

## ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO DE UN SECTOR DEL RIO GUADALQUIVIR EN LAS PROXIMIDADES DE ANDUJAR (PROVINCIA DE JAEN) LOS DEPOSITOS DE LA TERRAZA + 6 m (T4)

J. A. Santos García\*; F. Jerez Mir\* y J. Saint-Aubin\*

### RESUMEN

En este trabajo, se analizan las características del cauce actual del río Guadalquivir, en un sector próximo a Andújar, así como los depósitos correspondientes a la terraza + 6 m (T4).

Se estudian los principales parámetros morfológicos, observándose buen equilibrio entre ellos, lo que denota que su morfología y trazado están condicionados, fundamentalmente, por factores locales.

Las variaciones paulatinas del cauce se producen por cambios en el caudal o en la carga, mientras que las variaciones bruscas, suelen ser consecuencia de desbordamientos.

A partir de la comparación de datos de varias épocas (cartografía, foto-aérea, etc.), se establece un desplazamiento general del río hacia el S. o SO.

En los depósitos de la terraza + 6 m (T4), se distinguen dos secuencias diferentes (tipo 1 y 2), constituidas por asociación de facies de canal y de llanura de inundación.

Se establece un modelo para la construcción de la terraza, en el que predominan los depósitos de acreción lateral, caracterizando barras de meandro.

**Palabras clave:** *Parámetros morfológicos. Cambios de trazado. Facies de canal. Facies de llanura de inundación. Secuencias. Barras de meandro. Depósitos de terraza. Modelo sedimentario. Río Guadalquivir. Actual.*

### ABSTRACT

The characteristics of the current river channel of the Guadalquivir river and deposits of the terrace T4 (+ 6 m) near Andújar are described.

The study of morphological parameters evidence that they are balanced; this indicates that morphology and channel pattern are controlled mainly by local causes.

Changes in discharge and bedload are responsible for gradual variations of channel pattern. In contrast, overflow causes sharp changes.

A general displacement of the river course towards the S. and SW. was deduced from careful study of maps, air photographs, etc., corresponding to various dates.

T4 (+ 6 m) terrace deposits exhibit 2 typical vertical sequences (called 1 and 2 respectively) of channel and flood-plain facies.

A model of terrace growth is proposed which is dominated by point bar deposits.

**Key words:** *Morphological parameters. Changes of channel pattern. Channel facies. Flood-plain facies. Sequences. Point-bar. Terrace deposits. Sedimentary model. Guadalquivir river. Present.*

### Introducción

Este trabajo es el resultado de algunas de las observaciones realizadas durante la ejecución del «Estudio Geológico-Hidrogeológico del área de emplazamiento de la fábrica de uranio de Andújar

(FUA)», llevado a cabo por la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA), para la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA).

Dicho estudio contemplaba varias fases a diferentes escalas, con el fin de alcanzar un conocimiento deta-

\* ENADIMSA. Doctor Esquerdo, 138. 28007 Madrid.

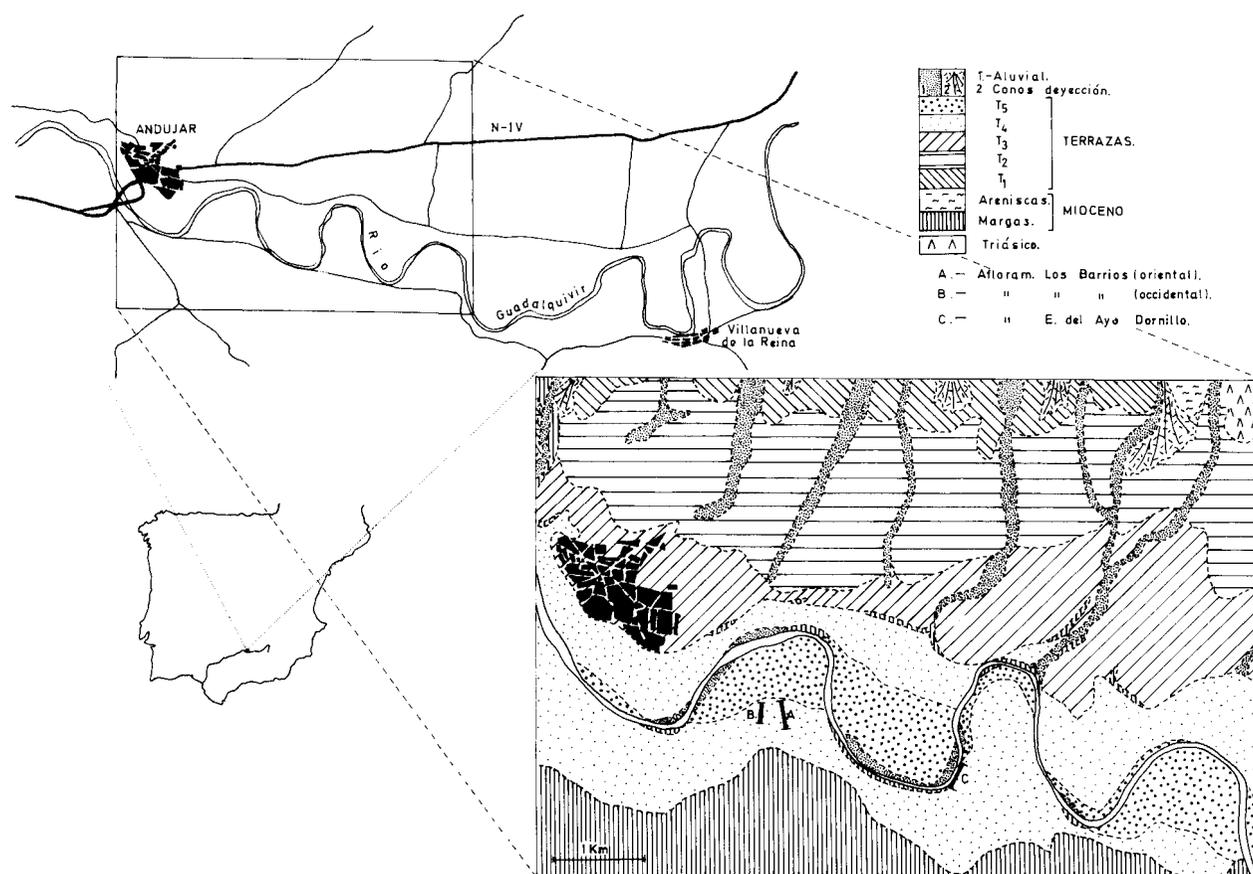


Fig. 1.—Situación del área y esquema geológico.

llado de la geología, evolución neotectónica, funcionamiento hidrogeológico, etc, de un área mucho más amplia.

El presente trabajo aborda la caracterización sedimentológica de un sector del río Guadalquivir, de unos 24 Km<sup>2</sup>, en las proximidades de Andújar. (figura 1).

El área de estudio se encuentra situada al SE. de la localidad de Andújar, quedando encuadrada dentro de la hoja topográfica a escala 1/50.000 del mismo nombre (Hoja n.º 904).

Pertenece a los depósitos cuaternarios de la Depresión del Guadalquivir, en donde predominan los sedimentos fluviales, constituidos por un sistema de terrazas y por los aluviones recientes o actuales.

