

Los cambios geomorfológicos del río Jarama como base para su restauración.

P. Vizcaíno, F. Magdaleno, A. Seves, S. Merino, M. González del Tánago, D. García de Jalón.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Ramiro de Maeztu s/n .Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

En los últimos cincuenta años, el río Jarama ha experimentado grandes cambios debidos a la interacción de los procesos morfológicos naturales y a las actuaciones humanas en la llanura de inundación. A través del análisis comparativo de las fotografías aéreas de 1956 y 1999 mediante el programa ArcView 3.2., en los últimos sesenta kilómetros del río, que coinciden con el paso del mismo por el Parque Regional del Sureste, podemos advertir un espectacular cambio en los usos del suelo de la llanura de inundación: mientras en 1956, más de la mitad del perímetro de contacto de la llanura de inundación con el cauce del río (caudal de bankfull), pertenecía a terrenos rústicos y forestales con una utilización no intensiva, y el restante 40-50% tenía usos agrícolas, en 1999 el porcentaje de terreno rústico se ha reducido drásticamente debido a un notable aumento de los usos agrícolas, principalmente en el margen derecho, y sobre todo a un espectacular aumento (superior al 35% en el margen izquierdo) de los usos industriales y urbanos, en forma de graveras (que en 1956 ocupaban 1.6 ha. y en 1999 unas 347 ha.), polígonos industriales y depuradoras, y ocupación urbana.

La morfología actual del río Jarama responde a esta utilización irracional de la llanura de inundación: la construcción de los grandes embalses de cabecera que disminuyen la frecuencia de avenidas ordinarias, unido a la limitación lateral del río por la invasión del Dominio Público Hidráulico, y a la colocación de estructuras de protección longitudinales al cauce, han provocado una disminución de la vegetación, y de las barras de sedimentación asociadas ambas a la dinámica natural del río. Esta disminución del espacio asociado al río, que en 1956 ocupaba 1750 ha., y en 1999 tan sólo 580, genera cambios en la dinámica de erosión y sedimentación que afectan a la morfología. Se aprecia un aumento de la sinuosidad del cauce: en 1956 se correspondía fundamentalmente con la de un río trezado, mientras que en 1999 es claramente la de un río sinuoso. Este hecho junto con la disminución de la agradación que genera un fuerte proceso de incisión y una gran inestabilidad de las orillas, determina un río completamente antropizado. Por todo ello, a la hora de establecer las bases para la restauración del río Jarama, habrá que comenzar por recuperar el espacio asociado a él para que pueda desarrollar su morfología y dinámica propias.

Palabras clave: restauración, morfología y dinámica fluvial, presión antrópica.

ABSTRACT

During the last fifty years, the Jarama river has suffered spectacular changes due to the interaction between the natural geomorphological processes and human uses in the floodplain. We have compared aerial photos from 1956 and from 1999 using the ArcView 8.0 software, along the last 60 Km of the river, which are within the Southwest Regional Park. We identified great changes in land use in the floodplain. In 1956, more than a half of the area of contact between the river channel (at bankfull flow) and the floodplain was used for forestry and as rural soils with non-intensive uses, with the remaining 40 to 50% of land having agricultural uses. In 1999, the percentage of rural uses had drastically decreased. This large reduction is due to the strong increase in agricultural uses, especially on the right bank, and especially to a very large increase (over 35% on the left bank of the river) in urban and industrial uses such as gravel mining (1.6 ha in 1956, as compared to 347 ha in 1999), industrial estates, sewage treatment plants and urban areas.

