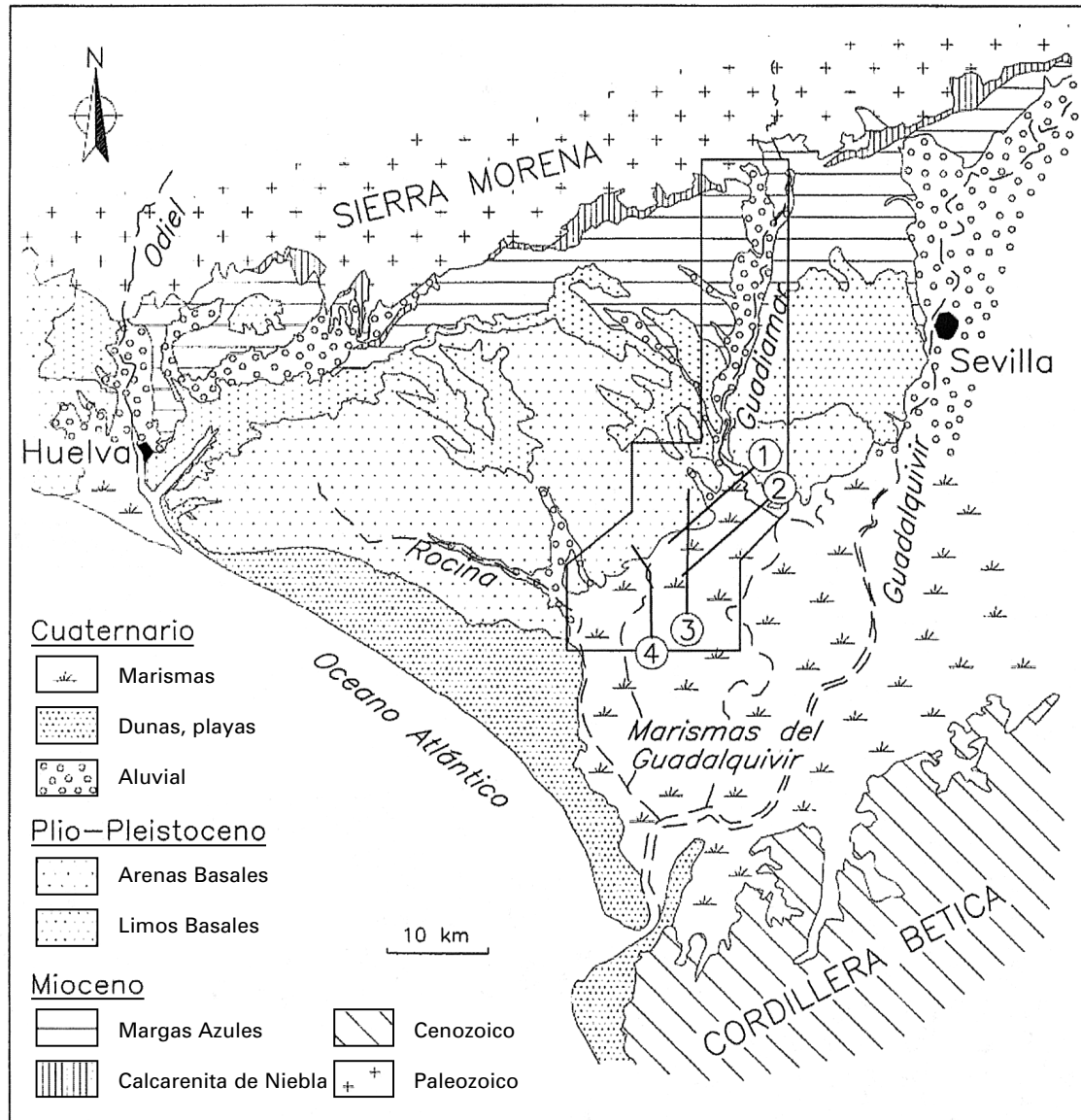


Fig. 1. Mapa geológico del Bajo Guadalquivir con indicación del área estudiada (simplificado de las hojas 1:200 000 del IGME) y situación de los cortes geológicos de la Fig. 4.

mente de escala regional, de entre los que destacan los de Pérez Mateos y Riba (1961), Viguier (1974), Mayoral y Pendón (1986-97), Civis et al. (1987), Mayoral (1989), Torcal et al. (1990), Salvany y Custodio (1995) y Zazo et al. (1999).

Los modelos que se presentan en este capítulo se han basado principalmente en el análisis y correlación de las columnas litológicas de 291 sondeos hidrogeológicos, así como en una cartografía

geomorfológica de las terrazas, a escala 1:20 000, en parte basada en la cartografía previa de CGS (1998). También se ha realizado análisis granulométricos y geocronológicos ( $^{14}\text{C}$ ) de varias muestras de los depósitos aluviales del Guadamar (Salvany et al., 2000a).

