



EFFECTOS DE LA REGULACIÓN DE CAUDALES SOBRE LA VEGETACIÓN RIPARIA EN UN ENTORNO SEMIÁRIDO

Alicia García Arias y Félix Francés García

algarar2@posgrado.upv.es

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) – Universidad Politécnica de Valencia (UPV)

Resumen

La importancia de la vegetación de ribera radica en las funciones que desempeña en los ecosistemas ripario y fluvial, favoreciendo la diversidad de hábitats, así como en la propia hidrología del río condicionando el balance hídrico, la retención de sedimentos, la calidad del agua, etc. Su crecimiento, mantenimiento y distribución están condicionados por el régimen hidrológico del río y contribuyen o perjudican al buen estado ecológico, requerido por la DMA. Se ha empleado el modelo RIPFLOW para simular las variaciones espacio-temporales en la distribución y tasas de evapotranspiración de la vegetación riparia en escenarios de regulación teórica de caudales, en el tramo Terde (Río Mijares, España). Los resultados mostraron variaciones en la distribución de la vegetación riparia menores de lo esperado, pero mostraron por el contrario considerables cambios en las tasas de evapotranspiración simuladas, siendo enfatizados los efectos en los años muy secos o muy húmedos.

Palabras clave: RIPFLOW, vegetación riparia, distribución, evapotranspiración, regulación de caudales

Abstract

The importance of riparian vegetation lies in the functions performed on the riparian and river ecosystems promoting the diversity of habitats, and in the hydrology of the river itself conditioning the water balance, sediment retention, water quality, etc. Its growth, maintenance and distribution are conditioned by the hydrological regime of the river and contribute or harm the good ecological status, which is required by the WFD. The RIPFLOW model was used to simulate the spatial and temporal variations in the riparian vegetation distribution and evapotranspiration rates, under theoretical flow scenarios in the Terde reach (Mijares River, Spain). The results showed lower variations in the distribution of riparian vegetation than expected, but showed on the contrary significant changes in simulated evapotranspiration rates, which were emphasized in very dry or very wet years.

Key words: RIPFLOW, riparian vegetation, distribution, evapotranspiration, flow regulation

1. Introducción

La trascendencia de los ecosistemas riparios reside en el valor natural y paisajístico que poseen además de la función protectora de los cauces que desempeñan. En este sentido la vegetación de ribera es, junto con el suelo y el agua, un elemento fundamental en la estructura del ecosistema, con funciones hidrológicas importantes relacionadas con la estabilidad del canal (Hupp y Rinaldi, 2010), con la temperatura del río por el efecto de la evapotranspiración y el sombreado (Rayne et al., 2008), con la calidad del agua (Medici et al., 2010), etc. La vegetación riparia es además en sí misma un recurso que debe ser conservado mediante una gestión adecuada del régimen hidrológico, pues de este depende en gran medida que se alcance el buen estado ecológico, el cual es un requerimiento para cumplir los objetivos establecidos en la Directiva Marco del Agua (DMA).

Las comunidades vegetales riparias se caracterizan por su gran diversidad, abarcando desde vegetación herbácea hasta árboles de gran porte. En estos ambientes, donde la dinámica de cambio es pronunciada, se distinguen desde zonas claramente diferenciadas hasta patrones indistinguibles de vegetación en la estructura de la comunidad vegetal. En climas mediterráneos, la vegetación riparia permite la existencia de uno de los ecosistemas más heterogéneos y complejos, por combinar condiciones climáticas regionales, variaciones del régimen hidráulico, procesos de dinámica fluvial y las acciones de la fauna y del hombre. Al analizar los cambios en la vegetación de ribera, no es necesario únicamente identificar los patrones espaciales de la comunidad vegetal, además es importante determinar en qué medida éstos reflejan cambios en las condiciones abióticas o son resultado de las interacciones bióticas (Naiman et al., 2005). Sin embargo, en entornos semiáridos los cambios en las condiciones abióticas, más concretamente las relacionadas con las variaciones hidrológicas, suponen la mayor causa de estrés para la comunidad vegetal riparia. Al alterar los regímenes fluviales, las plantas riparias aumentan su susceptibilidad para ser reemplazadas por otras mejor adaptadas a las nuevas condiciones, favoreciendo la proliferación de entornos con menor biodiversidad, el empeoramiento de la calidad de las aguas y la mayor exposición de los lechos fluviales; en definitiva empeorando el estado ecológico del río.



La distribución y el estado de conservación de las comunidades vegetales riparias deben tenerse en cuenta en la evaluación del estado ecológico de los ríos, lo que justifica la necesidad de disponer de herramientas de predicción que permitan a los gestores del agua considerar la respuesta de la vegetación riparia frente a factores condicionantes, en la medida que estos factores pueden cambiar en el futuro. Entre estas herramientas, destaca el modelo RIPFLOW (Francés, Egger y Ferreira et al., 2010), el cual basa su conceptualización en las relaciones entre la vegetación riparia y la hidrología de los cauces, asumiendo que el desarrollo de la vegetación depende de la relación funcional entre la hidrología, los procesos físicos y el clima.

2. El modelo RIPFLOW

Es un modelo anual, distribuido y dinámico. En respuesta a parámetros físicos, y mediante el establecimiento de sucesiones y retrogresiones, es capaz de simular la distribución espacio-temporal de la vegetación de ribera.