The current morphology of the Jarama river is a consequence to the unplanned use of its floodplain. In particular, it is caused by the construction of large dams in the river headwaters decreasing the occurrence of high flows downstream, as well as by the lateral encroachment of banks, or invasion of the Public Hydraulic Domain. Also, changes in river morphology have been caused by the establishment of levees along the banks which have brought about a large decrease in cover of riparian vegetation and presence of sedimentation bars, both of them related to the natural dynamics of the river. The decrease of the floodplain area from 1750 ha in 1956 to 580 ha in 1999 has caused changes in the erosion and sedimentary dynamics, which in turn have affected the river morphology. We have observed an increase in the degree of sinuosity of the river channel. The studied

river reach was of the braided type in 1956, while in 1999, it was considered a high sinuosity river. In addition, decreases in the aggradation, causing incision of the channel and instability of its banks, has resulted in a highly altered, anthropic river. Bearing the above factors in mind, and in order to establish the basis for a restoration project for the Jarama river, we should start by giving the floodplain back to the river, thus allowing the development of its natural morphology and dynamics.

Keywords: restoration, fluvial morphology and dynamics, human disturbance.

INTRODUCCIÓN

El tramo de estudio de longitud aproximada 61 km., se encuentra situado en el tramo bajo del río Jarama, coincidiendo con los límites del Parque Regional del Sureste, en el sureste de la Comunidad de Madrid.

En su tramo bajo, el río Jarama presenta un alto estado de degradación debido principalmente a la elevada presión antrópica que sufre, entre otras causas por la cercanía a grandes núcleos de población. Las alteraciones del río por este motivo son principalmente:

1. La variación del caudal circulante por la construcción de los embalses de cabecera. (Beleña, El Atazar, El Vado, El Vellón, Pinilla, Manzanares el Real, etc.) . El carácter del Jarama ha sido hasta épocas recientes pluvio-nival, pero la regulación de las cabeceras de los ríos de su cuenca, ha provocado una disminución de los caudales medios, además de la frecuencia de las avenidas ordinarias no sucediendo lo mismo con las avenidas extraordinarias que la presa no puede controlar. Esta variación del régimen de caudales influirá en la dinámica sedimentaria.
2. La variación del cauce natural del río por la construcción de estructuras de protección longitudinales, como motas y escolleras.
3. El descenso del nivel de base del río debido a las extracciones de grava.(Seves Herrero, 2000).
4. El cambio de usos en la llanura de inundación, por la invasión de la misma por cultivos y graveras.

Los objetivos generales de este estudio son la caracterización del medio fluvial del tramo bajo del río Jarama, describiendo su problemática y

las causas de su degradación como base para emprender posteriores tareas de restauración del mismo a partir de la bibliografía específica existente (Schmidt & Otaola-Urrutxi, González del Tánago & García de Jalón, 1995). Para ello se han planteado unos objetivos particulares de definición del actual estado morfológico y dinámico del río y su evolución desde 1956, determinando la influencia que la actividad humana ha tenido en ellos.

Además de los estudios generales sobre la cuenca del Jarama, o los estudios geomorfológicos de diversos tramos del mismo (Garzón *et al.*, 1996), desde su creación en 1994, han aparecido diversas publicaciones en torno a la figura del Parque Regional del Sureste: estudios de los ecosistemas acuáticos y de la biodiversidad de los humedales, publicados por el Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid y estudios sobre el paisaje natural (Molina Holgado, 1992). También se han desarrollado proyectos de fin de carrera en colaboración con el Parque Regional del Sureste, (Vizcaíno Martínez, 2001 y Ruiz-Labourdette, 2001). En cuanto a las tareas de restauración en el río Jarama, se han llevado a cabo labores de restauración puntuales como la restauración a la altura de Valdetorres del Jarama a partir del proyecto de Seves Herrero (2000). A nivel de cuenca aún no se han planteado actuaciones.

METODOLOGÍA

El Jarama en su tramo bajo discurre por un valle de múltiples terrazas fluviales que se distribuyen longitudinalmente a lo largo del río, formando valles amplios. Las formas deposicionales predominantes son las terrazas y llanuras de inundación adyacentes a ellas, que producen un

elevado aporte de sedimentos. Los suelos están desarrollados predominantemente sobre sustratos aluviales originados en los procesos fluviales. Según la caracterización geomorfológica de Rosgen (1996) son valles de tipo VIII. Como veremos posteriormente, asociados a este tipo de valle aparecen los cauces de tipo “C”, que son cauces ligeramente encajonados y de sinuosidad relativamente elevada, lo que provoca la aparición de un lecho en el que alternan los sistemas de pozas y rápidos.

