

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

# Restauración de riberas en ríos mediterráneos



JUNTA DE ANDALUCÍA

MANUAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL Nº 9

# Restauración de riberas en ríos mediterráneos

7



**Edita:**

Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía

**Director Facultativo:**

Juan Carlos Costa Pérez  
Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía

**Asesoría Científica:**

María del Rosario Vidal Abarca

**Autores:**

Juan Carlos Costa Pérez  
Ricardo Lozano Arribas  
María Jesús Calvo Amuedo  
Óscar Marchena López  
María del Rosario Vidal Abarca

**Fotografías:**

Fondo documental de Egmasa  
Fondo documental de la Consejería de Medio Ambiente  
Rosa Fernández Díaz

**Ilustrador:**

Xavier Gordillo Perera

**Maquetación e impresión:**

Björn Fremgen, KONTRASTE – Producción Gráfica Industrial

**ISBN:**

978-84-96776-77-7

**Depósito Legal:**

SE 5953-2008

# Índice

Presentación. . . . .	12
Prólogo. . . . .	15

## - Parte 1 - El río Yeguas, un río de referencia

<b>1.1. Ámbito y alcance . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>1.2. Características del río Yeguas y su cuenca. . . . .</b>	<b>27</b>
1.2.1 Localización	
1.2.2 Caracterización	
1.2.3 Clima	
1.2.4 Régimen hídrico	
1.2.5 Régimen hidráulico	
1.2.6 Tipo de sustrato	
1.2.7 Usos colindantes	
1.2.8 Vegetación riparia	
<b>1.3. Análisis de las especies arbóreas . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>1.4. Tipificación de la ribera . . . . .</b>	<b>59</b>
1.4.1 Tipología A	
1.4.2 Tipología B	
1.4.3 Tipología C	
1.4.4 Tipología D	
<b>1.5. Vegetación de ribera y evolución hidrogeomorfológica . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>1.6. Análisis de las perturbaciones. . . . .</b>	<b>83</b>
1.6.1 Perturbaciones naturales	
1.6.1.1 Cambios geomorfológicos	
1.6.1.2 Crecidas	
1.6.1.3 Sequías	
1.6.2 Perturbaciones antrópicas	
1.6.3 Conclusiones	

– Parte 2 –  
**Actuaciones en ríos mediterráneos**

<b>2.1. Consideraciones generales</b> . . . . .	<b>111</b>
<b>2.2. Criterios técnicos.</b> . . . . .	<b>119</b>
2.2.1 Definición del grado de estabilidad del sistema cuenca-río	
2.2.2 Condiciones hidromorfológicas del tramo fluvial	
2.2.3 Establecimiento de la estrategia de revegetación	
2.3.1 Localización de la intervención	
2.3.2 Tipos de actuaciones de revegetación	
2.2.4 Diseño de la revegetación	
2.2.4.1 La zonificación de la ribera	
2.2.5 Determinación de la aptitud y viabilidad de las especies	
2.2.6 Recomendaciones finales para las labores	
2.2.6.1 Ejemplo de revegetación	
<b>2.3 Criterios técnicos para obras fluviales</b> . . . . .	<b>145</b>
2.3.1 Limpieza de cauces	
2.3.2 Obras fluviales	
2.3.2.1 Geomorfología y vegetación de ribera	
2.3.2.2 Régimen hídrico	
2.3.2.3 Régimen hidráulico	

- Anejos -

<b>A1. Metodología para la caracterización del río Yeguas</b> . . . . .	<b>158</b>
A1.1 Identificación de tramos homogéneos	
A1.2 Caracterización del tipo de perfil transversal	
<b>A2. Realización del muestro</b> . . . . .	<b>168</b>
<b>A3. Tramo tipo A</b> . . . . .	<b>172</b>
A3.1 Localización	
A3.2 Trazado en planta	
A3.3 Geomorfología	
A3.4 Vegetación	
A3.5 Perfil transversal / longitudinal	
<b>A4. Tramo tipo B.</b> . . . . .	<b>184</b>
A4.1 Localización	
A4.2 Trazado en planta	
A4.3 Geomorfología	
A4.4 Vegetación	
A4.5 Perfil transversal / longitudinal	
<b>A5. Tramo tipo C.</b> . . . . .	<b>200</b>
A5.1 Localización	
A5.2 Trazado en planta	
A5.3 Geomorfología	
A5.4 Vegetación	
A5.5 Perfil transversal / longitudinal	
<b>A6. Tramo tipo D</b> . . . . .	<b>212</b>
A6.1 Localización	
A6.2 Trazado en planta	
A6.3 Geomorfología	
A6.4 Vegetación	
A6.5 Perfil transversal / longitudinal	
<b>A7. Determinación de la climatología de la serie histórica</b> . . . . .	<b>226</b>
A7.1. Determinación del año climatológico	
A7.2. Caracterización de la lluvia extrema	
<b>A8. Estructura de la población arbórea</b> . . . . .	<b>230</b>
A8.1. Muestreo de la población	
A8.2. Determinación de la tasa de crecimiento del arbolado	
A8.2.1 Datos de partida	
<b>A9. Herramientas para zonificar las disponibilidades hídricas</b> . . . . .	<b>236</b>
A9.1. Determinación de las fechas de muestreo con los caudales medios diarios	
A9.2. Determinación de las fechas de muestreo a partir de los caudales medios mensuales	
A9.3. Metodología de cálculo de la escorrentía superficial	
A9.4. Elaboración de un modelo de balance hídrico de la cuenca vertiente	
A9.5. Determinación de la variabilidad del freático	
A9.6. Metodología de cálculo de los "años tipo"	

# Presentación



Los ríos han sido siempre fuente de vida, símbolo de pureza, y objeto de culto. Ya en la edad del bronce se arrojaban objetos a los ríos para conseguir los favores de los dioses que moraban en sus profundidades; escudos, puntas de flecha e incluso ornamentos de oro y plata se han encontrado en muchos ríos de Europa.

Los ríos han estado siempre asociados a mitos y leyendas, algunos de los cuales han llegado hasta nosotros y otros han sido olvidados con el paso del tiempo. Quien bebía agua del río Leteo, uno de los ríos del Hades de la mitología griega, perdía la memoria que a su vez podía recuperar bebiendo agua del río Mnemósine.

En España los mitos sobre los ríos son muy numerosos, aunque más frecuentes en el norte. En los ríos habitan centenares de seres fantásticos con poderes mágicos: ninfas, elfos, náyades, hadas... Cada región, cada rincón, cada río y cada fuente de España tiene su propio ser mitológico. Las Donas d'agua viven en los ríos y fuentes de los Pirineos catalanes mientras que las Fadas d'os ibons lo hacen en los lagos glaciares de los Pirineos aragoneses; las Xanas son ninfas de agua dulce de pequeña estatura que habitan los ríos asturianos y que dedican la mayor parte de su tiempo a cantar y a peinar sus abundantes cabelleras; las Lainas y las Lamiñak son seres femeninos con patas de ganso propias de las aguas, fuentes y riachuelos del País Vasco y de Navarra.

Pero el culto a los ríos se fue desvaneciendo con el paso del tiempo y estos cauces de agua y vida se fueron incorporando a la vida cotidiana y al patrimonio económico, social y cultural de los pueblos. En los ríos se lavaba la ropa, mientras los más pequeños de la casa se zambullían para combatir el calor del verano; el agua movía las ruedas de los molinos que jalonaban sus orillas y cientos de canales la transportaban para regar las numerosas huertas que circundaban los pueblos. Pero también los ríos eran lugares de desolación y muerte cuando se desbordaban, lo que conocían muy bien los aldeanos, que se cuidaban muy mucho de invadir los territorios que las aguas reclamaban para sí periódicamente.

Esta capacidad de evocación y su valor como patrimonio cultural y natural de un pueblo también se fue perdiendo hasta quedar en el olvido. Durante el siglo pasado, y al amparo del desarrollismo económico, los ríos sufrieron uno de los más brutales impactos ambientales que el hombre ha provocado en la Tierra. Las canalizaciones, el

hormigonado de sus riberas, la contaminación, la invasión por especies exóticas y la sobreexplotación, fueron convirtiendo nuestros ríos en simples conductos fluviales no pocas veces molestos e insalubres cuando no carentes de toda vida.

Afortunadamente, la concienciación ambiental y sobre todo la Nueva Cultura del Agua surgida hace unos pocos años, que reclama un mayor respeto y consideración por los ríos, han hecho que la sociedad comience a estimar nuevamente los ríos como un lugar de vida y de encuentro, como un patrimonio natural y cultural que es necesario recuperar y conservar para disfrute de las generaciones presentes y futuras.

Este libro sobre Restauración de riberas en ríos mediterráneos se enmarca en los principios básicos de esa Nueva Cultura del Agua y en el respeto por los múltiples y singulares ecosistemas de nuestros ríos y de sus riberas asociadas. Hasta la fecha han sido muchos los estudios realizados para llevar a cabo la restauración de las riberas de los ríos de aguas permanentes característicos de zonas húmedas, como la mayor parte de Europa central. Sin embargo, abordar los principios básicos de la restauración de nuestros ríos temporales mediterráneos no era tarea fácil; la estacionalidad y variabilidad de las precipitaciones, y por lo tanto del agua que discurre por ellos, hace tremendamente peculiar la vida en ellos y en sus orillas, hasta el punto de que no pocas veces la vegetación de ribera vive literalmente en el interior del cauce en vez de en sus bordes.