Su estructura consiste en cinco sub-modelos consecutivos, correspondientes a los cinco procesos considerados: el reclutamiento, el efecto destructor de las crecidas, la duración de las inundaciones, la transpiración de las plantas y el cambio de sucesión. El primero considera cambios en la morfología y en las elevaciones del nivel freático, para identificar las zonas pioneras donde puede ocurrir el reclutamiento. El siguiente, mediante valores críticos de tensión tangencial ($N \cdot m^{-2}$) del agua, analiza el efecto destructor de las crecidas sobre la vegetación. Este esfuerzo cortante crítico está asociado a caudales máximos instantáneos anuales y depende de la fase de sucesión en la que se encuentre la planta. En caso de superarse, la vegetación se considera eliminada, produciéndose la retrogresión a la fase inicial de la sucesión que corresponde al suelo desnudo. El tercer sub-modelo analiza el efecto de la duración de la inundación, contemplando la retrogresión causada por el estrés fisiológico sufrido por la planta considerando la fase de sucesión, la edad de la planta y la severidad del impacto. La retrogresión producida por la duración de la inundación se define en el modelo en forma de reglas de experto para cada línea de sucesión y contemplando las particularidades en el caso de estudio concreto. Un cuarto módulo, llamado de humedad en el suelo, analiza la disponibilidad del agua en el suelo para los diferentes tipos funcionales de vegetación en los que pueden agruparse las plantas correspondientes a las distintas fases de sucesión analizadas. Dentro del cuarto módulo se ejecuta el sub-modelo RibAV (Morales y Francés, 2009), que, con escala diaria, evalúa la cantidad de agua en el suelo aprovechable por la planta y su capacidad para evapotranspirar, mediante el cálculo de un índice de evapotranspiración (ETidx). Este ETidx, relaciona los valores de evapotranspiración real con la potencial en cada uno de los puntos. Una vez se ha ejecutado RibAV, se obtiene como resultado un mapa de ETidx medios para el año de simulación concreto en cada paso. Los valores umbrales o límites superior y inferior de ETidx, definen el comportamiento de la vegetación frente a los valores simulados de ETidx para cada año concreto, y son parámetros del modelo RIPFLOW asignados a cada una de las fases de sucesión contempladas en el análisis, mediante calibración. De este modo, si el valor de ETidx simulado en una celda concreta para una fase de sucesión es mayor que su límite superior, la vegetación acumula un año de edad; si es menor que su límite inferior se considera que la planta muere y hay retrogresión al estado inicial de suelo desnudo; y por último si se encuentra entre ambos límites se considera que la planta se mantiene sin ser capaz de avanzar en la sucesión. Finalmente, y una vez considerados los procesos de sucesión-retrogresión dentro de una misma línea de sucesión, el modelo evalúa en el quinto módulo si en alguna de las celdas simuladas la vegetación ha alcanzado la edad suficiente para evolucionar hacia una línea de sucesión diferente.

3. Caso de estudio

Se ha empleado el modelo RIPFLOW para el análisis de escenarios de regulación teórica de caudales en el tramo Terde del Río Mijares (España).

3.1. Descripción del tramo de estudio

El tramo de estudio, denominado Terde, se encuentra en el Río Mijares en la provincia de Teruel, cerca de la localidad de Sarrión. Tiene una elevación sobre el nivel del mar de 850 metros y su longitud es de 539 metros. Tiene unas características climatológicas típicamente mediterráneas semiáridas (temperatura y precipitación medias anuales de 11° C y 506 mm respectivamente), con elevados valores medios de evapotranspiración potencial (843 mm al año). El tramo no presenta regulación aguas arriba y el caudal medio anual en el tramo es de 0.894 m³/s. Se encuentra situado muy próximo a la estación de aforo 8030 de la Confederación Hidrográfica del Júcar, la cual cuenta con series foronómicas de gran calidad y larga duración. Puesto que el área drenante en ambos puntos es muy similar, y no existen derivaciones o afluentes, no ha sido necesario realizar correcciones sobre la serie de caudales obtenida de la estación. Terde posee un estado de conservación próximo al natural con dos series de



sucesión presentes, la serie boscosa (Woodland) y la serie de carrizal (Reed). La vegetación riparia principal corresponde a las especies *Salix eleagnos*, *Salix purpurea* y *Populus nigra*. Existe una gran variedad de fases de sucesión vegetal y estados de desarrollo en las bandas riparias. La zona de estudio considera como límite superior el definido por la avenida con periodo de recurrencia de 100 años, equivalente a una cota aproximada de 860 msnm, que abarca las bandas riparias con un margen suficiente ocupado por vegetación terrestre. Todos los mapas fueron creados en base a la misma superficie de máscara y la misma resolución (1 m²).