El sistema de terrazas del río Guadalquivir en un entorno próximo, está formado por cinco niveles que se apoyan, en general, sobre las margas del Mioceno marino, por lo que es normal observar en los niveles basales la presencia de cantos blandos, procedentes de dicha unidad.

Se pueden distinguir 5 niveles de terrazas, bien desarrolladas en la margen derecha del río y mal con-

servadas o ausentes (sólo afloran T4 y T5) en la izquierda. Sus características distintivas son, respectivamente (Santos, 1987 y 88):

— Terraza 1 (T1): se sitúa exclusivamente en la margen septentrional del río, a 50-55 m sobre el lecho. Está compuesta por un conglomerado cuarcítico, con algunos clastos de caliza, cuarzo y pizarra, encontrándose parcialmente cubierta por depósitos de abanicos aluviales del borde N. de la Depresión del Guadalquivir.

— Terraza 2 (T2): situada a unos 30 m sobre el lecho del río, está constituida por gravas con clastos de cuarcita y caliza y esporádicamente de pizarra. En ocasiones, algunos niveles de gravas se encuentran cementados (cementerio de Andújar).

Terraza 3 (T3): se sitúa a unos 13-15 m sobre el lecho del río y está formada por gravas cuarcíticas, con cantos de hasta 5 cm y escasa presencia de cantos de caliza. Hacia la parte superior, se diferencia un tramo de composición limo-arenosa.

— Terraza 4 (T4): se encuentra a unos 6 m sobre el nivel actual del río. Se trata de la terraza actual o subactual, sobre la que se encajan los meandros ac-

tuales del río, desarrollando un típico sistema de «point bars».

— Terraza 5 (T5): en realidad corresponde a los sedimentos de la llanura de inundación actual del río, en la que son visibles los depósitos de «point bar» recientes, que se separan con claridad de los aluviones actuales, formados por gravas y arenas distribuidas en el cauce actual y en pequeñas islas.

Las referencias a estos depósitos son muy escasas y siempre corresponden a trabajos mucho más amplios, donde se citan de forma general (Fontbote, 1970; Castello y Pignatelli, 1975; Azcárate et al. 1978, etc.).

### Metodología

La metodología utilizada en este trabajo, trata de abarcar dos aspectos fundamentales. Por un lado, la determinación de las características del cauce y por otro, la caracterización de los sedimentos depositados por el río.

Las características del cauce se han obtenido mediante el análisis morfológico de tramos del río (a partir de mapas y fotografías aéreas) lo cual ha permitido establecer las principales variables morfológicas y los desplazamientos sufridos.

También se procedió a la comparación de los datos históricos y las cartografías disponibles, de los años 1923 y 1974 (a escala 1/50.000), con la situación actual del cauce.

Posteriormente y tras su ampliación, se estudiaron las series de fotografías aéreas existentes (1956 y 1984), lo cual ha permitido observar con más detalle las variaciones experimentadas por el cauce en estos 28 años, así como las zonas de acreción, erosión, etc.

La caracterización de los sedimentos depositados por el río se ha restringido a los correspondientes a la T4, que presenta los mejores afloramientos, ya que los cortes naturales en la T5 son escasos y en aquellos lugares donde existen, sólo queda expuesta la parte superior.

El análisis e interpretación de estos depósitos (litología, textura, estructura, secuencias, etc.) ha permitido su caracterización sedimentológica, a partir de cortes naturales y graveras.

### Caracterización del cauce

Los métodos utilizados para clasificación de ríos se basan, fundamentalmente, en criterios geomorfológicos y sedimentológicos.

Los criterios geomorfológicos utilizan, por lo general, el índice de sinuosidad del cauce activo y la presencia de uno o más de estos cauces, dando lugar a una clasificación, sin duda la más popular, que data de mediados de siglo (Leopold y Wolman, 1957 y Miall, 1978) y establece cuatro categorías de ríos: Meandriiformes (*meandering*), entrelazados (*braided*), rectos (*straight*) y anastomosados (*anastomosing*).

Los criterios sedimentológicos incluyen otros factores diferentes, como son el modo de transporte del sedimento, las características del flujo, las secuencias generadas, etc., que dan lugar a nuevas clasificacio-

nes, entre las cuales la más elaborada se debe a Schumm (1961, 1977), que indica su relación con las clasificaciones morfológicas y establece tres tipos: de carga de fondo (*bed load*), de carga mixta (*mixed load*) y de carga en suspensión (*suspended load*).

### Principales parámetros

El trazado que describe el río Guadalquivir, en el sector considerado en este trabajo, es típicamente meandriiforme, con lóbulos sucesivos que divagan en una llanura aluvial y cuyo lecho se excava en margas miocenas.

Los caracteres morfológicos de un río de este tipo (meandriiforme), han sido estudiados por muchos autores, dando lugar a una gran variedad de parámetros, de entre los cuales, hemos utilizado aquellos que consideramos más significativos para nuestro estudio, como son: *Longitud de onda axial* (L), *longitud de onda del arco* ( $\lambda$ ), *amplitud de la curva* (A), *radio de curvatura* (rc), *ángulo de curvatura* (Ac) y *sinuosidad* (P), así como las relaciones entre ellos.

Conviene resaltar que los datos obtenidos son siempre en estado de «bankfull» (nivel máximo normal de las aguas de un río).

Las principales características de los parámetros analizados son (Fig. 2):

— *Longitud de onda axial* (L): Este parámetro es de dimensiones variables, ya que depende de la forma en el trazado del meandro, según se elongue en el sentido de la corriente o transversalmente a ella. En el primero de los casos alcanza 3.100 m, mientras que en el segundo es de 2.400 m. Este último valor es el caso del meandro de Los Cortijuelos.

— *Longitud de onda del arco* ( $\lambda$ ): Corresponde a la longitud del meandro, tomada a lo largo del «thalweg». Se obtienen valores de 4.600 m en los meandros más elongados y de 3.600 m en los de trazado semicircular de su arco.

— *Amplitud de la curva* (A): Mide la distancia transversal a la dirección media del río, dando idea del espacio ocupado por las curvas del río, en sus desplazamientos laterales. Oscila entre 1.600 y 1.400 m. Como la relación entre A y  $\lambda$  es proporcional, se observa que algunas curvas de meandro se salen de la zona marcada por la amplitud (A figura 2), pero se equilibran con las curvas adyacentes, como ocurre entre Los Villares y los Barrios.

— *Radio de curvatura* (rc): Corresponde a la distancia entre el centro de curvatura y el «thalweg», a lo largo del meandro.

Como, generalmente, cada meandro presenta una evolución morfológica compleja, da lugar a varios puntos medios desde donde pueden medirse otros tantos radios de curvatura (rc.).