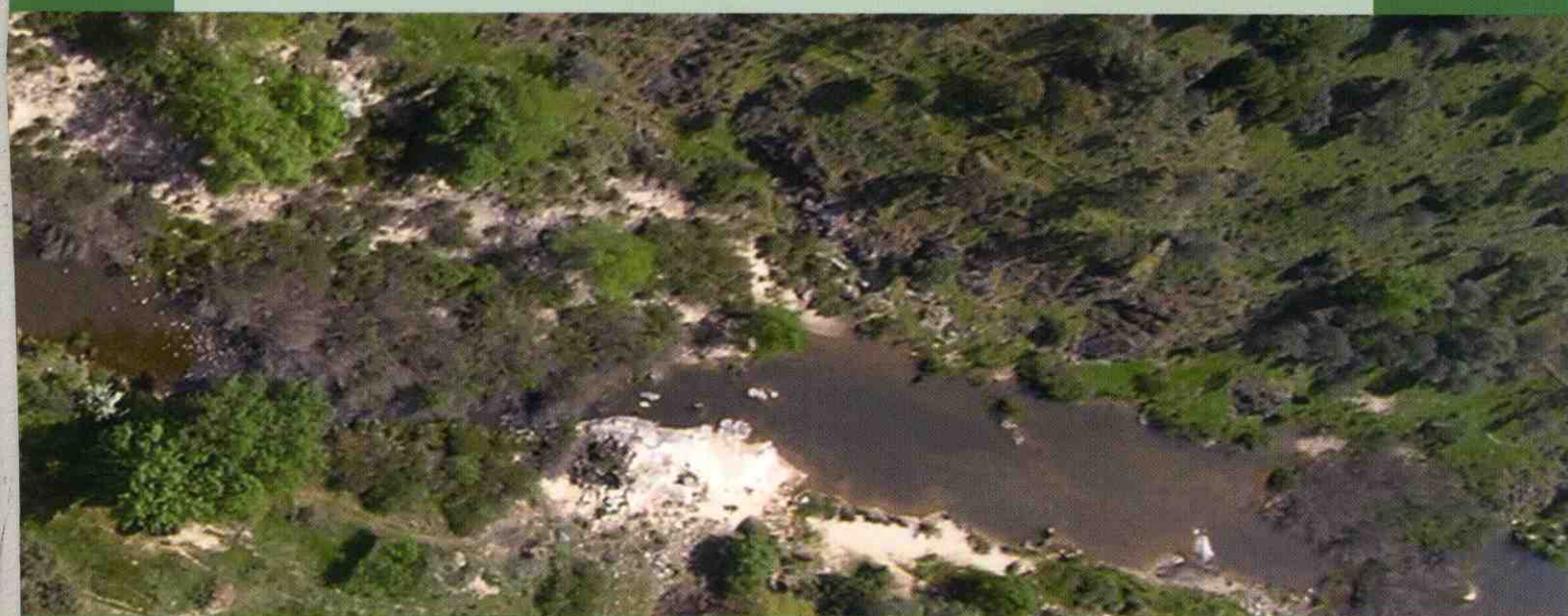
Éstas y otras peculiaridades, como el inevitable nexo de unión del río con su cuenca y los condicionantes que su erosión impone sobre el régimen hídrico del río, la variabilidad geológica del lecho o la rica diversidad biológica, han sido retos a considerar a la hora de enfrentarse con la ardua tarea de restaurar su no pocas veces deteriorada vegetación riparia.

Unamuno decía que un río es el alma de un paisaje y que a través del paisaje es como el ciudadano puede empezar a tomar conciencia de su país. Por ello espero que este libro sirva para concienciar un poco más a la ciudadanía en la necesidad de respetar, cuidar y amar aun más a sus ríos y a la flora y fauna que vive en ellos, de ellos y para ellos.

*María Cinta Castillo Jiménez*



# Prólogo



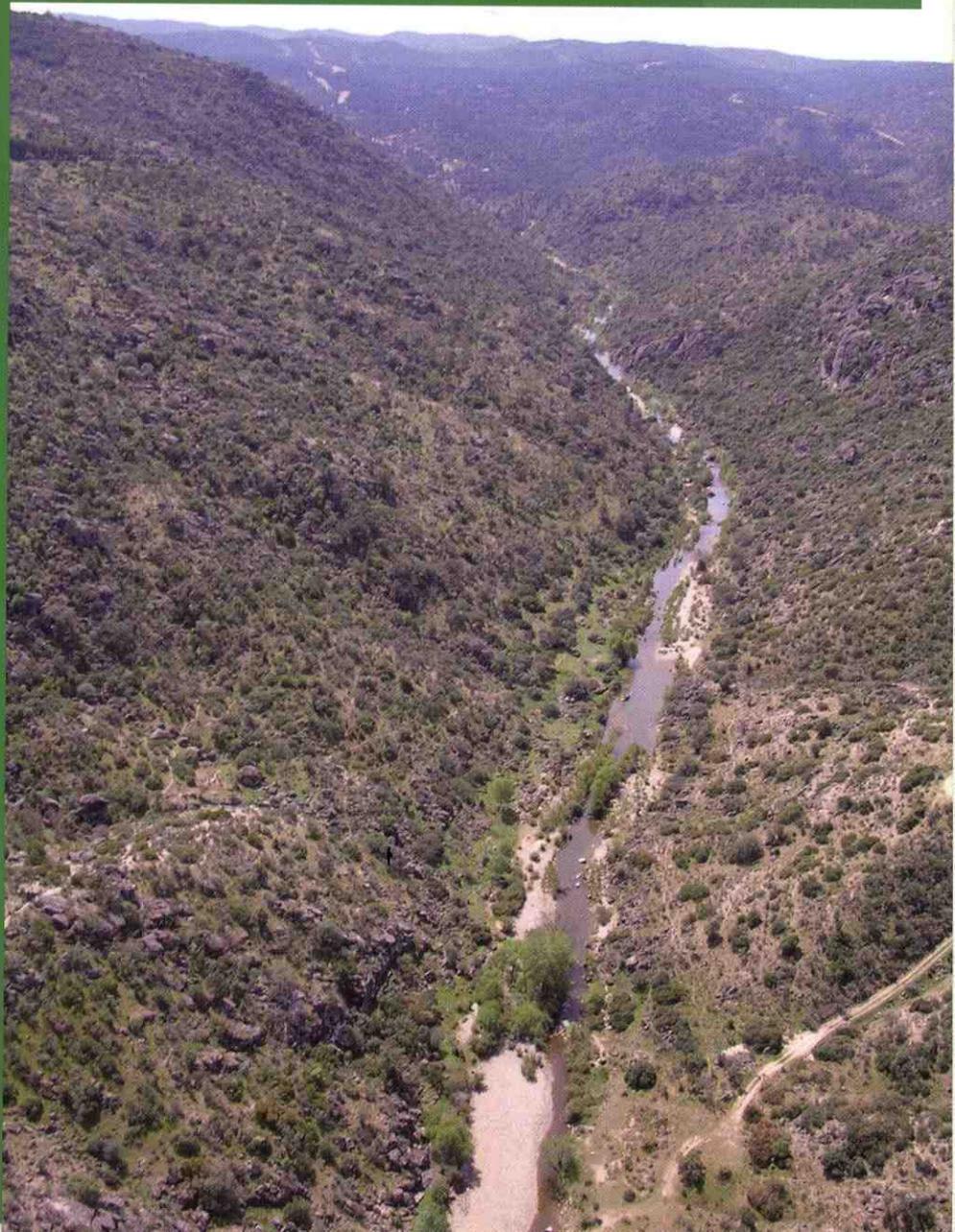
# Prólogo

Prólogo

# Prólogo

La mayoría de los ríos mediterráneos tienen régimen hídrico temporal o esporádico, caracterizándose por presentar el cauce seco, al menos durante el verano. A esta característica se suma el carácter torrencial de las precipitaciones que combinado con el régimen hidráulico generan unas singularidades en la dinámica fluvial muy distintas a las existentes en los ríos permanentes de zonas con precipitaciones uniformes.

Las investigaciones y experiencias realizadas hasta el momento, en torno a la regeneración natural y restauración de ecosistemas fluviales, se han llevado a cabo sobre ríos con régimen hídrico permanente del centro y norte de Europa o América del Norte. Estos ríos tienen características muy diferentes a las que poseen la mayoría de nuestros ríos mediterráneos, por lo que la aplicación de dichas técnicas de restauración en los mismos, ha des-



embocado en fracasos más o menos manifiestos.

Por tanto, la restauración fluvial contrastada en Europa Central no es aplicable en nuestros ríos, si no se tienen en cuenta las particularidades de los mismos. La Consejería de Medioambiente de la Junta de Andalucía ha realizado un estudio sobre una cuenca considerada como modelo en nuestra región mediterránea, para conocer realmente la influencia del clima mediterráneo sobre la vegetación riparia y obtener criterios aplicables en futuras restauraciones.

