

# INFLUENCIA DEL COMPLEJO DE EMBALSES MEQUINENZA-RIBARROJA-FLIX (RÍO EBRO) EN LA MORFOLOGÍA DEL CAUCE SITUADO AGUAS ABAJO

M.E. Sanz Montero<sup>1</sup>, C. Avendaño Salas<sup>2</sup> y R. Cobo Rayán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

<sup>2</sup> Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX), Paseo Bajo Virgen del Puerto 3, 28005 Madrid.

**Resumen:** Cuando se construye un embalse, el cauce que se sitúa aguas abajo de la presa suele sufrir alteraciones de diversa índole fundamentalmente porque se modifican las características de su caudal líquido y sólido. En este trabajo se analiza el tipo de alteraciones que se han dado en el río Ebro a lo largo de un tramo de aproximadamente 40 km de longitud que se localiza aguas abajo del complejo de embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix. Las principales alteraciones reconocidas son: ausencia de sedimentación, degradación de barras en los puntos más próximos a la presa, revegetación de barras y orillas, y pérdida de sedimentos finos con el consiguiente acorazamiento del lecho y de las barras. Dos factores han propiciado tales modificaciones, que han conducido prácticamente a la estabilidad del cauce, son la presencia de abundantes gravas y una elevada tasa de asentamiento vegetal en la sección. Asimismo se analiza la evolución morfosedimentaria del río desde 1927 hasta la fecha de construcción de estos embalses, años sesenta, y se determina que dicha evolución estaba controlada por episodios de crecidas catastróficas. En el período de estudio se registraron dos eventos de esta naturaleza. En este trabajo se describen también tanto las consecuencias derivadas de los mismos, como el papel tan destacado que jugó en su desarrollo un afluente del Ebro, el río Ciurana. Finalmente, los resultados obtenidos referentes a la dinámica fluvial, anterior y posterior a la construcción de los embalses, se aplican a la evolución sedimentaria del Delta del Ebro, formado a poca distancia del tramo estudiado.

**Palabras clave:** río Ebro, dinámica fluvial, avenidas catastróficas, confluencias, impacto ambiental, presas, cauces alterados, delta

**Abstract:** Impounded channels suffer frequently a series of changes due to water regulation and sediment starvation. In this paper, the effects of impoundment are analysed along a 40 km reach of the Ebro River, located downstream of the Mequinenza-Ribarroja-Flix reservoir complex. The main changes recognized in this channel are: lack of sedimentation, bar scouring close to the dam, encroachment of vegetation into bars and banks, and wash out of fine sediments leading to channel armouring. Such alterations produced a quick channel stabilization. Two factors were responsible for these alterations, namely the previous presence of abundant gravels and a high rate of vegetation colonisation in the section. The morphosedimentary evolution of the reach since 1927 until the sixties, when reservoirs were built, is also assessed in the paper. Such evolution was dominated by the effects of rare catastrophic events. Throughout the study period two events fulfilling these characteristics were recorded. The effects of each flood together with the role of the River Ciurana confluence during them are also emphasized. The River Ebro Delta is developed close to the study reach, so that these results also throw light on the sedimentary processes operating in it, both before and after dam closure.

**Key words:** river geomorphology, catastrophic floods, confluences, dams, environmental impacts, channel changes, delta, Ebro River, Spain.

Sanz Montero, M.E., Avendaño Salas, C. y Cobo Rayán, R. (2001): Influencia del complejo de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix (río Ebro) en la morfología del cauce situado aguas abajo. *Rev. Soc. Geol. España*, 14 (1-2): 3-17.

Los embalses reportan numerosos beneficios a nuestra sociedad (suministro de agua y de electricidad, control de avenidas, lugares de esparcimiento, etc.). Sin embargo, también causan modificaciones en el medio fluvial donde se asientan, en los tramos que se extienden tanto aguas arriba como aguas abajo de las presas. Este trabajo se centra en los efectos

producidos aguas abajo que se deben a las alteraciones en el aporte de caudal y de sedimentos que provocan los embalses. Las principales modificaciones que se producen en los cauces situados aguas abajo de las presas son: degradación (erosión) y agradación (sedimentación) (Petts, 1984; Williams y Wolman, 1984; ICOLD, 1989; Collier *et al.*, 1996).

Existen numerosos ejemplos de cauces con presas donde se han manifestado los efectos de degradación en sus lechos (muchos de ellos aparecen recogidos en los trabajos de Petts, 1984, y de Williams y Wolman, 1984). El proceso de degradación se debe a que los embalses atrapan hasta un 95% de la carga de fondo y en suspensión que transporta el río, y liberan aguas claras con gran capacidad erosiva. Según los citados autores, la degradación comienza inmediatamente después del cierre de la presa, prosigue en los años siguientes de forma rápida y se decelera progresivamente a medida que el lecho se acoraza con sedimentos demasiado gruesos para ser arrastrados por el río o hasta que aflora el sustrato rocoso, es decir, hasta que se estabiliza la superficie a las nuevas condiciones de descarga y a la nueva pendiente creada en el lecho por la erosión. El frente de degradación se desplaza aguas abajo conforme se reduce la cantidad de sedimento disponible en el sistema y continua hasta que el volumen de aportes procedentes de los tributarios es lo suficientemente elevado para contrarrestar el déficit.

Generalmente, los efectos de la erosión se manifiestan a lo largo de algunas decenas de kilómetros de cauce y, ocasionalmente, afectan a tramos de hasta 150 km de longitud (Collier *et al.*, 1996). La profundidad de la degradación varía en el tramo afectado en función de distintos factores (distancia a la presa, pendiente y granulometría del cauce, vegetación, etc.). En algún caso en el que se reunían varios factores favorables, la erosión del cauce dio lugar a un encajamiento de hasta diez metros (Assarin *et al.*, 1994).

La respuesta del perfil transversal del río al cierre de la presa es más variable que la descrita para el caso de la sección longitudinal; así, se han observado estrechamientos (cuando el cauce se profundiza por erosión), ensanchamientos (si la erosión en las orillas es más intensa que la experimentada en el lecho), o ejemplos en los que se conserva la morfología inicial (Brookes, 1994).

La degradación en los cauces conlleva una serie de incidencias negativas en las estructuras antrópicas hidráulicas (ICOLD, 1989) ya que frecuentemente los cimientos de puentes y canalizaciones se desentierran y son sometidos a socavación; las tomas de agua industriales y agrícolas quedan colgadas e inservibles por descenso del nivel del agua; el control de avenidas y la navegación se alteran al desplazarse la línea principal del flujo en la corriente de agua; distintas infraestructuras (agrícolas, de comunicación u otras) se dañan por el desplome de las márgenes del río, etc.. Alteran, por tanto, la respuesta del sistema frente a situaciones extraordinarias (avenidas). Desde la perspectiva medioambiental, las variaciones en el cauce igualmente pueden repercutir de muy diversas maneras en los ecosistemas fluviales (Petts, 1994; Collier *et al.*, 1996).

El proceso contrario a la degradación, la agradación o sedimentación, también se puede dar en los cauces situados debajo de las presas. Este fenómeno

se produce cuando los caudales liberados a través de las presas son muy inferiores a los naturales y carecen de competencia para transportar los sedimentos que llegan al cauce desde alguna de las cinco fuentes siguientes (Petts, 1984): materiales removidos durante la construcción de la presa, sedimentos derivados de tramos anteriores que sufren degradación, aportes eólicos, redistribución de sedimentos del cauce o derivados de las orillas, y aportes de los afluentes.

Los procesos de sedimentación en el cauce causan una reducción neta de su tamaño. Los efectos de dichos procesos se pueden manifestar hasta cientos de kilómetros aguas abajo de las presas (Collier *et al.*, 1996) y suelen afectar a tramos de decenas de kilómetros. La sedimentación se ha producido en casos concretos a velocidades de hasta un metro por año a lo largo de los perfiles analizados (Petts, 1984). En determinados cauces (por ejemplo, en el río Grande de Estados Unidos) el proceso de agradación ha sido tan intenso que el lecho se ha situado en algunos momentos a mayor altura que su llanura de inundación (Everitt, 1993).

La reducción del tamaño de un cauce por sedimentación puede tener consecuencias muy negativas para la sociedad, pues disminuye la capacidad de éste para contener avenidas, y se modifica la granulometría del sedimento que compone la llanura de inundación con los consiguientes perjuicios para la agricultura y otras actividades económicas. Por otro lado, un aumento de sedimentos en el cauce modifica las características de los ecosistemas acuáticos y de ribera asociados (Brookes, 1994).

Dentro de España, el río Ebro es uno de los más afectados por la abundancia de embalses, 184, distribuidos en su cuenca. En los vasos de estos embalses se retiene una gran parte de las aportaciones sólidas del río, de tal manera que el delta formado en su desembocadura ha experimentado en las últimas décadas un déficit de sedimentos (Ibáñez *et al.*, 1996; Lechuga y López, 1997; Serra, 1997).

En este trabajo se analiza la sedimentología del río Ebro a lo largo de un tramo situado aguas abajo del complejo formado por los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix, al objeto de evaluar la posible influencia que estos embalses hayan ejercido en la ulterior evolución sedimentológica del río y, en última instancia, del delta desarrollado en su desembocadura. Paralelamente, el estudio también ilustra sobre el funcionamiento del río Ebro antes de la construcción de estos embalses.