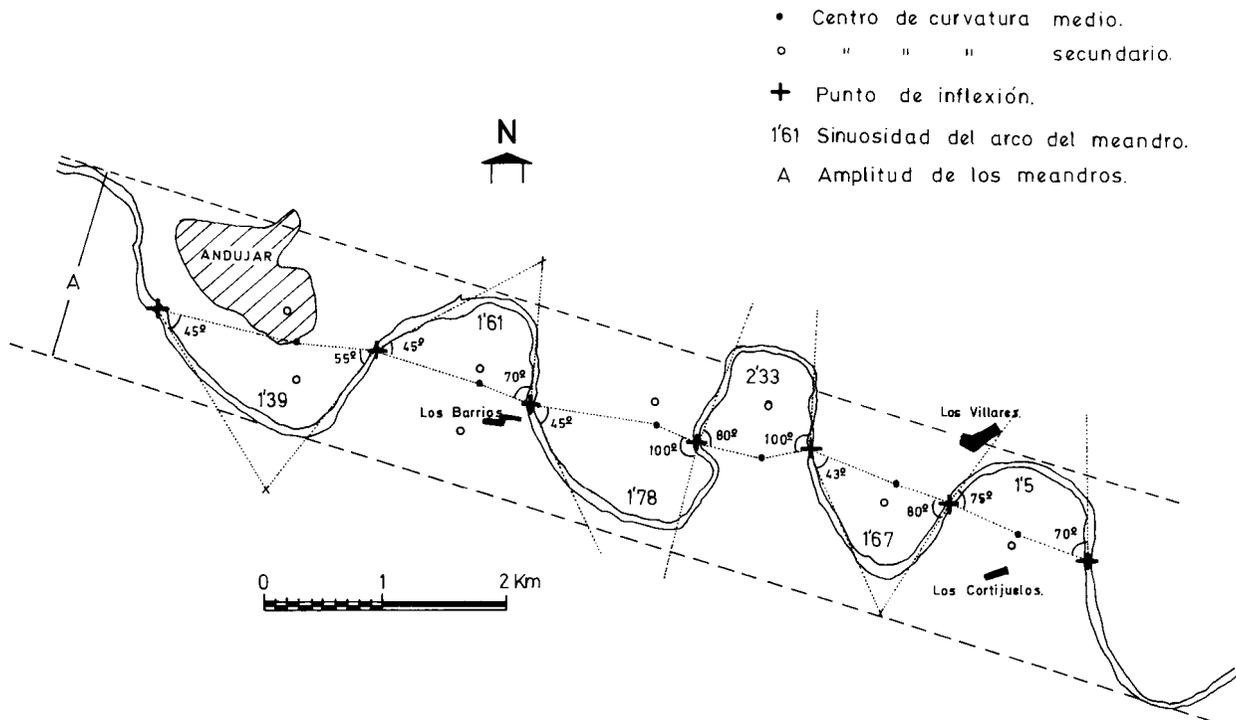


Fig. 2.—Principales parámetros morfométricos.

Los valores obtenidos varían de 600 a 900 m, aunque pueden ser mayores en otros arcos de meandro elongados transversalmente.

El meandro que presenta un mejor trazado circular es el de los Cortijuelos, con  $rc = 600$  m. El meandro de Andújar presenta un meandro elongado en la dirección del río, con un  $rc$  medio de 700 m y  $rc$  secundarios, uno de 240 m y otro de 940 m.

— *Angulo de curvatura* ( $Ac$ ): Es el ángulo formado por la línea tangente a un punto del meandro, con la dirección media del río, que pasa por ese punto. En nuestro caso, está referido a los puntos de inflexión de los arcos de meandro, tratando de adaptar la línea tangente al trazado del canal. De este modo,  $Ac$  es significativo de la simetría o asimetría del lóbulo y de la forma de los meandros.

Los valores de  $Ac$  obtenidos, varían entre  $45^\circ$  y  $100^\circ$  y como indicó Ferguson (1973), este ángulo aumenta con la sinuosidad del río.

Destaca la asimetría y vergencia aguas arriba, del trazado descrito por las curvas de los meandros, lo cual no es frecuente en ríos que divagan por una llanura aluvial, por lo que pensamos que puede ser debido a un control litológico —estructural del fondo del canal.

— *Sinuosidad* ( $P$ ): Este índice relaciona  $\lambda$  y  $L$ , dando idea de lo que divagan los meandros respecto a la dirección media del eje del río ( $P = \lambda/L$ ).

Los valores obtenidos oscilan entre 2,33 y 1,39, con una media para el área de 1,65, señalando una marcada sinuosidad que, en ocasiones, es elevada incluso en curvas que se separan bastante del eje medio del río.

Los parámetros anteriores se encuentran estrechamente relacionados entre sí, como han señalado numerosos autores.

Dury (1969) indica que para meandros con sinuosidad ( $P$ ) mayor de 1,5, la longitud de onda axial ( $L$ ) suele ser de 10 a 14 veces su anchura ( $w$ ), cumpliéndose dicha proporcionalidad en nuestro caso.

La estrecha relación entre  $L$  y  $w$ , también fue establecida por Leopold y Wolman (1957, 1960), mediante la fórmula:  $L = 12,34 w$ , similar a la indicada por Zeller (1967). Aplicándola a nuestro caso concreto, para una anchura de canal máxima de 200 m, la  $L$  resultante sería de 2.344 m, muy próxima a la obtenida.

También Dury (op. cit.) relaciona la longitud de onda axial ( $L$ ) con la descarga ( $Q_c$ ), en estado de «bankfull», mediante la fórmula:

$$L = 54,3 Q_c^{0,5}$$

Si sustituimos los valores obtenidos, se comprueba que para una  $L$  de 2.400 m, es necesario un caudal de  $1.950 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , propio de una avenida extraordinaria, con un período de retorno aproximado de 25 años, es decir, según la fórmula, para los caudales

disponibles (del orden de 1.160 m<sup>3</sup>/seg.) se debería tener una L de 1.849 m., un 23 % menor que la que se ha obtenido.

Leopold y Wolman (1960) establecen la proporcionalidad entre anchura de cauce (w) y longitud de onda del arco ( $\lambda$ ), mediante la expresión:

$$\lambda = 17,2 w$$

existiendo una perfecta correlación con nuestros datos.

Estos mismos autores establecen la relación entre tamaño y forma o, lo que es lo mismo, entre L y rc, que expresan mediante la fórmula:

$$L = 4,59 rc^{0.08}$$

la cual, sólo se ajusta en el caso del meandro más oriental estudiado (Los Cortijuelos).

### Morfología de los meandros

La existencia de meandros es consecuencia de la necesidad que tiene el río de disipar un exceso de energía, estableciendo un balance continuo de zonas alternativas de erosión y depósito. Su morfología depende de factores regionales (clima, hidrología, etc.).

El sector de río analizado corresponde a un río meandriforme confinado con una estrecha banda de circulación de márgenes, básicamente margoso al S. y detrítico al N., y con una llanura de inundación estrecha y en continuo crecimiento lateral (tipo 1 de Lewin, 1978).

Estos meandros son bastante sinuosos y mantienen un tamaño de onda no muy dispar, aunque las variaciones de sinuosidad de cada curva demuestran un ajuste en el exceso o defecto de energía a lo largo del río, que se compensa con una mayor o menor elongación del arco de meandro.

Aunque en este tipo de río meandriforme es frecuente, el acortamiento de la longitud del canal por estrangulamiento, la escasa potencia de la cubierta aluvial, el acusado encajamiento del río y la dificultad que encuentra el canal para desplazarse, dan lugar a que el Guadalquivir sólo pueda cambiar en esta zona el trazado de su curso por desbordamiento, en períodos de crecidas máximas, en las que se superan con facilidad la cota de 200 m o los 9 m de calado.