4. Metodología

4.1. Calidad de ajuste del modelo

El modelo fue calibrado en el mismo tramo de estudio con anterioridad (García-Arias et al., 2011) considerando las diferentes fases de sucesión de las dos series presentes en el tramo, boscosa y carrizal. Estas fases se definieron por orden de aparición como: fase inicial (IP), pionera (PP), comunes a las dos series, las fases herbáceas de la serie boscosa (HP) y de la serie de carrizal (HP*), fases arbustivas de la serie boscosa (SP) y carrizal (SP*), bosque temprano (ES), bosque establecido (EF) y bosque maduro o mixto (MF) donde las especies ribereñas y terrestres dominan conjuntamente. En la comparación entre fases de sucesión observadas en campo y simuladas por el modelo, se obtuvo un resultado altamente satisfactorio con aproximadamente tres cuartas partes de instancias clasificadas correctamente (CCI = 71.86%) y una muy buena diferenciación entre vegetación terrestre y riparia (el 93.64% de la vegetación terrestre se simuló correctamente; el 98.80% de las unidades riparias se simularon como vegetación riparia). El valor del coeficiente kappa, 0.56 ± 0.0079 (95% límite de confianza), confirmó que el resultado de la simulación era satisfactorio comparado con la distribución real de la vegetación. En base a estos resultados, el modelo se consideró calibrado y preparado para ser empleado en escenarios hidrometeorológicos.

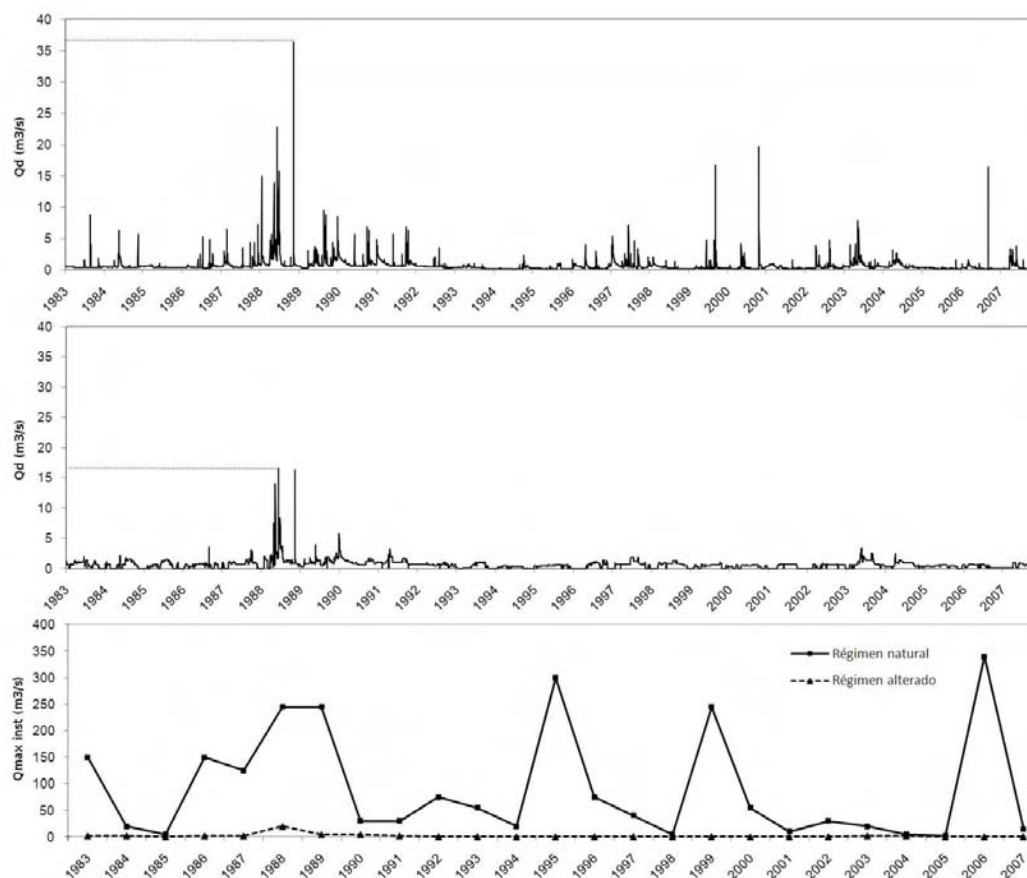
4.2. Escenarios de regulación teórica de caudales

Los escenarios de regímenes de caudales tomaron como referencia los caudales históricos del tramo durante el periodo 1983-2007 (25 años) en régimen natural. Para obtener una serie de caudales comparable en régimen de regulación teórica, se tomó como referencia la gestión realizada entre esos mismos 25 años (1983-2007) en la presa de Arenós, localizada en el río Mijares aguas abajo del tramo de estudio. Los caudales mostraron diferencias importantes en regulación teórica (Qd promedio = 0.60 m³/s; CV = 1.09; Qd máx = 16.5 m³/s; Qi máx = 16.5 m³/s) respecto al régimen natural (Qd promedio = 0.62 m³/s; CV = 1.62; Qd máx = 36.4 m³/s; Qi máx = 341.7 m³/s) siendo destacables tanto la reducción de los caudales máximos diarios, como la laminación de los caudales punta, en el escenario de régimen alterado.

Una vez obtenidas las dos series de caudales de 25 años, una en régimen natural y otra en régimen de regulación teórica, se analizaron las diferencias en la distribución de la vegetación de ribera considerando diferentes duraciones del periodo simulado (25, 50, 75, 100, 125 y 150 años). En todos los escenarios se tomó como punto de partida la vegetación observada en 2009 y el incremento en la duración de los mismos se planteó mediante la recirculación de las series input de régimen natural y de regulación de caudales.



