



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-411

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis multitemporal de la estructura y composición de la vegetación de ribera y la morfología fluvial en la cuenca del Guadarrama (Madrid)

**AGUIRRE YEVES, E.¹, MERINO DE MIGUEL, S.², CARRERO DÍEZ, L.²,
MARCHAMALO SACRISTAN, M.³ y GARCÍA DE JALÓN, D.¹**

¹ ETSI Montes – Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040-Madrid (España).

² EUIT Forestal – Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040-Madrid (España).

³ ETSI Caminos, Canales y Puertos – Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040-Madrid (España).

Resumen

La implementación de la Directiva Marco del Agua – DMA (Comisión Europea, 2000) es uno de los objetivos de la Unión Europea que supondrá un mayor esfuerzo de análisis, priorización y restauración. En este sentido, la restauración debe ser entendida como aquella encaminada a la recuperación de procesos ecológicos, más que a favorecer el impacto visual. Los procesos ecológicos de los sistemas fluviales están condicionados por una serie jerárquica de factores como son el clima, la geología, el régimen fluvial, la geomorfología, etc. todos ellos actuando a diferentes niveles. El primer paso hacia la restauración será el reconocimiento y la caracterización de los distintos elementos que clasifican el sistema fluvial en unidades homogéneas, en este caso, desde el punto de vista de la vegetación de ribera y la morfología fluvial. En el presente estudio se realiza una clasificación de la cuenca del Guadarrama (Madrid), basada en la metodología jerárquica de González del Tánago y García de Jalón (2004), para a continuación llevar a cabo un análisis detallado de la morfología fluvial y vegetación de ribera en tres de las unidades definidas en base a la citada clasificación. Para ello se utilizan fotografías aéreas de distintas épocas y tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica). Además se realiza trabajo de campo para ser utilizado tanto en el análisis de los datos como en la validación de los resultados. Este tipo de estudios permite conocer las fuerzas naturales que determinan el funcionamiento de los ecosistemas riparios, así como estimar su grado de alteración humana.

Palabras clave

SIG, fotografía aérea, cuenca del Tajo, clasificación jerárquica.

1. Introducción

Los ecosistemas fluviales han constituido a lo largo de los siglos el eje y centro de las diversas poblaciones que han dominado la Tierra. Las grandes civilizaciones han nacido de los ríos que bañaban sus tierras y, en muchas ocasiones, sus economías se han basado en las posibilidades que les han ofrecido estos grandes ejes, ya fuera por sus características conectivas, energéticas o como fuente de fertilidad. Es por ello que estos ecosistemas han notado la mano del hombre y han evolucionado conforme lo ha hecho la sociedad que le rodeaba.

En Europa, y más concretamente en la Península Ibérica, encontramos un claro ejemplo de cómo las grandes civilizaciones han instalado sus poderes junto a los canales fluviales. El uso que se ha extraído de sus propiedades ha evolucionado a la vez que unos pueblos han dado paso a otros, pero ha sido en el pasado siglo donde esta evolución ha resultado más rápida, acelerándose en las últimas décadas. Este aumento de la velocidad en los cambios



entre culturas y generaciones nos acerca a la sociedad actual, que crece envuelta en una paradoja mediática: concienciada de la necesidad de protección y conservación de los espacios naturales a la par que sigue demandando el uso de estos mismos espacios, colonizándolos sin control.

En este escenario, los Organismos Públicos encargados de velar por la conservación de los ríos y sus entornos, buscan nuevas fórmulas que ayuden a la preservación de estos lugares, unidas a un necesario estudio de los mismos. El estudio de los ecosistemas fluviales se encuentra enmarcado dentro de esa perspectiva como uno de los principales temas a tratar. Esta necesidad de estudio y protección se plasmó en la Directiva Marco del Agua, aprobada en el año 2000 por el Comité de Conciliación del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva 2000/60/CE).