La distribución de los depósitos aluviales recientes en las márgenes del río y la morfología actual de los meandros, nos explican los desplazamientos que ha sufrido el trazado del cauce y las variaciones en su configuración, comprobándose en los meandros los movimientos indicados en la fig. 3.

De entre las posibles causas de estos movimientos enumeramos las principales:

— Variaciones locales en la carga de sedimentos del Guadalquivir, provocadas por aportaciones extraordinarias de sus barrancos afluentes.

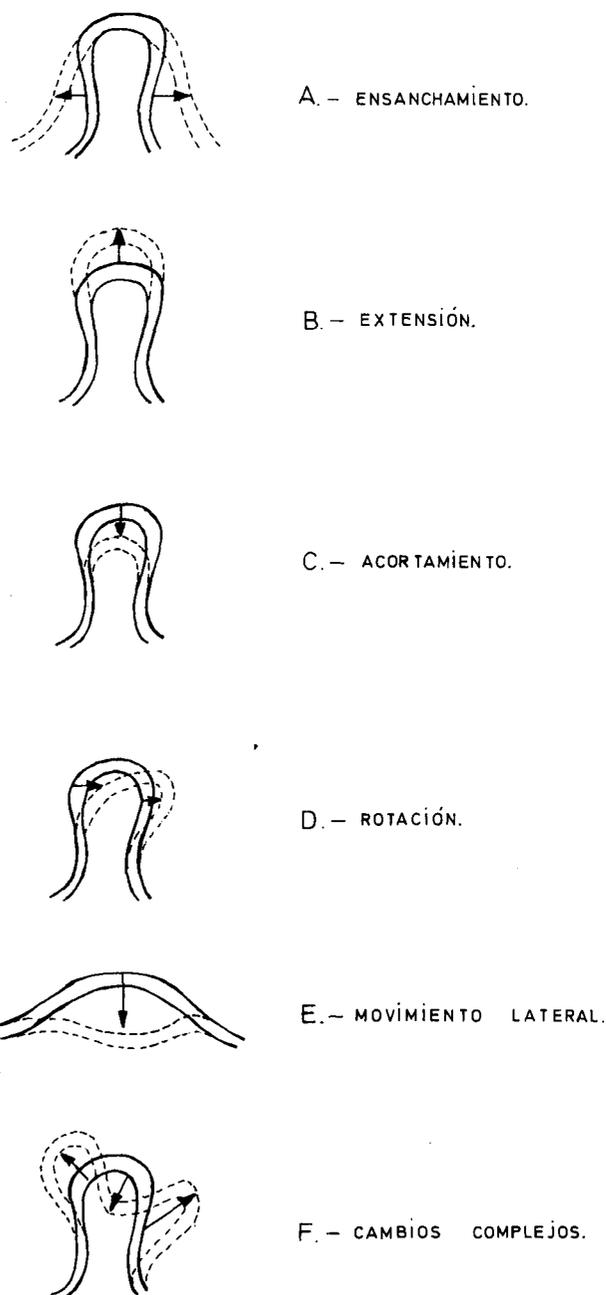


Fig. 3.—Esquema de los principales tipos de movimientos observados en los meandros.

— Control litológico —estructural del sustrato margoso.

— Crecidas extraordinarias del caudal con pequeño período de recurrencia, en las que la actividad morfogenética es mayor.

Según Ferguson (1976), la irregularidad de los meandros refleja el grado de influencia de factores no hidrodinámicos, como topografía, sedimentología

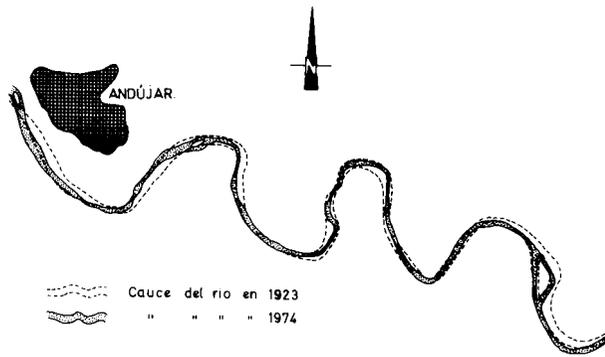


Fig. 4.—Diferencias cartográficas entre 1923 y 1974.

y actividad antrópica. De igual manera, esta irregularidad ocurre en ríos poco energéticos, en los que dominan las influencias ambientales.

#### *Evolución del río*

Para intentar conocer las variaciones sufridas por el cauce del río a una pequeña escala temporal se procedió a comparar datos históricos con la situación actual. Así se ha tenido en cuenta, por ejemplo, la posición original del puente romano de Andújar, cuya zona central o rotura de aguas, que inicialmente debió de estar situada en la parte central del cauce, se encuentra en la actualidad en la margen derecha, desplazada más del 100 m del centro del cauce.

Independientemente, de que la construcción del puente tuviera lugar en los primeros siglos de esta Era, o en épocas algo más recientes, puede afirmarse, que el cauce de río se ha desplazado más de 100 m en menos de 2.000 años, lo cual supone una media de 1 m/20 años.

En otro orden de tiempo, se ha comparado las cartografías a escala 1/50.000, publicadas en los años 1923 y 1974, en las que, aún teniendo en cuenta la escasez de medios en el caso de la más antigua, se observan importantes diferencias, principalmente por el desplazamiento del río hacia el S. o SO (fig. 4).

Por último, se ha comparado las secuencias de fotos aéreas existentes (1956-1984), con el fin de observar con más detalle las variaciones sufridas por el cauce en estos 28 años (fig. 5).

De forma global puede decirse que los procesos de erosión y acreción en ambas márgenes del río Guadalquivir entre 1956 y 1984 son:

— En la margen derecha predomina la acreción sobre la erosión, al contrario de lo que ocurre en la izquierda, donde predomina la erosión.

— Las direcciones de máximo desplazamiento en

forma de acreción en la margen derecha y erosión en la izquierda, resultan ser la E. y la SSO., mientras que las direcciones más estables del río en ambas márgenes, donde no se produce acreción ni erosión, resultan ser las NO-SE y N-S, lo cual abunda una vez más en el desplazamiento generalizado hacia el S.

#### **Depósitos**

Como ya se indicó anteriormente, los únicos depósitos que se pueden caracterizar con cierto detalle corresponden a la terraza + 6 m (T4), constituida por capas de gravas, arenas y limos, que forman cuerpos detríticos con una historia compleja.

#### *Facies y secuencias principales*

Las facies sedimentarias determinadas pueden agruparse en asociaciones de canal y de llanura de inundación.

Las facies de canal presentan una composición fundamentalmente conglomerática, formada por gravas con cantos de tamaño medio entre 0,5 y 10 cm, aunque existen tamaños mayores aislados.

Los cantos más frecuentes son de cuarcita y en menor proporción de caliza y arenisca.

Cuando los cantos presentan textura clasto-soportada y se sitúan en la base de las secuencias, caracterizan «**facies de fondo de canal**» (*channel-lag*).