Figura 1. Series de caudales medios diarios (m^3/s) en régimen natural (superior) y en régimen alterado teórico (centrado). Caudales máximos instantáneos (m^3/s) anuales (inferior) en régimen natural y en régimen alterado teórico



4.3. Introducción de escenarios en el modelo RIPFLOW

Se realizó un análisis de los caudales de la serie histórica completa (1948-2009) en el que se incluyó análisis de frecuencias, curvas de excedencia, valores medios anuales y percentiles 10, 25, 75 y 90. A partir de los resultados obtenidos se establecieron cinco tipos de año: muy seco ($Q_{\text{medio}} < 0.229 \text{ m}^3/\text{s}$), seco ($0.229 < Q_{\text{medio}} < 0.356 \text{ m}^3/\text{s}$), medio ($0.356 < Q_{\text{medio}} < 0.910 \text{ m}^3/\text{s}$), húmedo ($0.910 < Q_{\text{medio}} < 1.610 \text{ m}^3/\text{s}$) y muy húmedo ($Q_{\text{medio}} > 1.610 \text{ m}^3/\text{s}$).

La asignación de los mapas de elevación del flujo base (HBFL) y duración de la inundación representativos de cada año, inputs del modelo, se realizó en base a la anterior clasificación por tipo de año. Los mapas HBFL asignados correspondieron a los siguientes caudales de referencia: $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ en años muy secos y secos, $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en años medios y $1 \text{ m}^3/\text{s}$ años húmedos y muy húmedos. Los mapas de duración de la inundación, con el número de días en el que cada celda se encontraba inundada, fueron asignados a cada año de los distintos escenarios, nuevamente en función del tipo de año en el que habían sido clasificados.

Los mapas de esfuerzo cortante disponibles correspondían a diferentes caudales de referencia (20 caudales en el rango $0 - 650 \text{ m}^3/\text{s}$). Estos mapas fueron asignados a los escenarios en función del caudal máximo instantáneo anual, $Q_i \text{ máx}$ (m^3/s), mediante la selección del mapa de esfuerzo cortante disponible con caudal de referencia más cercano al $Q_i \text{ máx}$ medido por la estación de aforo en régimen natural, o al $Q_i \text{ máx}$ estimado en regulación teórica de caudales. Los mapas de referencia de elevación del nivel freático, necesarios para el sub-modelo de humedad del suelo, estaban disponibles para el rango de caudales diarios abarcado por todos los escenarios (10 caudales en el rango $0 - 40 \text{ m}^3/\text{s}$). El sub-modelo de humedad del suelo calcula internamente, mediante interpolación de estos mapas de referencia, el mapa de elevación del nivel freático diario correspondiente a los caudales definidos en cada escenario. La condición inicial de la vegetación en el área de estudio fue introducida mediante el mapa de vegetación observada en campo en condiciones naturales del tramo, en el año 2009. Finalmente, la morfología del cauce se consideró estacionaria a lo largo del periodo de simulación en los diferentes escenarios. Es decir, los inputs



topográficos (modelo digital de elevación y superficie ocupada por la zona de banco del cauce) se mantuvieron constantes en el tiempo.