El complejo de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix se sitúa en el curso medio-bajo del río y está destinado básicamente a la producción de energía. A efectos de este trabajo sólo se consideran influyentes los embalses de Mequinenza (año 1966, 1.534 hm<sup>3</sup> de capacidad) y Ribarroja (año 1969, 210 hm<sup>3</sup> de capacidad) ya que su puesta en funcionamiento ha alterado tanto el caudal sólido como líquido del río. Se excluye el em-

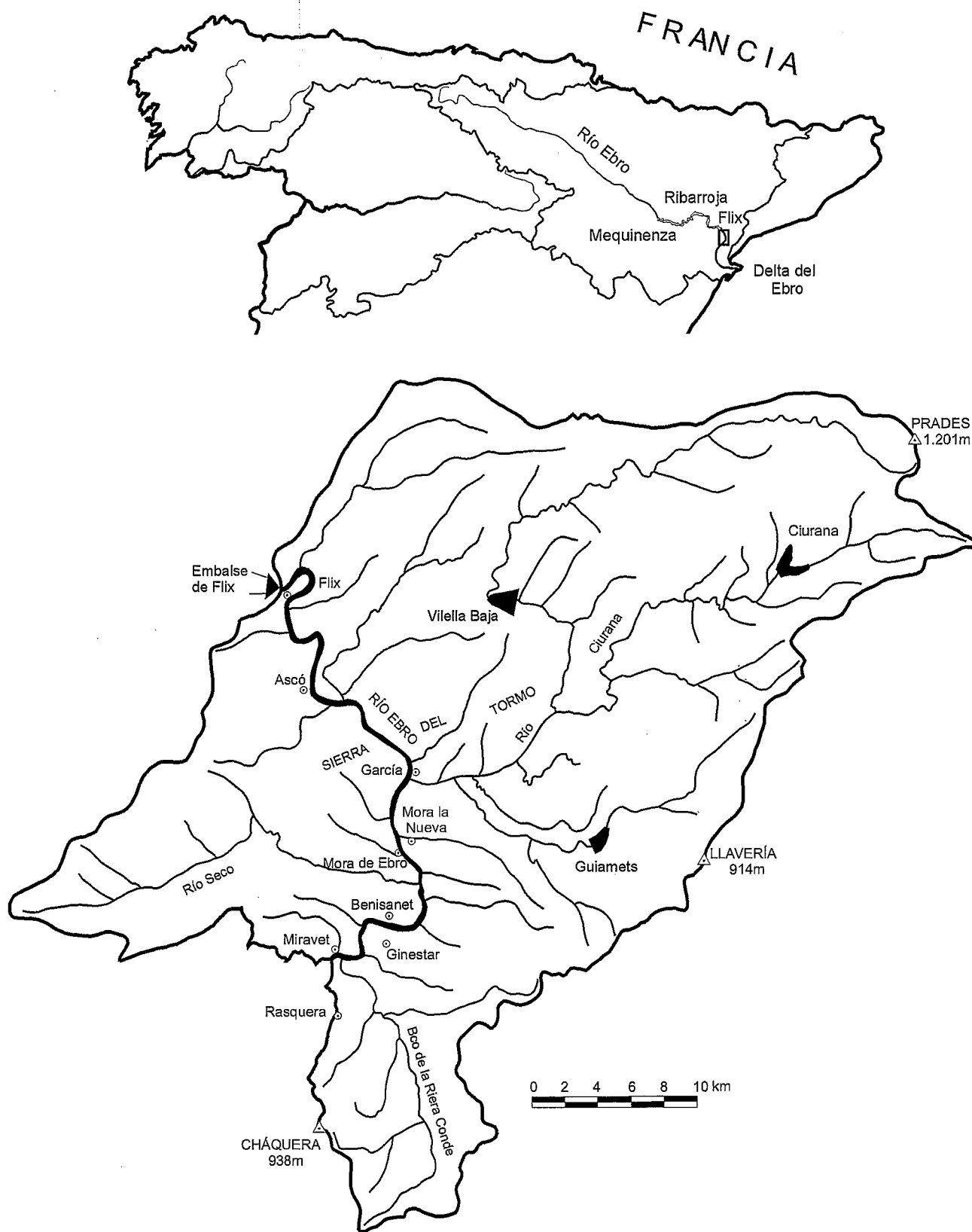


Figura 1.- Situación geográfica del tramo fluvial estudiado.

balse de Flix (año 1948, 11 hm<sup>3</sup>) puesto que no se encuentra cerrado por una presa, sino por unas compuertas que se abren con asiduidad, de manera que no modifica significativamente el régimen natural del río.

**Características del tramo estudiado**

El tramo de río estudiado mide aproximadamente 40 km y se extiende desde la población de Flix hasta la de

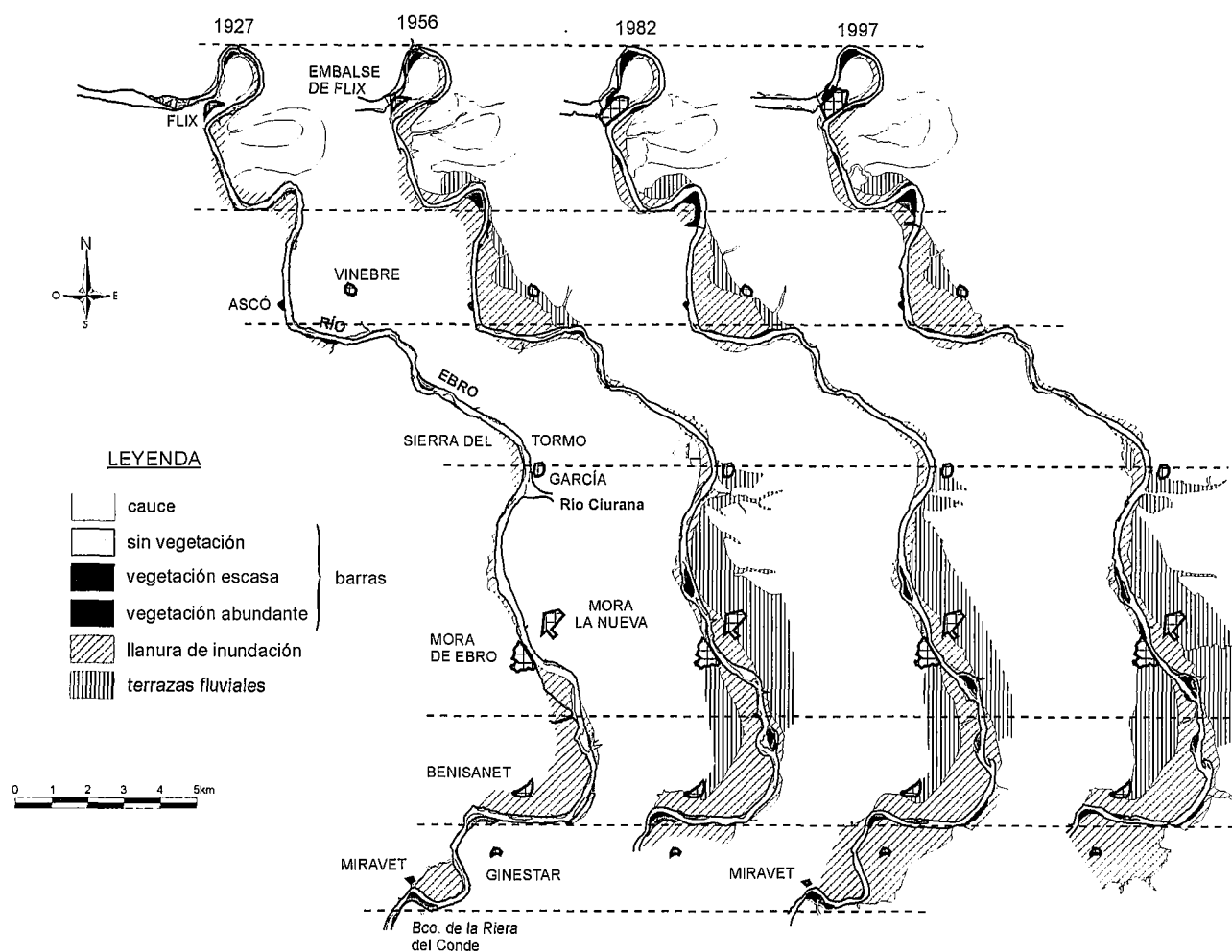


Figura 2.- Esquema de evolución geomorfológica del tramo del río Ebro estudiado desde 1927 a 1997.

Miravet, ubicadas en la provincia de Tarragona (Fig.1). La cuenca vertiente que corresponde a este tramo ocupa una superficie de 1.300 km<sup>2</sup> (lo que constituye un 1,5% de la cuenca total del río Ebro). Casi la mitad de la superficie indicada (585 km<sup>2</sup>), es la que drena el río Ciurana. Éste cauce representa el principal afluente del Río Ebro entre el embalse de Flix y su desembocadura en Amposta, distante casi 80 km.

A lo largo de estos 40 km, el río Ebro atraviesa tres dominios geológicos distintos. Así, durante los 16 kilómetros iniciales el río discurre por materiales oligocenos correspondientes a la Depresión del Ebro, predominantemente margosos, con frecuentes lentejones de areniscas de escasa potencia. En los 4 kilómetros siguientes el río va encajado en la Sierra del Tormo, que es uno de los relieves que conforma la Cordillera Prelitoral Catalana, y se compone de rocas carbonáticas (fundamentalmente dolomíticas) del Jurásico. Desde esta sierra hasta Miravet se reconocen materiales del Oligoceno y Mioceno formados mayoritariamente por conglomerados y por calizas grises, con intercalaciones de margas blancas y areniscas. Estas rocas forman parte del relleno sedimentario de la que se conoce como Depresión de Mora.

## Método

Para estudiar la evolución morfosedimentaria del Río Ebro se ha procedido a comparar fotografías aéreas de distintas épocas tomadas a lo largo de 70 años. Así, se dispone de seis conjuntos de fotografías, tres anteriores y tres posteriores a la construcción de los embalses de Mequinenza y Ribarroja. Las fotografías previas se realizaron en 1927 (mes desconocido, escala 1:10.000), 1946 (julio-septiembre, escala aproximada 1:45.000) y 1956 (agosto, escala aproximada 1:30.000). El resto de fotografías se tomaron en sendos vuelos efectuados en 1982 (septiembre, escala 1:30.000), 1987 (agosto, escala 1:20.000) y 1997 (febrero, escala 1:25.000). Éste último vuelo fue encargado con el propósito exclusivo de realizar el presente estudio. Se debe especificar que las fotografías del año 1927 no permiten su visión estereoscópica debido a que carecen de solapes.