Un río se puede considerar referencia cuando sus componentes fluviales no se encuentran alteradas. Éstas sirven de modelo para explicar el funcionamiento de los ríos con características similares y poder establecer los objetivos de restauración para los ríos alterados. En nuestras cuencas hídricas tenemos que buscar las estaciones de referencia en ríos de cabecera porque el resto de tramos están afectados principalmente en las componentes régimen hídrico y cobertura vegetal debido a la regulación hídrica, el patoreo y la quema de rastrojos.

Con base en estas condiciones, el río Yeguas se puede considerar referencia porque fluye a través de los municipios de Cardeña y Andújar que solapan con dos parques naturales de elevado valor ambiental y con escasa actividad antró-

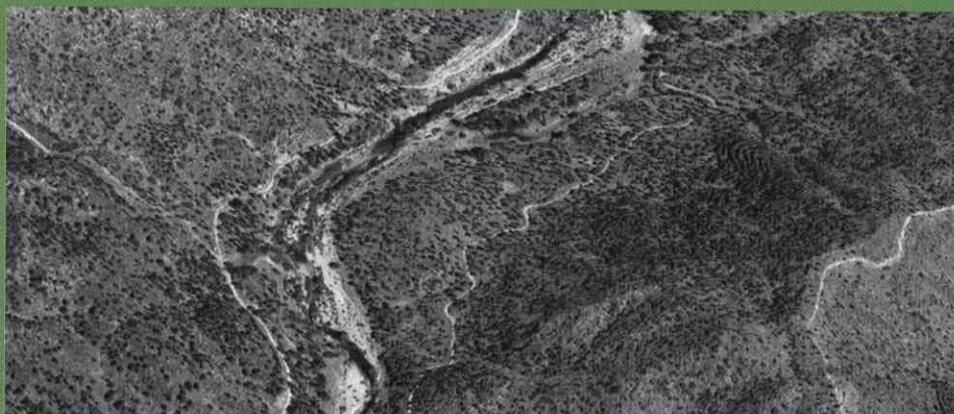
pica. Presenta una vegetación ribereña en buen estado de conservación y el régimen hídrico no está intervenido, salvo en el extremo inferior, donde se localiza una presa.

La presente publicación se estructura en dos bloques independientes: una primera parte en la que se muestran los resultados del estudio llevando a cabo sobre el río Yeguas, y una segunda parte en la que se aportan las conclusiones que han podido extraerse de dicho estudio y las recomendaciones que en términos generales pueden hacerse para la restauración de ríos temporales mediterráneos.

Por último, se incluyen los anejos técnicos con todos los datos obtenidos en el transcurso de la realización de este libro.

**Figura 1. Tipos de afección**

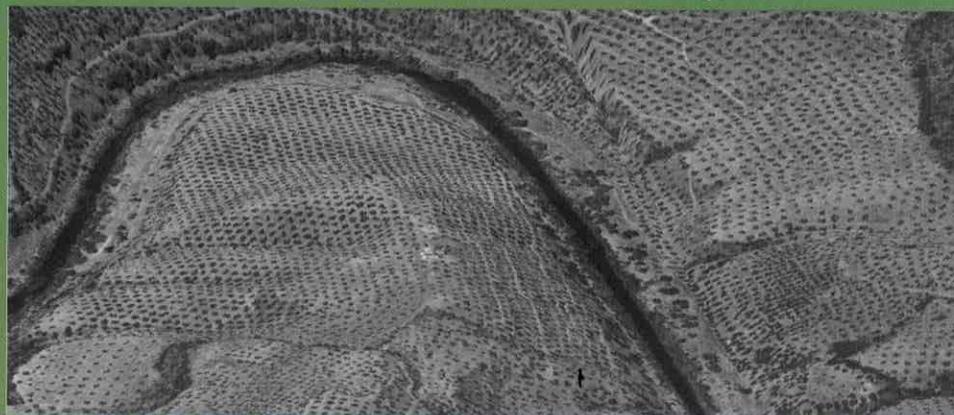
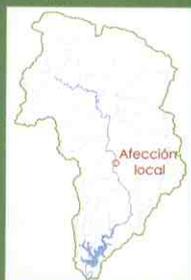
**Tipos de afecciones en el río Yeguas según la clasificación del Plan Director de Riberas de Andalucía<sup>1</sup>:**  
 (Imagen: ortofotografía pancromática 1:10000 de 2002, Fecha del vuelo 11/07/2001)



Tramo con afección local Las alteraciones que sufre la ribera se deben a la influencia de los usos colindantes.



Tramo inundado No se puede desarrollar ninguna ribera al encontrarse inundado por el vaso de un embalse.



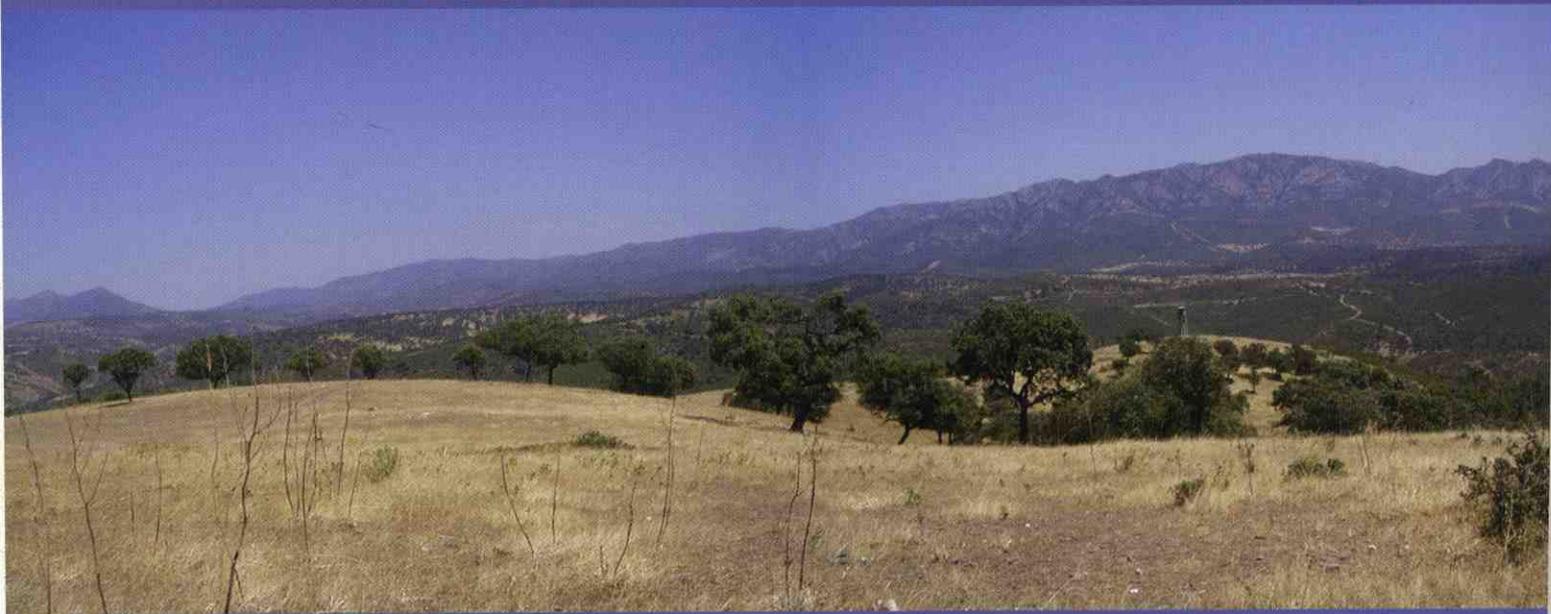
Tramo con afección funcional Presenta alteraciones en la dinámica fluvial además de las afecciones locales.