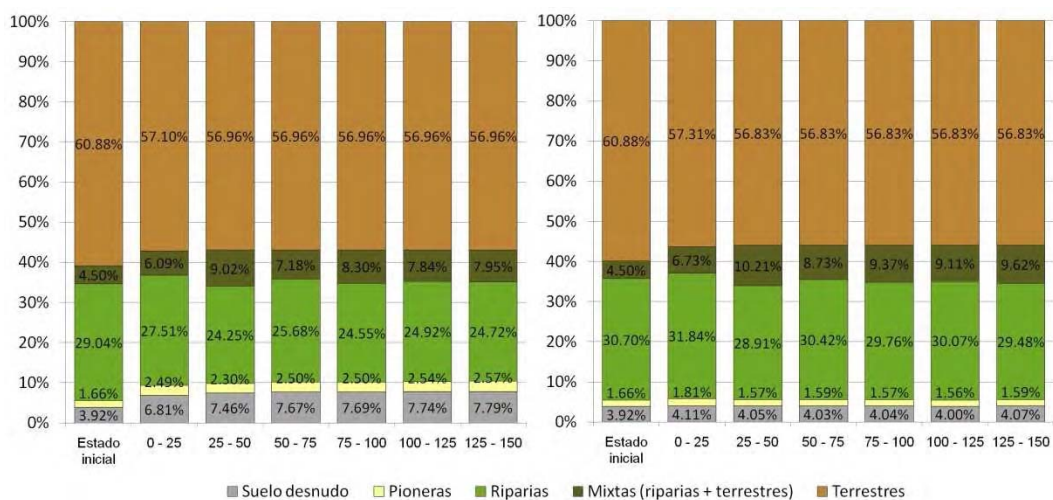
5. Resultados

5.1. Cambios en la composición de la comunidad vegetal riparia

Los resultados del análisis de los escenarios de regulación de caudales mostraron menores variaciones de lo esperado en las superficies ocupadas por las bandas de vegetación riparia y terrestre. El bosque maduro mixto de árboles riparios y terrestres incrementó su presencia en los escenarios de regulación teórica de caudales respecto a los de régimen natural. Sin embargo, no se observó una marcada tendencia a medida que la longitud del periodo de simulación se incrementaba. A pesar de ser muy similar la superficie ocupada por vegetación terrestre en ambos grupos de escenarios, el incremento de áreas de transición en régimen alterado de caudales indica que las especies terrestres pueden ver ligeramente favorecido su avance hacia zonas tradicionalmente riparias. A pesar de no ser máxima la presencia del bosque mixto en el último periodo de 125 a 150 años, si es cuando se produjeron las mayores diferencias respecto al escenario control, siendo la superficie simulada una quinta parte mayor que en el escenario de mantenimiento del régimen natural.

La laminación de los caudales indujo una disminución de la presencia de suelo desnudo de aproximadamente la mitad de la simulada en régimen natural (aproximadamente un 3% menos, respecto de la superficie total analizada). Este descenso se produjo en los primeros años de regulación y se mantuvo cuando la regulación de caudales se prolongó en el tiempo, sufriendo únicamente ligeras variaciones que fueron más sutiles que en los escenarios de mantenimiento del régimen natural. Al verse limitada la remoción de la vegetación en caudales regulados y favorecerse una continuidad de los caudales medios más homogénea, la vegetación riparia vio favorecida su presencia y evolución en zonas tradicionalmente ocupada por suelo desnudo o las fases pioneras de sucesión (Figura 2).

Figura 2. Superficie media ocupada, en periodos de 25 años sucesivos (hasta 150 años), por cada tipo de vegetación en régimen natural de caudales (izquierda) y en regulación teórica de caudales (derecha)



Así, la ausencia de incrementos bruscos del caudal no solo limitó la retrogresión a estados pioneros, permitió además la evolución de zonas cercanas al cauce que no se encontraban frecuentemente inundadas hacia la fase arbustiva de forma continuada. Este hecho favoreció un incremento cercano al 2% de la superficie total analizada, de la fase arbustiva perteneciente a la serie boscosa (Woodland) en los escenarios de regulación (Figura 3), incremento que sigue produciéndose, aunque más suavizado, a medida que el periodo de regulación es más prolongado en el tiempo. Las fase arbustiva de la serie de carrizal no pareció verse especialmente afectada por la regulación.



Dado que la regulación permite la existencia de caudales homogéneos, y la accesibilidad del agua superficial o poco profunda en años secos, la presencia de herbáceas se estabiliza en zonas frecuentemente inundadas. Las diferencias porcentuales de la superficie ocupada por herbáceas en régimen natural y en régimen alterado de caudales son despreciables si se consideran los valores medios de cada periodo, sin embargo las variaciones interanuales del área ocupada por esta fase en ambas series de sucesión son mayores en régimen natural (Figura 4). Las diferencias máximas interanuales en régimen natural fueron de 6.4 % de la superficie total del área de estudio, considerando la suma del área ocupada por las herbáceas de las dos series. Estas variaciones interanuales máximas se redujeron a 4.5% en el escenario de regulación.

Figura 3. Superficie anual ocupada por arbustos en régimen natural y en régimen alterado de caudales

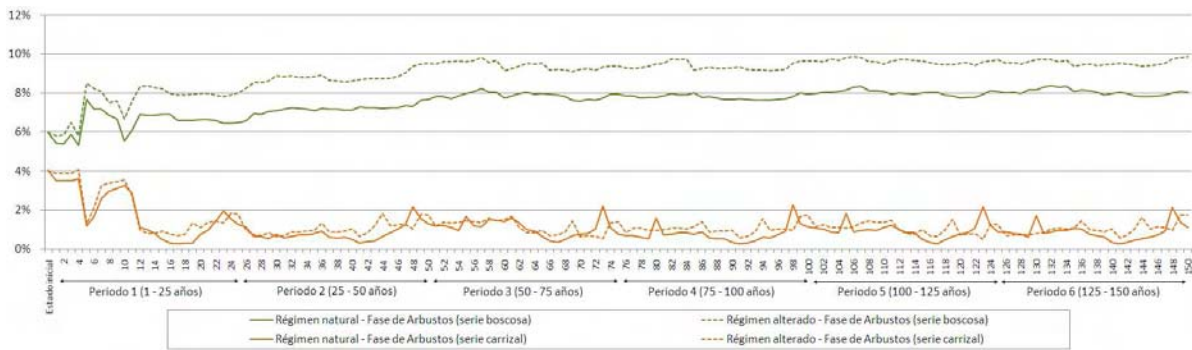


Figura 4. Superficie anual ocupada por herbáceas en régimen natural y en régimen alterado de caudales