El análisis de las fotografías aéreas se ha complementado con una campaña de campo para reconocer sobre el terreno características sedimentarias del río, tales como las formas sedimentarias emergidas, la granulometría, naturaleza y distribución del sedimento, la estabilidad de las orillas, etc. Simultáneamente, se observó el porte, la densidad y la distribución de la ve-

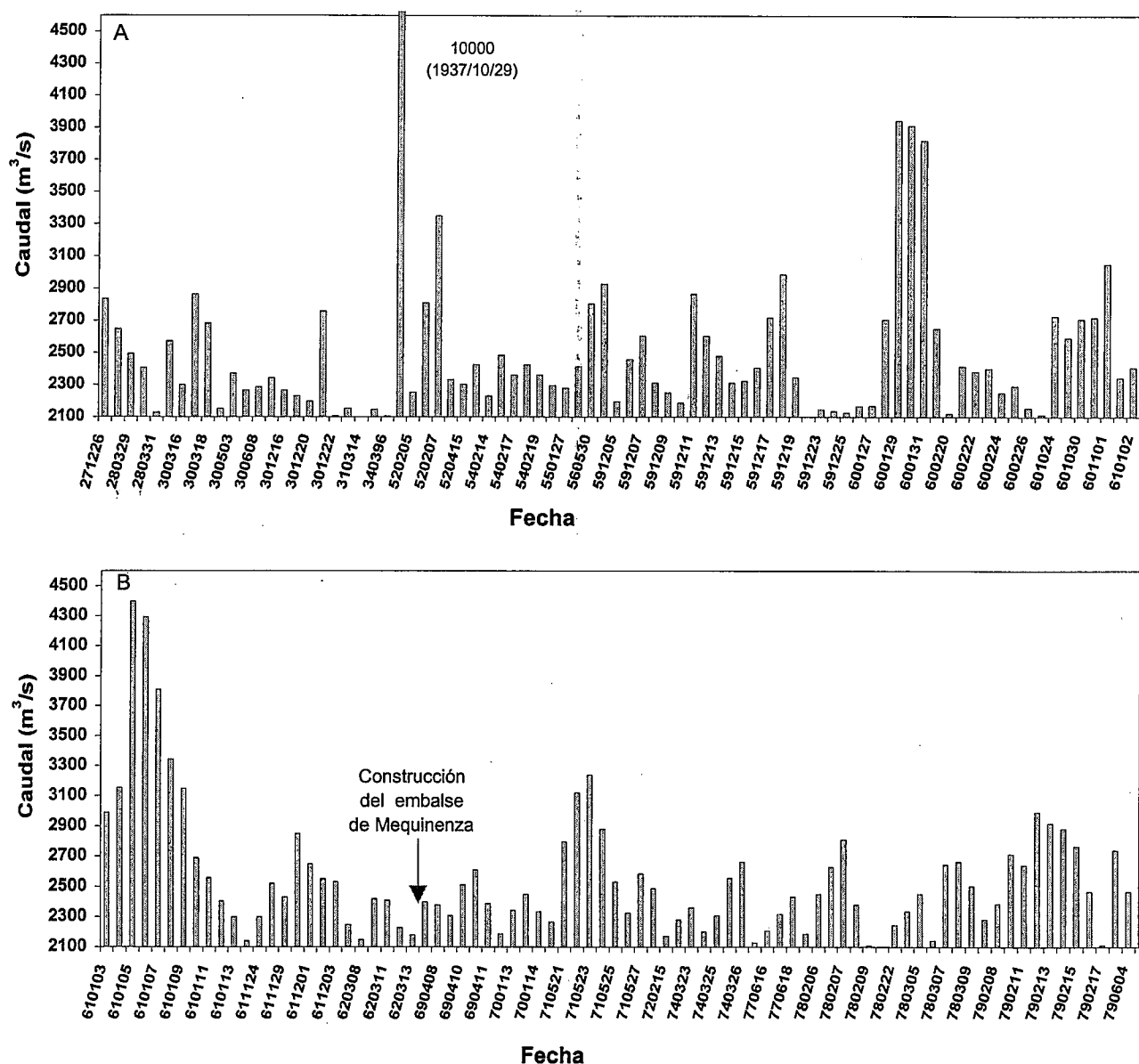


Figura 3.- Episodios de crecidas extraordinarias (> 2.100 m<sup>3</sup>/s) registrados en la estación de aforos de Tortosa. Se ha representado el valor del máximo caudal medio diario. A) Desde 1912 hasta el 2 de enero de 1961. B) Desde el 3 de enero de 1961 hasta 1993.

getación sobre las formas sedimentarias; se reconocieron formas de alteración antrópica en los cauces y en la llanura de inundación (extracciones de gravas, carreteras, terrenos agrícolas, etc.). Asimismo la campaña permitió resolver algunas dudas surgidas previamente durante la observación de las fotografías aéreas.

El resultado del estudio de fotografías aéreas, complementado con el trabajo de campo, se ha representado esquemáticamente en la Figura 2.

### Características hidrológicas del Río Ebro

#### Caudales y aportes

En la población de Tortosa, situada aproximadamente a 15 km de la desembocadura del río Ebro en Amposta, existe una estación de aforos instalada en 1913 y

controlada por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Esta estación suministra, por tanto, una información muy valiosa referente no sólo a los aportes y los caudales circulantes sino también a la evolución de éstos a lo largo del siglo. De este modo, se ha determinado que, para el período 1960-1993, la aportación media anual ha sido de 13.408 hm<sup>3</sup>, con un máximo de 22.540 hm<sup>3</sup> y un mínimo de 4.283 hm<sup>3</sup> (Dolz *et al.*, 1997). La descarga media de agua en el período 1960-1990 fue de 426 m<sup>3</sup>/s, lo que representa una reducción de casi el 30% respecto al caudal medio circulante entre 1914 y 1935 que alcanzó los 592 m<sup>3</sup>/s (Ibáñez *et al.*, 1996). Los máximos caudales registrados en Tortosa en este siglo fueron 12.000 m<sup>3</sup>/s, el 24 de Octubre de 1907, 10.000 m<sup>3</sup>/s, el 29 de Octubre de 1937, 5.500 m<sup>3</sup>/s el 22 de Mayo de 1921 y 4.400 m<sup>3</sup>/s el 5 de Enero de 1961 (Dolz *et al.*, 1997). En los años

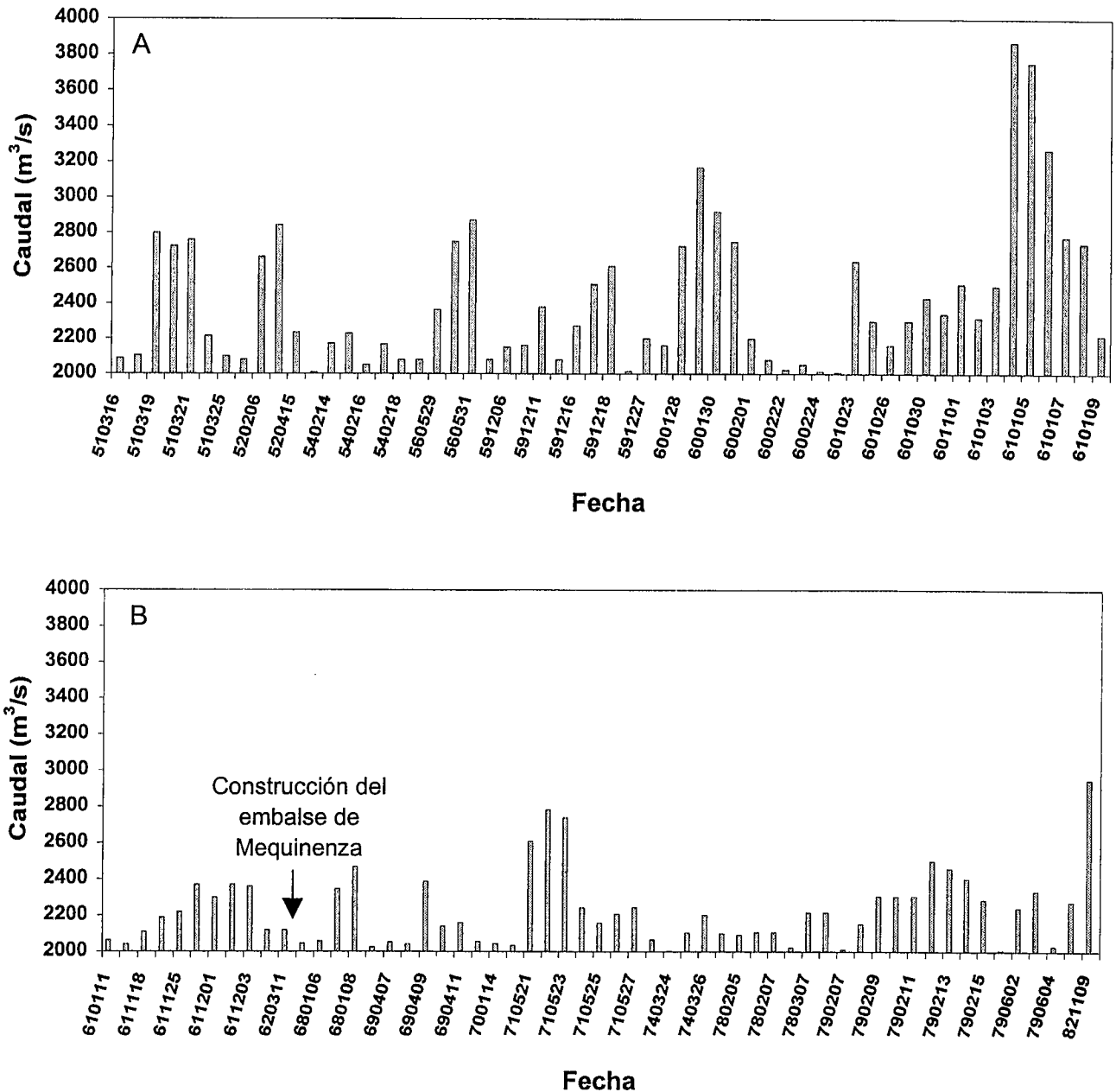


Figura 4.- Episodios en los que se registraron caudales superiores a 2.000 m<sup>3</sup>/s en la estación de aforos de Flix. Se han representado los valores de máximo caudal medio diario. A) Desde 1948 hasta el 9 de enero de 1961. B) Desde esta fecha hasta 1991.

posteriores a la construcción de los embalses de Mequinenza y Ribarroja estas cifras han disminuido de forma significativa. Los caudales máximos fueron de 3.780 m<sup>3</sup>/s y 3.327 m<sup>3</sup>/s y se dieron el 9 de Noviembre de 1982 y el 23 de Mayo de 1971, respectivamente.