Para la caracterización del medio fluvial del río hemos hecho un estudio geomorfológico del mismo. En el estudio de la evolución de la morfología del río, se analiza el perfil longitudinal y el trazado en planta, considerando que estos elementos serán el resultado de los procesos de erosión, transporte y sedimentación que vienen determinados por la geología y el relieve de la cuenca vertiente y por el espacio que encuentra el río para desarrollarse dentro del valle.

El estudio del perfil longitudinal y el trazado en planta del río se ha llevado a cabo con la cartografía digital de la zona a escala 1:5.000 y las fotografías aéreas de 1999 y 1956, georreferenciadas con el programa informático Erdas 8.5.

El estudio del perfil longitudinal, refleja la pendiente de cada tramo, que viene determinada por las condiciones del tramo aguas arriba, aunque la elevación y situación de cada punto en el perfil están también determinadas por el nivel de base aguas abajo. Por otra parte, el estudio de la pendiente de un cauce nos ha servido también para determinar la potencia hidráulica del mismo.

Para el estudio del trazado en planta estudiaremos la evolución de la sinuosidad definida como el cociente entre la longitud real del cauce entre dos puntos, y la longitud del valle entre esos mismos puntos sobre las fotografías aéreas de 1956 y 1999.

Para el estudio de la Dinámica Fluvial, hemos hecho un estudio de la variación de los elementos determinantes de la misma, a partir del análisis de los mismos en las fotografías aéreas de 1956 y 1999, realizada con el programa ArcView 3.2. Los elementos considerados son:

- a) El trazado en planta del río (caudal de bank-full) considerando la variación de la morfología del cauce, así como la longitud y la anchura del mismo, que determinarán en definitiva la dinámica erosiva y sedimentaria que presenta el río en cada momento.
- b) La superficie ocupada por las barras de sedimentación, tanto centrales como laterales, distinguiendo si se trata de barras fijas o estabilizadas, o si bien se trata de barras móviles.
- c) La superficie de vegetación asociada al cauce.
- d) La superficie ocupada por lagunas.

Por último se ha realizado un estudio comparativo de la evolución de los usos del suelo en 1956 y 1999 en la ribera del río mediante la medición de los perímetros de contacto de los diferentes usos sobre las fotografías aéreas de 1956 y 1999.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil longitudinal y potencia hidráulica

Del estudio del perfil longitudinal representado en la figura 1, podemos decir que se trata de un tramo de pendiente relativamente elevada con valores medios del 0.133%, con una pendiente máxima del 0.5% entre el Puente de San Fernando y la desembocadura del Henares, al principio del tramo, y una mínima de 0.072% antes de la desembocadura en el Tajo. Asimismo presenta forma cóncava como corresponde al tramo bajo de un río.

Se define la potencia hidráulica (W) como la energía por unidad de peso para un caudal determinado, y es una medida de la capacidad de erosión y transporte de una corriente para un determinado sustrato del lecho y un determinado tamaño del sedimento erosionado de aguas arriba, siendo directamente proporcional a la pendiente. La potencia hidráulica nos sirve también para determinar las dimensiones y forma de un cauce en equilibrio, así como predecir los cambios que ocurrirán en el mismo si se produce

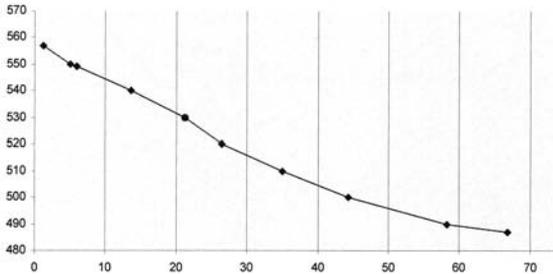


Figura 1. Perfil longitudinal del río Jarama a su paso por el Parque Regional del Sureste. *Longitudinal profile of the Jarama River (Spain) within the Southwest Regional Park.*

algún cambio en la morfología del cauce o en el régimen de caudales. En este tramo encontramos valores de potencia hidráulica superiores a 150W/m^2 , valores mucho mayores que 35W/m^2 lo que indica que las actuaciones de mejora siempre tendrán un elevado riesgo de fallo por erosión (Brookes, 1992).