La facies más común está constituida por depósitos de gravas con granoselección normal o positiva que, hacia la parte alta, puede pasar a términos microconglomeráticos y de areniscas gruesas, indicando una disminución en la capacidad de carga. Son frecuentes las superficies de acreción lateral que, en ocasiones, se encuentran marcadas por cantos de mayor tamaño. Se interpretan como «**facies de barras de meandro**» (*point-bar*).

Mucho más restringidos son los depósitos arenosos, de aspecto generalmente masivo, situados en continuidad lateral con los *point-bar*, que interpretamos como «**facies de relleno de canal**» (*channel-fill*). En ocasiones, pueden corresponder a barras arenosas, pero en este caso se observa la presencia de estratificación cruzada.

Localmente, los depósitos conglomeráticos aparecen encostrados, indicando probablemente zonas de circulación subsuperficial de agua, sometidas a exposición subaérea.

Las «**facies de llanura de inundación**», ocupan la parte superior de los afloramientos estudiados, donde alcanzan su mayor desarrollo. No obstante y de forma más o menos local, se han observado depósitos de llanura de inundación intercalados con facies



En conjunto, este tipo de secuencia está formada por depósitos de acreción lateral (tramo conglomerático), que representan las facies de canal principal y por depósitos de llanura de inundación (tramo limo-arenoso).

— Tipo 2: constituida por tres tramos, uno conglomerático, otro arenoso y un tercero limo-arenoso.

La principal diferencia con el tipo 1 estriba en la intercalación del tramo arenoso, caracterizado por estratificación cruzada en surco, en niveles de geometría lenticular que lateralmente pasan a arenas más finas, localmente con ripples.

Los dos tramos restantes son similares a los descritos en la secuencia tipo 1.

De manera esquemática, esta secuencia está formada por facies de canal principal (tramo conglomerático), sobre las que se sitúan facies de canales secundarios (tramo arenoso) que surcan la parte superior de la barra de meandro en épocas de crecida y representan depósitos de acreción longitudinal. La secuencia finaliza con depósitos de llanura de inundación (tramo limo-arenoso).

La presencia de un tipo u otro de secuencia, depende del punto de observación, es decir, de la posición de la misma en la barra de meandro.

De todos los afloramientos estudiados, se han seleccionado los tres que presentan mejores condiciones de observación y en las figuras 6, 7 y 8 se representa un esquema de los mismos.

Conviene resaltar que dichas figuras presentan distorsiones ya que se han construido a partir de un montaje fotográfico complejo, pero hemos considerado mejor no modificarlas para evitar otras distorsiones no controladas. Así por ejemplo, en la fig. 8 el contacto con las margas miocenas es prácticamente horizontal y no ondulado como aparece en la figura.

A continuación, se indican las principales características de cada afloramiento, de forma resumida.

#### *Afloramiento de Los Barrios (extremo oriental)*

Este afloramiento se ubica en la gravera existente al NO. de Los Barrios, diferenciándose tres grupos de depósitos (fig. 6).

Los depósitos del extremo SSE. del afloramiento, están formados por gravas en secuencias granodecrecientes (menores de 1 m), con depósitos de fondo de canal en la base, estratificación cruzada planar a gran escala y pequeñas intercalaciones de arena gruesa y cantos. Son frecuentes las superficies de acreción lateral (en sentido NO.), quedando claramente marcados algunos «sets» por alineaciones de cantos que marcan la estructura interna.

En contacto erosivo se apoyan cuerpos detríticos de características similares, que reflejan fluctuaciones en la dinámica.

Estos depósitos representan el crecimiento de una barra de meandro con una historia compleja, en la que se observan reactivaciones que han permitido erosionar los depósitos preexistentes, dando lugar a frecuentes cicatrices internas.

Los depósitos arenosos situados a continuación están formados por arenas en las que es difícil apreciar estructuración interna. Sin embargo, al encontrarse relacionados con facies de barra de meandro y dada su posición respecto al cauce principal, parece lógico interpretarlos como relleno de un canal abandonado que debió de producirse por un cambio relativamente brusco del cauce, ya que no se ha observado una alternancia de estructuras que indiquen abandono más o menos gradual.

Por último, la parte superior del afloramiento apa-

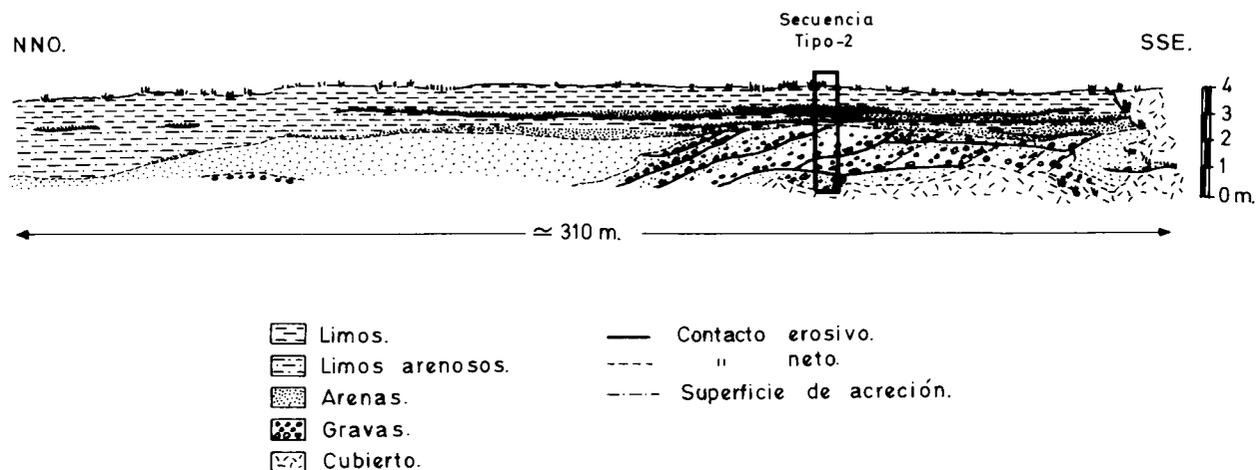


Fig. 6.—Esquema del afloramiento Los Barrios (extremo oriental).