El presente trabajo nace de esta necesidad imperativa de estudiar los ecosistemas fluviales como paso previo imprescindible antes de una realizar una propuesta de restauración. Dicho estudio tratará de evaluar el uso y el daño, o la mejora, que se ha producido durante las últimas décadas. La necesidad de conservar estos ecosistemas se basa en la facilidad y rapidez de cambio que presentan frente a otros, la diversidad y riqueza florística y faunística que aportan, su actuación como corredores, conectores entre ecosistemas, etc., con especial énfasis en la vegetación riparia, que proporciona un gran valor añadido al río, ayudando a crear unas condiciones favorables para que sea, no solo un cauce hidráulico, sino un verdadero ecosistema.

El trabajo que aquí se expone cubre la cuenca del río Guadarrama desde su nacimiento, y hasta su salida de la provincia de Madrid por el término municipal de Batres (figura 1). La cuenca del Guadarrama se ha visto sometida desde tiempos inmemoriales a importantes impactos. En concreto, podríamos hablar de un intensivo pastoreo, encontrándonos con la Cañada Real Segoviana que la cruza. Si nos vamos acercando al siglo XX, nos encontramos con una continuada regulación del caudal del río principal y de los principales afluentes: encauzamientos, presas, azudes, etc. que han provocado la bajada de la frecuencia de crecidas, de dos a 100 años, así como una elevada urbanización de la zona.

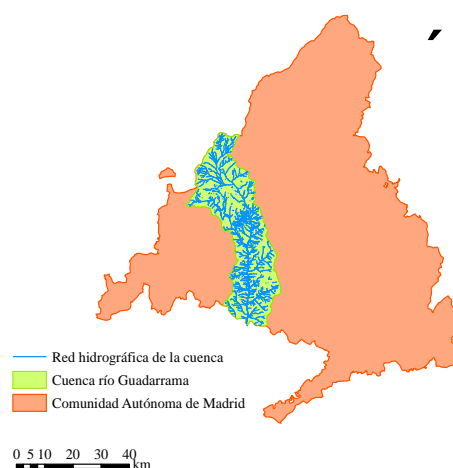


Figura 1. Zona de estudio: cuenca del Guadarrama en la provincia de Madrid

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo consistió en determinar la evolución de la morfología del Guadarrama y de sus formaciones riparias, como consecuencia de la regulación de su caudal natural. Dicha regulación es consecuencia de la gestión del agua para su uso como abastecimiento urbano y rural a través de presas, encauzamientos, trasvases e incluso depuradoras. El fin último que persigue este proyecto es conocer cómo funcionan los ecosistemas fluviales y sus respuestas a las diferentes afecciones, para poder proponer actuaciones de restauración, recuperación o mejora. Dicho objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización de la red fluvial de la cuenca según la metodología de clasificación jerárquica de García de Jalón et al. (2006) utilizando como factores: la región bioclimática, la geología de la cuenca, el tamaño de cuenca acumulado, el régimen de caudales y el tipo de valle. Selección de tres tramos de estudio.
- Análisis multi-temporal detallado de los tramos seleccionados, utilizando fotografías aéreas y ortofotos de diferentes años así como trabajo de campo, con el fin de estudiar la evolución de la morfología fluvial y de las formaciones riparias de los tramos seleccionados.

3. Metodología

La metodología empleada en el presente estudio ha estado encaminada a la consecución de los objetivos específicos enunciados anteriormente. El presente apartado cubrirá por tanto los siguientes aspectos metodológicos: (i) caracterización jerárquica de la cuenca del Guadarrama y selección de los tramos de estudio, (ii) estudio multi-temporal detallado de la geomorfología y vegetación de ribera de los tramos seleccionados previamente.

Para caracterizar la cuenca se ha escogido la metodología de caracterización jerárquica de los ríos españoles desarrollada por González del Tánago y García de Jalón (2006). Se ha aplicado esta forma de clasificar por varios motivos, entre los que cabe destacar: (i) su total consonancia con las directrices sobre clasificación indicadas en la DMA, (ii) su propia naturaleza jerárquica, que asume que cada factor va a influir en el siguiente, ofreciendo la posibilidad de trabajar con parámetros de clasificación que no varían en la cuenca a pesar de las posibles afecciones producidas en ellas o que se pueden recomponer a partir de datos y referencias anteriores; y (iii) su aplicabilidad a cualquier región y tamaño de cuenca, ya que permite ir dividiendo en más o menos tipologías según el tamaño de la superficie objeto de estudio.