Sinuosidad

Del estudio de la sinuosidad, obtenemos valores medios de 1.35 lo que corresponde a un río meandriforme-sinuoso (Leopold & Wolman, 1962). Entre el año 1956 y el año 1999 hay un ligero aumento general de la sinuosidad, que puede explicar la tendencia del río de un tipo trezado, con menor sinuosidad, y barras de sedimentación centrales, hacia un río meandriforme, de mayor sinuosidad.

Dinámica fluvial

En figura 2, aparece uno de los tramos sobre los que se ha analizado los diferentes parámetros indicados. En términos absolutos respecto a todo el tramo, podemos representar la variación de elementos asociados a la dinámica natural de río en la Tabla 1.

En dicha Tabla 1 puede apreciarse una disminución general de los elementos asociados a la dinámica natural del río, el río discurre encajonado, constreñido por las motas colocadas por

los propietarios de cultivos o graveras para la protección de los mismos, y no presenta una dinámica erosiva y sedimentaria propia, por lo que disminuye la superficie de sus barras laterales, tanto fijas, como móviles. Además al tratarse de un río regulado aguas arriba por grandes embalses, hay una disminución de los caudales de avenidas ordinarias por lo que disminuye la superficie de barras móviles.

En cuanto a la vegetación tanto arbórea como arbustiva, es importante considerar la variación de la superficie ocupada por la misma ya que en términos de morfología y dinámica fluvial, contribuye a la estabilización de márgenes y orillas ya que aumentan considerablemente la resistencia a la erosión debida a la fuerza de la corriente (Smith, 1976) y propicia la existencia de zonas con una capacidad de retención de sedimentos muy elevada. La falta de vegetación favorece la existencia de orillas inestables y taludes verticales.

Por último, la extracción de áridos propicia la aparición de lagunas, enormes extensiones de aguas por debajo del nivel freático lo que contribuye a la eutrofización de las aguas aunque en muchos casos suponen la creación de hábitats muy adecuados para las aves acuáticas. Desde el punto de vista dinámico, estas lagunas suponen una zona de fácil evaporación de agua freática, lo que repercutirá en los caudales de los ríos, además de que al encontrarse dentro de la zona de influencia del río favorecen la colocación de estructuras de protección que limitan la libre expansión del río. Alguans de estas lagunas serán posteriormente rellenadas con materiales de escombros y tierra no arcillosa por lo que el medio intersticial y la capacidad del freático del río disminuye.

Usos del suelo

Los usos del suelo básicos que encontramos a lo largo de la ribera son el forestal, propio de una ribera sin alterar, y el agrícola, el industrial y el urbano, representativos de la variación por la intervención humana. Del análisis comparativo en las fotografías aéreas de 1956 y 1999, de los perímetros de contacto de los diferentes usos

Tabla 1. Evolución de los valores de los elementos asociados a la dinámica natural del río entre 1956 y 1999, en término absolutos y porcentualmente. *Evolution of parameters related to river dynamics between 1956 and 1999, expressed as absolute values and as percentages.*

Año	Longitud (km)	Anchura del cauce (m.)	Barras móviles (ha.)	Barras fijas (ha.)	Ribera (ha)	Lagunas (ha.)	Vegetación (ha.)
1956	61	69	434	556	1570	1.7	353
1999	59	36	140	175	580	346	243
Variación	-4%	-48%	-68%	-69%	-63%	99.6%	-32%