En la franja aluvial de los ríos Agrio y Guadamar todos los sondeos estudiados se realizaron con posterioridad a la rotura de la presa. Son un total

de 44 sondeos de investigación de pequeño diámetro (50 a 90 mm), 25 de ellos realizados por EMGRISA y 19 por Boliden-Apirsa, así como 38 sondeos de gran diámetro (250 mm) realizados por la CHG. Estos sondeos representan un total de 884 metros de perforación. Para el conocimiento detallado de la geometría y litología del aluvial del Agrío en la zona de ejecución de la barrera hidrogeológica, se construyeron otros 7 sondeos de gran diámetro según dos perfiles paralelos y transversales al cauce. También se han tenido en cuenta las columnas litológicas de 4 sondeos particulares de la finca del Quema. En las marismas los sondeos estudiados son en su mayor parte de antigua realización: 4 correspondientes al proyecto FAO de 1970; 185 correspondientes a los sectores "I" y "Marismas" del Plan Regable Almonte-Marismas, realizados por el IRYDA entre 1970 y 1975; 5 correspondientes a la red de control hidrogeológico de CGS y 4 realizados por el IGME durante 1999 (sondeos Feder).

### 3.2. Modelo sedimentológico de los depósitos aluviales de los ríos Agrío y Guadiamar

#### *Aspectos geomorfológicos generales*

Los depósitos aluviales de los ríos Agrío y Guadiamar forman cuatro terrazas (Fig. 2) a las que en este estudio se ha denominado T3 (terrace superior), T2 (terrace intermedia), T1 (terrace inferior) y T0 (terrace actual). Las tres primeras terrazas corresponden, cada una de ellas, a un depósito aluvial, mientras que la T0 constituye una forma de erosión actual excavada sobre la terraza T1, sin depósito propio a los efectos de este estudio, aunque localmente puede presentar pequeñas barras y depósitos móviles, reciclados de las otras terrazas.

La terraza T3 se individualiza bien en la parte alta del valle (al norte de Sanlúcar La Mayor) y a ambos márgenes de los dos ríos. En esta zona está desconectada de las otras terrazas, formando diversos enclaves sobre las Margas Azules. Hacia el sur sólo se reconoce en la margen derecha del río y está en contacto con la terraza intermedia. Al sur de Aznalcázar deja de reconocerse. La terraza T2 está representada a ambos márgenes del río Agrío, pero en el

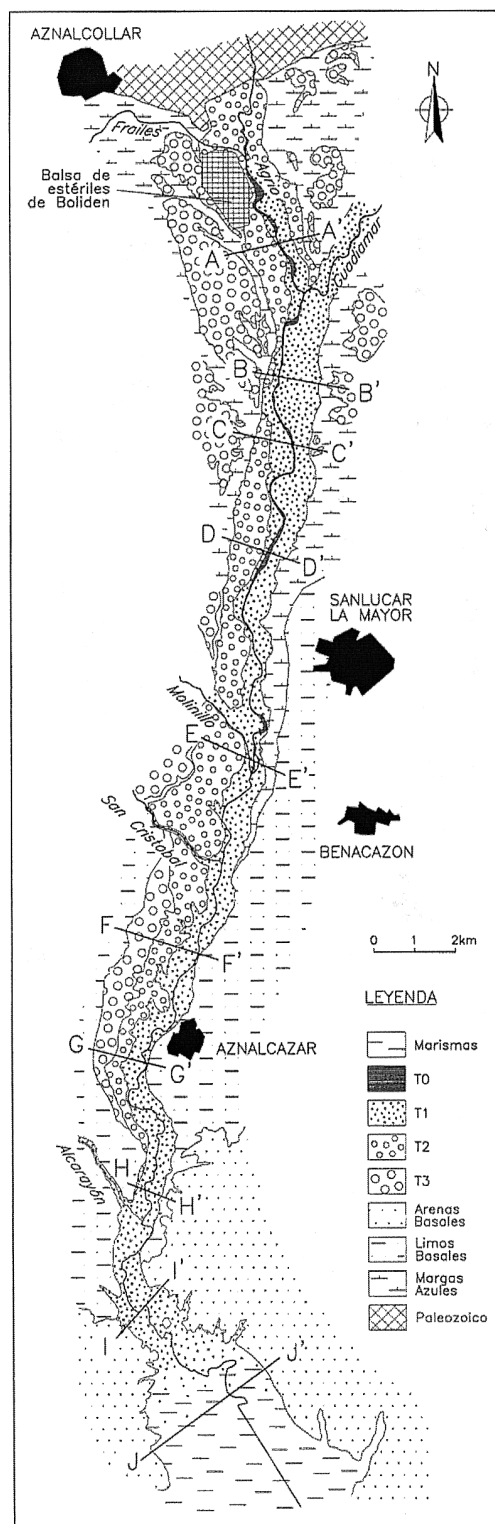


Fig. 2. Cartografía de las terrazas aluviales de los ríos Agrío y Guadiamar entre Aznalcóllar y las marismas del Guadalquivir. Se indica la posición de los cortes geológicos de la Fig. 3.

Guadamar sólo lo está en la margen derecha. En la parte alta del valle se diferencia bien de la terraza inferior por la presencia de un escarpe continuo de hasta 4 m de altura. En la parte baja del valle este escarpe pierde altura progresivamente y se hace discontinuo. La terraza T1 se extiende de forma continua por todo el valle.