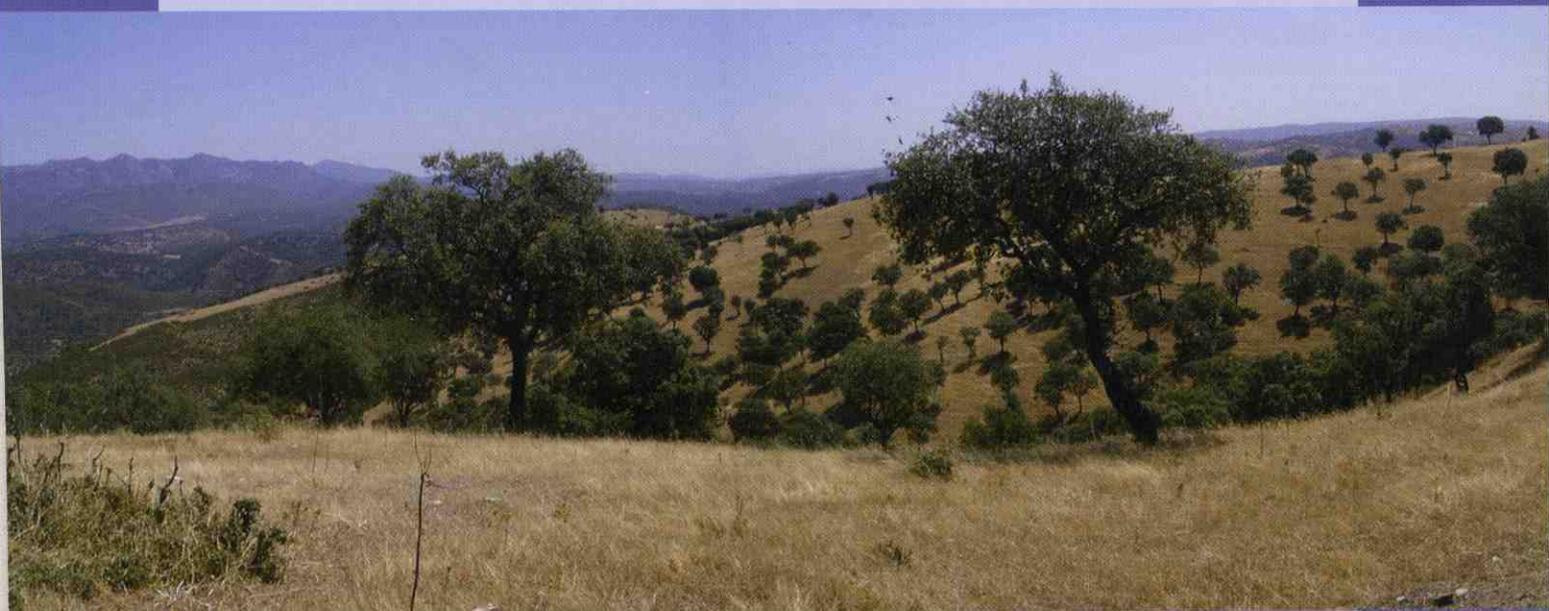
**El río Yeguas,  
un río de referencia**

**Parte**

**1**



# Ámbito y alcance



1.1

# Ámbito y alcance

## 1.1 Ámbito y alcance

# 1.1 Ámbito y alcance

El objetivo central de los trabajos realizados es identificar los condicionantes que el carácter mediterráneo impone a la vegetación de ribera, para poder establecer técnicas de restauración adaptadas a las características de nuestros ríos. Por ello, el ámbito del estudio se ha restringido a aquellos tramos del río que no se encuentran afectados por la Presa de Yeguas.

El río Yeguas tiene 68 kilómetros de longitud, habiéndose estudiado los 44 primeros, que corresponden a tramos de cabecera y medios. El resto corresponde a los tramos inundados por el vaso del embalse, 19 km, y los ubicados aguas abajo de la presa, 5 km.

En este ámbito, se han realizado los siguientes trabajos:

- Identificación de los aspectos físicos y biológicos que caracterizan su tramo alto, estudiando su variación a lo largo del tiempo. Estas características permiten determinar si los resultados del presente estudio son aplicables a la cuenca sobre la que se quiere actuar. Dada la variabilidad de alguno de estos factores a lo largo del cauce, se establecieron tramos de características similares, que se estudiaron por separado.
- Estudio de las interrelaciones entre las componentes fluviales y la vegetación riparia. Estas relaciones marcan el grado de influencia de los factores de alteración en el éxito de la restauración, sirviendo de base para identificar las técnicas de restauración que deberán aplicarse en cada caso.

## Etapas del estudio

### Características del río Yeguas y su cuenca:

Clima	Régimen hídrico
Régimen hidráulico	Sustrato del cauce
Vegetación	Usos colindantes al cauce

### Análisis de la vegetación riparia

### Tipificación de la ribera

### Evolución hidrogeomorfológica y de la vegetación de ribera

### Análisis de perturbaciones sobre la vegetación riparia

### Conclusiones y bases para la restauración

### Criterios para las actuaciones en ríos mediterráneos

**Tabla 1.** Etapas del estudio



# Características del río Yeguas y su cuenca



# 1.2

# Características del río Yeguas y su cuenca

## 1.2 Características del río Yeguas y su cuenca

# 1.2 Características del río Yeguas y su cuenca

## 1.2.1 Localización

El río Yeguas se localiza en la margen derecha del río Guadalquivir. Su cuenca está delimitada al norte por Sierra Madrona en Ciudad Real, pero el río se desarrolla en Sierra Morena, desembocando en el Guadalquivir a los pies de la sierra.

Al principio del recorrido, el río hace las funciones de límite administrativo entre las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha y Andalucía, y una vez en el interior de la comunidad andaluza se convierte en el límite provincial entre Córdoba y Jaén.

Los municipios andaluces afectados por el trazado del río son Cardeña en Córdoba, y Andújar en Jaén. Éstos tienen carácter forestal y se relacionan con dos espacios de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA), estando gran parte de la superficie de la cuenca protegida por los Parques Naturales de Sierra de Cardeña y Montoro y de Sierra de Andújar.

## 1.2.2 Caracterización

La cuenca del río Yeguas presenta 799 km<sup>2</sup> de extensión distribuidos en Andalucía y Castilla-La Mancha. En la comunidad manchega se localizan



las subcuencas de cabecera, representando el 20% de la superficie de la cuenca, mientras que en Andalucía se localiza el 80% restante.

El río nace, en el límite de las dos comunidades autónomas, de la confluencia de tres arroyos: Endrinar, Cañada de Alonso, también denominada de los Términos, y Pradillo. Desemboca en el Guadalquivir tras recorrer 68,6 kilómetros.

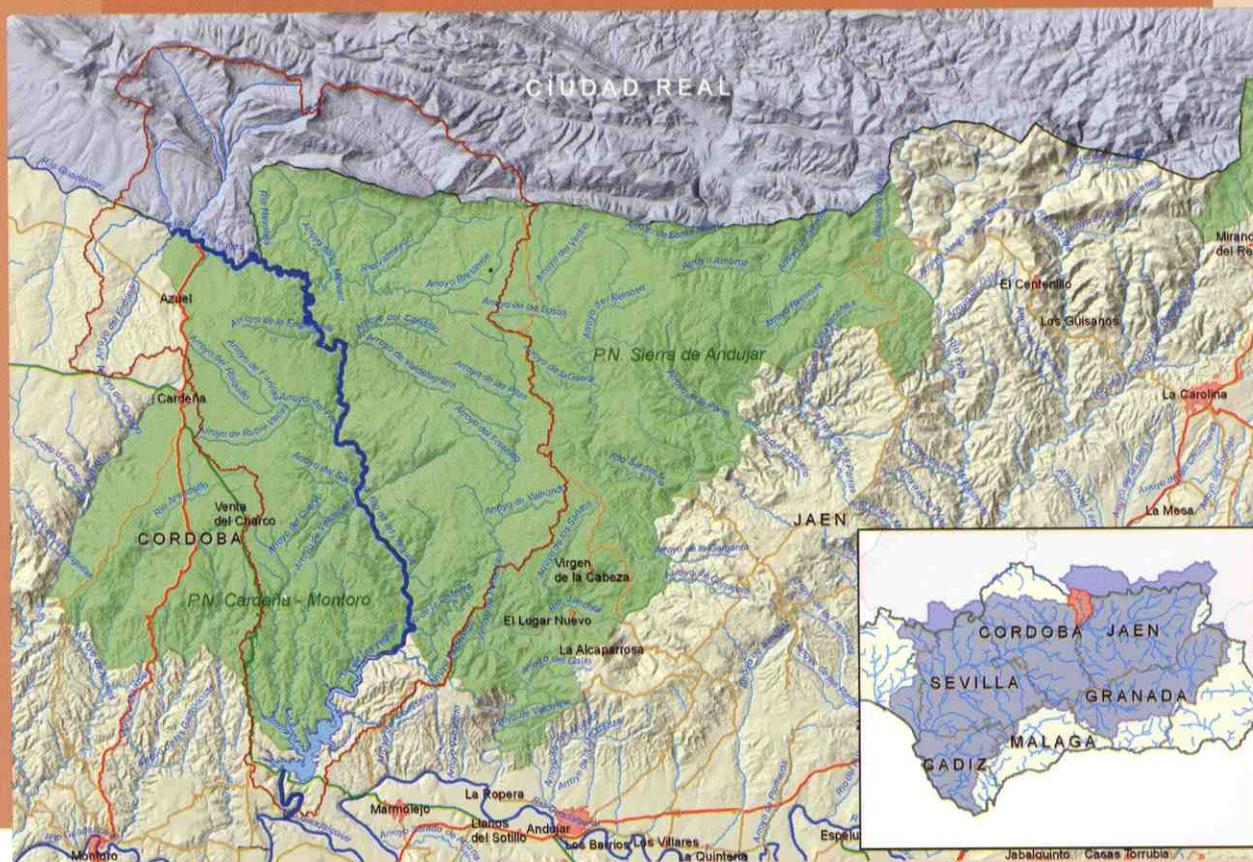
La cuenca del Yeguas presenta las máximas altitudes en Sierra Madrona, Ciudad Real, con una cota máxima de 1325 m y la mínima, 160 m, en la con-

	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Córdoba	295,1	37
Jaén	345,9	43
<b>Andalucía</b>	<b>640</b>	<b>80</b>
Ciudad Real	158,1	20
<b>Castilla-La Mancha</b>	<b>158,1</b>	<b>20</b>

**Tabla 2.** Distribución de la superficie de la cuenca vertiente

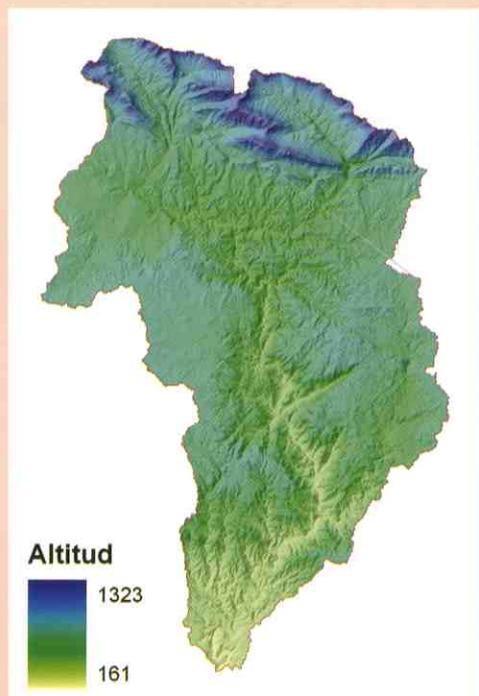
fluencia con el río Guadalquivir. A pesar de la variación altitudinal, la cuenca presenta un relieve alomado porque las cotas altas se localizan en su límite norte (Sierra Madrona).

