

# RELACIÓN ENTRE VEGETACIÓN RIPARIA Y CAUDALES: RESULTADOS PRELIMINARES EN TRAMOS FLUVIALES DEL SUR DE ESPAÑA.

**Blanco-Garrido, F.,\* López-Albacete, I.,\* Herrera-Grao, A.,\* Magdaleno Más, F.,\*\*  
Martínez, R.\*\***

\*MEDIODES, Consultoría Ambiental y Paisajismo S. L. c/ Bulevar Louis Pasteur nº1 bloq. 2-1º-1. 29010 Málaga. Email: paco.blanco@mediodes.com

\*\*Área de Ingeniería Ambiental, Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX, Ministerio de Fomento–Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). C/ Alfonso XII, 3. 28014 Madrid.

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio llevado a cabo para determinar la relación existente entre la estructura y composición de la vegetación riparia y el caudal en tres ríos del sur de España con poca o ninguna regulación (Estena, Ruecas, y Robledillo). *Alnus glutinosa* y *Salix salviifolia* tendieron a seleccionar las zonas más bajas (mayores requerimientos en cuanto a la duración de inundación). *Fraxinus angustifolia* y *Nerium oleander* ocuparon las zonas más altas del gradiente de inundación (menores exigencias en cuanto al grado y durabilidad de la inundación). Los rodales de regeneración de *A. glutinosa* aparecieron también en zonas bajas. Por el contrario, la regeneración de *F. angustifolia* y *N. oleander* tendió a ocupar todo el gradiente de inundación. La incorporación de modelos hidráulicos a este estudio permitirá, en un paso posterior, definir los requerimientos precisos de cada especie respecto al régimen de caudales circulantes.

Palabras clave: caudal, vegetación riparia, gradiente de inundación, thalweg

## Abstract

This work presents the preliminary results of a study focus on the determination of the relationship between structure and composition of the riparian vegetation and the flow regime in three streams from the south of Spain with little or no flow regulation (Estema, Ruecas and Robledillo). *Alnus glutinosa* and *Salix salviifolia* tended to select the lower zones of the inundation gradient (higher requirements respects to inundation). *Fraxinus angustifolia* and *Nerium Oleander* selected the upper zones of the gradient (lower requirements respect to the magnitude and durability of the inundation). The regeneration of *A. glutinosa* tended to appears in lower zones of the inundation gradient. In contrast, the regeneration of *F. angustifolia* and *N. oleander* tended to occupy all the gradient. In a later step, the incorporation of hydraulic models to the study will allow to define the precise requirements of each species respect to the flow regime.

Key words: instream flow, riparian vegetation, inundation gradient, thalweg

## 1. Introducción

La vegetación de ribera es un componente clave de los ecosistemas fluviales que proporciona una gran cantidad de servicios ecosistémicos. Por un lado, estas formaciones vegetales regulan los flujos de materia y energía en los ecosistemas acuáticos y terrestres, aportando materia orgánica particulada al cauce (hojarasca, ramas, frutos, etc.), una de las principales fuentes alimenticias para los organismos que habitan en los cauces fluviales (microorganismos, invertebrados, ...) (Naiman et al., 1993; Bodie y Semlitsch, 2000). Además, los bosques riparios influyen de forma decisiva en la morfología y procesos geomorfológicos que tienen lugar en el territorio fluvial. El desarrollo de la vegetación de ribera ayuda a la estabilización de sedimentos asociados a las orillas y llanuras de inundación, evita la erosión de las márgenes y suministra elementos, tales como ramas caídas, troncos muertos y raíces, que favorecen la retención de sedimentos y la creación de nuevos hábitats (Gregory et al., 2003).

Los formaciones vegetales riparias tienen, igualmente, una importante función de filtro verde que ayuda a mejorar la calidad del agua, ya que su capacidad de retención evita la llegada a las aguas de contaminantes y exceso de nutrientes por escorrentía o de forma subsuperficial. Por otra parte, factores como el grado de cubierta vegetal de la zona riparia juegan un papel fundamental en la regulación de la transferencia de energía térmica que llega a los cauces de los ríos. En zonas ribereñas con poca cubierta vegetal se producen grandes fluctuaciones en la temperatura del agua a lo largo del año y dentro de un mismo día (Quinn et al., 1992). La temperatura ambiental controla el metabolismo basal de los animales poiquilotermos como los peces, influyendo en aspectos como el ritmo de crecimiento, la reproducción y en último término el tamaño poblacional (Jobling, 1995).

Los bosques de ribera constituyen enclaves de extraordinaria relevancia desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y de la estructura del paisaje. De hecho, la literatura científica pone de manifiesto que los espacios fluviales y sus bosques riparios asociados poseen, en general, unos valores de biodiversidad y paisajísticos más elevados que sus áreas circundantes (Gregory et al., 1991; Malanson, 1993). Además, este fenómeno tiende a maximizarse en ámbitos territoriales sometidos a un elevado grado de perturbación, como son las zonas de campiña y cultivos intensivos, siendo estos usos muy extendidos en todo el territorio peninsular. Asimismo, las formaciones riparias pueden actuar como corredores naturales conectando áreas espacialmente alejadas (Fischer y Fischenich, 2000), beneficiando, por tanto, a numerosas especies forestales. Así, por ejemplo, existen trabajos en los que se pone de manifiesto la importancia de los bosques riparios para determinados grupos faunísticos como las aves (Peak y Thompson, 2006; Seavy, et al., 2009). Por tanto, los beneficios ambientales de los bosques de riberas no se ciñen estrictamente al espacio fluvial y su biocenosis exclusiva, sino que se hacen extensibles a todo el territorio en el que se encuentran inmersos y a sus especies asociadas.