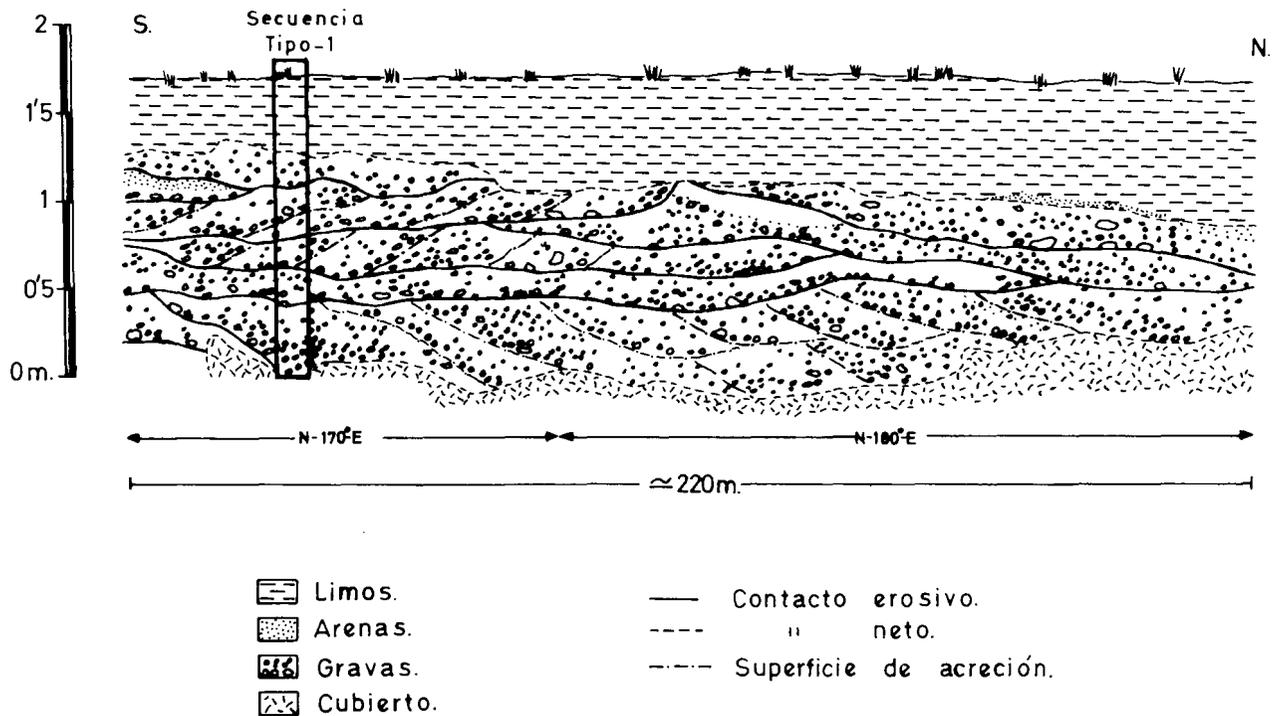


Fig. 7.—Esquema del afloramiento Los Barrios (extremo occidental).

rece constituida por limos más o menos arenosos entre los que se intercalan pequeños niveles, a veces con bastante extensión lateral, de microconglomerados y arenas gruesas, que presentan estratificación cruzada en surco de forma esporádica, y textura más gruesa en la base.

Esta parte superior representa depósitos típicos de una llanura de inundación, en la que se observa la presencia de algunos canales secundarios de escasa profundidad, producidos en etapas de crecida. Algunos depósitos pueden interpretarse como facies de desbordamiento (*crevasses* y *levees*), pero la morfología y estructuras existentes, no permiten una caracterización segura.

La mayor abundancia de canales secundarios hacia el SSE., así como la distribución de los restantes depósitos caracterizados, permite situar el desplazamiento del canal principal hacia el sur, durante la construcción de la terraza.

En consecuencia, se diferencian según las zonas dos o tres tramos, uno inferior de acreción lateral (arenas y gravas), otro intermedio de acreción longitudinal (arenas) y un tercero de acreción vertical (finos).

#### *Afloramiento de Los Barrios (extremo occidental)*

Este afloramiento, ubicado en la misma gravera que el anterior, resulta menos ilustrativo ya que no

permite observar un desarrollo similar de los cuerpos sedimentarios.

Está formado por gravas distribuidas en secuencias granodecrecientes (fig. 7), con algunos depósitos de fondo de canal y estratificación cruzada de gran escala. Se observan claramente superficies de acreción lateral (hacia el N-NO).

Los cuerpos presentan un aspecto ligeramente tabular, aunque en sus extremos se acúan o aparecen cortados por superficies erosivas que marcan el inicio de otra secuencia.

En la parte superior del afloramiento conglomerático, se observan gravas con superficies de acreción lateral en sentido contrario a las de la parte inferior del mismo, apoyadas sobre una zona intermedia donde no se observa acreción.

Este cambio brusco, se puede explicar por un proceso de estrangulamiento de un meandro, con acreción hacia el N, de forma que quedaría aislado, dando lugar a uno nuevo más amplio y con acreción contraria. Otra posible explicación, sería el cambio en el trazado del cauce en dirección S, superponiéndose una nueva barra de meandro, pero esta vez con una acreción contraria.

Todo el afloramiento se encuentra cubierto por limos que representan depósitos típicos de llanura de inundación (una vez que la faja de meandros se desplazó lateralmente hacia una posición más alejada).

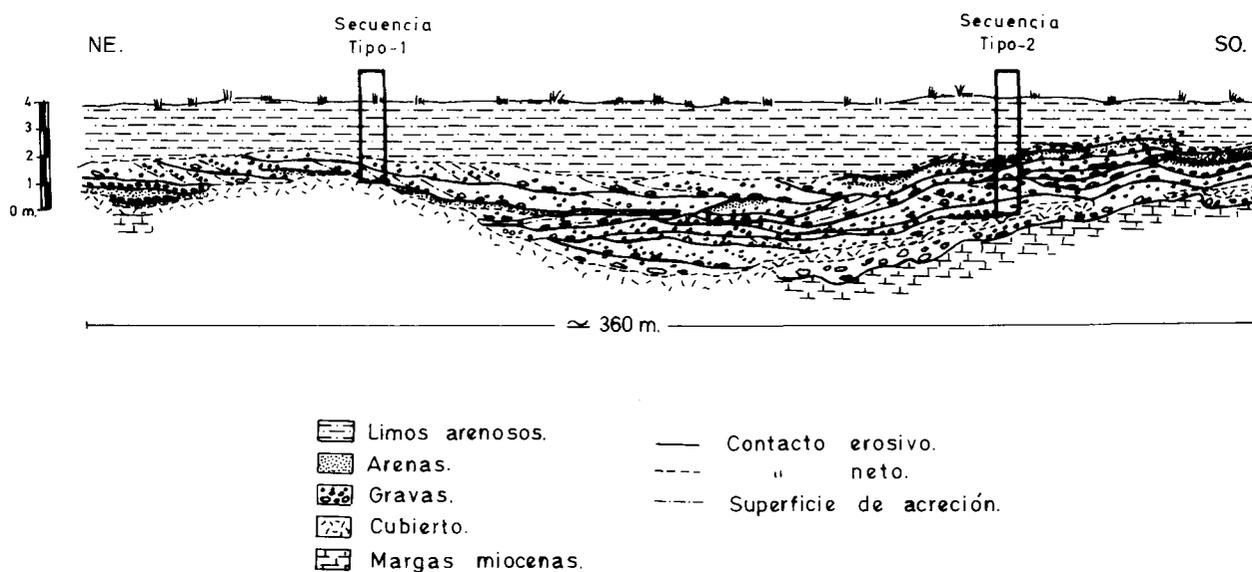


Fig. 8.—Esquema del afloramiento al E. del Ayo. del Dornillo.

#### Afloramiento al E. del Ayo. del Dornillo

Este afloramiento es el que presenta mayor longitud y se encuentra en un escarpe de la margen izquierda del río.

Como en los casos anteriores se pueden distinguir tres tramos diferentes (fig. 8).

El tramo inferior está formado por depósitos conglomeráticos distribuidos en secuencias positivas, que corresponde a una barra de meandro compleja, cuya estructura interna es difícil caracterizar con precisión.