De acuerdo con Davy (1975), las crecidas extraordinarias del bajo Ebro en Tortosa se caracterizan por caudales superiores a los 2.100 m<sup>3</sup>/s. En la figura 3 se ha representado los distintos episodios de crecida extraordinaria registrados desde 1913 hasta 1993. La información para elaborar la figura se ha extraído de la base de datos del Centro de Estudios Hidrográficos en la que faltan algunos datos correspondientes al fin de los años 30 y comienzos de los 40 que coincidieron con el desarrollo de la Guerra Civil Española y el período de postguerra. No obstante, se puede apreciar que

tras la construcción de los embalses las crecidas extraordinarias no han sido tan importantes como en los períodos anteriores.

Existe otra estación de aforos que tiene interés en este estudio, es la situada en Flix. Ésta es operativa desde los años 40. A partir de entonces y hasta 1991 el caudal máximo se registró el día 4 de Enero de 1961 y fue de 3.870 m<sup>3</sup>/s. En la Figura 4 se han representado, para el mismo intervalo de tiempo, los distintos episodios durante los que se midieron caudales superiores a 2.000 m<sup>3</sup>/s. Estos episodios de crecida, obviamente, coinciden en gran medida con los registrados en la estación de Tortosa. No obstante, en esta última, para un episodio determinado los caudales circulantes son superiores, a veces, hasta en 1.000 m<sup>3</sup>/s a los registrados en Flix. Todo ello ilustra que los cauces existentes entre Flix y Torto-

sa, entre los que destaca el río Ciurana, han participado de forma activa en las crecidas del curso bajo del Ebro.

*Transporte de sólidos en suspensión*

Los embalses retienen la mayor parte de la carga de fondo de los ríos y un porcentaje elevado de los sólidos transportados en disolución. Según un estudio de Sanz Montero *et al.* (1999), el complejo de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix a lo largo de un período comprendido entre 1975 y 1990 recibieron de sus alimentadores principales (ríos Ebro, Cinca y Segre) una aportación anual media de sólidos en suspensión que asciende aproximadamente a  $1 \times 10^9$  kg. De éstas, casi el 70% fue suministrado por el propio río Ebro y el 30% por sus afluentes de la margen izquierda (ríos Cinca y Segre), mientras que de los cauces situados en la margen derecha (ríos Martín y Guadalope) se recibió menos del 1%. La mayor parte de los sólidos transportados en suspensión por los cauces considerados, algo menos del 75%, quedó retenida en los embalses ya que por la salida del complejo (sección de Flix) pasaron anualmente una media de  $263 \times 10^6$  kg.

Estos datos, junto con otros publicados por distintos autores (Tabla I), reflejan que en la sección de Flix la carga de sólidos en suspensión ha decrecido en un orden de magnitud con respecto a fechas anteriores a la construcción de los embalses. Más acusado que éste es, aún, el descenso en el transporte de sólidos registrado en las últimas décadas en Tortosa y otros puntos próximos a la desembocadura (Tabla I).

**Características morfosedimentarias del tramo**

Considerando la longitud total del tramo, el río presenta un grado de sinuosidad inferior a 1,5 lo que permite catalogarlo como un río de baja sinuosidad (Miall, 1977). No obstante, existen algunos puntos de mayor curvatura, por ejemplo en la población de Flix, donde la corriente se comporta como un río meandriforme (Fig. 2).

Los depósitos del tramo actualmente consisten en barras de gravas con escasa proporción de arenas. Las gravas se caracterizan por centiles de hasta 50 cm y presentan una composición heterogénea. Se reconocen

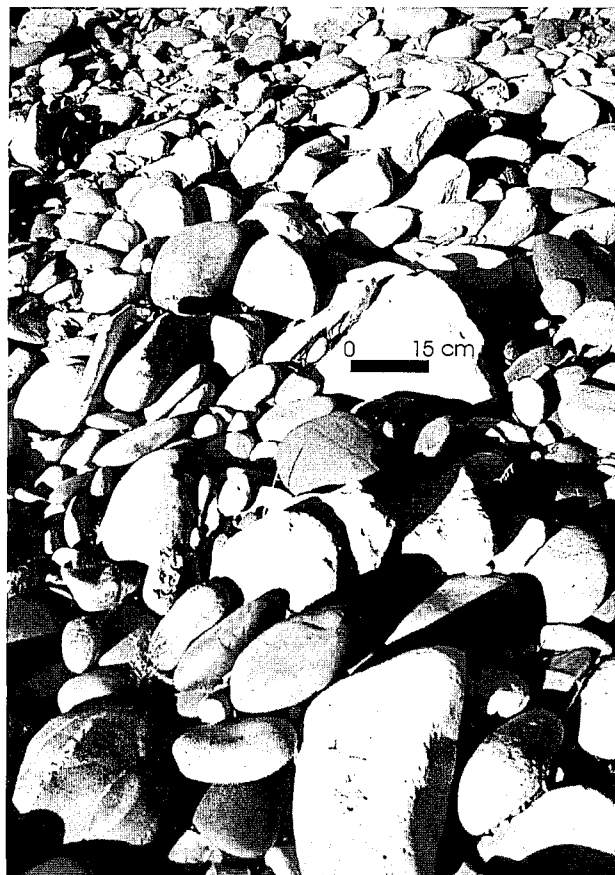


Figura 5.- Detalle del techo de una barra donde se observan tanto la disposición y el aspecto de las gravas como la ausencia de sedimentos finos.

fragmentos de roca carbonáticos (los más abundantes), cuarcíticos, conglomeráticos y areniscosos. La mayor parte de los clastos muestra morfologías planares y discoidales lo que favorece que éstos en muchos casos se dispongan imbricados y orientados (Fig. 5).

Es frecuente que en el techo de las barras se sitúen gravas de mayor tamaño que las infrayacentes, quedando éstas últimas protegidas frente a la erosión.

Las barras de gravas son mayoritariamente de carácter lateral y se presentan con las tres tipologías definidas por Bluck (1976). Las barras de tipo II, que se caracterizan porque el cauce secundario sólo es activo en el caso de flujos importantes, son las más abundantes a lo largo de todo el tramo (Fig. 2). Los depósitos característicos de los cauces secundarios de estas barras consisten en arenas con rizaduras de corriente de pequeña y mediana escala. En algunos casos estas arenas aparecen ligeramente cementadas y con tonos rojizos de oxidación a causa de los prolongados episodios de exposición que soportan. En el lecho de los cauces se depositan lag de cantos y de conchas de bivalvos. La escasa vegetación arbustiva que se encuentra arraigada en los depósitos de estos cauces aparece inclinada en el sentido de la corriente.

Las barras de tipo III (Fig. 6), con un cauce secundario o interior menor que el principal, predominan en el tramo situado aguas abajo de la confluencia con el

Estación	Autor	Período Analizado	Sólidos en suspensión ( $10^9$ kg/año)
Tortosa	Bayerrí (1935)	Principio siglo	15-20
Desembocadura	Palanques (1987)	1983/86	0,15
Desembocadura	Guillén y Palanques (1992)	1988/90	0,12
Flix	Catalán (1969)	1961/63	2,2
Flix	Varela <i>et al.</i> (1986)	1964	8,7
Flix	Varela <i>et al.</i> (1986)	1976/82	0,32
Flix	Sanz <i>et al.</i> (1999)	1976/90	0,26

Tabla I.- Medidas de sólidos en suspensión realizadas por distintos autores en la estación de aforos de Flix y en otros puntos próximos a la desembocadura del Río Ebro.

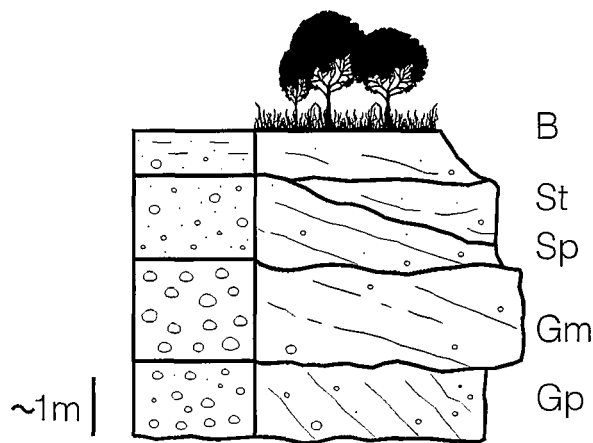
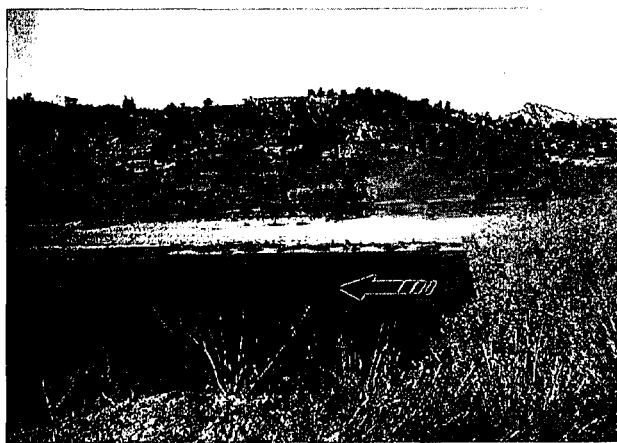


Figura 6.- Secuencia sedimentaria presente en una barra lateral de tipo III situada 2 km aguas abajo de la confluencia con el Río Ciurana .