La terraza T0 está bien desarrollada en la parte alta del valle del Guadamar y en el valle del Agrío. En esta zona la terraza está encajada de 1 a 1,5 m por debajo del techo de la terraza T1 y tiene una anchura variable de 50 a 200 m. En ella se puede diferenciar bien un canal sinuoso central, por donde circula habitualmente el agua, y una llanura de inundación periférica sólo ocupada por el río durante avenidas. En la actualidad este canal central ha sido en su mayor parte remodelado artificialmente por las labores de limpieza de lodos, sobre todo en el valle del Agrío. Desde Sanlúcar la Mayor hacia el sur la terraza T0 se hace progresivamente más estrecha y profunda. En esta parte baja del valle más que una terraza constituye un canal sinuoso, de 20 a 50 m de anchura, encajado varios metros (hasta 5 m en la zona del Vado del Quema) en los depósitos de la terraza T1.

En el Guadamar las terrazas muestran una disposición asimétrica que se refleja también en el relieve del substrato terciario circundante. Así, buena parte de la margen izquierda del valle constituye una vertiente de fuerte pendiente, al pie de la cual se dispone un depósito coluvial continuo que enlaza con la T1. La margen derecha, por el contrario, es mucho más suave y sobre ella discurren los principales afluentes (arroyos) del Guadamar. En el Agrío esta asimetría no está presente.

#### *Composición y geometría de las terrazas*

Cada terraza está compuesta por un tramo inferior de cantos y gravas y un tramo superior arenoso con niveles subordinados de gravas (Fig. 3). El tramo superior se superpone al inferior, generalmente de forma gradual, aunque en algunos casos (en la terraza T1) puede tratarse de un contacto neto. En la parte alta del valle el tramo de cantos y gravas forma la mayor parte de las tres

terrazas, pero hacia el sur el tramo arenoso aumenta progresivamente de espesor y las gravas quedan confinadas en la parte más deprimida y profunda de cada una de las terrazas. Los cantos son de tamaño raramente superior a 15 cm y, junto con las gravas, son de composición variada: cuarcita, pizarra, esquisto, corneana y granitoides. Localmente, en la terraza T2 estos materiales llegan a estar cementados. Las arenas son de composición silíceo dominante. En la zona de enlace con las marismas el tramo arenoso superior tiene de 8 a 12 m de espesor, adquiere un carácter más limoso e incluye algunos niveles de bioclastos. Estas fácies constituyen el tránsito lateral gradual a los depósitos de marisma.

En el Guadamar la terraza T1 tiene una potencia creciente hacia el sur, con valores máximos de 5 m en la desembocadura del Agrío y de 16 m en el enlace con la marisma. Presenta una geometría tabular que supone el relleno de un valle de fondo relativamente plano. Este valle está excavado siempre sobre la margen izquierda de los depósitos de la T2. La terraza T2 tiene una potencia (original) que varía de 12 a 25 m, también creciente hacia el sur. Constituye el relleno de un valle sinuoso en forma de "v". El fondo de este paleovalle muestra siempre una cota más baja que el de la terraza T1. Del corte H hacia el sur la terraza T2 deja de aflorar, pero a través de los sondeos se sigue reconociendo bien en subsuelo, por debajo de la terraza T1. La base de ambas terrazas tiene una pendiente similar, que en promedio es del orden de 0,15%. La terraza T3 está muy desmantelada por la erosión y resulta difícil reconstruir su geometría. Sin embargo se observa que su base se sitúa siempre a una cota del orden de 10 m más baja en la margen derecha de los ríos Agrío y Guadamar que en la margen izquierda. La potencia (original) de esta terraza no sería inferior a los 15 m.

A diferencia del Guadamar, en el río Agrío la terraza T1 muestra un mayor encajamiento en el substrato terciario que la T2. Su base forma un paleovalle estrecho y sinuoso que llega a situarse hasta 7 m por debajo de la base de la terraza T2 (corte A de la Fig. 3). El espesor de la terraza T2 no supera los 5 m y su base es relativamente plana.