La composición de la vegetación riparia, así como su estructura y abundancia, están determinadas por el régimen de caudales que circula por los cauces fluviales (p. ej. Auble y Friedman, 1994; Auble et al., 2005). El caudal circulante ejerce una importante presión selectiva sobre las comunidades vegetales ribereñas, hasta el punto de que existen determinadas pautas adaptativas (*traits syndromes*) que se vinculan directamente con atributos específicos del patrón de caudales existente. La modificación generalizada de los caudales de los cursos fluviales como consecuencia de la construcción de embalses, las derivaciones o las extracciones de agua ha tenido como resultado la alteración de las comunidades vegetales ribereñas. Sin embargo, las infraestructuras que alteran el régimen natural de caudales pueden ofrecer la oportunidad de restaurar muchos de los atributos de estos ecosistemas mediante una gestión adecuada de los caudales circulantes. Por ello, conocer la relación existente entre la vegetación riparia y el régimen de caudales es esencial para determinar los aspectos cuantitativos y cualitativos del agua circulante por los cursos fluviales necesarios para sustentar la diversidad física y biológica de estos ecosistemas y, por ende, conservar los beneficios ambientales que proporcionan.

Con este trabajo se persigue diseñar una estrategia metodológica que sirva para determinar la relación existente entre las comunidades vegetales de ribera y el caudal circulante. Se pretende, por tanto, que la propuesta metodológica derivada del presente estudio sea una herramienta útil a la hora de establecer el caudal necesario para conservar las comunidades vegetales riparias y mantener los beneficios ecológicos que estas aportan. El trabajo se centra en tres tramos fluviales del sur de España con poca o ninguna regulación de caudales. De esta forma, se podrá determinar la relación vegetación riparia-régimen de caudales bajo unas

condiciones en las que el efecto distorsionador de la alteración del caudal sobre las comunidades vegetales esté minimizado todo lo posible.

## 2. Área de estudio

Se muestrearon tres tramos fluviales con poca o ninguna regulación de caudales. Estos tramos estuvieron localizados en los ríos Robledillo (cuenca del Guadalquivir, Ciudad Real), Estena (cuenca del Guadiana, Badajoz) y Ruecas (cuenca del Guadiana, Cáceres) (Figura 1). Los tres tramos fluviales muestreados pertenecen al ecotipo de masa de agua superficial denominada como *Ríos de baja montaña mediterránea silíceo* (código 108, *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitarios en España*).

El tramo muestreado en el río Robledillo (localidad 1) se encuentra en las cercanías de Solana del Pino (Ciudad Real). Desde un punto de vista hidrológico se considera un río intermitente, con un caudal medio anual del tramo de  $0,303 \text{ m}^3/\text{s}$  y una anchura media del cauce de 6,5 m. Según la aplicación del índice RFV -Riparian Forest Evaluation (Magdaleno et al., 2010)-, el tramo de río en estudio presenta una valoración final de “**Estado muy bueno**”. La comunidad vegetal dominante es una aliseda (*Alnus glutinosa*), aunque también existen comunidades arbustivas típicas de tramos que sufren fuerte estiaje como adelfares (*Nerium oleander*) y tamujares (*Flueggea tinctoria*).

El tramo muestreado en el río Estena (localidad 2) se encuentra en las cercanías de Helechosa de los Montes (Badajoz). Se trata de un tramo fluvial de carácter temporal, presentando un cese de caudal seguro durante los meses de julio y agosto, con un caudal medio anual del tramo de  $2,08 \text{ m}^3/\text{s}$  y una anchura media del cauce de 24 m. El tramo de río en estudio presenta una valoración final de “**Estado muy bueno**”, según el índice RFV, y se encuentra incluido en la Red Natura 2000 bajo la figura de Lugar de Interés Comunitario (LIC ES4310008). La comunidad vegetal dominante en el tramo es una fresneda abierta (*Fraxinus angustifolia*) acompañada por sauces dispersos (*Salix salviifolia*).

El tramo muestreado en el río Ruecas (localidad 3) se encuentra en las cercanías de Cañamero (Cáceres). Se trata de un río temporal presentando un cese de caudal durante los meses de julio y agosto. El caudal medio anual del tramo  $27,18 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una anchura media del cauce de 7 m. La aplicación del índice RFV puso de manifiesto que el tramo se encuentra en “**Estado bueno**”. Este tramo se encuentra incluido en la Red Natura 2000 bajo la figura de Lugar de Interés Comunitario (LIC ES4320029). El cauce discurre muy encajonado debido a las fuertes pendientes de los cerros circundantes. La fuerte pendiente de ambos márgenes hace que el desarrollo transversal de las comunidades vegetales riparias sea muy escaso. Aguas arriba del tramo existe un pequeño azud y un embalse (Cancho del Fresno,  $15 \text{ hm}^3$ ), por lo que se trata de la única localidad de muestreo que presenta una cierta alteración en su régimen natural de caudales. El tramo estudiado está formado por una aliseda con algunos pies de *Salix salviifolia*.

## 3. Metodología

El diseño del muestreo consistió en la realización de transectos perpendiculares a los cauces fluviales en ambos márgenes, abarcando el ancho de franja donde la vegetación de ribera estuvo presente. A lo largo de cada transecto se colocaron cuadrículas cubriendo toda la longitud de los mismos. Las dimensiones de las cuadrículas fueron de  $4 \times 1 \text{ m}$  y se orientaron de tal manera que el lado mayor estuviera paralelo al cauce del río. En estas cuadrículas se

tomaron datos sobre diferentes variables descriptoras de la inundación y la vegetación (Tabla 1).

Una vez situada cada cuadrícula a lo largo del transecto, se halló el centro geométrico de las mismas, de tal forma que las variables relativas a distancias (distancia al bankfull y al thalweg) y altura (altura respecto al thalweg) referidas para cada cuadrícula se midieron desde su centro geométrico. Se asumió que cada una de las especies/ grupos funcionales localizados dentro de cada cuadrícula mostraron los mismos valores de distancia (al bankfull y al thalweg) y altura (respecto al thalweg) que los de su centro geométrico