Para este estudio se han definido 13 tramos fluviales que se han caracte-



**Figura 2.** Localización de la cuenca

rizado por el tipo de afección con la finalidad de determinar el grado de influencia de las actividades antrópicas sobre la ribera.



El río presenta un embalse en su tramo bajo, muy cerca de la confluencia con el Guadalquivir. Esta característica determina el tipo de afecciones que puede presentar:

- Los 11 primeros tramos, el 68 % de las riberas, presentan afección local. En ellos, la ribera sólo está influida por los usos colindantes que son forestales.
- El tramo 12 representa el 28 % del río, estando inundado por el embalse o su área de influencia (cola del embalse).

- En esta zona la vegetación de ribera no se puede desarrollar por las oscilaciones del nivel del agua.
- El 8% del río, tramo 13, presenta el régimen hídrico modificado, afección funcional. La regulación del embalse ha invertido el régimen, alterando la ribera.

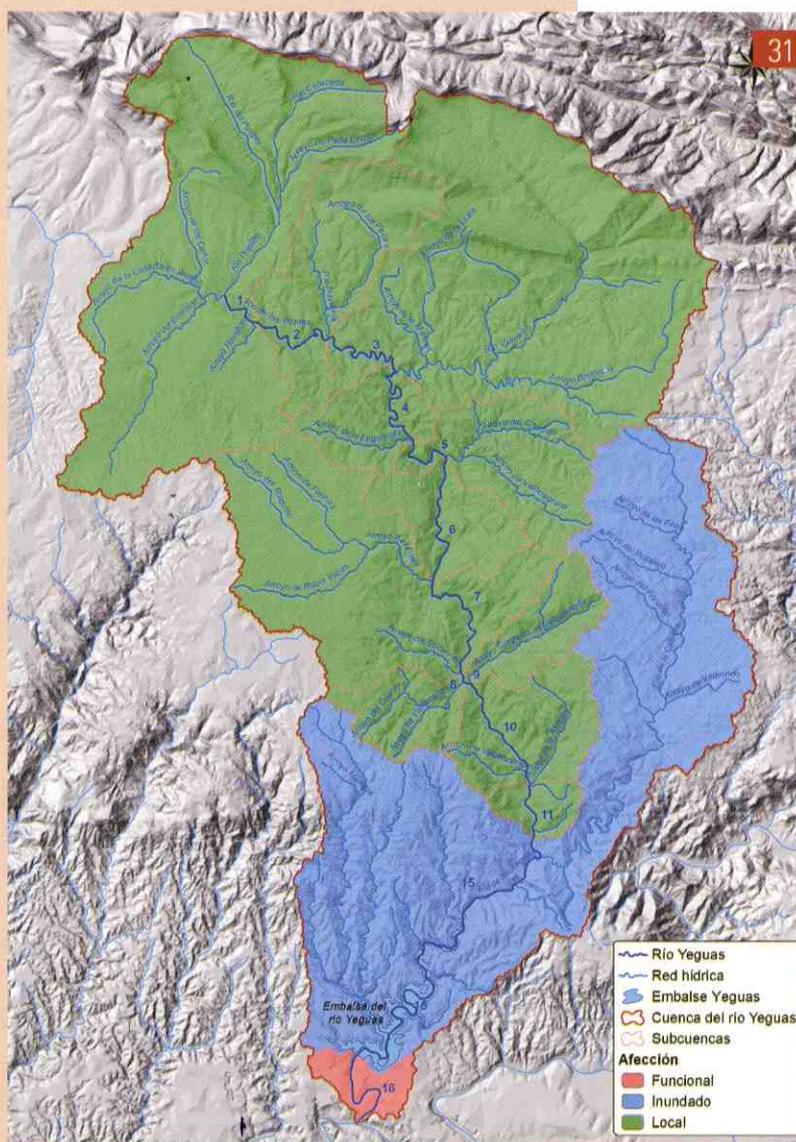


Figura 3. Definición de tramos en el río

La zona de estudio se ha restringido a los 11 primeros tramos, con afección local, que son los que interesan desde el punto de vista de la evolución natural de la vegetación de ribera.

En la tabla 3 y figura 3 se representan y caracterizan los tramos y las subcuencas correspondientes.

Tramo	Tipo de afección	Longitud (m)	Inicio	Fin	Superficie subcuenca (km <sup>2</sup> )	Superficie acumulada (km <sup>2</sup> )
1	Local	2.223	Puente N-420 – Río Pradillo	Arroyo Navaltorno	150,4	150,4
2	Local	5.408	Arroyo Navaltorno	Arroyo Navaleja	42,4	192,8
3	Local	5.762	Arroyo Navaleja	Río Valmayor	156,2	349,0
4	Local	5.972	Río Valmayor	Arroyo de la Enguijuela	17,5	366,5
5	Local	3.061	Arroyo de la Enguijuela	Arroyo del Cándalo	33,1	399,6
6	Local	6.374	Arroyo del Cándalo	Arroyo del Fraile	20,4	420,0
7	Local	6.030	Arroyo del Fraile	Arroyo Socorejo	84,9	504,9
8	Local	540	Arroyo Socorejo	Arroyo de Valdecañas	15,7	520,6
9	Local	283	Arroyo de Valdecañas	Garganta de Valquemado	16,8	537,4
10	Local	5.644	Garganta de Valquemado	Arroyo de la Aliseda	27,9	565,3
11	Local	2.801	Arroyo de la Aliseda	Cola del embalse	7,5	572,8
12	Inundado	19.255	Cola del embalse	Presa del embalse	217,8	790,6
13	Funcional	5.255	Presa del embalse	Desembocadura	8,5	799,1
					<b>68.608</b>	<b>799,1</b>

**Tabla 3.** Definición de tramos del río

### 1.2.3 Clima

El clima de la cuenca es seco subhúmedo, caracterizado por tener un periodo de lluvias concentrado principalmente en el invierno, con precipitaciones menos importantes en primavera y otoño y prácticamente nulas en verano.

La precipitación total anual está en torno a los 572 mm, habiéndose registrado mínimas y máximas absolutas de 238 mm y 1009 mm respectivamente según datos de varias estaciones meteorológicas extrapolados al centroide de la cuenca.

El año meteorológico se ha clasificado en tres tipos: húmedo, medio y seco. Un año se considera húmedo cuando las precipitaciones son mayores de 721

mm, y seco cuando son menores de 448 mm. Los años con precipitaciones comprendidas entre 448 y 721 mm se consideran de precipitación media.

La temperatura media anual que se registra es de 16 °C, con una media de las máximas de 34,3 °C y de las mínimas de 2,8 °C. En los meses de verano, las temperaturas medias oscilan entre 22 y 26 °C, mientras que en los meses invernales las oscilaciones se sitúan entre 7 y 11 °C.

En el diagrama ombrotérmico se observa que durante el periodo estival las temperaturas superan con creces al doble de la precipitación, produciéndose un periodo de aridez que en la cuenca del Yeguas abarca la totalidad del verano, de junio a septiembre.