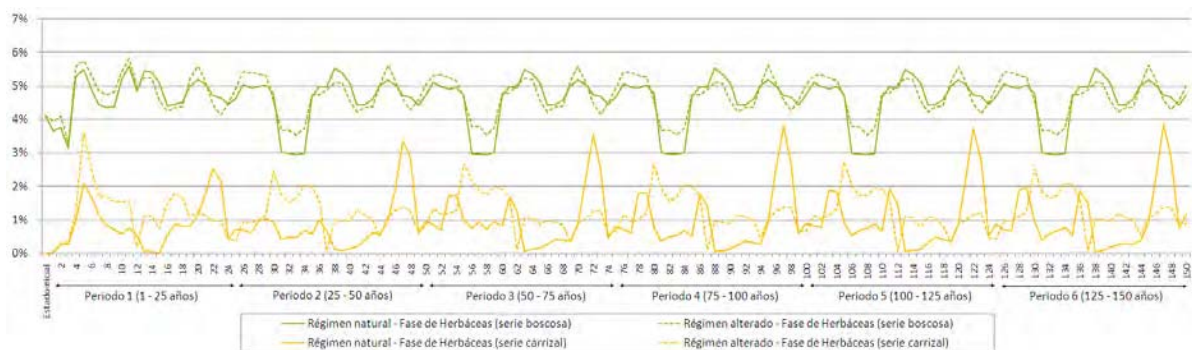
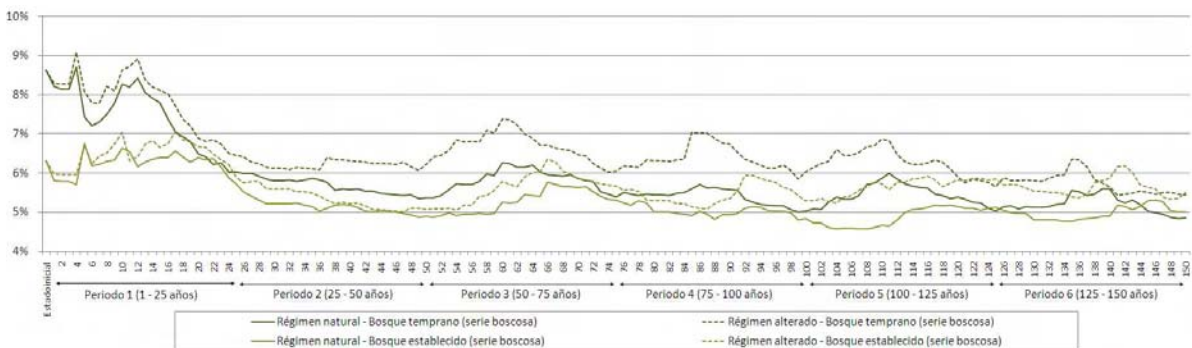


Figura 5. Superficie anual ocupada por bosque ripario en régimen natural y en régimen alterado



La presencia de bosque ripario, tanto en su fase de sucesión temprana (ES) como en su fase establecida (EF), se incrementó en los escenarios de regulación de caudales siguiendo una evolución temporal con un patrón muy similar al simulado en régimen natural de caudales (Figura 5). Los mayores incrementos de la presencia del bosque de ribera se produjeron en los años siguientes a los más húmedos y su presencia se redujo en los años considerados



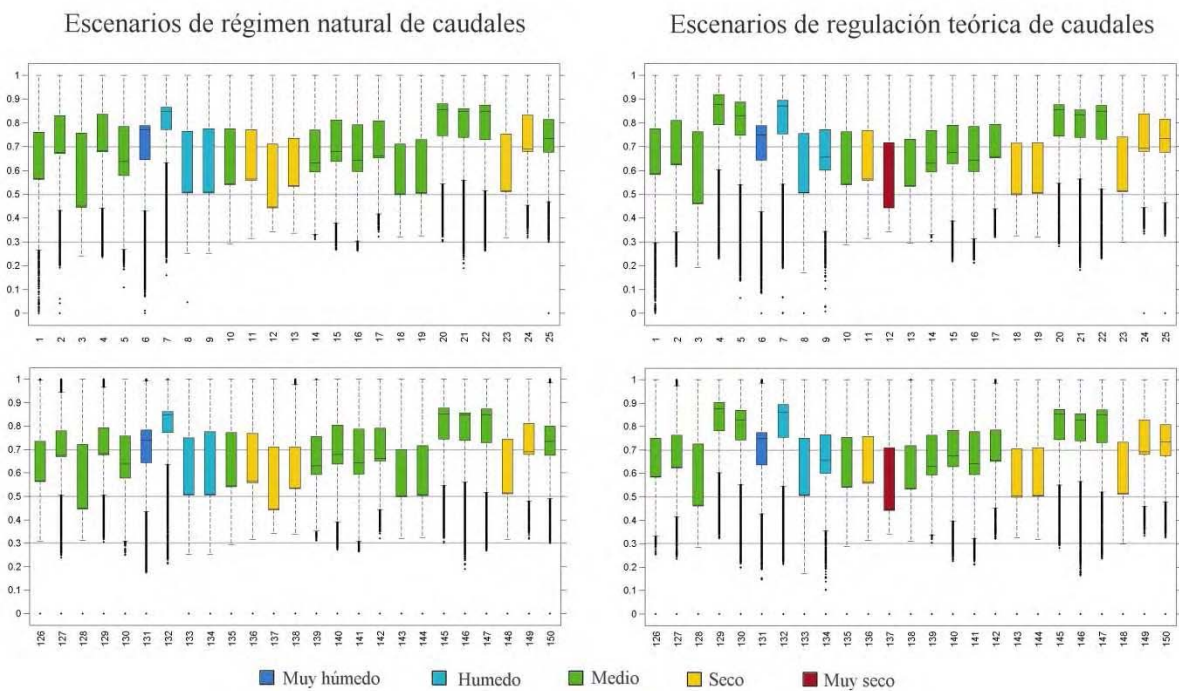
secos como consecuencia de la reducción en las tasas de evapotranspiración alcanzables por estas especies en los periodos de menor humedad del suelo disponible.