**Tabla 1. Listado de variables recopiladas durante el trabajo de campo. Se incluye el código de cada variable, el método utilizado en la toma de datos y las unidades de medida.**

| VARIABLES                             | CÓDIGO | MÉTODO   | UNIDADES  |
|---------------------------------------|--------|--|---|
| Distancia a la línea de bankfull      | DB     | Cinta métrica  | m   |
| Distancia al thalweg                  | DT     | Cinta métrica  | m   |
| Altura respecto al thalweg            | H      | Nivel de agua  | cm  |
| Tipo de suelo                         | TS     | Estima visual de la composición granulométrica del suelo                                     | %   |
| Número de pies de las especies        | -      | Conteo de pies de spp. de árboles y arbustos   | -   |
| Número de pies de regeneración        | -      | Conteo de pies de regeneración   | -   |
| Grado de desarrollo de los individuos | -      | Árboles: altura del árbol y diámetro del tronco<br>Arbustos: volumen (eje mayor*eje menor*h) | Altura m;<br>diámetro cm;<br>volumen m <sup>3</sup> |
| Vigor de los individuos               | -      | Escala cualitativa (1, 2 ó 3)  | -   |
| Cobertura de las spp.                 | -      | Estima visual  | %   |

**Tabla 2. Categorías o grupos funcionales (*Wetland Indicator Status*) propuestos por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EEUU (<http://plants.usda.gov/wetland.html>). Se ha optado por mantener tanto el nombre original en inglés del grupo funcional como la nomenclatura de los códigos.**

| Categoría (o grupo funcional) | Código | Descripción   |
|-------------------------------|--------|---|
| <i>Obligate Wetland</i>       | OBL    | Especies que en condiciones naturales aparecen vinculadas a los ecosistemas acuáticos (Prob. estimada 99%)  |
| <i>Facultative Wetland</i>    | FACW   | Especies que normalmente aparecen vinculadas a los ecosistemas acuáticos (Prob. estimada 67-99%), aunque ocasionalmente pueden aparecer en otros ambientes. |
| <i>Facultative</i>            | FAC    | Especies que aparecen por igual tanto en ecosistemas acuáticos como en otras zonas (Prob. estimada 34-66%)  |
| <i>Facultative Upland</i>     | FACU   | Especies que normalmente no aparecen vinculadas a los medios acuáticos, aunque ocasionalmente pueden aparecer en este tipo de ambientes (Prob.              |

|                        |     | estimada 1-33%)  |
|------------------------|-----|--|
| <i>Obligate Upland</i> | UPL | Especies que en condiciones naturales aparecen vinculadas a ambientes distintos a los ecosistemas acuáticos (Prob. estimada 99%) |
| <i>No Agreement</i>    | NA  | Especies sobre las que no existe un consenso   |
| <i>No Indicator</i>    | NI  | Especies sobre las que no existe información suficiente  |
| <i>No Occurrence</i>   | NO  | Especies que no están presentes  |

Las especies leñosas presentes en el área de estudio se asignaron a distintos grupos funcionales con el fin de que los resultados obtenidos respecto a las preferencias de las mismas frente al patrón de caudales puedan ser extrapolables a otras especies con similares requerimientos, aunque no se encuentren presentes en el área de estudio. Actualmente no existen propuestas concretas para la Península Ibérica sobre estos grupos funcionales. Por ello, los grupos que aquí se exponen deben entenderse como una propuesta inicial, y no como un listado definitivo, que deberá perfeccionarse en el futuro. Para la propuesta de grupos funcionales se siguió la metodología desarrollada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EEUU (<http://plants.usda.gov/wetland.html>). Este método consiste en asignar a cada especie una categoría en función de su grado de dependencia respecto a los ecosistemas acuáticos (Tabla 2, *Wetland Indicator Status*). Las categorías propuestas se adaptaron a las especies presentes en el área de estudio (ríos Robledillo, Estena y Ruecas), aplicando el criterio del equipo de trabajo.

**Tabla 3. Propuesta de grupos funcionales presentes en el área de estudio aplicando la metodología desarrollada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EEUU (<http://plants.usda.gov/wetland.html>). Los grupos propuestos se han adaptado a las especies presentes en el área de estudio (ríos Robledillo, Estena y Ruecas), aplicando el criterio del equipo de trabajo. Solo se incluyen aquellas especies sobre las que se recopilaron datos suficientes durante los muestreos y, por tanto, han podido ser sometidas a análisis estadísticos. Se incluyen otras especies que, aunque no aparecieron en los tramos estudiados (o aparecieron en muy baja frecuencia), podrían ser incluidas en estos grupos funcionales.**

| Especies   | Propuesta de grupo funcional | Otras especies ibéricas con posibilidad de ser incluidas en el grupo funcional        |
|--|------------------------------|---|
| <i>Alnus glutinosa</i><br><i>Salix salviifolia</i> | OBL-árboles                  | Las especies del género <i>Salix</i>  |
| <i>Fraxinus angustifolia</i>                       | FACW-árboles                 | Las especies de los géneros <i>Populus</i> y <i>Tamarix</i> y <i>Ulmus ulmifolius</i> |
| <i>Nerium oleander</i>                             | FACW-arbustos                | <i>Flueggea tinctoria</i>   |

Los análisis estadísticos llevados a cabo para describir los patrones seguidos por las distintas especies/ grupos funcionales a la hora de ocupar el gradiente de inundación, se realizaron sobre la variable “*Altura respecto al thalweg (H)*”, ya que se trata del descriptor más utilizado para modelar el régimen de caudales, la duración del período de inundación y los tiempos de recurrencia (ver p. ej. Auble et al., 1994, 2005). Se realizaron análisis de comparación de medias (T-test y ANOVA) para explorar si existían diferencias significativas respecto a esta variable al comparar las distintas especies/ grupos funcionales. Cuando se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el caso de ANOVA, se realizaron análisis *post hoc* (Test de Tukey HDS) con el fin de discriminar qué conjuntos de datos marcaron tales diferencias.