En el presente trabajo, la clasificación jerárquica llevada a cabo llegará hasta el *nivel de segmento fluvial* para toda la cuenca de estudio. La selección de unos pocos tramos de estudio (zonas seleccionadas, independientemente de la semántica utilizada por González del Tánago y García de Jalón (2006) para la clasificación jerárquica) ha sido necesaria para reducir la superficie de análisis y poder plantear una investigación más detallada. En la selección de los tramos de estudio han pesado los siguientes criterios: (i) nivel de afección por presas o encauzamientos y tramos con afecciones acumuladas de presas, encauzamientos, depuradoras, motas y usos abusivos de la llanura de inundación, (ii) representatividad o singularidad de la tipología del tramo dentro de la cuenca, (iii) accesibilidad al tramo de estudio para abordar el trabajo de campo, (iv) necesidades de los gestores del Parque Regional, (v) observaciones en

la evolución en las fotografías aéreas, (vi) posibilidad de continuar la investigación utilizando nuevos datos (LiDAR); y (vii) posibilidad de comparar resultados entre los tres tramos estudiados por la similitud en alguno de los factores de clasificación.

La clasificación jerárquica de la cuenca del Guadarrama se ha llevado a cabo utilizando herramientas SIG, tal y como exige la propia DMA (Directiva 2000/60/CE, 2000; González del Tánago y García de Jalón, 2006; ACA, 2006; Junta de Andalucía, 2006). En particular, y por motivos que no entraremos a analizar, se han empleado hasta tres herramientas distintas: ArcGis 9.2, ArcView 3.4 y SEXTANTE. Las capas de información y bases cartográficas utilizadas para dicha clasificación se exponen y describen brevemente a continuación:

- Mapas topográficos de la serie MTN25 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en formato digital, compuestos por un archivo de planimetría y otro de altimetría.
- Cartografía temática vectorial digital de escala 1:50.000, conteniendo diversas capas de información, proporcionada por la Comunidad de Madrid.
- Cartografía vectorial digital de Ecorregiones a escala 1:200.000 (Elena Roselló *et al*, 1997), proporcionada para el conjunto del territorio.

Del conjunto de factores propuestos originalmente por González del Tánago y García de Jalón (2006) para llevar a cabo el estudio de las cuencas, se han seleccionado los que aparecen en la tabla 1, como adaptación a la zona de estudio.

Tabla 1. Clasificación jerárquica del Guadarrama: factores de caracterización utilizados en el presente estudio

Ecorregión
Ecorregión climática
Cuenca vertiente
Tamaño
Muy pequeña (<10km ²)
Pequeña (10-100km ²)
Mediana (100-1000km ²)
Litología
Rocas graníticas
Rocas metamórficas
Sedimentos detríticos
Segmento fluvial
Régimen de caudales
Permanente
Pluvionival
Pluvial
Temporal

La región o regiones climáticas a las que pertenecen las distintas zonas de la cuenca de estudio es el primer factor de clasificación ya que el clima, a través de la temperatura y el régimen de precipitaciones, va a contribuir de manera notable en la geología de la zona (relieve y litología), e inmediatamente después, en el tamaño de cuenca, régimen de caudales, etc. Para la delimitación de las diferentes regiones climáticas, se utilizó el ATLAS CLATERES (Elena Roselló *et al.*, 1997), tanto la memoria como la capa vectorial de Ecorregiones a escala 1:200.000. Para la caracterización geológica de la cuenca, se ha

utilizado una capa vectorial de litología proporcionada por la Comunidad de Madrid. Se trata de una capa a escala 1:50.000 que describe las litologías en función del tipo, clase y permeabilidad.

El tamaño de cuenca vendrá influido por la ecorregión climática en que se encuentre la zona y su geología, ya que ambos factores van a conformar el relieve, y con ello, el tamaño de cuenca vertiente. Para la elaboración de una capa vectorial donde se tuvieran localizadas las cuencas y su tamaño acumulado, se ha recurrido a una serie de herramientas SIG hidrológicas y analíticas (HEC-GeoHMS 1.1 y Spatial Analyst), que tienen como principal entrada de datos, un modelo digital del terreno (MDT). Dicho modelo fue elaborado a partir de la información recogida en la altimetría y planimetría de los mapas topográficos de la serie MTN25 antes mencionados.