6. Variaciones en las tasas de evapotranspiración

Los valores del índice de evapotranspiración ETidx medios anuales obtenidos en el tramo a lo largo de los periodos de simulación, no variaron en exceso en los dos grupos de escenarios, régimen natural y régimen alterado de caudales. Se observaron ligeros incrementos de la mayor parte de los valores de ETidx simulados en el tramo, como consecuencia de la regulación de los caudales principalmente en los años medios y húmedos. Sin embargo, y aunque la mayor parte de las zonas riparias vieron favorecidas sus capacidades para evapotranspirar gracias a la homogeneización de caudales, especialmente en los periodos estivales, se observó en la mayoría de los casos una disminución de los valores más reducidos de ETidx, con valores extremos menores que en régimen natural de caudales (Figura 6). Esta limitación espacial de acceso a los recursos hídricos se evidenció especialmente en los años más húmedos.

En aquellos periodos donde varios años sucesivos eran del tipo medio, se observó una tendencia al incremento de los valores de ETidx en los escenarios de regulación de caudales, no observada sin regulación. Sin embargo, nuevamente los valores inferiores extremos fueron menores y más frecuentes que en el escenario control. Estos resultados muestran la posibilidad de un aumento de las capacidades de evapotranspiración en ciertas zonas del área riparia, en detrimento de otras que ven restringido su acceso al agua subterránea dada la supresión de variaciones del caudal en suficiente magnitud y frecuencia.

Figura 6. Rango de valores simulados de ETidx medios anuales para el conjunto de fases de vegetación simuladas, en los escenarios correspondientes al primer periodo de simulación (años 1-25) y al último (125-150 años)

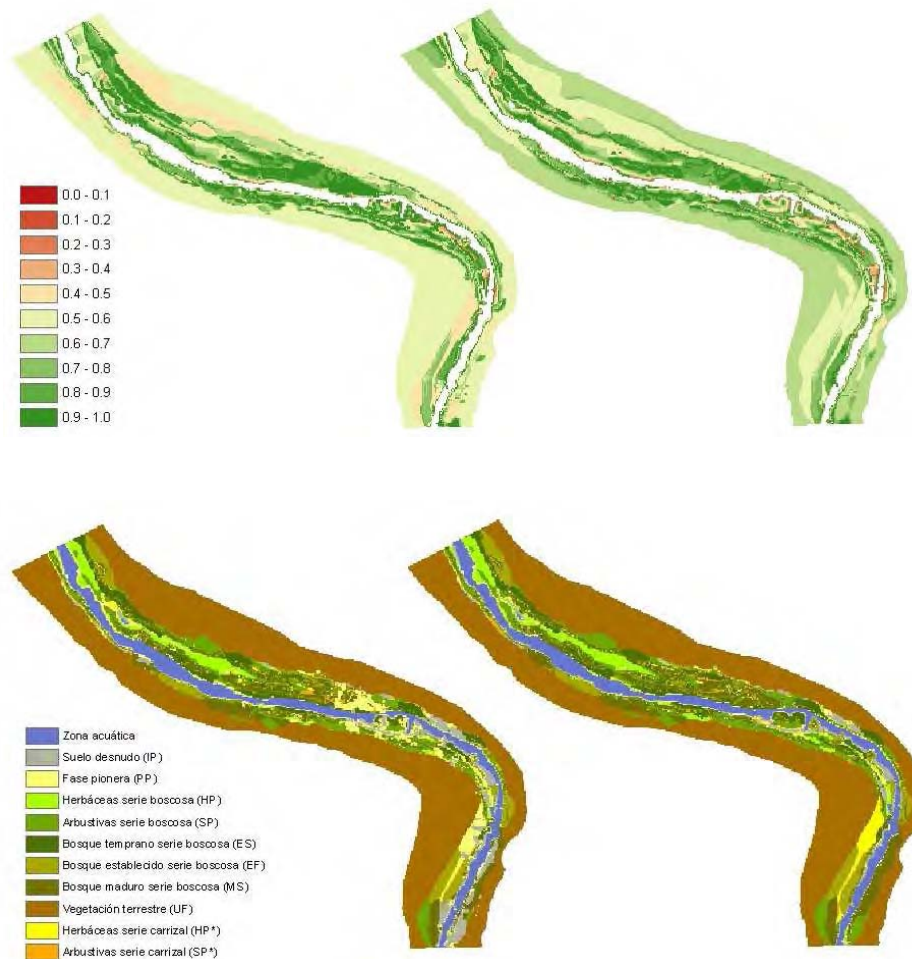


Se ha seleccionado el año 134 para mostrar las diferencias espaciales del ETidx simulado entre los dos escenarios de régimen de caudales analizados (Figura 7 superior). Estas diferencias fueron consecuencia directa de la regulación de caudales en muchas de las áreas vegetadas. Por el contrario, en algunas zonas los efectos de la regulación indirecta y cambios en la distribución de las distintas fases vegetales de sucesión riparia son los que propician diferentes tasas de evapotranspiración. Estos cambios en la composición y distribución de la comunidad vegetal riparia se hacen especialmente evidentes después de un periodo húmedo de varios años, como es el caso del año 134 cerca del final del periodo completo simulado (Figura 7 inferior). En este caso, las avenidas en régimen natural que consiguen arrastrar una parte importante de la vegetación en las riberas provocan grandes zonas de suelo desnudo o con fases pioneras de vegetación. Por el contrario, la laminación de los caudales en el escenario de regulación permite la