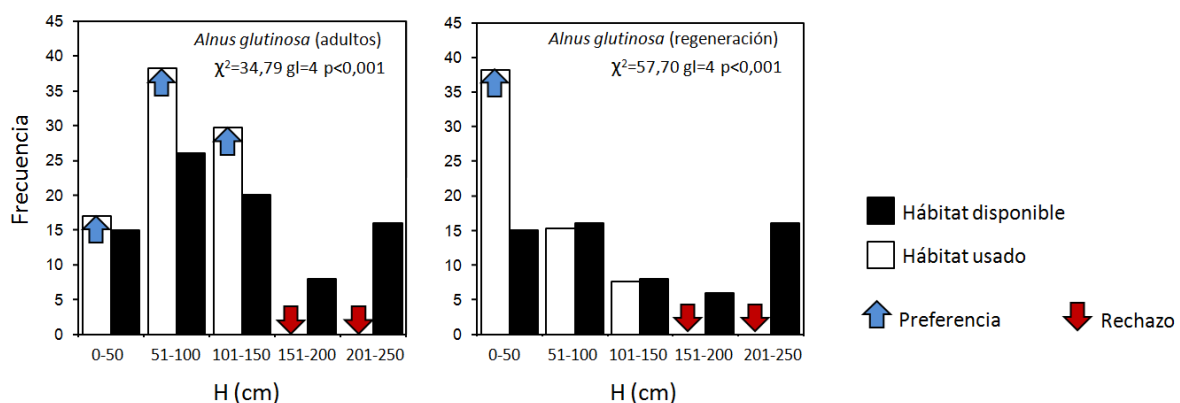
Por otra parte, se realizó un análisis exploratorio Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) para detectar si existía algún rango de H preferido o rechazado por cada una de las especies/grupos funcionales o si, por el contrario, las especies/grupos funcionales se distribuían de forma aleatoria respecto a estos rangos. Para ello, se ordenaron las cuadrículas de muestreo (n=151), definiendo varias categorías de H (0-50 cm, 51-100 cm, 101-150 cm, 151-200 cm y 201-250 cm), y se contabilizó el número de cuadrículas incluidas en cada una de ellas (cuadrículas disponibles). Seguidamente, para cada especie se contabilizó el número de cuadrículas que ocuparon dentro de cada rango de altura (cuadrículas usadas). Finalmente, mediante un  $\chi^2$  se compararon ambos conjuntos de datos (cuadrículas disponibles y usadas). En los casos en que se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se realizó un  $\chi^2$  subdividido para detectar qué rango/s de H marcaban tales diferencias. Este análisis es muy útil ya que permite conocer las categorías de H preferidas o rechazadas por las distintas especies/grupos funcionales y, por ende, qué valores de caudal y período de inundación son necesarios para su persistencia.

La variable H se sometió a un test de normalidad. Es necesario señalar que los análisis estadísticos se realizaron para las especies *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia*, *Salix salviifolia* y *Nerium oleander*, puesto que fueron estas las que presentaron un número de datos suficientes.

En trabajos anteriores realizados por el CEDEX se tomaron datos relativos a la morfología del cauce fluvial (perfiles topográficos) y al caudal. Estos datos que se utilizarán, en un paso posterior, para modelizar el régimen de caudales en cada tramo fluvial muestreado. Los resultados de esta modelización no se muestran en el presente trabajo y serán el objetivo de un trabajo posterior.

#### 4. Resultados y discusión.

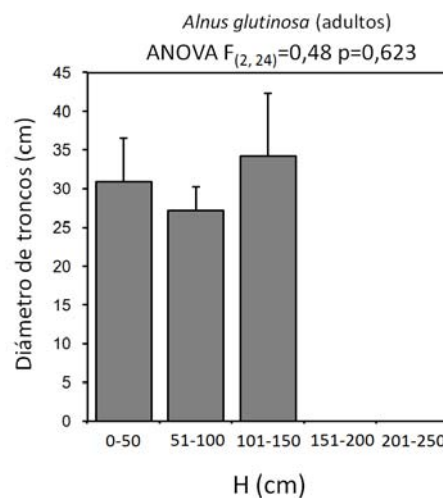
*A. glutinosa* ocupó las zonas con menor altura respecto al thalweg, entre 0 y 150 cm, mostrando un claro rechazo por las zonas de mayor altura (Figura 2). A partir de este resultado y teniendo en cuenta la relación existente entre H y el régimen de caudales (Auble et al., 2005), podrá determinarse, en próximos trabajos, tanto el caudal como la duración del período de inundación y tiempo de recurrencia necesarios para la especie.



**Figura 2.** Preferencias de H (altura respecto al thalweg) de individuos adultos y regeneración de *Alnus glutinosa* (n=85 cuadrículas). En el caso de la regeneración sólo se tuvieron en cuenta los datos del río Robledillo (n=61 cuadrículas), ya que la regeneración estuvo presente solo en ese tramo fluvial. Las barras negras se corresponden con las cuadrículas disponibles en cada rango de H, las blancas con la frecuencia de uso de *A. glutinosa*. Los rangos de H preferidos o rechazados se indican con flechas verticales ( $\chi^2$ -subdividido,  $p < 0,05$ ).

Todos los pies de *A. glutinosa* presentaron un estado de desarrollo similar en los distintos rangos de H (Figura 3), ya que no se observaron diferencias significativas al comparar el diámetro de los troncos en las distintas categorías de H (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Este análisis complementa el resultado descrito anteriormente ya que, no solo se identifican las zonas preferidas y/o rechazadas por la especie, sino que permite conocer en qué zonas la especie alcanza un mayor o menor desarrollo, hecho que depende en gran medida del régimen de caudales (Stromberg y Patten, 1990, 1996; Disalvo y Hart, 2002).

La regeneración de *A. glutinosa* ocupó el rango de H comprendido entre 0 y 150 cm, rechazando las zonas con H superiores (Figura 2). Además, dentro de esta franja ocupada, se observó una clara preferencia por las zonas con una H inferior a 51 cm, ocupando el resto de zonas (51-150 cm) de un modo equivalente a su disponibilidad (Figura 2).



**Figura 3. Variación del diámetro medio de los troncos ( $\pm$ error estándar) de *A. glutinosa* en los distintos rangos de H.**

La ocupación del gradiente de inundación por parte de *S. salviifolia* fue similar al patrón seguido por *A. glutinosa*. Para el análisis de este patrón solo se consideraron los datos recopilados en el río Estena ( $n=66$  cuadrículas), puesto que fue en este tramo donde se localizó la especie (también apareció en el río Rucas pero con una frecuencia muy baja). Como era esperable, *S. salviifolia* ocupó preferencialmente las franjas con menor H dentro del tramo fluvial, concretamente el rango de H comprendido entre 51 y 150 cm (en el Estena faltaron los datos del rango 0-50 cm), mostrando un claro rechazo por las zonas de mayor H (Figura 4). Por otra parte, la especie exhibió un mayor desarrollo (eje mayor\*eje menor\*altura) en el rango de H comprendido entre 101 y 150 cm (Figura 5), si bien los resultados del T-test no fueron significativos ( $t=-0,89$   $gl=5$   $p=0,413$ ). No obstante, estos resultados sobre el grado de desarrollo deben interpretarse con cautela debido al bajo número de casos ( $n=7$  casos en total) y la gran dispersión de los valores. Los análisis sobre la regeneración de *S. salviifolia* no se pudieron realizar debido al escaso número de casos ( $n=5$  cuadrículas).