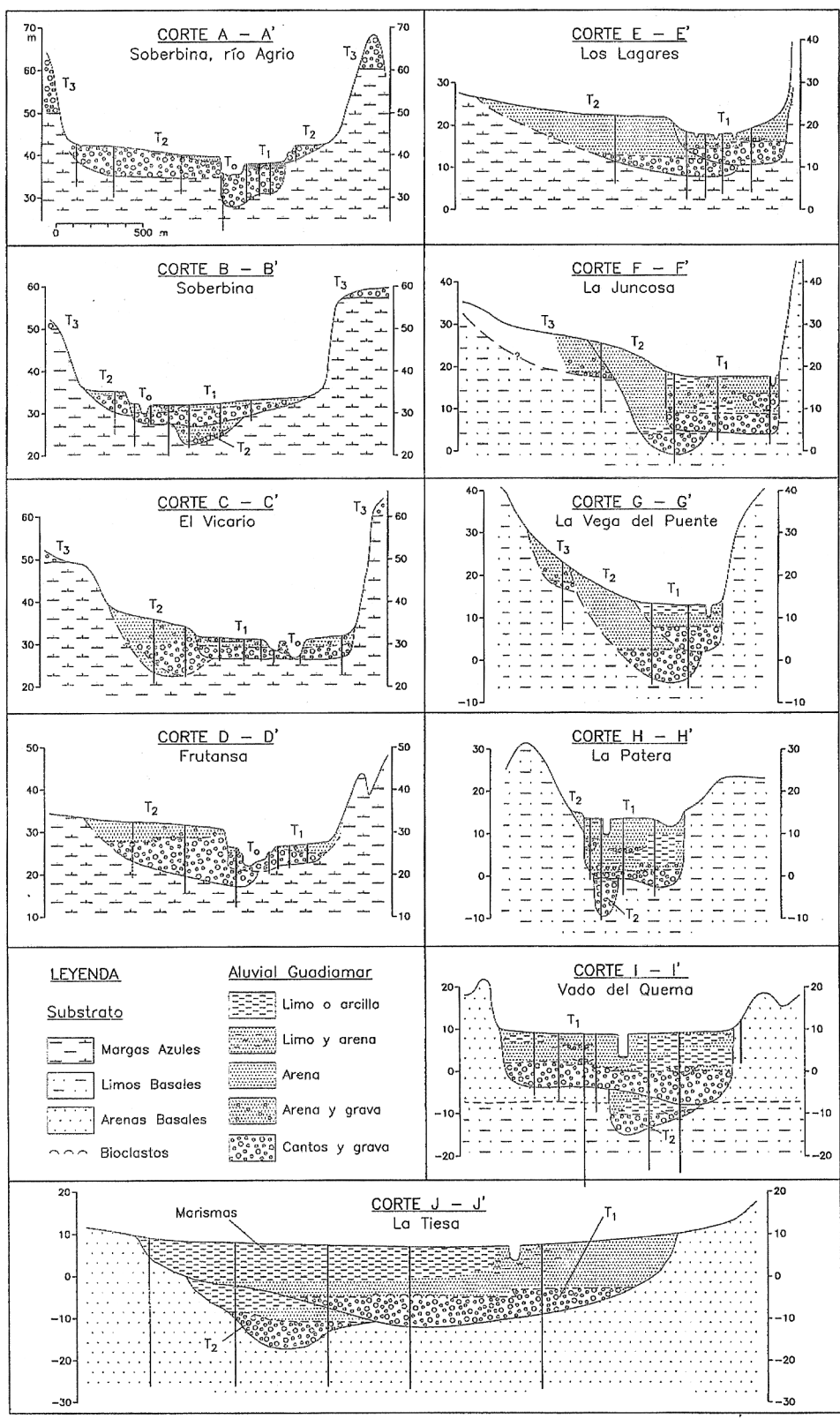


Fig. 3. Cortes geológicos de las terrazas de los ríos Agrio y Guadiamar (ver Fig. 2 para su localización).

### *Edad de las terrazas*

A partir de los valores de  $^{14}\text{C}$  de seis muestras de materia orgánica (madera) se ha podido datar las terrazas T1 y T2. Para la terraza T1, tres muestras localizadas en la base del tramo superior arenoso han dado edades de 305, 310 y 285 años respectivamente. Una cuarta muestra localizada a 10 m de profundidad en el sondeo F2 (corte F) ha dado una edad de 4990-5035 años. Y una quinta muestra localizada a 13 m de profundidad en el sondeo H2 (corte H) ha ofrecido una edad de 1715 años. Para la terraza T2 sólo se dispone de los datos de una muestra localizada en las proximidades del corte B, a 1,5 m por debajo del techo de la terraza, que ha dado una edad de 6285 años. Estos datos confirman una edad holocena para las terrazas T1 y T2 del Guadamar. Tal como se discute más adelante, la terraza T3 probablemente corresponda al Pleistoceno.

### **3.3. Modelo sedimentológico de los depósitos de la zona de enlace del aluvial del Guadamar con las marismas del Guadalquivir**

En la zona de enlace del aluvial del Guadamar con las marismas del Guadalquivir el análisis de los sondeos permite diferenciar tres unidades litoestratigráficas. De base a techo son (Fig. 4): (1) Formación Arenas Basales, (2) Formación Aluvial del Guadamar y (3) Formación Marismas. La Formación Limos Basales no se reconoce por debajo de las Arenas Basales en la zona de marismas, a pesar de que aflora en la parte baja del valle del Guadamar. En la marisma, por debajo de las Arenas Basales se dispone una unidad margosa con intercalaciones de limos y arenas que se interpreta como los depósitos equivalentes laterales de los Limos Basales. Dado que los sondeos estudiados sólo penetran unos pocos metros en el techo de estas margas no se ha podido determinar sus características estratigráficas (potencia, límites, etc.) ni su relación con las Margas Azules miocenas, presumiblemente por debajo de las mismas.