De manera discontinua se aprecian depósitos arenosos (tramo intermedio) que pertenecen a canales secundarios, con secuencias iniciadas por depósitos de fondo de canal (*channel lag*) y hacia techo con términos de arenas gruesas. En ocasiones, corresponden a depósitos de relleno de canal (*channel fill*) y también a facies tractivas de desbordamiento.

Hacia el extremo NE. del afloramiento quedan bien representados depósitos con superficies de acreción lateral en sentido SO.

Todo el afloramiento se encuentra cubierto por depósitos limo-arenosos (tramo superior), típicos de facies de llanura de inundación.

El conjunto representa la compleja estructura de una barra de meandro migrando hacia el S-SO., con una historia multiepisódica y facies de llanura de inundación, que acaban cubriendo toda la barra.

#### Edad de la Terraza

No existen datos para poder realizar una datación precisa de la terraza + 6 m (T4), pero sí es posible

hacer algunas consideraciones sobre su edad, que permitan al menos, obtener una acotación aproximada de la misma.

En la zona de Los Villares, en la parte oriental de el área estudiada y en los estratos más antiguos de lo que fue Isturgi (Corcoles, 1987), se han encontrado hachas de piedra pulimentada del Neolítico.

Suponiendo que dicho núcleo, al igual que el actual, estuviera asentado sobre la T4, la edad de esta terraza sería como mínimo anterior a los restos hallados, datados entre 3.000 y 5.000 a.C.

Por otra parte, la existencia de datos históricos sobre la periódica inundación de la T4 (por ejemplo la crecida de 1963), permite considerarla bajo la influencia del clima actual o bajo unas condiciones que presenten continuidad climática con los actuales. Es decir, dentro del Holoceno, lo que supondría una edad inferior a 10.000 años.

#### Interpretación

Las descripciones de ríos con barras de meandro en materiales gruesos (Mc Gowen y Garner, 1970; Bluck, 1971; Levey, 1978; Jackson, 1978; Carrillo y Arche, 1980; Arche, 1983... etc.), presentan algunos rasgos de semejanza, aunque sin llegar a poder identificarse totalmente, con los depósitos de la terraza + 6 m (T4) del río Guadalquivir cerca de Andújar.

Con el fin de obtener criterios para interpretar las secuencias determinadas se estudió el cauce actual del río, caracterizando los principales factores que

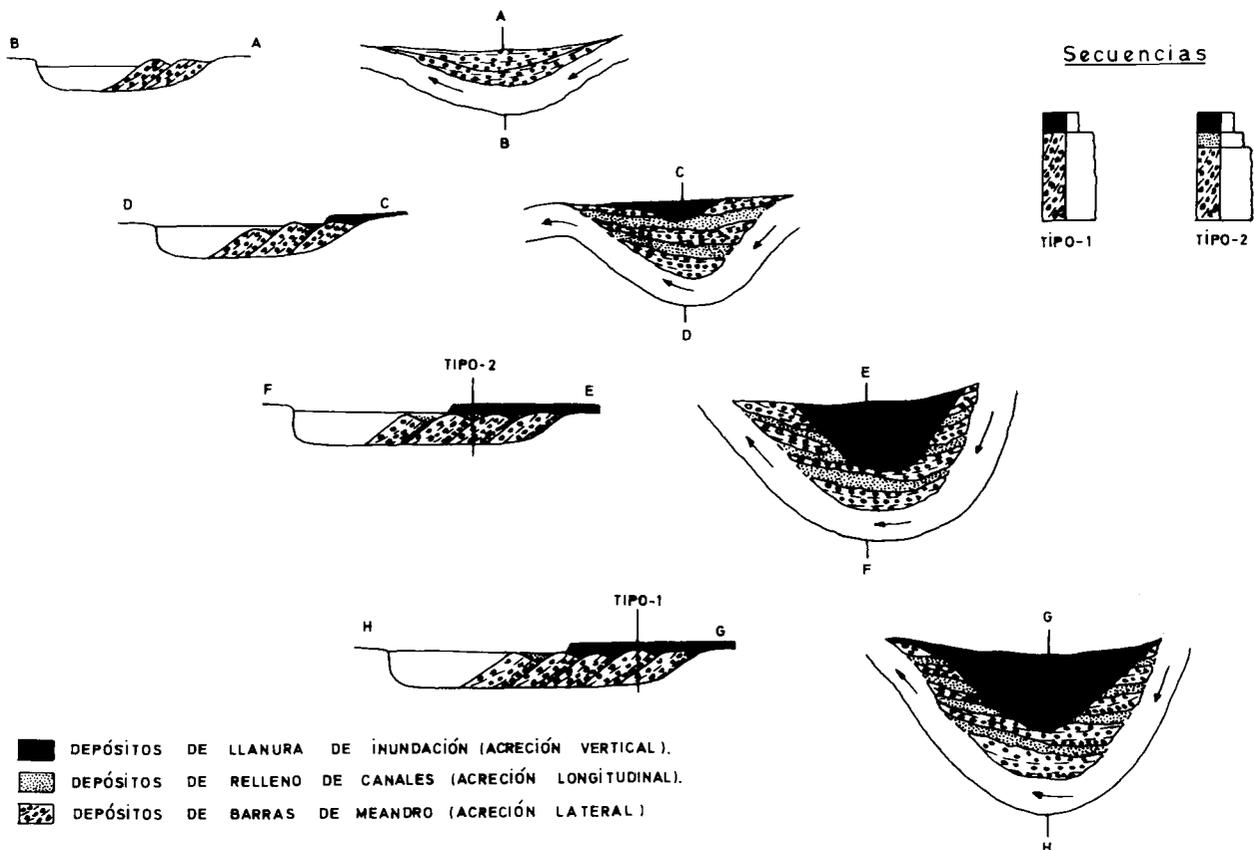


Fig. 9.—Modelo de sedimentación para la T4.

condicionan el trazado de los meandros, así como las causas más frecuentes que pueden modificarlos.

El tramo conglomerático de las secuencias 1 y 2 es prácticamente el mismo, interpretándose como lóbulos de meandro con superficies de acreción lateral, muy similar a los formados en el actual cauce activo. Es decir, los cuerpos de gravas se depositan como barras de meandro por desplazamiento lateral del canal activo, que tiene lugar de forma gradual, bien por variaciones en el caudal o en la carga e incluso, esporádicamente, puede producirse por desbordamiento.

El tramo arenoso de la secuencia 2 presenta, en ocasiones, una estructura interna bastante difusa, lo que dificulta su caracterización e interpretación. Puede asimilarse a depósitos de relleno de canal abandonado producidos tras el cambio brusco del trazado del río, o bien a depósitos de canales secundarios situados sobre la barra de meandro, que aprovechan los surcos de la misma en épocas de crecida, aunque en este caso, el relleno se realiza de forma longitudinal. Ambas posibilidades son compatibles con lo observado en el cauce actual y presentan diferencias de estructura y posición que les caracterizan.

El tramo limo-arenoso con que terminan los dos tipos de secuencias se interpreta como depósitos característicos de llanura de inundación, donde la sedimentación se produce por decantación de las fracciones finas transportadas en suspensión, tras las etapas de inundación.

En ocasiones, se observan depósitos arenosos intercalados entre facies más finas, que corresponden a facies de desbordamiento (overbank), a veces producidas por rotura de las márgenes del canal, dando lugar a depósitos con morfología en cuña, en los que se aprecia gradación a términos más finos, en sentido distal al canal.