El comportamiento ecológico de *F. angustifolia* respecto la ocupación del gradiente de inundación definido por H fue distinto al mostrado por *A. glutinosa* y *S. salviifolia*. Para el análisis del patrón de individuos adultos de *F. angustifolia* se utilizaron los datos del río Estena ( $n=66$  cuadrículas) ya que, aunque estuvo presente en el río Robledillo lo hizo con una frecuencia muy baja ( $n=4$  casos).

*F. angustifolia* ocupó preferentemente la franja de ribera con una H comprendida entre 151 y 200 cm, apareciendo con una frecuencia menor a la esperable en la zona de menor H (51-100 cm) y utilizando el resto de rangos de H de una forma proporcional a su disponibilidad (Figura 6). Se trata, por tanto, de una especie que tiende a ocupar todo el gradiente de inundación, aunque de forma más intensa la zona intermedia del mismo. Además, este resultado queda reforzado con el hecho de que es precisamente en esta zona donde *F. angustifolia* alcanza un mayor grado de desarrollo (Figura 7). No obstante, la variación del diámetro de los troncos no fue estadísticamente significativa a lo largo de los rangos de H (ANOVA  $F_{(3,38)}=0,25$   $p=0,858$ ).

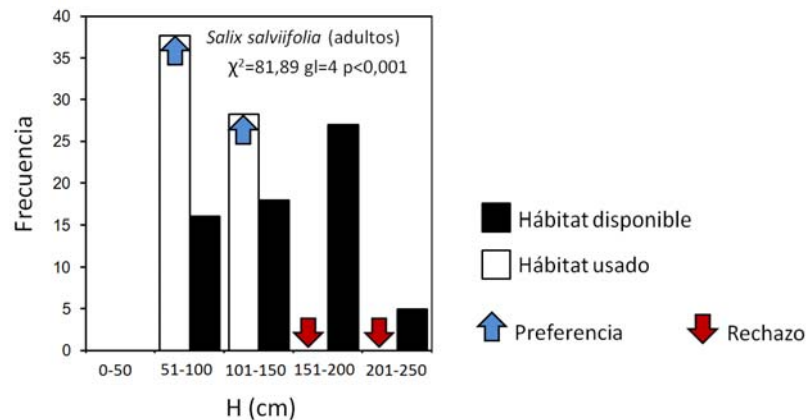


Figura 4. Preferencias de H (altura respecto al thalweg) de individuos adultos de *Salix salviifolia*. En el análisis se tuvieron en cuenta los datos del río Estena (n=66 cuadrículas), ya que la especie estuvo presente solo en ese tramo fluvial (también apareció en el río Rucas pero con una frecuencia muy baja). Las barras negras se corresponden con las cuadrículas disponibles en cada rango de H, las blancas con la frecuencia de uso de *S. salviifolia*. Obsérvese que en el río Estena faltan los datos del rango 0-50 cm. Los rangos de H preferidos o rechazados se indican con flechas verticales ( $\chi^2$ -subdividido,  $p<0,05$ ).

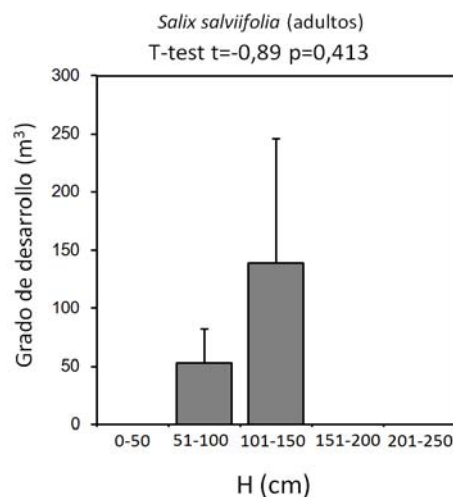


Figura 5. Variación del grado de desarrollo (media±error estándar) de los individuos adultos de *S. salviifolia* en los distintos rangos de H. El grado de desarrollo se ha calculado con la siguiente expresión: eje mayor\*eje menor\*altura.

La regeneración de *F. angustifolia* (datos de Robledillo y Estena, n=127 cuadrículas) ocupó todo el gradiente de inundación definido por H, mostrando una cierta preferencia, aunque mínima, por las zonas con menor valor de H (Figura 6). Este resultado puede parecer contradictorio, o al menos poco coherente, con el obtenido respecto al patrón descrito por los individuos adultos. Sin embargo, esta tendencia en el patrón de regeneración puede explicarse



por el hecho de que *F. angustifolia* es una especie anemófila (dispersión de semillas por el viento) y sus semillas, debido a su morfología en forma de ala, pueden llegar a alcanzar una distancia considerable desde el individuo madre (Debussche y Lepart, 1992). Esto posibilita que las semillas de la especie puedan cubrir y, posteriormente, germinar en todo el gradiente de inundación.