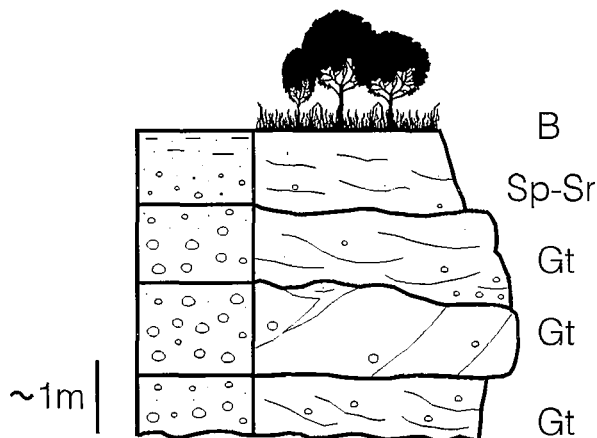


Figura 7.- Secuencia sedimentaria observada en una barra de punta próxima a la población de Flix.

río Ciurana. En la parte emergida de una de estas barras se reconoce una secuencia sedimentaria con varios términos (Fig. 6). En el primer término se disponen clastos centimétricos con estratificación cruzada planar de gran escala. El segundo término se compone de gravas con tamaños de orden decimétrico, en las que se observan estructuras difusas y variaciones verticales en el tamaño de los clastos. A techo de la secuencia se sitúan arenas, con cantidades variables de gravas, que muestran estratificación cruzada de surco y planar a gran escala.

Las barras laterales de tipo I (Fig.7), semejantes a las barras de punta, se hallan unidas a una de las orillas y se forman en los tramos de alta sinuosidad. Se componen, como las anteriores, básicamente de gravas. La estructura interna reconocida en alguna de ellas consiste en una megaestratificación cruzada que se interpreta como correspondiente a superficies de acreción lateral propias de los lóbulos de meandro (Fig. 7). Las superficies de acreción se encuentran en algunos casos delimitadas por lentejones de sedimento arenoso. Ocasionalmente, se conservan a techo los surcos típicos de las superficies de las barras de meandro. Estos surcos aparecen rellenos de sedimento de grano más fino. En la misma barra se observan también otras estructuras de

corriente de gran escala, que podrían corresponderse con depósitos de fondo de cauce o depósitos de *chute* (cauce subsidiario).

En lo referente a la morfología, todas las barras presentan una suave pendiente inclinada hacia el cauce principal. En las barras de tipo III, la orilla interna en contacto con el cauce secundario se presenta en forma de escarpe vertical.

En el tramo comprendido entre Flix y la confluencia con el río Ciurana, los cursos que confluyen con el cauce principal son de escasa entidad (Fig. 1) y no aportan cantidades significativas de sedimento. Además se observa una disminución en el tamaño medio de las gravas que componen las barras a medida que nos alejamos de Flix, lo que refleja que la carga de sedimento en este tramo procede mayoritariamente de las fuentes propias del río Ebro.

Tanto el número como el tamaño de las barras aumentan en el tramo situado aguas abajo de la confluencia con el río Ciurana (Fig. 2). Este hecho refleja que dicho afluente ha proporcionado, al menos a este tramo, un volumen de sedimentos más elevado que el propio río Ebro. El río Ciurana se puede clasificar como un río *braided* de gravas y arenas. Dentro de su cauce se han medido centiles de hasta 25 cm. Las gravas están constituidas por frag-

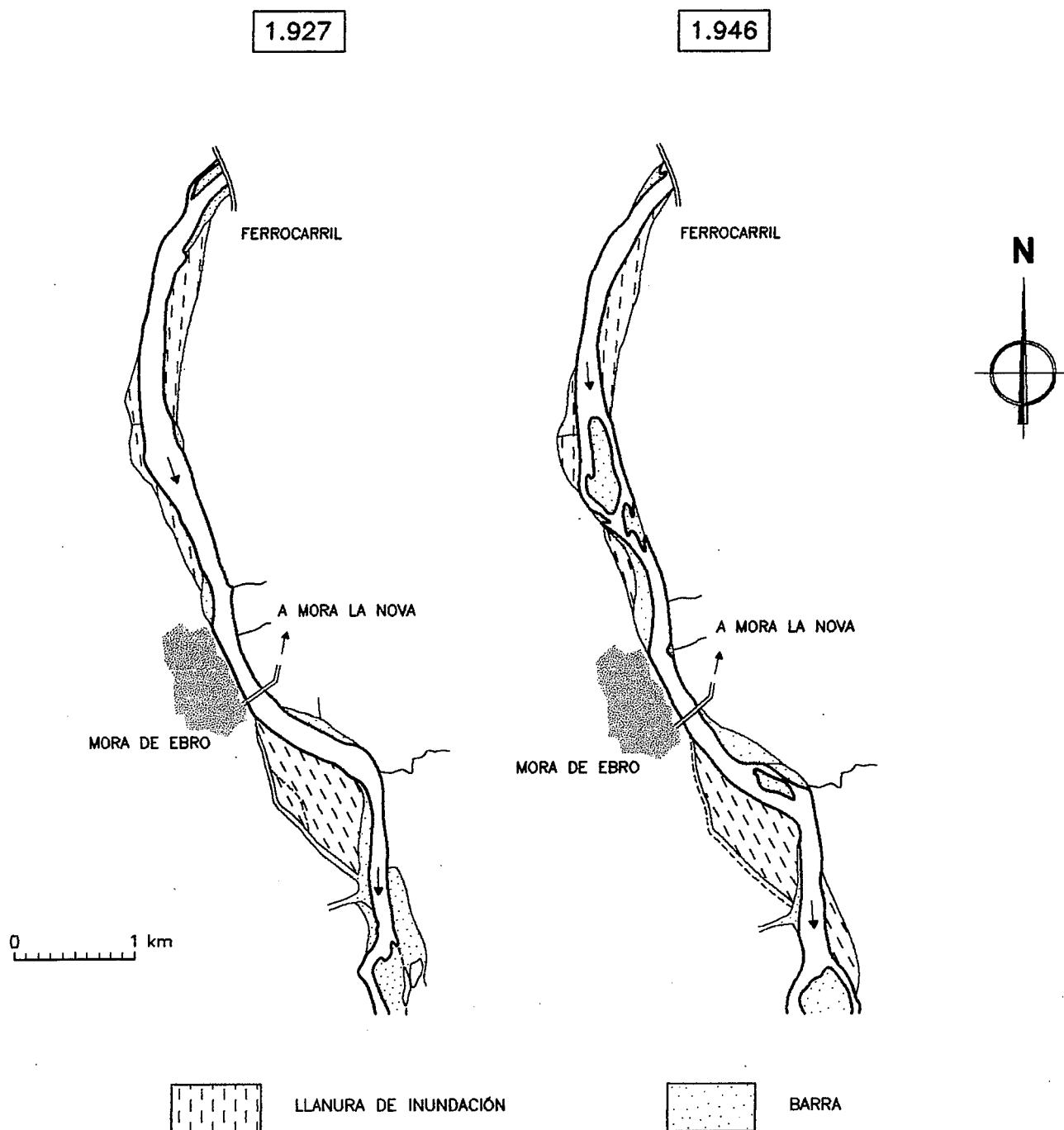


Figura 8.- Variaciones geomorfológicas producidas en el cauce del río Ebro entre 1927 y 1946 aguas abajo de la confluencia con el río Ciurana.

mentos de roca carbonáticos y, en menor medida, por cuarcitas, fragmentos de roca metamórficos, conglomeráticos y areniscosos. El río se encuentra actualmente muy alterado por las actuaciones antrópicas llevadas a cabo en las últimas décadas. Las acciones más destacadas son la extracción de gravas y arenas, y la presencia en su cuenca de tres embalses, Ciurana (1972), La Vilella Baja (1983) y Guiamets (1983). En los últimos años éstas, junto con otras actividades tales como la canalización y construcción de carreteras agrícolas en su cauce, han repercutido negativamente en el transporte de sedimentos de este río.

La llanura de inundación del río Ebro se presenta a lo largo de todo el tramo estudiado en forma de franja irregular

y discontinua en ambas márgenes (Fig. 2). Se compone básicamente de limos y lutitas. El escarpe de la llanura de inundación se eleva a varios metros de altura sobre el nivel del agua. Dicho escarpe muestra en varios puntos procesos de retroceso que se producen a favor de deslizamientos visualizables en grietas métricas dispuestas paralelas a las orillas.

#### Evolución morfosedimentaria

Para analizar si se han producido o no alteraciones en la dinámica del río por la presencia de embalses se ha comparado el comportamiento de éste antes y después de la puesta en funcionamiento de los mismos.