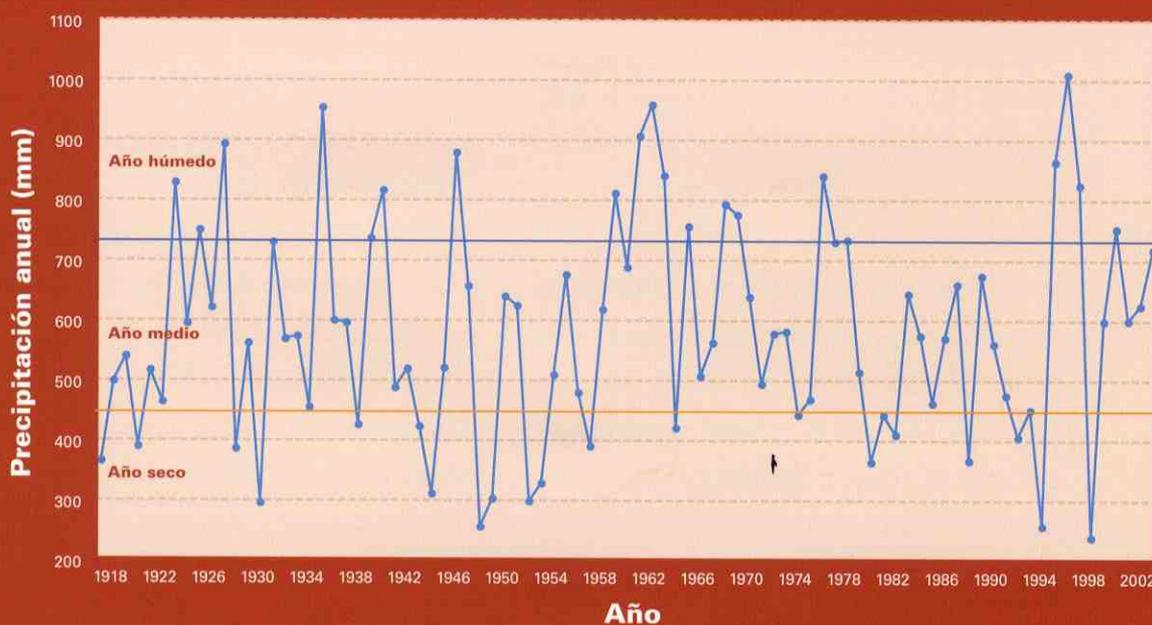
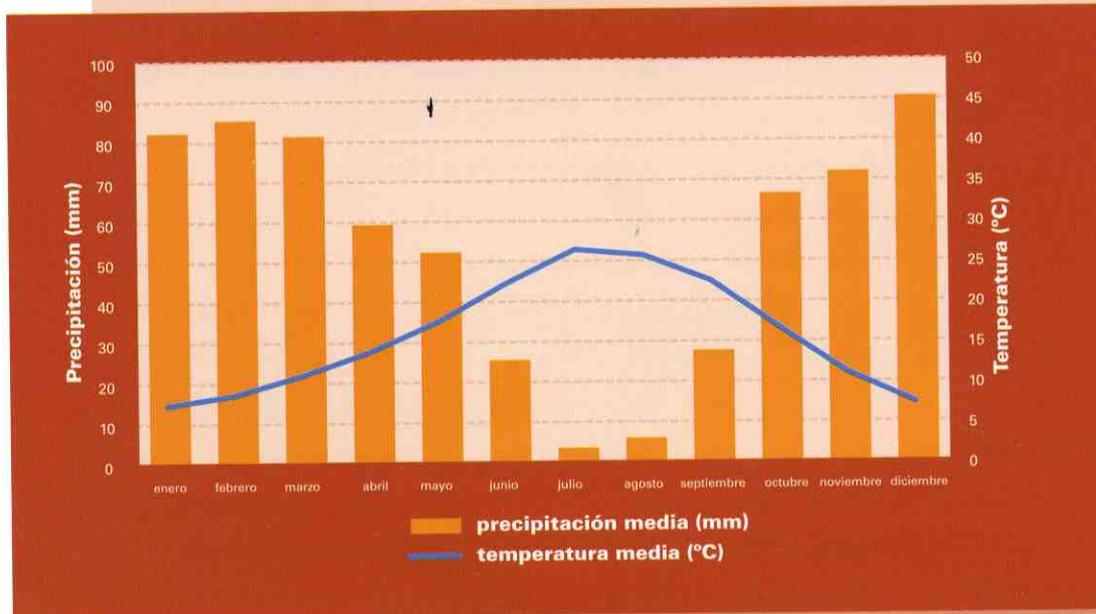


Figura 4. Serie histórica de precipitación anual



**Figura 5.** Diagrama ombrotérmico (fuente: Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Sierra de Andújar)

### 1.2.4 Régimen hídrico

El río Yeguas presenta un régimen hídrico temporal<sup>1</sup>, aunque el arroyo de cabecera Pradillo se alimenta de un acuífero en Fuencaliente, Ciudad Real. Este aporte hídrico, junto con la existencia de pequeños acuíferos asociados al banco aluvial, aportan un caudal insuficiente para garantizar la circulación superficial en verano pero suficiente para mantener el flujo subsuperficial, incluso en los años más secos. Dicho caudal queda patente en el río Yeguas por la presencia de pozas con agua y flujos intermitentes en los tramos de cabecera.

La profundidad del flujo subsuperficial y su evolución temporal son parámetros básicos que condicionan el tipo de ribera que se puede desarrollar, al influir directamente en el agua que está disponible a lo largo del año para la vegetación de ribera.

Inicialmente se pretendió medir el flujo subsuperficial mediante la utilización de piezómetros, pero dado el tipo de sustrato presente en el río. Se optó por caracterizar el régimen hídrico de los tramos del Yeguas en función de la frecuencia de aparición de pozas o caudales en superficie durante el verano, identificándose tres tipos de tramos:

#### **Tramo con flujo superficial.**

Comprende los tramos fluviales que presentan agua en superficie en la práctica totalidad de su longitud. Sólo existe

<sup>1</sup> Régimen hídrico temporal: el cauce permanece seco durante un periodo inferior a 6 meses, aunque pueden existir pozas con agua o flujo intermitente.

uno que corresponde al primer tramo de estudio, como resultado del aporte hídrico del manantial de Fuencaliente y la escasa potencia del banco aluvial.

**Tramo con pozas abundantes.**

Engloba los tramos donde las pozas o los afloramientos superficiales representan más del 30% de su longitud. Son los más abundantes y se distribuyen por todo el área de estudio excepto en los tramos centrales.

**Tramo con pozas frecuentes.**

Corresponde a los tramos fluviales donde el porcentaje de agua en superficie representa hasta un 30% de su longitud. Son los menos representativos y se localizan en los tramos medios.

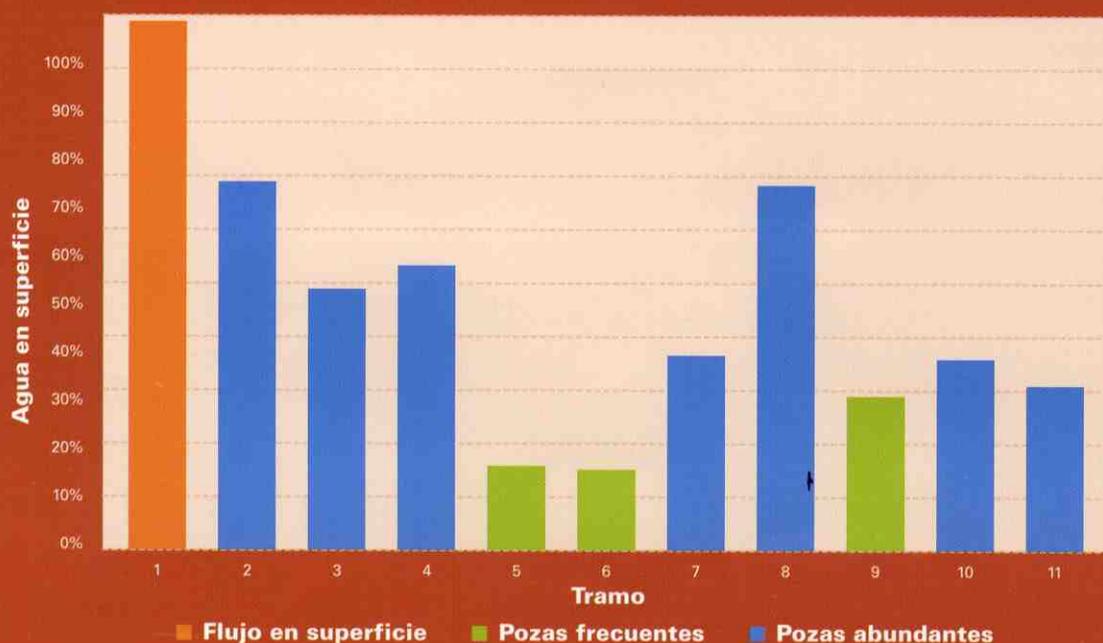
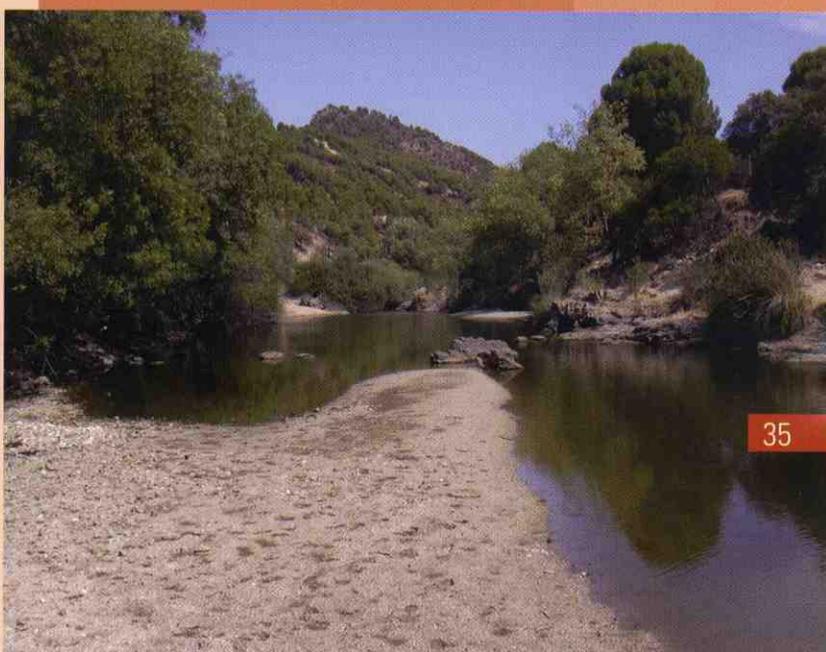