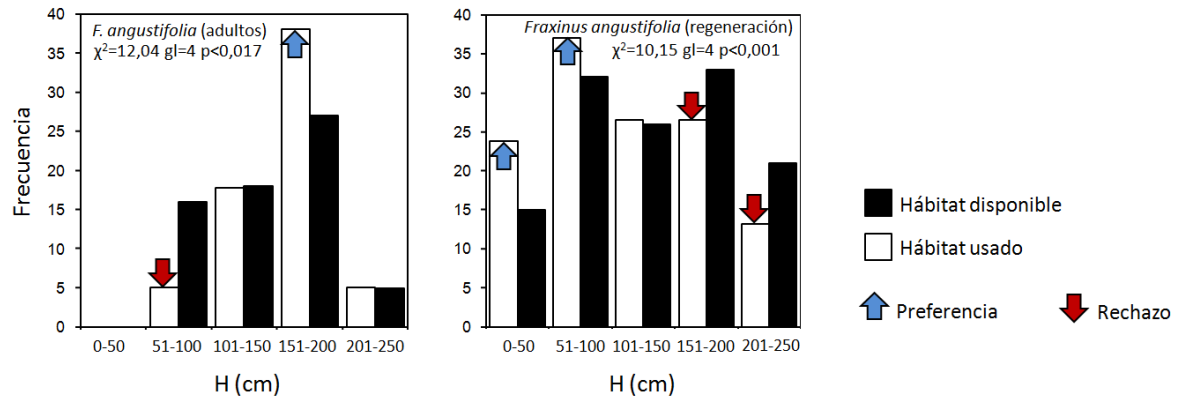


Figura 6. Preferencias de H (altura respecto al thalweg) de individuos adultos y regeneración de *Fraxinus angustifolia*. En el análisis de adultos se tuvieron en cuenta los datos del río Estena (n=66 cuadrículas), ya que la especie estuvo presente solo en ese tramo fluvial (también apareció en el río Robledillo pero con una frecuencia muy baja). En el caso de la regeneración se utilizaron los datos recopilados en los ríos Robledillo y Estena (n=127 cuadrículas). Las barras negras se corresponden con las cuadrículas disponibles en cada rango de H, las blancas con la frecuencia de uso de *F. angustifolia*. Obsérvese que en el río Estena faltan los datos del rango 0-50 cm. Los rangos de H preferidos o rechazados se indican con flechas verticales ( $\chi^2$ -subdividido, p<0,05).

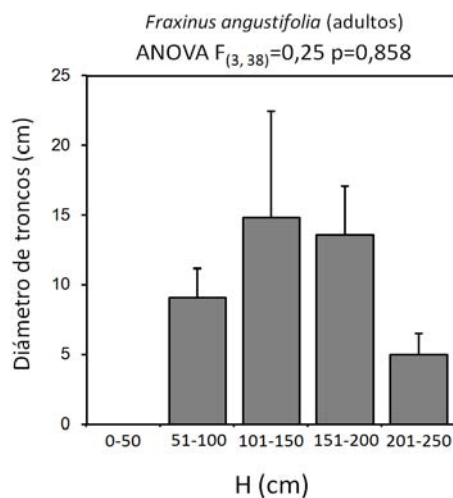
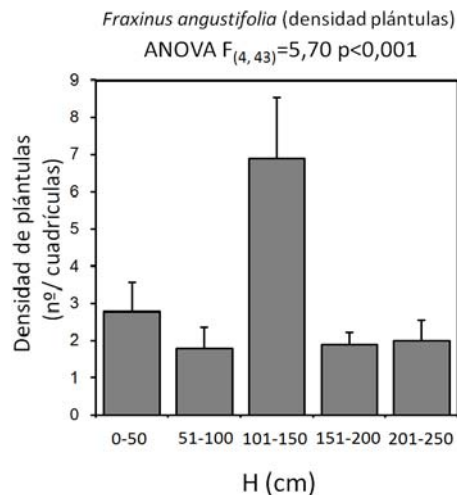


Figura 7. Variación del diámetro medio de los troncos ( $\pm$ error estándar) de *F. angustifolia* en los distintos rangos de H.

Con respecto a la regeneración pudo comprobarse que la densidad de plántulas (número de plántulas/ cuadrícula) fue máxima en la zona intermedia del gradiente (Figura 8), coincidiendo con la zona de máxima ocupación por parte de los individuos adultos y donde estos presentan un mayor grado de desarrollo (Figuras 6 y 7). La densidad de plántulas de *F. angustifolia* en la zona intermedia del gradiente de inundación llega a ser más del triple de la registrada en otras porciones de dicho gradiente (6,9 plántulas/ cuadrícula frente a 2,1 plántulas/cuadrícula; Figura 8). Este análisis complementa los resultados comentados anteriormente, ya que permite identificar las zonas donde la germinación de las semillas de la especie tiene un mayor éxito. Dicho análisis exploratorio no pudo realizarse con las especies

anteriores debido a la gran dispersión de los datos (*A. glutinosa*) y al reducido número de casos (*S. salviifolia*).

Todos estos resultados ponen de relieve que para el mantenimiento de poblaciones saludables de *F. angustifolia* se precisan caudales con períodos de recurrencia más elevados y tiempo de inundación más cortos que en el caso de *A. glutinosa* y *S. salviifolia*.

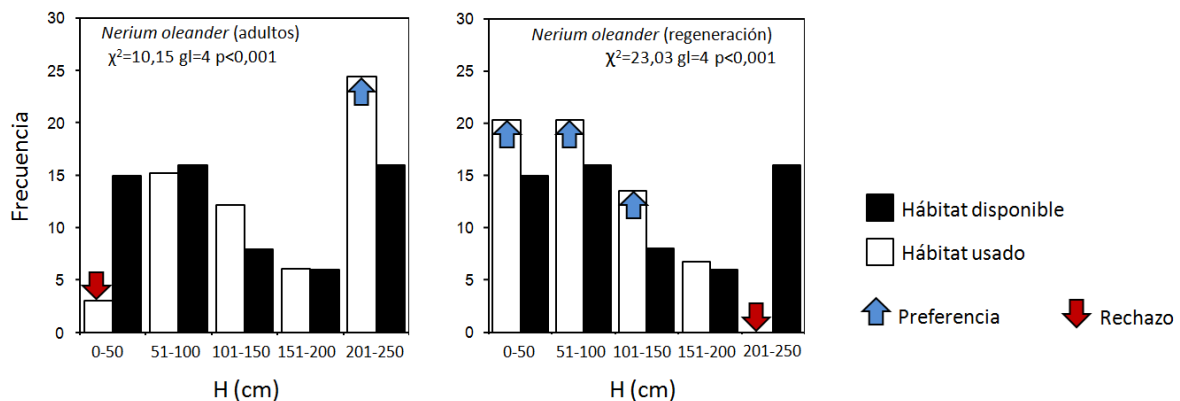


**Figura 8. Variación del número medio de plántulas/ cuadrícula ( $\pm$ error estándar) de *F. angustifolia* en los distintos rangos de H.**