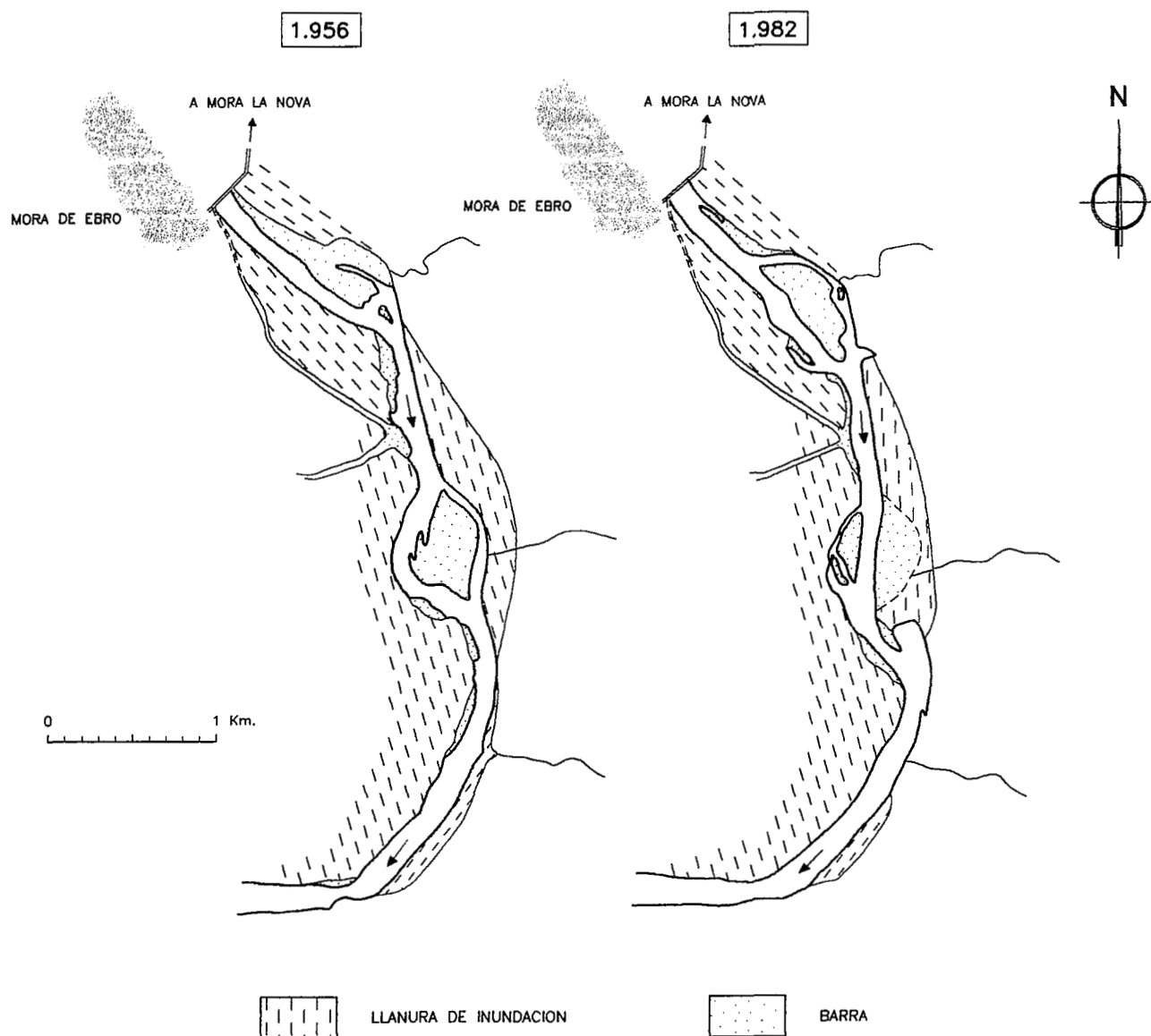


Figura 9.- Modificaciones geomorfológicas producidas en el cauce del río Ebro entre 1956 y 1982 a lo largo de un tramo situado aguas abajo de Mora de Ebro.

#### *Con anterioridad a la construcción de los embalses*

Los embalses de Mequinenza y Ribarroja se pusieron en funcionamiento en 1966 y 1969, respectivamente, por lo que para conocer el comportamiento "natural" del río hay que recurrir a fotografías aéreas de años anteriores (1927, 1946 y 1956). En los casi 40 años que abarca el período 1927-1966 únicamente se registraron dos episodios sedimentarios significativos a consecuencia de los cuales se produjeron distintas modificaciones en el tramo situado inmediatamente después de la confluencia con el río Ciurana. Tales episodios tuvieron lugar antes de 1946, el primero, y después de 1956, el segundo.

*Primer episodio.* Entre 1927 y 1946, se observan una serie de reajustes en el río que consisten en el depósito de varias barras de dimensiones hectométricas, la erosión de la llanura de inundación en distintos puntos de

la margen derecha, y la transformación de una barra lateral de tipo II en otra de tipo III por ampliación del cauce secundario (Figs. 2 y 8).

Una de las barras formadas en este episodio, se corresponde con la barra de tipo III, cuya secuencia sedimentaria se ha descrito en el apartado anterior (Fig. 6). Las barras de gravas se suelen generar rápidamente, en un único ciclo de descarga (Smith, 1974). La formación de estas barras se inicia, según Leopold y Wolman (1957), con la sedimentación en la parte central del cauce de las fracciones más gruesas de la carga de fondo que transporta la corriente. Posteriormente, al existir un obstáculo, se van acumulando más cantos, pudiendo, incluso, llegar a emerger sobre el nivel del agua. Si esta emersión se produce de un modo lento, se pueden formar dunas de arena que migran sobre las gravas, dando como resultado niveles con estratificación cruzada de tipo surco o planar (Ramos, 1989).

Tanto la formación de este tipo de barras como la destrucción parcial de una llanura de inundación previamente cubierta por vegetación requiere condiciones de gran energía, que sólo se alcanzan en episodios de crecidas extraordinarias (Baker, 1977). En el río Ebro durante el período considerado (1927-1946) no sólo hubo varias crecidas de carácter extraordinario (Fig. 3), sino que además se registró el segundo máximo caudal del siglo ( $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$  el día 29 de octubre de 1937). Es a esta avenida, por tanto, a la que se atribuye la reestructuración del cauce antes descrita. Según Ibáñez *et al.* (1997), a causa de dicha riada, cambió el emplazamiento de la desembocadura del Ebro.

*Segundo episodio.* En los fotogramas de 1982 se aprecia que, en el tramo de río situado justo después de Mora de Ebro, se había producido una remodelación respecto a la situación de 1956. Esta modificación del cauce comprendía varios aspectos: erosión de la llanura de inundación en algunos puntos de la margen derecha y transformación-destrucción de barras (Figs. 2 y 9) lo que tuvo que implicar el movimiento de grandes volúmenes de sedimento. El sedimento transportado estaba constituido, en el caso de las barras, por un alto porcentaje de clastos gruesos (de tamaño grava y bloque). Con estos cambios geomorfológicos el río eliminó algunos obstáculos y adquirió un trazado más recto. Todo ello reflejaría que la configuración geomorfológica del cauce en esta zona, curva y con estrechamientos, posiblemente dificultó la libre evacuación de un caudal muy importante que, respondió ante la reducción de sección, aumentando su energía y, consecuentemente, su capacidad erosiva y de transporte.

Así, se interpreta que este reajuste fluvial tan importante se tuvo que producir en un único episodio donde se reunieron condiciones muy energéticas, características que, según lo comentando anteriormente, no se cumplieron tras la construcción de los grandes embalses. Por eso se deduce que se efectuó durante la mayor crecida experimentada por el río Ebro entre 1956 y 1982, que representó una de las más importantes del siglo. Se alude a la crecida que tuvo lugar entre diciembre de 1960 y enero de 1961. Durante este episodio se midió en la estación de aforos de Flix un caudal máximo de  $3.875 \text{ m}^3/\text{s}$  mientras que en la de Tortosa se registraron  $4.400 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figs. 3 y 4), lo que permite interpretar que el río Ciurana también participó en el evento incrementando aún más el, ya, de por sí elevado caudal del río Ebro. Todo ello justificaría que las modificaciones del cauce se hayan producido en un tramo situado aguas abajo de la desembocadura del río Ciurana y que, por su configuración en curva, dificultaba el libre paso del agua. El MOPU (1985) documentó que esta avenida produjo importantes daños en distintas zonas ribereñas del río.

Entre 1927 y 1956 en el tramo comprendido entre Flix y la confluencia con el río Ciurana no se produjo ninguna modificación reseñable en la morfología fluvial, a pesar de los caudales tan importantes que circu-



Figura 10.- Imagen del cauce del río Ebro donde se observa la densa y continua vegetación que recubre las barras y las orillas.

laron durante este período. Por debajo de esta confluencia tampoco se produjeron variaciones para el período de tiempo comprendido entre 1946 y 1956 aunque se registraron caudales de hasta  $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lo que significaría, por un lado, que se requieren caudales más importantes que éstos para modificar la morfología del río y, por otro lado, indicaría que las avenidas repercuten de modo muy variable en la geomorfología del Ebro, como ocurre también en otros ríos (Carling y Beven, 1989).

Por tanto, se constata que, antes de la puesta en funcionamiento de los embalses de Mequinenza y Ribarroja, las modificaciones en la morfología del río Ebro se debían a "procesos catastróficos" relativamente infrecuentes. Mientras que los "procesos normales", aún en décadas, no transformaban las formas fluviales originadas en los eventos anteriores.

Existen pocos trabajos, entre los que destacan los de Roy y Roy (1986) y Reid *et al.* (1989), que describen los procesos sedimentarios que tienen lugar durante las avenidas en las confluencias fluviales. Así, la identificación de las formas resultantes y de los acontecimientos que tuvieron lugar en el río Ebro durante los dos episodios de avenida extraordinaria señalados anteriormente tiene un interés doble, ya que permite ampliar nuestro conocimiento sobre el comportamiento de un curso importante ante avenidas de gran magnitud, a la vez que ilustra sobre las repercusiones que pueden tener las confluencias en las capacidades erosivas y de transporte del río principal durante estos eventos tan energéticos.

#### *Con posterioridad al funcionamiento de los embalses*

Las características del río tras la construcción de los embalses, que seguidamente se indican, se han estudiado directamente sobre el terreno y mediante la observación de las fotografías aéreas de 1982, 1987 y 1997 (Fig. 2).

Así, se ha reconocido que en la actualidad las formas sedimentarias mayores del río son las mismas que las existentes en 1956, más los depósitos atribuidos a 1961. Por lo tanto, el primer rasgo reseñable es la ausencia de sedimen-

tación (agradación) en todo el cauce a lo largo de las últimas décadas. Se observa también otro tipo de modificaciones que afectan tanto al lecho como a los depósitos existentes previamente y que se atribuyen a los embalses, son: degradación, revegetación y acorazamiento.