Para discernir el régimen de caudales naturales de los ríos de la cuenca, se han utilizado dos variables distintas: (i) temporalidad de los cauces, que los divide en temporales y permanentes y (ii) la principal influencia en el caudal, que los divide en pluvionivales y pluviales. La temporalidad de los cauces se ha establecido en base a la información de la planimetría de la serie MTN25. En cuanto a la influencia en el caudal, ésta fue establecida a partir de datos de caudales de los puntos de aforo de la cuenca, obtenidos a través del CEDEX y datos de precipitaciones, los cuales fueron estimados mediante la aplicación informática 'Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termo pluviométricas para la España Peninsular' (Sánchez Palomares *et al.*, 1999).

Para la caracterización del factor tipo de valle, se ha recurrido al trabajo de González del Tánago *et al.* (2006) el cual clasifica el tipo de valle en tres clases en función de las pendientes longitudinales y transversales (que fueron calculadas a partir de la información cartográfica), de la ubicación del tramo a lo largo del río, granulometría del material, etc.

La clasificación de los ríos pretende agruparlos en tipologías fluviales con características similares. Se trata, por tanto, de una tarea posterior a la caracterización, ya que se sirve de ella. Los factores que se han utilizado para la clasificación son los mismos que los empleados en la caracterización jerárquica. Sin embargo, en las combinaciones planteadas se ha considerado la relación que se da entre las variables empleadas, reduciendo en cierta medida el número de tipos de ríos existentes en la realidad (García de Jalón *et al.*, 2006), que nos proporcionaba una consulta de una base de datos. La caracterización biogeoclimática de ecorregiones (Elena Roselló *et al.*, 1997) considera la climatología (y con ello el régimen de precipitaciones) y la geología, que unido condiciona el régimen de caudales y morfologías fluviales. Siguiendo la jerarquización de los factores, comprobaremos cómo van influyendo unos en otros. De esto se deriva que se haya considerado el ajuste de lo que podrían ser distintos tipos fluviales en uno solo.

La clasificación de cada subcuenca, y con ello, cada tipo fluvial, se realizó en ArcGis. Con todas las capas de la caracterización superpuestas, se fueron definiendo los tipos fluviales y sus características para cada una. Si bien se podía considerar una tarea sencilla, la dificultad estribó en clasificar aquellas cuencas de transición, donde los resultados de la caracterización apuntaban cada uno a una tipología fluvial diferente. El mismo trabajo de campo realizado para analizar el tipo de valle, fue útil para recolocar cuencas limítrofes, atendiendo a las formaciones riparias que albergaban, que era en definitiva lo que finalmente nos marcaba la clasificación.



El estudio multi-temporal detallado de la geomorfología y vegetación de ribera de los tramos seleccionados previamente se compuso de tres partes. En primer lugar se trató de cuantificar, con la ayuda de fotografías aéreas de varios años (1959, 1972, 1991 y 2006) y herramientas SIG, los cambios producidos en la morfología del río: islas, barras, sinuosidad, anchura de ribera, anchura del cauce, afecciones directas, usos del suelo en las franjas pertenecientes al río, etc. (Vizcaíno *et al.*, 2003; ACA, 2006; Junta de Andalucía, 2006). En segundo lugar, y utilizando las mismas herramientas (fotografías aéreas y SIG), se trató de cuantificar los cambios sufridos por la vegetación riparia en lo que respecta a su estructura, densidad, conectividad longitudinal y transversal, especies, etc. (ACA, 2006; Lillesand y Kiefer, 1994; Merino de Miguel, 2008). La tercera y última parte de dicho estudio estuvo basada en observaciones de campo de los parámetros nombrados para morfología y vegetación de ribera (Munné *et al.*, 2003; González del Tánago *et al.*, 2006; ACA, 2006; Junta de Andalucía, 2006) y otros tales como observación de especies, comparación con el trabajo de gabinete, estado de conservación de la vegetación (Munné *et al.*, 2003), etc.