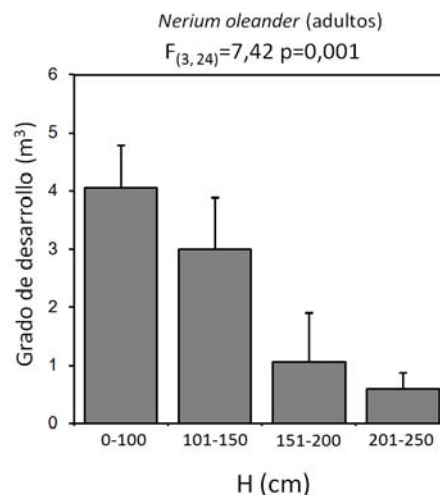
Para los análisis llevados a cabo con *N. oleander* se utilizaron los datos recopilados en el río Robledillo ( $n=61$  cuadrículas), único tramo fluvial donde la especie estuvo presente. Al igual que *F. angustifolia*, *N. oleander* es una especie que ocupó todo el gradiente de inundación representado por H, aunque con una tendencia clara al rechazo de las zonas con un rango de H inferior a los 50 cm y una preferencia por las zonas con H comprendida entre 201 y 250 cm (Figura 9). El resto de porciones del gradiente fueron ocupadas de manera proporcional a su disponibilidad (Figura 9). Por otro lado, el grado de desarrollo de los individuos de *N. oleander* siguió una tendencia decreciente desde las zonas situadas a menor H hasta las zonas con mayores valores de H (Figura 10). Estos resultados parecen indicar que en la zona con menor H y, por tanto, con mayor duración de inundación y períodos de recurrencia de avenidas menores, llegan a prosperar pocos individuos motivado esto, probablemente, por el efecto de arrastre de las avenidas cotidianas. Sin embargo, los pocos individuos que llegan a prosperar en esas zonas de menor H alcanzan un mayor grado de desarrollo debido, presumiblemente, a la mayor y más continuada disponibilidad de agua en el subsuelo. Estos individuos con mayor grado de desarrollo son los que presentan *a priori* un mayor éxito en cuanto a la producción de semillas y, en consecuencia, intervienen de forma muy decisiva en la regeneración de la especie.

En relación con lo anteriormente expuesto, los rodales de regeneración de *N. oleander* tendieron a ocupar preferentemente las zonas con menor H (0-150 cm) (Figura 9), coincidiendo con la porción del gradiente de inundación donde estuvieron presentes los individuos que exhibieron un mayor desarrollo (Figura 10). Es destacable que en el rango de H donde aparecieron los individuos con menor desarrollo (201-250 cm; Figura 10) no se detectaron rodales de regeneración de la especie (Figura 9). El análisis exploratorio sobre la variación de la densidad de plántulas de *N. oleander* a lo largo del gradiente de inundación no pudo realizarse debido a la enorme dispersión de los valores de esta variable.

Todos estos resultados apuntan a la necesidad de avenidas con tiempos de recurrencia elevados (incluso mayores que en el caso de *F. angustifolia*) y períodos de inundación cortos para cubrir así las necesidades ecológicas de *N. oleander*. Además, y de forma complementaria, se necesitan crecidas ordinarias, con períodos de recurrencia bajos y períodos de inundación más elevados para, de esta forma, potenciar y favorecer la regeneración de la especie. La aplicación de los modelos matemáticos que relacionan H con el régimen de caudales permitirá conocer el caudal, el tiempo de inundación y el período de recurrencia necesarios para el mantenimiento de *N. oleander*.



**Figura 9.** Preferencias de H (altura respecto al thalweg) de individuos adultos y regeneración de *Nerium oleander*. En el análisis se tuvieron en cuenta los datos del río Robledillo (n=61 cuadrículas), ya que la especie solo estuvo presente en este tramo fluvial. Las barras negras se corresponden con las cuadrículas disponibles en cada rango de H, las blancas con la frecuencia de uso de *N. oleander*. Los rangos de H preferidos o rechazados se indican con flechas verticales ( $\chi^2$ -subdividido,  $p < 0,05$ ).



**Figura 10.** Variación del grado de desarrollo (media±error estándar) de los individuos adultos de *N. oleander* en los distintos rangos de H. El grado de desarrollo se ha calculado con la siguiente expresión: eje mayor\*eje menor\*altura.

Todos estos resultados ponen de relieve la enorme complejidad del funcionamiento ecológico de los ecosistemas de ribera, puesto que cada especie/ grupo funcional precisa de unas condiciones particulares respecto al régimen de caudales. En el hipotético aunque probable caso de que en un mismo tramo fluvial estén presentes todos los grupos funcionales estudiados en este trabajo (Figura 11), el régimen de caudales deberá cumplir con los condicionantes exigidos por cada especie/ grupo funcional. Así, por ejemplo, según se represente en la Figura 11, el régimen de caudales necesario para garantizar los

requerimientos ecológicos de las distintas especies/ grupos funcionales deberá presentar las siguientes características:

- **Caudales que permitan largos períodos de inundación y crecidas ordinarias con tiempos de recurrencia cortos.** Con ello se garantiza el mantenimiento de las poblaciones de las especies incluidas en el grupo funcional OBL-Árboles (*A. glutinosa* y *S. salviifolia*).
- **Caudales que proporcionen períodos de inundación cortos y crecidas con tiempos de recurrencia más largos.** De esta forma se garantiza la preservación de las poblaciones de especies incluidas en el grupo funcional FACW-Árboles (*F. angustifolia*). En el caso del grupo FACW-Arbustos (*N. oleander*) se precisan caudales que permitan períodos de inundación aún más cortos y crecidas con tiempos de recurrencia superiores.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la aplicación de los modelos matemáticos que relacionan H con el régimen de caudales permitirá conocer el caudal, el tiempo de inundación y el período de recurrencia necesarios para el mantenimiento de las poblaciones de las distintas especies/ grupos funcionales.