Los efectos de la degradación (erosión) no son extensibles a todo el tramo ya que únicamente se han observado en las barras situadas inmediatamente aguas abajo de las compuertas de Flix, que se encuentran reducidas a retazos. En este caso, como ocurre también en otros (Williams y Wolman, 1984), la erosión afecta más intensamente a los puntos más próximas a las presas porque el agua expulsada a través de los dispositivos de desagüe impacta con gran energía al incorporarse al río.

La variación más significativa, en tanto que se aprecia en todos los depósitos del río, es el aumento de la cubierta vegetal. En la época anterior a la existencia de los embalses las barras eran activas y carecían prácticamente de vegetación, mientras que ahora éstas se encuentran recubiertas, casi en su totalidad, por vegetación de ribera (Figs. 2 y 10). La expansión de la flora no sólo refleja la ausencia de actividad sedimentaria sino que además garantiza la estabilidad de estos depósitos.

Otro aspecto a destacar es que las barras actualmente están desprovistas casi por completo de partículas finas (Fig. 5). El techo de las barras está constituido por gravas que, en muchos casos, superan en tamaño a las gravas infrayacentes quedando éstas así protegidas de los efectos de la erosión. Este tipo de disposición de los clastos gruesos tapizando otros sedimentos más finos recibe el nombre de lechos acorazados (*armoured o paved bed*) y constituye un efecto típico de los cauces con sedimentos gruesos emplazados aguas abajo de las presas. El proceso de armado o acorazamiento se produce en los ríos de gravas cuando existe diversidad de tamaños, el aporte de las partículas de menor tamaño es escaso y la capacidad de transporte de los sedimentos gruesos es limitada. Así, las descargas normales erosionan los granos superficiales más pequeños dejando atrás los más gruesos que pasan a formar una superficie inmóvil para esas condiciones de descarga. Bajo la coraza superficial se encuentra otra capa de sedimentos, denominada de subcoraza (*subarmour o subpavement*), constituida por una mezcla de sedimentos de tamaño, generalmente, inferior a los de la capa de coraza.

Al igual que ocurre con las barras, el lecho del río también se encuentra revestido (acorazado) por gravas, según se aprecia en las zonas más someras del mismo.

Respecto a las orillas del río cabe reflejar que también se han vegetado completamente (Fig. 10). Dicha vegetación forma una barrera muy continua que provoca una canalización bastante efectiva del río. A pesar de esta protección vegetal, en algunos puntos se dan procesos de retroceso por erosión en las orillas que no han ocasionado, hasta la fecha, un ensanchamiento apreciable del cauce.

En lo referente a los depósitos aportados hasta la confluencia por los afluentes cabe indicar que han sufrido la misma evolución que el resto de los depósitos del río. Es decir, se han cubierto por vegetación. No es

extraño que en algunos ríos regulados se produzca acumulación de detritos en la zona de confluencia con sus afluentes debido a que los nuevos caudales de crecida no tienen competencia para transportar los sedimentos más gruesos (Petts y Thoms, 1987; Erskine *et al.*, 1999). Este tipo de fenómeno no se ha manifestado en el río Ebro, lo que implica que éste tiene capacidad suficiente para arrastrar todos los aportes introducidos hasta el cauce por sus afluentes. No obstante, las diversas actuaciones humanas llevadas a cabo en éstos han podido influir causando una seria reducción de los mismos.

## Discusión

La observación de las fotografías aéreas de 1927, 1946 y 1956 nos ha ilustrado sobre el comportamiento del río Ebro en condiciones que se pueden considerar naturales, aunque en esa época ya existían diferentes embalses que regulaban los caudales en algunos de los afluentes más caudalosos de su cuenca. Las fotografías aéreas de 1982, 1987 y 1997, más los estudios llevados a cabo *in situ*, han permitido analizar el comportamiento del río tras la construcción de dos embalses de gran capacidad en su propio cauce.

Así, se ha determinado que, cuando no había embalses, la dinámica evolutiva del río Ebro, dentro del tramo reconocido, estaba controlada por avenidas extremas. En el período de estudio se registraron dos eventos de estas características (en 1937 y 1961) que, según se ha interpretado, causaron profundas modificaciones en la morfología del río (erosión de las márgenes a la vez que sedimentación y remodelación de barras de gran tamaño). No obstante, se ha constatado que la respuesta a una misma avenida no era uniforme, aún en tramos próximos. En el cauce localizado aguas arriba de la confluencia con el Ciurana ni las grandes avenidas citadas ni otras, asimismo extraordinarias pero de menor magnitud, tuvieron repercusiones morfosedimentarias, si no que todos los reajustes descritos se manifestaron únicamente aguas abajo de dicha confluencia. Ello pone de manifiesto el papel tan destacado que ha tenido el río Ciurana en las remodelaciones acontecidas en el Ebro, aportando tanto sedimentos (el volumen de barras como la granulometría de los sedimentos que conforman éstas aumenta aguas abajo de la confluencia) como caudal líquido (tal como se deduce de comparar los caudales medidos durante un mismo episodio de avenida, antes, Fig. 4, y después de la confluencia, Fig. 3). Por tanto, el incremento de las aportaciones sólidas y líquidas debidas a este río se revelan como los factores más influyentes en la evolución geomorfológica del Ebro. Otros factores geomorfológicos a los que se podría aludir para justificar estos cambios son: la sinuosidad y la pendiente del río. Sin embargo, la sinuosidad, no varía de modo significativo a lo largo del tramo estudiado (Figs. 1 y 2) y se mantiene próxima aunque algo por debajo de 1,5 tanto en el tramo de aguas arriba como en el de aguas abajo. En este último tramo la sinuosidad es algo inferior y se ha re-

ducido a lo largo del tiempo por los procesos descritos, mientras que en el anterior se ha mantenido constante. La pendiente media del río Ebro en su curso bajo es aproximadamente de 0,02%, ya que el lecho del río en Flix se encuentra a 25 m s.n.m. y el Mediterráneo dista 116 km de ese punto. Concretamente, dentro del tramo estudiado la pendiente se mantiene más o menos constante hasta la población de Mora, donde se observa una disminución en la inclinación del lecho, por lo que este factor no explicaría las desigualdades sedimentarias observadas en los dos segmentos que separa el río Ciurana.

Las deducciones sobre la evolución sedimentaria del río Ebro, controlada por avenidas extraordinarias, se pueden ampliar, por extrapolación, al Delta del Ebro, lo que permitiría confirmar la idea de Day *et al.* (1995) referente a que la mayor parte del sedimento que llega hasta los deltas, en general, y al Delta del Ebro, en particular, se originan durante eventos muy energéticos de carácter esporádico tales como riadas y tormentas.

Tras la puesta en funcionamiento de los embalses la carga gruesa que era aportada por el propio río Ebro se ha reducido casi por completo, mientras que la carga de sólidos en suspensión ha decrecido tanto en la estación de aforos de Flix como en la de Tortosa (Tabla I). Paralelamente, el río Ciurana también ha disminuido sus aportaciones a causa de las múltiples acciones antrópicas a las que ha sido sometido.

Como consecuencia de la menor descarga de sedimentos y la menor frecuencia en la circulación de caudales con la competencia necesaria para erosionar los depósitos previos, el cauce del río Ebro ha modificado su dinámica sedimentaria. De modo que, actualmente, el cauce se encuentra acorazado y presenta una extensa y densa cubierta vegetal dispuesta tanto en las orillas como en las barras. El acorazamiento de las barras y del lecho del río se produce, cuando las aguas limpias liberadas desde la presa, lavan los sedimentos finos, pero carecen de la energía suficiente para arrastrar las gravas. La formación de esta coraza, que se romperá sólo en caso de caudales muy importantes, ha impedido que se produzca otra alteración típica de los cauces con presas y que transportan sedimentos más finos, como es la degradación vertical del cauce. Tal degradación conlleva en muchas ocasiones el encajamiento del cauce principal, lo que, a su vez, produce un descenso en el nivel de base de los tributarios que, en respuesta, se rejuvenecen, aumentando su capacidad erosiva (Petts, 1984). Por tanto, el perfil longitudinal del río ha variado con respecto al existente anteriormente por los comentados procesos de lavado de finos y cierta erosión observada en las formas sedimentarias más próximas a Flix. Sin embargo, esta variación ha sido limitada, ni siquiera ha variado el número y posición de las barras existentes previamente, debido a la presencia de clastos de gran tamaño que han acorazado el cauce y lo han estabilizado para las nuevas condiciones de descarga y de pendiente.

Por su parte, el amplio desarrollo de la vegetación que ha tenido lugar tras la construcción de embalses en el río Ebro se ha producido en paralelo con la regula-

ción de los caudales circulantes lo que garantiza la conservación de semillas y el crecimiento de las plantas. En algunos casos se ha descrito, por ejemplo Collier *et al.* (1997), que la vegetación que se instala en los cauces regulados es de carácter exótico lo que comporta una serie de repercusiones ecológicas negativas. Sin embargo, trasciende los objetivos de este trabajo tanto caracterizar la naturaleza de la flora presente en el río Ebro como determinar si su procedencia es alóctona o no.

El amplio desarrollo de la cubierta vegetal ha dado estabilidad a los sedimentos que recubre, a la vez que ha aminorado la erosión de las orillas. En ausencia de vegetación y con un lecho cubierto por gravas, habría cabido esperar que las aguas claras circulantes hubieran concentrado su fuerza erosiva en las márgenes del río (Petts, 1984). Sin embargo, en este caso la vegetación ha protegido de manera eficaz el escarpe de la llanura de inundación, que no ha experimentado un retroceso apreciable.

Una vez identificados los cambios causados en el tramo de río por la construcción de los embalses, resta comentar la extensión espacial y la velocidad a la que estos cambios se han producido. Respecto a la longitud de río afectado, cabe señalar que las modificaciones del cauce descritas afectan con igual intensidad a los 40 kilómetros analizados, por lo que es lógico suponer que éstas continúen aguas abajo hasta la desembocadura. Tal suposición se apoya en los resultados del trabajo de Serra *et al.* (1990). Estos autores estudiaron la evolución y las características sedimentarias del río Ebro entre Tortosa y Amposta para el período de tiempo 1983-1988. Determinaron que en la parte superior del tramo (proximidades de Tortosa) el cauce se hallaba revestido de gravas y que éstas no mostraron actividad ni movimiento alguno durante ese período. Tales aspectos indicarían que el río a su paso por Tortosa se encuentra también acorazado y es estable dentro de las condiciones hidrodinámicas medias de la corriente.