4. Resultados

Los resultados de la caracterización y clasificación de la cuenca del río Guadarrama, ofrecen una relación de 13 tipologías fluviales según los factores de ecorregión, geología, tamaño de cuenca acumulado, régimen de caudales y tipo de valle (véase tabla 2).

Tabla 2. Tipologías fluviales dentro de la cuenca del río Guadarrama

Tipo	Denominación
1	Ríos de montaña, muy pequeños, sobre granito, pluvionivales.
2	Ríos de montaña, muy pequeños, sobre granito, de régimen pluvial.
3	Ríos montañosos de tamaño pequeño, sobre rocas silíceas, de régimen pluvial.
4	Ríos montañosos de tamaño muy pequeño, sobre rocas silíceas, temporales.
5	Ríos de la Rampa, de tamaño muy pequeño, sobre rocas silíceas, temporales.
6	Ríos de la Rampa, de tamaño pequeño, sobre granitos, de régimen pluvial.
7	Ríos de la Rampa, de tamaño pequeño, sobre granitos, de régimen temporal.
8	Ríos encajonados de tamaño mediano, sobre granito y régimen pluvial, valles muy cerrados (Falla de
9	Ríos de transición de tamaño mediano, sobre rocas silíceas y régimen pluvial, valles cerrados.
10	Ríos de la Rampa, de tamaño mediano, sobre granitos, pluviales y con valles abiertos.
11	Ríos mediterráneos de tamaño muy pequeño y pequeño, sobre sedimentos detríticos, temporales.
12	Ríos mediterráneos de pequeño tamaño, sobre sedimentos detríticos, pluviales.
13	Ríos mediterráneos de tamaño mediano.

Posteriormente a dicha clasificación se escogieron 3 tramos de estudio pertenecientes a los tipos fluviales 13 y 11. En cuanto al análisis de las variables geomorfológicas, se ha observado en todos ellos una clara disminución en la superficie del espacio fluvial, cauce (véase figura 2), barras e islas, con un aumento en la longitud del eje principal y de la sinuosidad, excepto en el último tramo, en el que la longitud y sinuosidad también tienden a reducirse.

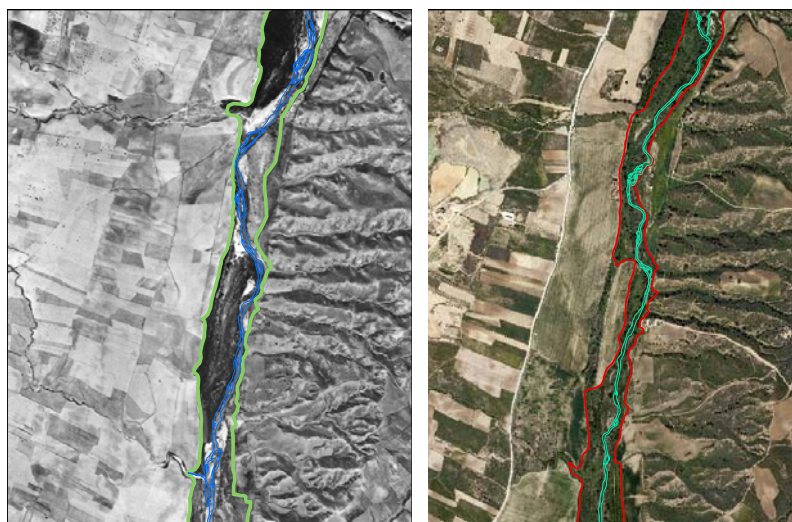


Figura 2. Evolución del cauce y del espacio fluvial del Guadarrama en una sección del Tramo III, entre 1956 y 2006.

Al mismo tiempo, se ha comprobado un aumento de la densidad de la banda riparia inmediatamente contigua al cauce, reduciéndose la diversificación de ecosistemas, la movilidad del río y la expansión del bosque de ribera y de vega. En cuanto a las afecciones observadas en las fotos y validadas en campo, ha sido posible localizar embalses, numerosos azudes, antiguas graveras, una intensa urbanización de la cuenca, escolleras, muros, y repoblaciones fracasadas y realizadas con especies de jardinería tipo *Salix babylonica* Kunth., *Populus alba* var. *bolleana* (Lauche) & Otto o *Platanus x hispanica* Mill.