Figura 6. Afloramiento de flujo subterráneo en el cauce durante el periodo estival

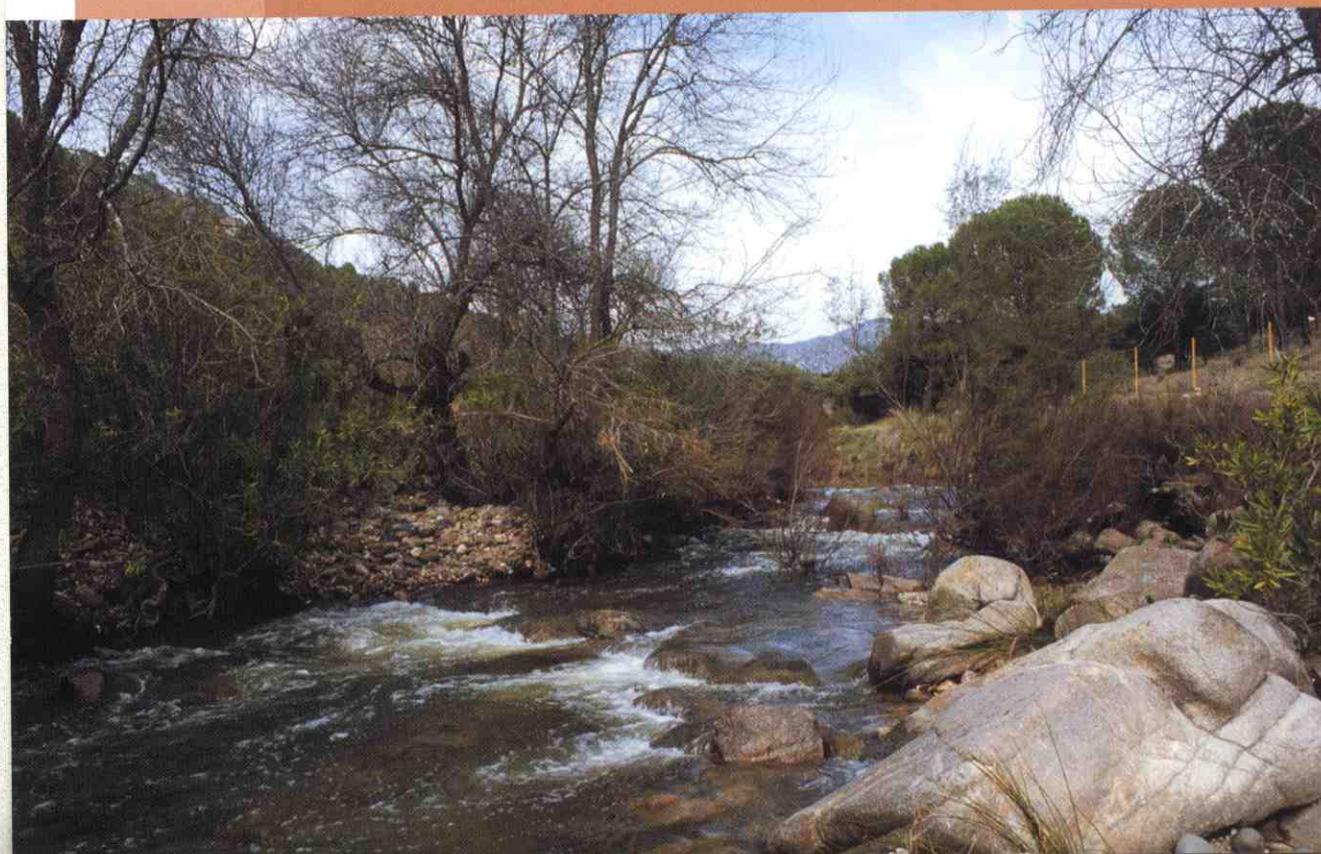
### 1.2.5 Régimen hidráulico

El comportamiento de la corriente se ha definido mediante el régimen hidráulico que se ha clasificado en cuatro tipos según la pendiente longitudinal. Esta clasificación permite caracterizar el tramo de río según parámetros hidráulicos (velocidad de la corriente, magnitud de la crecida) que condicionan el tipo y grado de desarrollo de la vegetación.

El río Yeguas se caracteriza por presentar un régimen hidráulico rápido (pendiente longitudinal entre 0,2 – 1,5%), a lo largo del tramo estudiado.

Régimen hidráulico	Pendiente longitudinal
Tranquilo	0 – 0,2 %
Rápido	0,2 -1,5 %
Torrencial	1,5 -6,0 %
Torrente	> 6,0%

**Tabla 4.** Tipos de régimen hidráulico



**Figura.** Efecto de las crecidas sobre la vegetación



37

### 1.2.6 Tipo de sustrato

El sustrato del río tiene una gran influencia en el desarrollo de las riberas porque actúa como soporte y fuente de nutrientes. También es importante porque influye en la capacidad que tienen las crecidas de modificar el cauce y consecuentemente la estructura de las comunidades vegetales de las riberas.

Para caracterizar el río Yeguas se han definido tres tipos de sustratos:

- **Lítico:** hace referencia a un sustrato rocoso que impide el crecimiento

de las plantas por limitaciones en el desarrollo del sistema radical. Se ha considerado sustrato lítico las secciones del río que transcurran por sustrato rocoso, aunque presenten una fina capa o pequeños depósitos de material aluvial porque en ellos tampoco se puede asentar la vegetación.

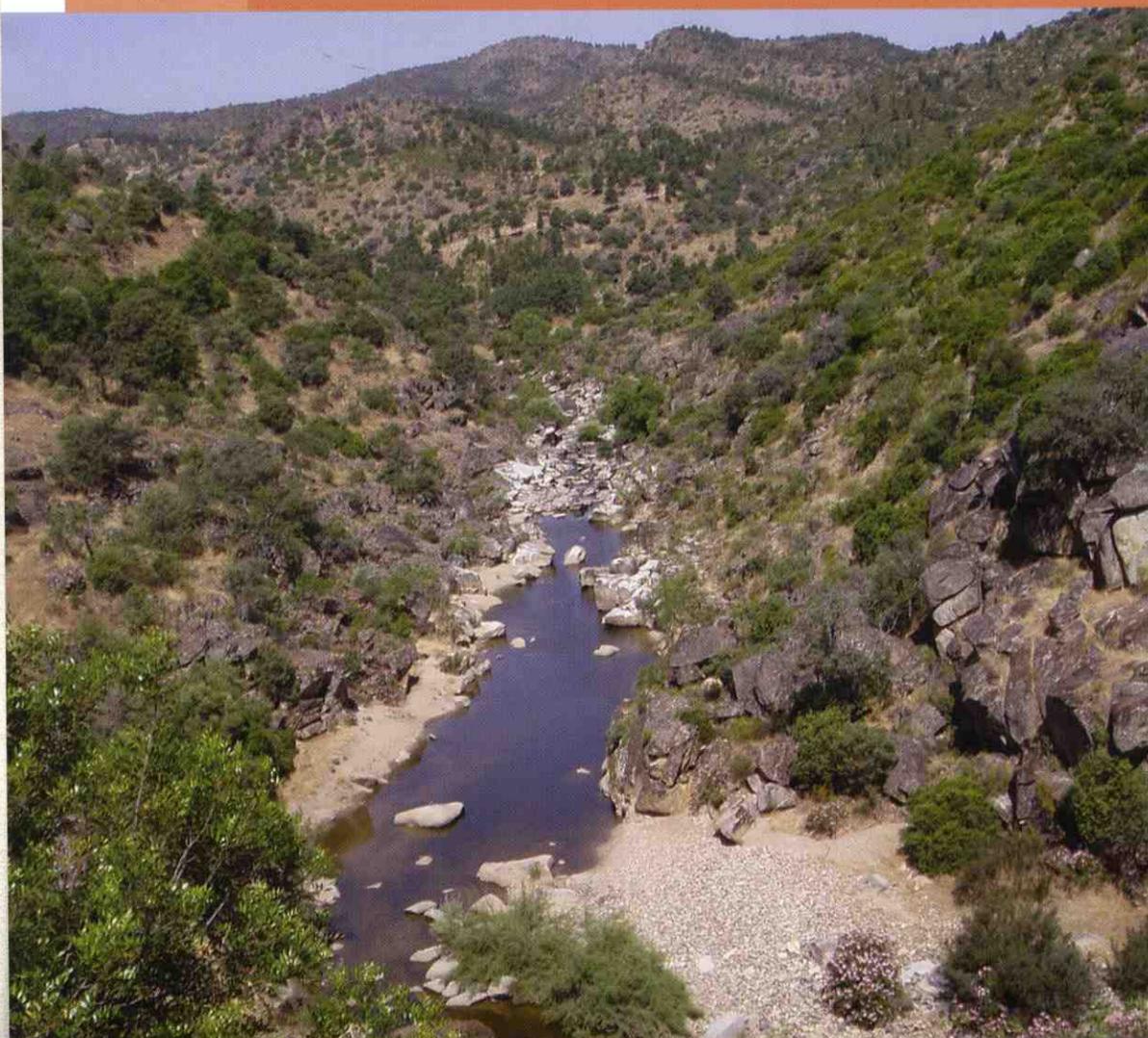
- **Aluvial:** corresponde a depósitos de material granular que proceden de la erosión del propio lecho. Se han distinguido dos subtipos de material granular, grava y arena, en función del tamaño. Lógicamente, el sustrato de gravas tiene menor movilidad al precisar mayor velocidad de la corriente para su arrastre.