En lo referente a la velocidad de actuación de los distintos procesos se constata que los cambios del cauce se han producido en un breve intervalo de tiempo. En las fotografías aéreas de 1982 (Fig. 2) se observa que el cauce estaba ya estabilizado y desde esa fecha hasta la actualidad apenas ha experimentado cambios notables.

## Conclusiones

Como consecuencia de la puesta en funcionamiento de los embalses de Mequinenza y Ribarroja, el río Ebro, en el tramo situado aguas abajo de los mismos, ha modificado las características de su cauce. Dos son los factores que han controlado el tipo de cambio producido en el cauce. Uno ha sido la presencia de abundantes gravas, el otro, la elevada tasa de asentamiento de vegetación a lo largo de todo el tramo analizado. Ambos factores se han conjugado para estabilizar el cauce y los depósitos existentes con anterioridad. Paralelamente, la densa y continua cubierta de vegetación de ribera presente a lo largo de las orillas ha actuado de eficaz pro-

tección para ambos márgenes reduciendo su erosión.

La aludida estabilidad del sistema fluvial se alcanzó con relativa rapidez, lo que impidió el rejuvenecimiento de los afluentes que podrían así haber contrarrestado la disminución de sedimentos del sistema. Pero, a su vez, éstos han reducido el volumen de sus aportes porque también han sido objeto de intensas modificaciones antrópicas.

Actualmente, el río Ebro se encuentra en una situación de equilibrio dentro de las nuevas condiciones introducidas por los embalses y el hombre.

Antes de la construcción de los embalses se registraron dos avenidas extraordinarias durante las que se ponía en movimiento un gran volumen de sedimentos y se producían profundas modificaciones geomorfológicas en el sistema fluvial. No obstante, estas transformaciones se han reconocido únicamente en el tramo del río Ebro localizado inmediatamente después de la confluencia con el río Ciurana. Este hecho tiene repercusiones muy importantes no sólo para conocimiento de la dinámica evolutiva del propio río y la influencia de las avenidas en la morfología del cauce, sino que también nos informa indirectamente sobre las aportaciones de sedimentos hasta el delta, que es una preocupación ambiental de primer orden. En este sentido se pueden destacar dos aspectos.

En primer lugar, los resultados ponen de manifiesto que el río Ciurana en este curso final aporta muchos sedimentos al sistema, probablemente más que el propio río Ebro. Por tanto, las acciones antrópicas llevadas a cabo en este río que han ocasionado una reducción neta en el suministro de sedimentos, presumiblemente han podido afectar al complejo sedimentario tanto como las llevadas a cabo en el mismo río Ebro.

En segundo lugar, los resultados permiten confirmar que la mayor parte de la sedimentación se produce en grandes episodios de avenidas. Puesto que uno de los cometidos de los embalses es, precisamente, el de regular avenidas, parece improbable que en el futuro se desarrolle alguna con la intensidad de las producidas en épocas anteriores, que aporte sedimentos tanto al tramo estudiado como al delta. Aún en el caso de que se originara una avenida importante y se dispusiera de un caudal suficiente, la falta de carga sólida en el sistema impedirá un aporte importante de sedimentos al curso bajo del río.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación de la CICYT AMB95-0394-CO3-02. La colaboración prestada por Carmen Hernández Santón y Rafael Romeo (Confederación Hidrográfica del Ebro) ha sido de gran utilidad. Asimismo agradecemos los comentarios realizados por los revisores de este trabajo, los Dres. A. Alonso Millán y A. Arche.

## Referencias

Assarin, A.E., Baranova, N.S., Terentiev, L.I. y Vassiliev, A.B. (1994): Some examples of river bed degradation gained from reservoirs in operation. En: *18 Congrès des Grands*

*Barrages*. ICOLD, Q. 69, R. 48: 753-763.

Baker, V.R. (1977): Stream-channel response to floods, with examples from central Texas. *Geological Society of American Bulletin*, 88: 1057-1071.

Bayerri E. (1935): *Historia de Tortosa y su comarca*. Imprenta moderna del Aguerrí. Tortosa.

Bluck, B.J. (1976): Sedimentation in the meandering Endrick. *Scottish Journal of Geology*, 7: 93-138.

Brookes, A. (1994): River channel change. En: *The rivers handbook. Hydrological and ecological principles*. (P. Calow y G.E. Petts, Eds.) ,Blackwell Science, Oxford, 55-75.

Carling, P. y Beven, K. (1989): The Hydrology, Sedimentology and Geomorphological implications of Floods: an Overview. En: *Floods. Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications* (K.Beven y P.Carling, Eds.), John Wiley and Sons, Chichester, 1-9.

Catalán, J.G. (1969): *Química del Agua*. Edit. Blume, Barcelona. 355 p.

Collier, M.P., Webb, R.H. y Andrews, E.H. (1997): Inundación experimental del Gran Cañon. *Investigación y Ciencia*, 3: 60-67.

Collier, M.P., Webb, R.H. y Schmidt, J. (1996): *A primer on the downstream effects of dams*. United States Geological Survey Circular 1126, 94 p.

Day, J.W., Pont, D., Hensel, P.F. y Ibáñez, C. (1995): Impacts of sea-level rise on deltas in the gulf of Mexico and the mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*, 18: 636-647.

Davy, L. (1975): *L' Ebre. Etude Hydrologique*. Tesis Doctoral, Universidad Paul Valéry. Montpellier, 510 p.

Dolz, P., Gómez, M. y Nieto, J. (1997): El Ebro en el delta. *Revista de Obras Públicas*, 3.368: 7-14.

Erskine, W.D., Terrazola, N. y Warner, R.F. (1999): River rehabilitation from the hydrogeomorphic impacts of a large hydro-electric power project: Snowy river, Australia. *Regulated Rivers. Research and Management*, 15: 3-24.

Everitt, B.L. (1993): Channel responses to declining flow on the Río Grande between Ft. Quitman and Presidio, Texas. *Geomorphology*, 6: 225-242.

Guillén, J. y Palanques, A. (1992): Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river regulated by dams: the Ebro river. *Sedimentology*, 39: 567-579.

Ibáñez, C., Prat, N. y Canicio, A. (1996): Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro river and its estuary. *Regulated Rivers. Research and Management*, 12: 51-62.

International Committee on Large Dams, ICOLD (1989): *Sedimentation control of reservoirs. Guidelines*. Bulletin 67. 159 p.

Lechuga, A. y López, J.S. (1997): Evolución reciente del Delta del Ebro. Aporte de sedimentos por el río. El oleaje y el transporte sólido litoral. *Ingeniería Civil*, 104: 99-107.

Leopold, L.B. y Wolman, M.G. (1957): River channel patterns: braided, meandering and straight. *United States Geological Survey Professional Paper 282 (B)*, 85 p.

Miall, A.D. (1977): A review of the braided-river depositional environment. *Earth Sciences Reviews*, 13: 1-62.

Ministerio de Obras Públicas, MOPU (1985): *Estudio de inundaciones históricas: mapas de riesgos potenciales: Cuenca del Ebro*. Comisión Nacional de Protección Civil. Madrid.

Palanques, A. (1987): *Dinámica sedimentaria, mineralogía, microcontaminantes inorgánicos de las suspensiones y de los sedimentos superficiales en el margen continental del*

- Ebro. Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cataluña, 450 p.
- Petts, G.E. (1984): *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. Wiley, Nueva York, 326 p.
- Petts, G.E. (1994): Rivers: Dynamic components of catchment ecosystems. In: *The rivers handbook. Hydrological and ecological principles*. (P. Calow y G.E. Petts, Eds.), Blackwell Science, Oxford, 3-22.
- Petts, G.E. y Thoms, M.C. (1987): Morphology and sedimentology of a tributary confluence bar in a regulated river: North Tyne, U.K. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 433-440.
- Ramos, A. (1989): Sistemas aluviales braided. En: *Sedimentología* (A. Arche, Ed.) CSIC, 67-106.
- Reid, I., Best, J.L. y Frostick, L.E. (1989): Floods and flood sediments at river confluences. En: *Floods. Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications* (K. Beven y P. Carling, Eds.), John Wiley and sons, Chichester, 135-150.
- Roy, A.G. y Roy, R. (1988): Changes in channel size at river confluences with coarse bed material. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13: 77-84.
- Sanz Montero, M.E., Avendaño, C. y Cobo, R. (1999): Influencia de los embalses en el transporte de sedimentos hasta el delta del Río Ebro (España). En: *Hydrological and geochemical processes in large-scale river basins*. HIBAm, Manaus.
- Serra, J. (1997): El sistema sedimentario del Delta del Ebro. *Revista de Obras Públicas*, 3.368: 15-22.
- Serra, J., Colombo, F., Canals, M. y Guillén, J. (1990): Comportamiento hidráulico y sedimentario del río Ebro, entre Tortosa y Amposta (Tarragona, España). *Geogaceta*, 8: 107-109.
- Smith, N.D. (1974): Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *Journal of Geology*: 82, 205-224.
- Varela, J.M., Gallardo, A. y López de Velasco, A. (1986): Retención de sólidos por los embalses de Mequinenza y Ribarroja. Efectos sobre los aportes al delta del Ebro. En: *Sistema integrado del Ebro* (M.G. Mariño, Ed.). Gráf. Hermes, Madrid, 203-219
- Williams, G.P. y Wolman, M.G. (1984): Downstream effects of dams on alluvial rivers. *United States Geological Survey Professional Paper* 1286, 83 p.

Manuscrito recibido el 8 de junio de 2000

Aceptado el manuscrito revisado el 19 de diciembre de 2000