#### *Formación Arenas Basales*

Las Arenas Basales constituyen un depósito fluviodeltaico, de estructura monoclin al suave-

mente inclinada hacia el sur, con un buzamiento variable de entre 3 y 4 grados, que es algo mayor bajo las marismas que en su afloramiento de la parte baja del valle del Guadamar. Tienen una potencia creciente de norte a sur entre 40 y 130 m. Se componen de gravas, arenas (o areniscas), limos y arcillas, que forman capas de gran continuidad lateral y de hasta varios metros de espesor cada una de ellas. Entre las arenas y gravas también se reconocen niveles discontinuos de bioclastos (lumaquelas) que localmente pueden alcanzar hasta 10 m de potencia. Este conjunto de materiales alterna formando un total de 6 ciclos granodecrecientes, de espesor decamétrico, compuestos cada uno de ellos por un nivel inferior de gravas (G) con base erosiva; un nivel intermedio de arenas (A), con niveles subordinados de gravas, bioclastos y limos; y un nivel superior (L) de limos, arcillas o margas. El primer ciclo lo constituye un nivel individual de arenas (A1) justo a techo de los Limos Basales, en la zona del Quema. El segundo ciclo lo forman los niveles G1-A2-L1. El tercer ciclo lo forman los niveles A3-L2. Estos tres primeros ciclos pasan lateralmente hacia el sur al techo de las margas basales. Los tres ciclos superiores son respectivamente, de base a techo: G2-A4-L3, G3-A5-L4 y G4-A6. Estos ciclos se extienden hacia el sur más allá de los límites del área estudiada. La Fig. 4 muestra la disposición de estos ciclos en cuatro cortes representativos del área estudiada.

Las Arenas Basales son el depósito de un sistema fluviodeltaico progradante hacia el SO (Fig. 5A). Cada uno de los ciclos constituye el registro sedimentario correspondiente a un descenso del nivel del mar (regresión marina), con la consiguiente expansión de los depósitos aluviales (G) sobre la costa, seguida de una posterior subida progresiva del nivel del mar (transgresión), pasándose gradualmente de los depósitos deltáicos (A) a los de prodelta (L).

#### *Formación Aluvial del Guadamar*

Los depósitos aluviales del Guadamar que se extienden por debajo de las marismas constituyen el relleno sedimentario de un paleovalle excavado sobre las Arenas Basales que, en la zona estudiada, alcanza una cota de hasta -80 m respecto al nivel del mar (Fig. 5B). Este paleova-