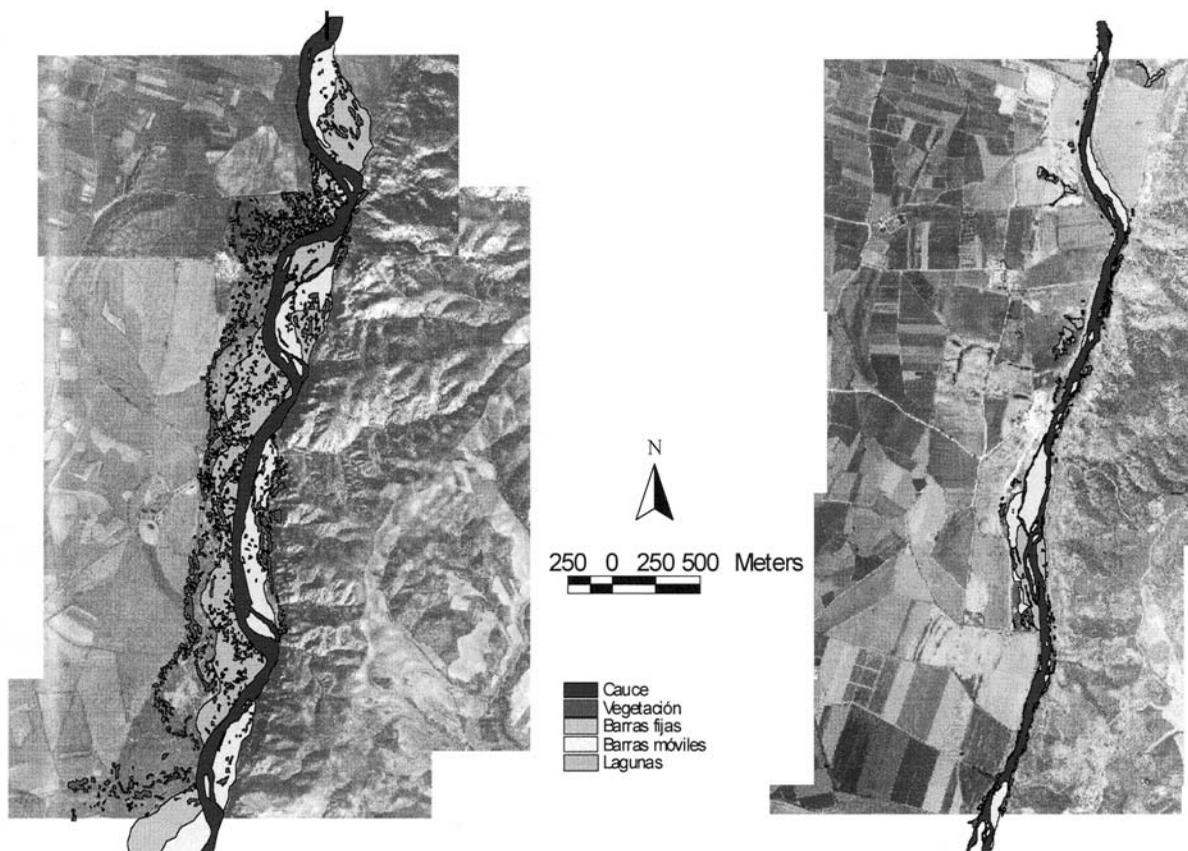


Figura 2. Evolución de la dinámica fluvial del río a la altura del Soto de la Chopera, entre 1956 y 1999. En 1956, la anchura del cinturón de meandros coincide con la sección determinada por las barras fijas y móviles, y existen paleocauces en la llanura de inundación indicativos de un río con dinámica propia y gran actividad. En 1.999, se ve que el río ha perdido prácticamente todo el espacio con que contaba, con lo cual no puede expandirse lateralmente y esto genera unos problemas de incisión y también la disminución de la anchura del cauce. Este encajamiento y rectificación es debido una vez más al cambio de usos del suelo asociado al terreno fluvial, que han sido ocupados por cultivos o graveras a ambos lados del Jarama haciendo inexistente el terreno asociado al cauce, y esto hace aumentar los fenómenos de erosión y la inestabilidad de las orillas. *Evolution of fluvial dynamics of the river Jarama at Soto de la Chopera between 1956 and 1999. In 1956, the meander belt width was about equal the section defined by mobile and steady bars. Also, there were a number of palaeochannels in the floodplain, indicative of a river with active dynamics. In 1999, the river had almost lost its entire floodplain and thus could not expand laterally, causing incision of the channel with consequent decreases in channel width. Floodplain encroachment and rectification has been caused by changes in land use. Floodplain areas on both banks have been occupied by gravel minings and agricultural activities, increasing erosion and instability of the channel banks.*