De forma esquemática puede elaborarse un modelo que explique la construcción de la terraza + 6 m (T4), como se indica en la fig. 9.

Los depósitos de acreción lateral van progresando por acumulación de barras de cantos, y dan lugar a una superficie de barra de meandro con morfología ligeramente ondulada, en la que se diferencian pequeñas crestas y surcos, que permanecen más o menos paralelos al cauce activo.

En momentos de avenida, algunos surcos de la superficie de la barra pueden encauzarse, dando lugar

a una red de canales secundarios, que se rellenan con depósitos arenosos, por acreción longitudinal.

Localmente pueden darse las condiciones para que se produzca un brusco cambio en el trazado del río, lo que daría lugar a un canal abandonado que posteriormente se rellenaría por depósitos más finos.

Una vez rellenas las irregularidades del techo de la barra del meandro, su superficie sería más o menos plana, permitiendo la sedimentación sobre ella de depósitos de llanura de inundación, que fosilizan el conjunto.

Según el esquema propuesto, resulta claro que la existencia de secuencias del tipo 1 y 2, depende del lugar donde se realiza el corte vertical.

### Conclusiones

Este trabajo ha permitido obtener un conjunto de conclusiones, tanto sobre el cauce actual, como sobre los depósitos de la terraza + 6 m (T4), que pueden resumirse en los siguientes puntos:

— Se ha observado una correlación entre la longitud de onda axial (L), la del arco ( $\lambda$ ) y la anchura media del cauce (w), lo cual indica que los parámetros morfológicos están equilibrados entre sí en base a la hidrodinámica, y que el trazado de los meandros está condicionado por factores locales (topografía, litología, etc.).

— La morfología y trazado de los meandros, parecen indicar que el curso del río está condicionado, fundamentalmente, por los caracteres litológico-estructurales del sustrato margoso.

— Las variaciones graduales del cauce pueden producirse por crecimiento del caudal con pequeño período de retorno y fuerte actividad morfogenética, o como consecuencia de variaciones locales en la carga de sedimentos transportados por los afluentes.

— Las variaciones bruscas de trazado, se producen fundamentalmente por desbordamiento, en períodos de crecida máxima.

— Se ha comprobado en el cauce actual un predominio de la acreción en la margen derecha, mientras que en la izquierda domina la erosión.

— El análisis de las direcciones más estables y la comparación de datos de varias épocas, permite establecer un desplazamiento general del río hacia el S. o SO.

— La caracterización de los depósitos de la terraza + 6 m (T4), permite diferenciar dos tipos de secuencias.

— Se establece un modelo para la construcción de la T4, que caracteriza a una red de tipo meandriforme.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a ENRESA por autorizar la publicación de este trabajo y, muy especialmente, a D. R. Nuche del Rivero, por su aliento e interés, sin el cual no habría sido posible su realización.

### Referencias

- Allen, J. R. L. (1964). «Studies in fluvial sedimentology: six cyclothems from the Lower Old Red Sandstone, Anglo Welsh Basin». *Sedimentology*. 3. 163-198.
- Arche, A. (1983). «Coarse grained meander lobe deposits in the Jarama River, Madrid, Spain». *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 6. 313-321.
- Azcárate, J. E.; Esnaola, J. M. y Maldonado, M. (1978). «Mapa Geológico de España. E. 1/50.000 (Plan Magna). Hoja n.º 905 (Linares)». IGME. 35 págs.
- Bluck, B. J. (1971). «Sedimentation in the meandering River Endrick». *Scott. J. Geol.* 7. 93-138.
- Carrillo, L. y Arche, A. (1980). «Los depósitos de grano grueso del río Jarama cerca de Velilla de San Antonio (Madrid)». *Actas IX Congr. Nac. Sedimento. Salamanca*. (1980). *Actas Salmanticensis* (1986). Ciencias 50. Vol. 1, págs. 243-259.
- Castelló, R. y Pignatelli, R. (1975). «Mapa Geológico de España. E. 1/50.000 (Plan Magna). Hoja n.º 924 (Bujalance)». IGME. 22. págs.
- Corcoles de la Vega, J. V. (1987). «Andújar. Una guía histórico-artística de la ciudad». *Caja Provincial Ahorros de Jaén*. 23 págs.
- Dury, G. H. (1969). «Relation of morphometry runoff frequency» In: *Water, Earth and Man*. Ed. by Chorley. London. pp. 419-430.
- Ferguson, R. I. (1973). «Sinuosity of supra-glacial streams». *Bull. Geol. Soc. Amer.* 84, 251-256.
- Ferguson, R. I. (1976). «Disturbed periodic model for river meanders». *Earth Surface Processes*. 1, 337-347.
- Fontbote, J. M. (1970). «Mapa Geológico de España. E. 1/200.000 Hoja n.º 70 (Linares)». IGME 29 págs.
- Jackson, R. G. (1978). «Preliminary evaluation of lithofacies models for meandering alluvial streams». In: *Fluvial Sedimentology* (Ed. A. D. Miall). *Mem. Can. Soc. Petrol. Geol. Calgary*. 5, 543-546.
- Leopold, L. B. y Wolman, M. G. (1957). «River channel patterns braided, meandering and straight». *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 282B, 39-85.
- Leopold, L. B. y Wolman, M. G. (1960). «River meanders». *Bull. Geol. Soc. Amer.* 71, 769-794.
- Levey, R. A. (1978). «Flood plain geomorphology». *Progr. Phys. Geogr.* 2(3), 408-437.
- Mc Gowen, J. M. y Garner, L. H. (1970). «Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: modern and ancient examples». *Sedimentology*. 14, 77-111.
- Miall, A. D. (1978). «Fluvial Sedimentology: An historical review». In: *Fluvial Sedimentology* (Ed. A. D. Miall). *Mem. Can. Soc. Petrol. Geol. Calgary*. 5, 1-47.
- Rust, B. R. (1978). «A classification of alluvial channel systems». In: *Fluvial Sedimentology* (Ed. A. D. Miall). *Mem. Can. Soc. Petrol. Geol. Calgary*, 5, 187-198.
- Santos, J. A. (1987). «Informe sedimentológico». En: *Estudio Geológico-Hidrogeológico de la zona de Andújar*

- (Jaén). *Estudio geológico local 1/50.000*. Tomo II-1. Memoria. págs. 9-57. ENRESA (inédito).
- Santos, J. A. (1988). «Informe sedimentológico sobre las terrazas del río Guadalquivir». En *Estudio Geológico-Hidrogeológico de la zona de Andújar (Jaén). Estudio geológico hidrogeológico de detalle 1/10.000*. Tomo IV-1. Memoria. págs. 56-72. ENRESA (inédito).
- Schumm, S. A. (1961). «A tentative classification of alluvial river channels». *U.S. Geol. Surv. Circ. N.* 477, 12 pp.
- Schumm, S. A. (1977). «The Fluvial System». *Wiley Interscience*. 338 pp.
- Zeller, J. (1967). «Meandering channels in Switzerland». *Inter. Assoc. Scient. Hydrol. Public.* 75, pp. 174-186.

Recibido el 26 de julio de 1990  
Aceptado el 11 de marzo de 1991