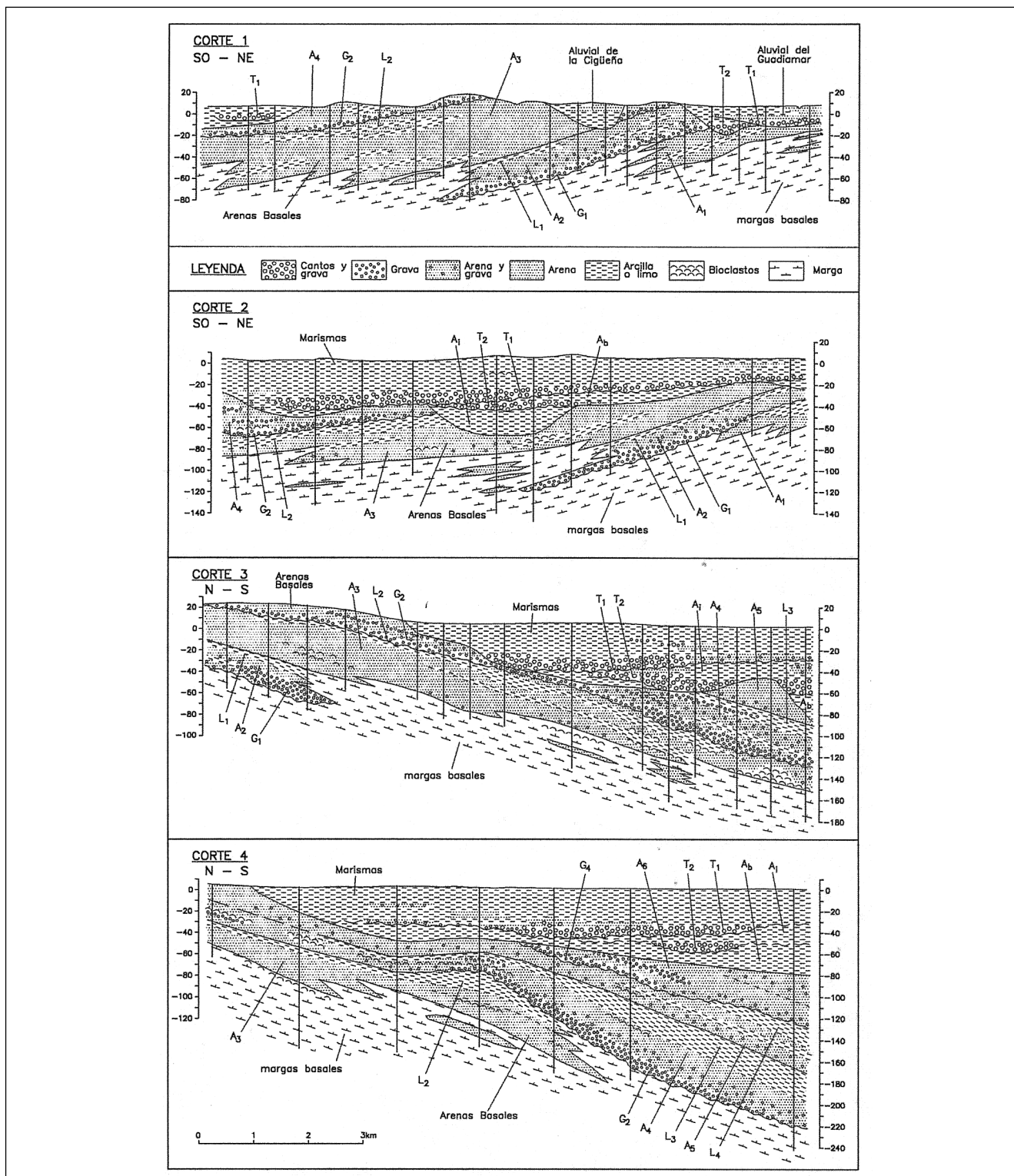


Fig. 4. Cortes geológicos de los depósitos pliocuaternarios de la zona de enlace del valle del Guadamar con las marismas del Guadalquivir (ver Fig. 1 para su localización y texto para el significado de la notación geológica). La numeración de los niveles de gravas, arenas y limos de la Formación Arenas Basales es correlativa y creciente de base a techo de la formación, e independiente de los ciclos definidos.



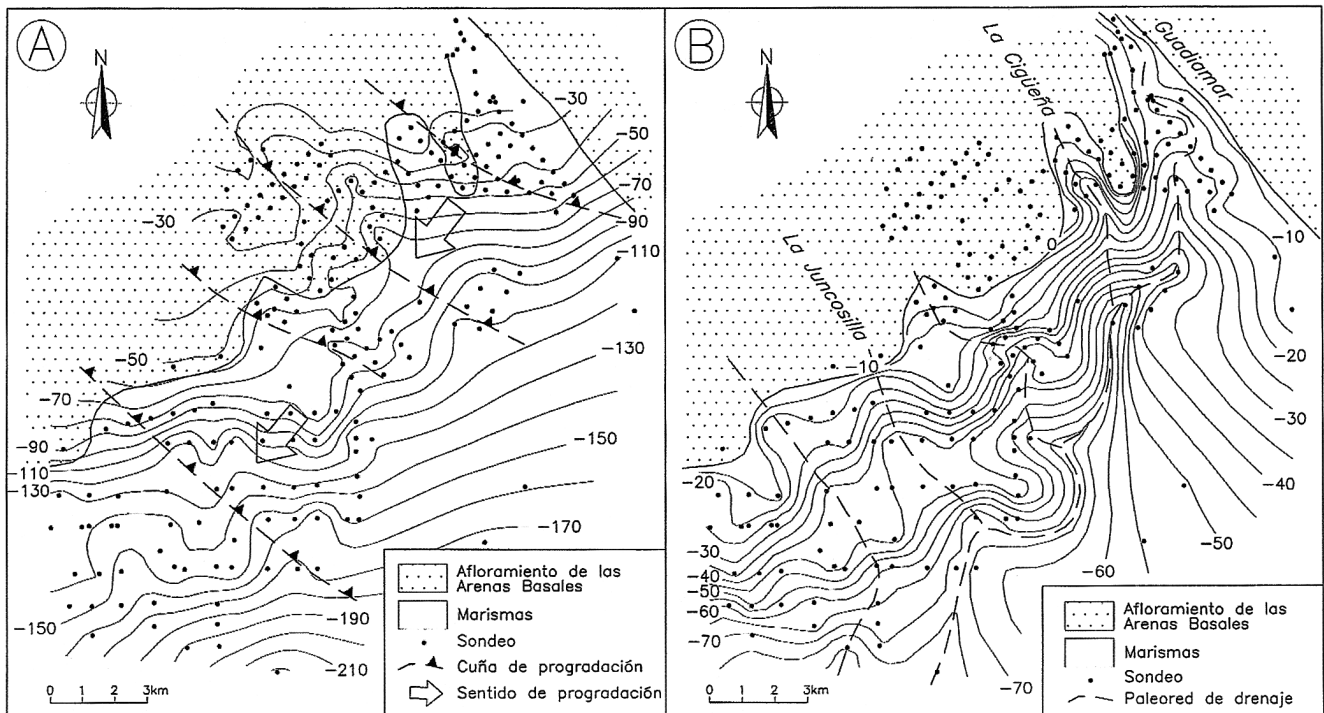


Fig. 5. Mapa de isohipsas (respecto al nivel del mar) de la base de la Fm. Arenas Basales (A) y de la base de la Fm. Aluvial del Guadamar (B).

lle tiene una pendiente media del 0,3%, con un tramo inicial de unos 5 km de mayor pendiente, que alcanza el 0,9%, y una zona posterior más suave, con una pendiente algo superior al 0,1%. Sobre su margen derecha se encajan diversos paleovalles secundarios, cuyo trazado coincide en buena parte con el de los arroyos actuales que desembocan en el margen NO de las marismas.