Tabla 2. Evolución de los usos del suelo en la ribera del río Jarama evaluado como variación de los perímetros de contacto de los diferentes usos con el río. *Land use changes in the floodplain of the Jarama river assessed as changes in the perimeter of contact between the different uses and the river itself.*

Río	Uso agrícola (m)	Uso industrial (graveras) (m)	Suelo forestal (m)
Jarama			
1956	13 023	208	17 601
1999	20 400	11 550	11 400
Variación	5%	26%	-31%

con el cauce se obtienen los resultados que aparecen reflejados en la Tabla 2.

CONCLUSIONES

Desde 1956 hasta la actualidad se ha apreciado una disminución del cauce (definidos por los caudales de bankfull) con valores que varían de 390 ha. en 1956 a valores de 212 ha. en 1999 y la ribera, así como la vegetación riparia debido a la actividad humana. Según la caracterización geomorfológica de Rosgen (1984), el río Jarama, hasta 1956, constituía un río tipo D-VIII, es decir, de poca pendiente, meandriforme con una morfología alternante de rápidos y remansos, y barras de sedimentación a uno y otro lado de los meandros, con tendencia a los procesos de agradación lateral y a formar cauces trenzados con barras centrales, y situado en valles con suaves pendientes y amplias terrazas fluviales. Sin embargo, en 1999, se aprecia un aumento de la sinuosidad del río que seguramente se corresponderá con una disminución de la pendiente, y debido también a la disminución de las barras de sedimentación centrales se aprecia un cambio de la morfología de los ríos siendo ahora ríos tipo C-VIII, aunque localmente pueda permanecer la tendencia hacia ríos tipo trenzado.

Actualmente el río Jarama presenta una gran alteración de su morfología, con disminución del espacio asociado al río, su dinámica y grados de libertad, motivada por el cambio de usos del

suelo por parte del hombre. Como consecuencia de esta alteración antrópica, la ribera del río se ha reducido fuertemente, llegando a unos pocos metros en algunos tramos del río, quedando limitada entonces por motas y escolleras. A causa de esta falta de espacio para desarrollarse lateralmente, el cauce aparece incidido en todo el tramo, como puede apreciarse en los pilares de los puentes, apareciendo además taludes verticales y orillas muy inestables.

Como la ribera ha perdido su funcionalidad, la vegetación y la fauna autóctonas se van en muchos casos desplazadas por otras especies alóctonas, mejor adaptadas a las nuevas condiciones.

Por todo ello, a la hora de establecer las bases de la restauración del río (entendiendo por tal el devolverlo a su estado lo más natural posible) habrá que empezar por la recuperación del espacio asociado a él, para que pueda desarrollar su morfología y dinámica propias. Ello entraña dar libertad al río para que pueda disipar la energía hidráulica en avenidas, mediante procesos de erosión y sedimentación. Para ello, proponemos eliminar las motas o al menos desplazarlas fuera del cauce, aproximándolas a los elementos que se quieran proteger, así como suavizar los taludes, para permitir la expansión lateral del río. Esto implica que en la definición del cauce (como hábitat fluvial y como dominio público hidráulico) deben tenerse en cuenta no sólo consideraciones hidrológicas e hidráulicas, sino también geomorfológicas. En este sentido resulta muy necesario y útil el conocer sus condiciones históricas (en este caso la fotografía de 1.956) considerándolas como las naturales y por tanto idóneas para la conservación del ecosistema fluvial, estableciendo a partir de las condiciones morfológicas existentes en ese momento, unas actuaciones que nos permitan la recuperación y mantenimiento del río.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, A. y G. GARZÓN. 1996. El río Guadarrama, morfología y sedimentación actual en un cauce arenoso tipo braided. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 21:369-393.