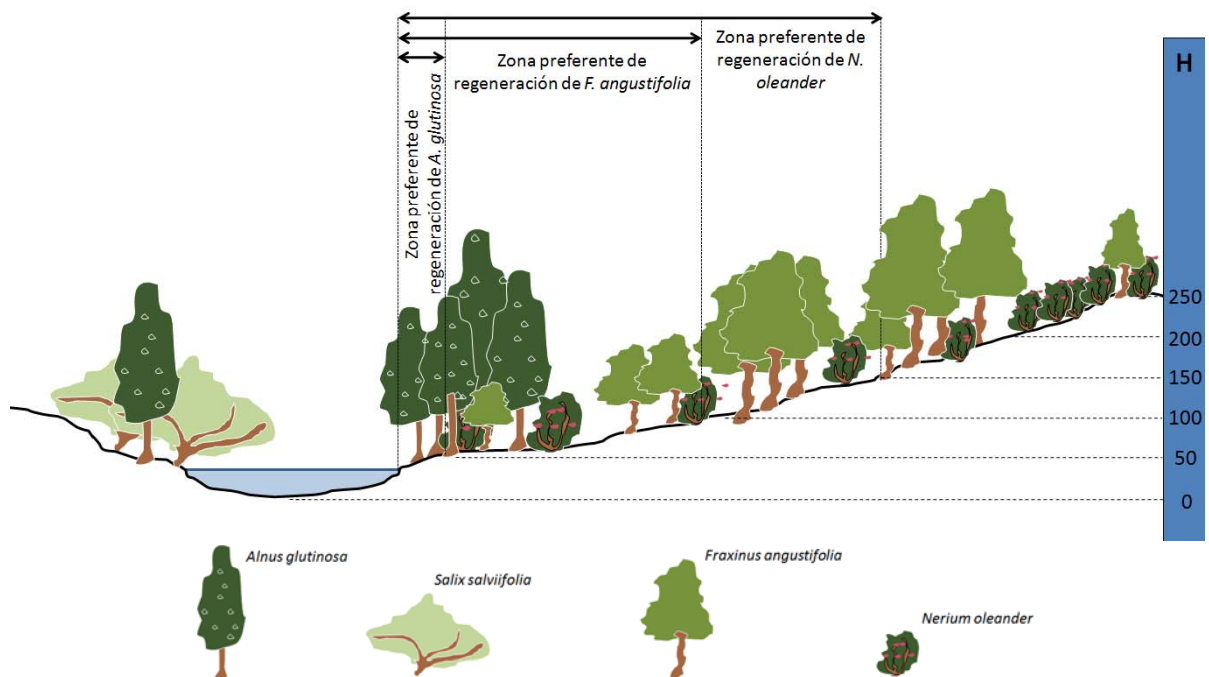


Figura 11. Representación esquemática de un perfil hipotético realizado en una ribera que presenta poblaciones de las distintas especies/ grupos funcionales estudiados en este trabajo. H representa la altura sobre el thalweg (cm) donde se situarían las distintas especies/ grupos funcionales atendiendo a sus preferencias respecto a la ocupación del gradiente de inundación. Se señalan también las zonas preferentes de regeneración de cada especie/ grupo funcional.

## 5. Bibliografía

Auble, G. T. and Friedman, J. M. 1994. Relating riparian vegetation to present and future streamflows. *Ecological Applications* 4(3): 544-554.

Auble, G. T., Scott, M. L. and Friedman, J. M. 2005. Use of individualistic streamflow-vegetation relations along the Fremont river, Utah, USA to assess impacts of flow alteration on wetland and riparian areas. *Wetlands*, Vol. 25, No. 1, pp. 143-154

Bodie, J.R. y Semlitsch, R.D. 2000. Spatial and temporal use of foodplain habitat by lentic and lotic species of aquatic turtles. *Oecologia* 122: 138-146.

Debussche M. and Lepart J. 1992. Establishment of woody plants in Mediterranean old fields: opportunity in space and time. *Landscape Ecology* 6 (3): 133-145

DiSalvo, A. and Hart, S. 2002. Climatic and stream-flow controls on tree growth in a Western montane riparian forest. *Environmental Management* 30 (5): 678-691.

Fischer, R. A. and Fischenich, J. C. 2000. Design recommendations for riparian corridors and vegetated buffer strips. EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TN-EMRRP-SR-24), U. S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. [www.wes.army.mil/el/emrrp](http://www.wes.army.mil/el/emrrp)

Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A. And Cummins, K. W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* 41 (8): 540-551.

Gregory, S., Boyer, K. and Burnell, A. (Eds). 2003. The ecology and management of wood in world rivers. American Fisheries Society.

Jobling, M. 1995. *Environmental Biology of Fishes*. Chapman and Hall: London, UK.

Magdaleno, E., Martínez, R. y Roch, V. 2010. Índice RFV para la valoración del estado de ribera. *Revista de Ingeniería Civil* 157: 85-96.

Malanson, G. P. 1993. Riparian Landscapes. Cambridge University Press, Cambridge.

Naiman, R.J., Décamps, H. and Pollock, M. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological applications* 3: 209-212.

Peak, R. G. and Thompson, F. R. 2006. Factors affecting avian species richness and density in riparian areas. *Journal of Wildlife Management* 70 (1): 173-179.

Quinn, J.M., Williamson, R.B., Smith, R.K. y Wickers, M.V. 1992. Effects of riparian grazing and channelisation on stream in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 26: 259-269.

Resumen Nacional de los artículos 5 y 6 de la directiva marco del agua. 2006. Informe técnico Secretaría General de la Biodiversidad y del Territorio. Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente.

Seavy, N. E., Viers, J. H. and Wood, J. K. 2009. Riparian bird response to vegetation structure: a multiscale analysis using LiDAR measurements of canopy height. *Ecological Applications* 19 (7): 1848-1857.

Stromberg, J. C. and Patten, D. T. 1990. Riparian vegetation instream flow requirements: a case study from a diverted stream in the eastern Sierra Nevada, California, USA. *Environmental Management* 14:185-194.

Stromberg, J. C. and Patten, D. T. 1996. Instream flow and cottonwood growth in the eastern Sierra Nevada of California, USA. *Regulated Rivers: Research and Management* 12:1-12.