Estos depósitos constituyen una formación aluvial con una potencia que puede variar desde unos pocos metros hasta 75 m. En ella se puede distinguir (Fig. 4): (1) un nivel basal arcilloso discontinuo (Ab), confinado en el fondo del paleovalle y de espesor variable hasta 25 m, (2) un nivel inferior de cantos rodados y gravas que es la prolongación de la terraza T2 del valle del Guadamar, también restringido a la traza del paleovalle, con una potencia de hasta 20 m y (3) un nivel superior de cantos y gravas que es la prolongación de la terraza T1, con una potencia de entre 5 y 15 m. Este segundo nivel de gravas es más expansivo y ocupa la mayor parte del subsuelo estudiado de las marismas. En la zona

más meridional, los dos niveles de cantos y gravas están separados por un tramo arcilloso intermedio (Ai) de similares características al nivel basal, que puede alcanzar una potencia de hasta 15 m.

La pendiente de estos dos niveles de gravas indica un marcado paralelismo con la del paleovalle que delimita la base de la formación. Así, ambos niveles muestran una pendiente mayor en los primeros kilómetros a partir de la desembocadura del Guadamar en las marismas, con valores que se estiman del orden del 0,4%, y menor pendiente, del orden del 0,1%, más adelante.

Por la edad de las terrazas del Guadamar antes descrita, la base erosiva de la Formación Aluvial del Guadamar puede atribuirse al descenso del nivel del mar, del orden del centenar de metros, ocurrida durante el último máximo glacial. En tal caso, toda la serie situada por encima de esta superficie erosiva sería de edad holocena. Si se acepta esta consideración, entonces también se debería aceptar el hecho de que la terraza T3 del

Guadiamar es pleistocena, pues la superficie de erosión basal de la formación Aluvial equivale en el valle del Guadiamar a la base de la terraza T2. Esto también explicaría porqué la terraza T3 no aparece en la parte sur del valle del Guadiamar.

### *Formación Marismas*

La Formación Marismas constituye una monótona sucesión de arcillas con algunas intercalaciones arenosas o limosas de escasa continuidad lateral, así como pequeños niveles de gravas y bioclastos, que se dispone de forma gradual y concordante sobre la Formación Aluvial del Guadiamar. Su potencia máxima es de 40 m en el extremo suroeste del área estudiada. Representa el desarrollo de un medio palustre litoral todavía activo en la actualidad, con sedimentación de los depósitos aluviales distales más finos de la red de drenaje actual y con importante influencia marina como demuestran los niveles de bioclastos (fauna marina).

La base de esta formación queda bien definida cuando por debajo de ella están desarrolladas las gravas aluviales. En los sondeos donde no se cortan estas gravas la Formación Marismas pasa verticalmente sin solución de continuidad a las facies arcillosas aluviales equivalentes laterales de las gravas del nivel T1 (o incluso del T2). Esta situación se da principalmente en los márgenes del paleovalle.

### **3.4. Conclusiones**

Como apoyo a los estudios hidrogeológicos encaminados al conocimiento y control del impacto del vertido de Aznalcóllar sobre los acuíferos afectados por el vertido, se ha realizado el primer estudio geológico detallado del valle aluvial de los ríos Agrío y Guadiamar entre la mina de Aznalcóllar y la marisma del Guadalquivir. Los resultados del estudio son:

1) En el valle aluvial de los ríos Agrío y Guadiamar pueden diferenciarse cuatro terrazas: T3, T2, T1 y T0. Las tres primeras forman cada una de ellas un depósito aluvial compuesto por un tramo inferior de cantos y gravas y un tramo superior arenoso. La terraza T0

constituye una forma de erosión sin depósito propio y desarrollada sobre la terraza T1, a una cota de 1 a 5 m por debajo de su techo, en la que discurre el cauce actual de ambos ríos.

- 2) La relación geométrica entre las terrazas permite distinguir tres diferentes dominios aluviales: (1) el valle del Agrío, donde las terrazas presentan una disposición simétrica respecto al cauce actual del río y donde la terraza T1 está más encajada en el substrato terciario que la T2 (el fondo del paleovalle lo determina la base de la T1). Por otro lado, la T3 está siempre desconectada de las otras terrazas, formando diferentes enclaves sobre las Margas Azules, (2) el valle del Guadiamar, en el que las terrazas muestran una disposición asimétrica, situándose progresivamente desplazadas hacia el este conforme su edad es más moderna. Por otro lado, la base de la terraza T1 presenta siempre una cota más alta que la T2, que es la que muestra un mayor encajamiento en el substrato terciario (el fondo del paleovalle lo determina la base de la T2) y (3) bajo las marismas, donde las terrazas T1 y T2 se hallan superpuestas (la primera sobre la segunda) formando el relleno sedimentario de un paleovalle excavado en el techo de las Arenas Basales.
- 3) El análisis de 6 muestras de materia orgánica mediante el método del <sup>14</sup>C ha permitido datar como holocenas las tres terrazas más bajas: la parte superior de la terraza T2 da una edad de 6285 años; la base y techo de la T1 dan una edad del orden de 5000 y 300 años respectivamente. La T0 tendría una edad inferior a 300 años. Se desconoce la edad de la T3, aunque se cree probable que sea pleistocena.
- 4) Las Arenas Basales constituyen el substrato de los depósitos aluviales del Guadiamar en la parte baja del valle de este río y por debajo de las marismas. Esta formación, de edad plio-cuaternaria, constituye una serie monoclinial con un buzamiento de 3 a 4 grados hacia el sur y con una potencia variable de 40 a 130 m. En ella pueden reconocerse seis ciclos granoderecientes, de espesor decamétrico, formados por un nivel basal de gravas con base erosiva, un nivel intermedio arenoso y un nivel superior limo-arcilloso. Estos ciclos reflejan una