5. Discusión

La ayuda que proporciona la clasificación jerárquica de los cursos fluviales que se ha realizado, es de una enorme importancia para el estudio realizado posteriormente. Con la idea clara del tipo segmento fluvial estudiado en cada caso, se puede encontrar una respuesta a los cambios encontrados. A medida que se ha avanzado aguas abajo del río, en los diferentes tramos de estudio, se ha observado una tendencia más acusada hacia un tipo de río braided, con una movilidad mayor. Sin embargo, se ha comprobado la reducción de esa movilidad en la variación cualitativa y cuantitativa producida.

Parece razonable relacionar la regulación del caudal que ha sufrido la cuenca del Guadarrama desde el año 1956 hasta nuestros días, con la reducción de anchura del cauce, superficie de espacio fluvial, barras e islas. De este modo, se ha producido una estabilidad que ha hecho posible un aumento en la densidad de la vegetación adosada al río, junto con una incisión mayor en el lecho y una urbanización más pegada al espacio ripario.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha podido comprobar la utilidad de las técnicas de SIG y de Teledetección en el estudio de los espacios riparios, encontrando en ellas un beneficio conveniente para el estudio y desarrollo de planes de actuación en torno a la mejora de la salud de este tipo de ecosistemas. Gracias a estas herramientas, ha sido posible analizar la cuenca objeto de estudio y relacionar su aspecto y evolución con la regulación del caudal que ha sufrido a lo largo de los últimos 50 años.

7. Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación ‘Análisis de la estructura espacial de la vegetación de ribera mediante teledetección con vistas a la evaluación del potencial ecológico de los ríos regulados por embalses’ financiado en convocatoria pública por la Comunidad de Madrid, y en el marco del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 ‘Evaluación del potencial ecológico de ríos regulados por embalses y desarrollo de criterios para su restauración según la Directiva Marco del Agua’, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. Los autores agradecen a sendos Organismos la financiación proporcionada.

8. Bibliografía

ACA (Agencia Catalana del Agua), 2002. HIDRI. Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.

ELENA ROSELLÓ, R.; CASTEJÓN AYUSO, M.; SÁNCHEZ SERRANO, F.; TELLA FERREIRO, G; SÁNCHEZ PALOMARES, O.; RAMÓN GONZÁLEZ ADRADOS, J.; ALLUÉ ANDRADE, J.; 1997. Clasificación biogeoclimática de España Peninsular y Balear. -atlas CLATERES. Instituto de investigación y tecnología agraria y alimentaria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

GARCÍA DE JALÓN, D.; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; MARCHAMALO, M.; ALONSO, C.; BAEZA, D.; VIZCAÍNO, P.; 2006. Caracterización jerárquica y clasificación de los ríos de Navarra. Universidad Politécnica de Madrid. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GARCÍA DE JALÓN, D; 2006. Caracterización jerárquica de los ríos españoles. Propuesta de tipología de tramos fluviales para su clasificación atendiendo a la directiva marco del agua. . *Limnetica*, 25, (3-4): 81-98.

JUNTA DE ANDALUCÍA (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE), 2006. Plan Director de Riberas de Andalucía.

LILLESAND, T; KIEFER, R.; 1994. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 94-530. New York.

MUNNÉ, A.; PRAT, N.; SOLÁ, C.; BONADA, N. ; RIERADEVALL, N. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitats in rivers and streams: QBR index. *Aquatic conservation: marine & freshwater ecosystems*, 13:147-163.

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F.; CARRETERO CARRERO, M; 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España Peninsular. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

COMISIÓN EUROPEA, 2000. Directiva 2000/60 CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

VIZCAÍNO, P.; MAGDALENO, F.; SEVES, A.; MERINO, S.; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; 2003. Los cambios geomorfológicos del río Jarama como base para su restauración. *Limnetica*, 22 (3-4):1-8.