evolución de la vegetación a estadios más avanzados de la sucesión, lo que frecuentemente se traduce en mayores valores de ET_{idx}, en las áreas en las que no está restringido el acceso al nivel freático.

Figura 7. Resultados obtenidos en Terde para el año 134 de simulación. Superior: ET_{idx} obtenidos en régimen natural (izquierda) y en régimen alterado de caudales (derecha). Inferior: Distribución de las diferentes fases de sucesión en régimen natural (izquierda) y en régimen alterado de caudales (derecha)



7. Conclusiones

El modelo RIPFLOW (Francés, Egger y Ferreira et al., 2010) con el sub-modelo de humedad (Morales y Francés, 2009) integrado, ha demostrado ser una herramienta capaz de analizar el efecto de diferentes escenarios hidrológicos sobre la comunidad vegetal riparia. Su uso permite obtener resultados con una gran cantidad de información espacio-temporal fácilmente interpretable por los gestores del agua y que puede ser de gran utilidad en la toma de decisiones o en la comparación entre diferentes hipótesis de gestión de los recursos hídricos.

A pesar de ser menores de lo esperado, los efectos de la regulación de caudales suponen la reducción de la variabilidad interna de la comunidad riparia, con una mayor presencia de arbustos, y un avance de las especies terrestres en combinación con árboles riparios maduros en la fase de bosque maduro, lo que a largo plazo puede suponer la restricción espacial de las bandas riparias. Aunque la presencia de la vegetación riparia en su conjunto se incrementa en valores cercanos al 4% de la superficie total simulada, la regulación supone un descenso de la presencia de gravas y fases pioneras, hecho que limita los inicios de la sucesión y favorece el envejecimiento de la comunidad vegetal en las riberas. Las capacidades de evapotranspiración en las bandas riparias se ven ligeramente favorecidas por la regulación como consecuencia del mantenimiento de caudales homogéneos, principalmente durante el periodo estival especialmente cálido y seco en este entorno semiárido.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a dos proyectos de investigación: el **Proyecto RIPFLOW** (Riparian Vegetation Modelling for the Assessment of Environmental Flow Regimes and Climate Change Impacts within the WFD. Era-net IWRM Funding Initiative, Acciones Complementarias del Ministerio de Educación (ref.: CGL2008-03076-E/BTE) <http://www.iiama.upv.es/RipFlow>; y el **Proyecto SCARCE** (Assessing and Predicting Effects on Water Quantity and Quality in Iberian Rivers caused by Global Change. Plan *CONSOLIDER*, Ministerio de Ciencia e Innovación (ref.: CSD2009-00065). <http://www.idaea.csic.es/scarceconsolider>.

Referencias

Francés F., Egger G., Ferreira T., et al. (2010) The RIPFLOW Project: Riparian vegetation modelling for the assessment of environmental flow regimes and climate change impacts within the WFD. IWRM-Net Funding Initiative (ERA-NET).

García-Arias A., Francés F., Andrés-Doménech I., Vallés F., Garófano-Gómez V., Martínez-Capel F. (2011) Modelling the spatial distribution and temporal dynamics of Mediterranean riparian vegetation in a reach of the Mijares River (Spain) EUROMECH Colloquium 523 Clermont-Ferrand, France, 15-17 June, 2011. Volume of extended abstracts, 153-157, ISBN 9-782845-165298.

Hupp C. R., Rinaldi M. (2010) Human alterations, dynamic equilibrium, and riparian ecosystem responses along selected rivers in Tuscany, Italy (Invited). American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, H43E-1298.

Medici C., Bernal S., Butturini A., Sabater F., Martin M., Wade A. J., Francés F. (2010) Modelling the inorganic nitrogen behaviour in a small Mediterranean forested catchment, Fuirosos (Catalonia). *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 14, 1-15.

Morales M., Francés F. (2009) Vegetation and water use modelling in a semi-arid riparian zone in Guatemala, by coupling basin and river reach hydrological processes. In: *Proceed. Internat. Conf. Sci. Inf. Tech. Sust. Manag. Aq. Ecosyst.*, Concepcion, Chile, ISE-1B2-PH1 (conf187a223), p. 93.

Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E. (2005) *Riparia - Ecology, conservation and management of streamside communities*. Elsevier academic press. 430 pp.

Rayne S., Henderson G., Gill P., Forest K. 2008. Riparian Forest Harvesting Effects on Maximum Water Temperatures in Wetland-sourced Headwater Streams from the Nicola River Watershed, British Columbia, Canada. *Water Resources Management* 22(5): 565–578.