geometría progradante hacia el SO y se acunñan lateralmente en el techo de las Margas Azules, que en el subsuelo de las marismas constituyen la base de las Arenas Basales.

Esta formación, que forma parte del sistema acuífero Almonte-Marismas y está muy explotada para regadío en la zona, recibe agua de la Formación Aluvial del Guadamar en las actuales condiciones hidráulicas. Por esta razón la geometría y configuración del contacto entre ambas formaciones se ha estudiado con especial detalle.

- 5) La Formación Marismas constituye una monótona sucesión de arcillas con niveles subordinados de arenas y bioclastos de hasta 40 m de potencia, que representa la colmatación de la cuenca en condiciones de regresión de los sistemas aluviales hacia el norte. En la zona del Quema estos depósitos pasan lateralmente y de forma gradual al tramo superior arenoso de la terraza T1.

Los modelos geológicos obtenidos tanto para el valle aluvial como para la confluencia con la marisma han sido la base para la definición y ejecución de los distintos modelos numéricos de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes que se exponen en el Capítulo 9.

#### REFERENCIAS

- CGS, 1998. Piezometría en el valle del río Guadamar y su entorno de los acuíferos Almonte-Marismas y Aljarafe. Campaña del 23-26 de mayo de 1998, 2 mapas, (informe inédito): 1-6.
- Civis, J., Sierro, J., González Delgado, J.A., Flores, J.A., Andrés, I., Porta, J. y 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, Publ. Universidad de Salamanca: 9-21.
- FAO 1970. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir: informe técnico. 1 AGL:SF/SPA 9, Roma, (informe inédito): 1-115.
- IGME, 1976. Mapa Geológico de España, 1:50 000, hoja 983 Sanlúcar La Mayor. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME, 1977. Mapa Geológico de España, 1:50 000, hoja 1001 Almonte. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME, 1983. Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid: 1-120.
- IRYDA, 1976. Informe final de los sondeos de la zona regable de Almonte-Marismas y síntesis hidrogeológica, (Informe inédito): 1-110.
- Mayoral, E. y Pendón, J.G., 1986-87. Icnofacies y sedimentación en zonas costeras. Plioceno superior (?), litoral de Huelva. Acta Geológica Hispánica, 21-22: 507-513.
- Mayoral, E.J., 1989. Geología de la Depresión Inferior del Guadalquivir, In El Cuaternario en Andalucía Occidental, EAQUA Monografías, 1: 7-20.
- Pérez Mateos, J. y Riba, O., 1961. Estudio de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de Huelva. II Reunión de Sedimentología, Sevilla, CSIC: 87-94.
- Salvany, J.M. y Custodio, E., 1995. Características litoestratigráficas de los depósitos plio-cuaternarios del bajo Guadalquivir en el área de Doñana: implicaciones hidrogeológicas. Rev. Soc. Geol. España, 8 (1-2): 21-31.
- Salvany, J.M., Carrera, J.; Bolzicco, J.; Bernet, O.; Mediavilla, C. y Mantecón, R. 2000a. Geometría y edad de los depósitos aluviales de los ríos Agrío y Guadamar entre Aznalcóllar y las marismas del Guadalquivir. Geotemas 1 (4): 285-290.
- Salvany, J.M., Carrera, J.; Mediavilla, C.; Jaén, M.; Vázquez-Suñé, E.; Castro, A.; Manzano, M. 2000b. Litoestratigrafía y paleogeografía de los depósitos pliocuaternarios del margen NO de las marismas del Guadalquivir (Huelva-Sevilla). Geotemas 1 (4): 291-297.
- Torcal, L.; Zazo, C. y Marfil, R., 1990. Características y cronología de los depósitos arenosos neógenos y cuaternarios del litoral de Huelva, España (área: río Tinto-río Guadalquivir). Estudios Geológicos 46: 153-164.
- Viguier, C., 1974. Le Nèogene de l'Andalousie Nord Occidentale (Espagne). Histoire géologique du Bassin du bas-Guadalquivir. Tesis Doctoral, Universidad de Bordeaux: 1-45.
- Zazo, C., Dabrio, C., González, A., Siero, F., Yll, E.I., Goy, J.L., Luque, L., Pantaleón Cano, J., Soler, V., Rorue, J.M., Lario, J., Hoyos, M. y Borja, F., 1999: The record of the latter glacial and interglacial periods in the Guadalquivir marshlands (Mari López drilling, SW Spain). Geogaceta, 26: 119-122.