- ALONSO, A. y G. GARZÓN. 1996. The Jarama river. In: *Paleohydrology in Spain*. Actas de la II Reunión Internacional sobre Paleohidrología Continental, Toledo España: 21-34
- ALONSO, A. y G. GARZÓN. 1997. Efectos sedimentarios de las inundaciones en un río fuertemente antropizado: El Jarama, Madrid. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22:265-268.
- BROOKES, A. & F. D. SHIELDS. 1966. *River Channel Restoration. Guided Principles for Sustainable Projects*. Wiley & Sons. Chichester. 458 pp.
- BROOKES, A. 1992: Recovery and Restoration of Some Engineered British River Channels. In: *River Conservation and management*: 337-352. Wiley & Sons. Chichester. UK.
- GARZÓN, G., A. ALONSO, J. LÓPEZ y A. ARCHE. 1990. *Desbordamientos en el río Jarama (prov. de Madrid) e interferencia humana en la llanura de inundación*. VIII Reunión de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gijón, Asturias, 259-271.
- GARZÓN, G. y A. ALONSO. 1995. Variabilidad holocena e histórica de un río meandriforme de gravas (río Jarama, Madrid). En: *Reconstrucción de Paleomambientes y Cambios Climáticos durante el Cuaternario. Monografías CSIC*, 3: 79-92.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. y D. GARCÍA DE JALÓN. 1995: "Restauración de ríos y riberas". Fundación Conde del valle del Salazar. Madrid. 319 pp.
- LEOPOLD, L. B. & M. G. WOLMAN, 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman. San Francisco. 522 pp.
- LÓPEZ VERA, F. y J. PEDRAZA GILSANZ. 1976. Síntesis geomorfológica de la Cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. *Estudios Geológicos*, 32: 499-508.
- MOLINA HOLGADO, J. 1992. El paisaje natural en la confluencia de los ríos Jarama y Manzanares. *Eria*, 12: 105-123.
- MIALL, A. D. 1996. *Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag. Berlin. 582 pp.
- PEDRAZA GILSANZ, J. 1996. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. Madrid. 413 pp.
- THORNE, R., COLIN, R. D. HEY & M. D. NEWSON. 1997. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Ed. Wiley & Sons, Chichester. UK. 384 pp.
- ROSGEN, D. 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology. Pagosa Springs. Colorado. 390 pp.
- RUIZ-LABOURDETTE GARAU, D. 2001. *Restauración del tramo de desembocadura del río Tajuña en el término municipal de Titulcia*. Proyecto fin de carrera de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Madrid. 369 pp.
- SMITH, R. E. 1976. *Simulating erosion dynamics with a deterministic distributed watershed model*. Actas del 3rd Interagency Sedimentation Conference. Denver, Colorado: 163-173.
- SCHMIDT, G. y M. OTAOLA-URRUTXI. 2002. *Manual práctico para la aplicación de técnicas de bioingeniería en la restauración de ríos y riberas*. Ministerio de Fomento. CEDEX. Madrid. 170 pp.
- SEVES HERRERO, A. 2000. *Proyecto de Restauración de un tramo del río Jarama a la altura de Valdetorres del Jarama*. Proyecto fin de carrera de la E.T.S.I. Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 177 pp.
- VIZCAÍNO MARTÍNEZ, P. 2001. *Proyecto de Restauración de un tramo del río Jarama entre la Presa del Rey y el Puente de San Martín de la Vega*. Proyecto fin de carrera de la E.T.S.I. Montes. Universidad politécnica de Madrid. 206 pp.