• **Edáfico:** el sustrato de estos ríos está compuesto por arcilla o limos que proceden del lavado de la cuenca o del propio terreno cuando el material geológico es blando, tipo margas o arcillas. Este tipo se localiza en el tramo con afección funcional, fuera del ámbito de estudio.

El área de estudio del río Yeguas presenta sustrato aluvial, aunque localmente existen zonas con sustrato lítico que limitan el desarrollo de la ribera.

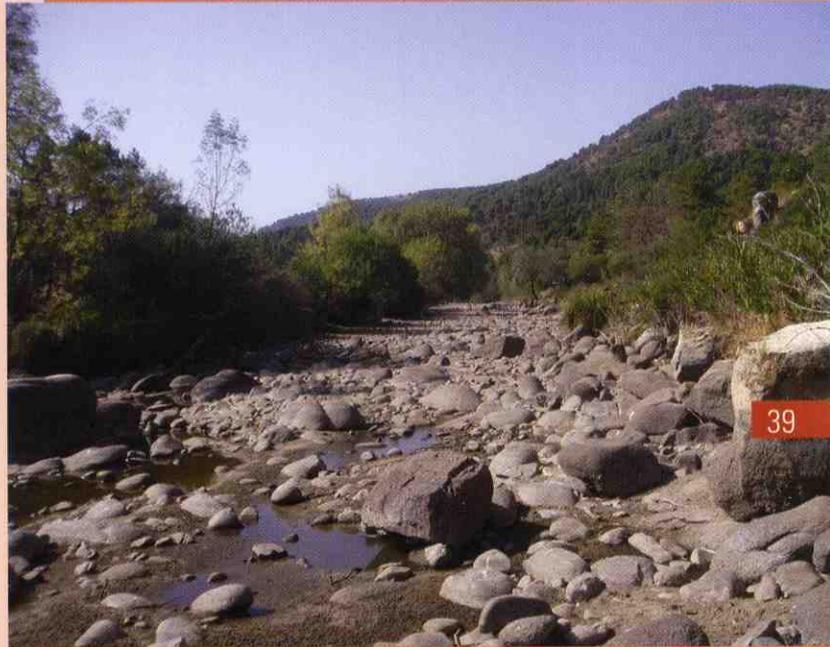
Estudiando la granulometría de las partículas del sustrato de un río se puede saber el tipo de transporte que existe y la procedencia de los materiales. Los finos, arcilla y limo, proceden del lavado de la cuenca y se transportan en suspensión, mientras que el resto de materiales proceden de la erosión del lecho y se transportan por el fondo de distintas formas (saltando, rodando o deslizando) según su peso. No obstante, la arena del cauce puede provenir de la erosión de subcuencas con régimen hidráulico torrencial o torrentes o incluso de laderas inmediatas al cauce.

**Figura 7.** Tramo con sustrato lítico y capa somera de aluvial



Teniendo en cuenta que en el río Yeguas la arena se encuentra mezclada con materiales de mayor granulometría se puede afirmar que el sustrato es de grava y presenta baja movilidad con las crecidas, salvo en los bancos de arena que tienen carácter local.

Otra característica del sustrato es su procedencia. Los materiales del manto aluvial provienen de la dinámica erosiva del propio cauce, aunque parte de la arena del sustrato provendrá de las subcuencas de carácter torrencial. Su transporte se realiza por el fondo y presentan una baja movilidad, especialmente los materiales de granulometría mayor o igual a la grava.



39

Tipo de partícula	Tamaño partículas (mm)	Procedencia Tipo de transporte	Velocidad mínima para iniciar el transporte (m/s)
Finos	< 0.062	Cuenca. Lavado (suspensión)	Despreciable
Arena	0.062 - 2	Lecho y cuenca*. Fondo (saltación)	≤ 0.11
Gravas	2 - 64	Lecho. Fondo (saltación, rodando)	0.12 - 1.27
Guijarros	64 - 250	Lecho. Fondo (rodando)	≥ 1.28
Cantos	250 - 4000	Lecho. Fondo (deslizando, rodando)	

cuenca\*: material procedente de la erosión de subcuencas de carácter torrencial.  
Elaboración propia con datos de López Cadenas, F. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ministerio de Medio Ambiente-Tragsa. 1998.

**Tabla 5.** Características del material aluvial

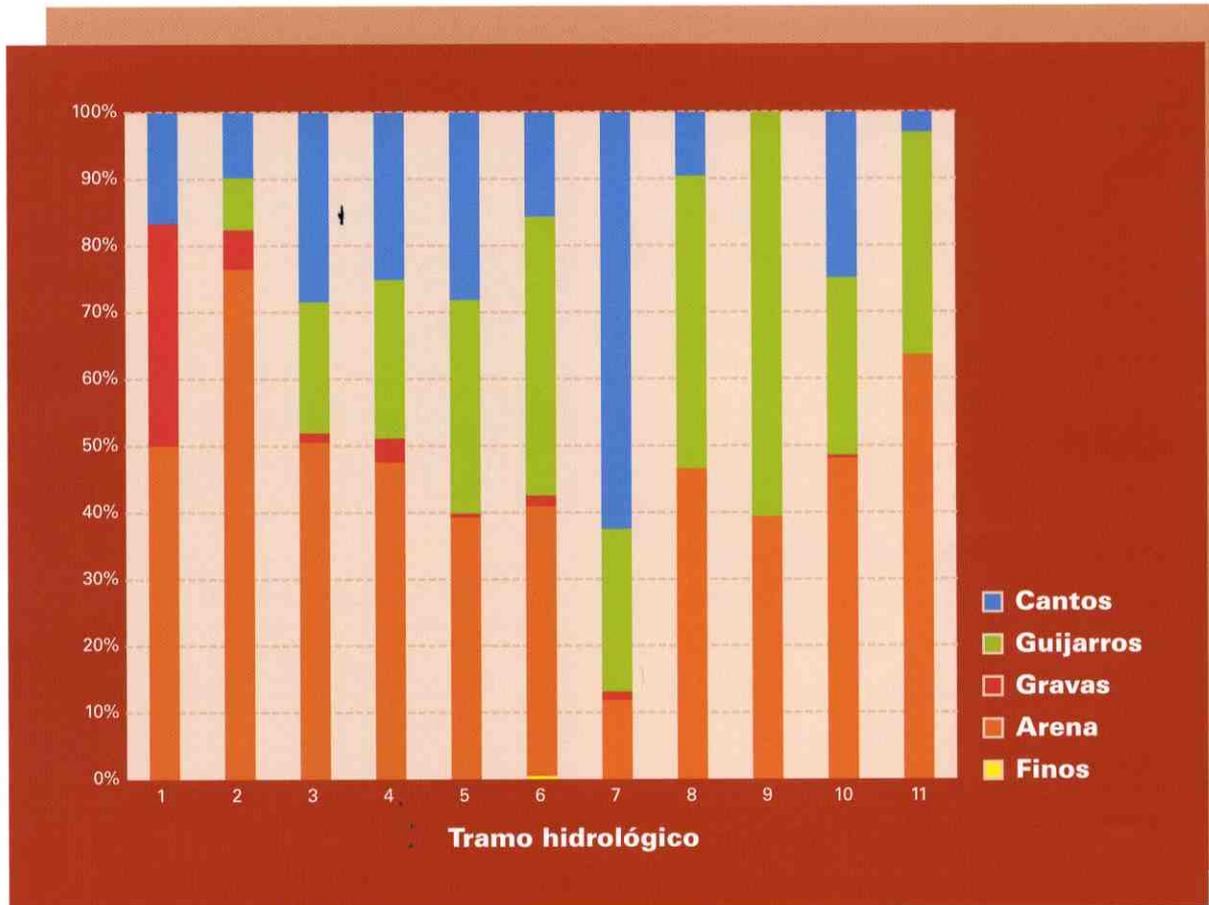


Figura 8. Granulometría por tramo fluvial

### 1.2.7 Usos colindantes

El uso colindante al río puede ejercer una presión sobre la ribera e influir

en su estado de conservación. El río Yeguas discurre por terrenos forestales adeshados que presentan un aprovechamiento ganadero extensivo y cine-

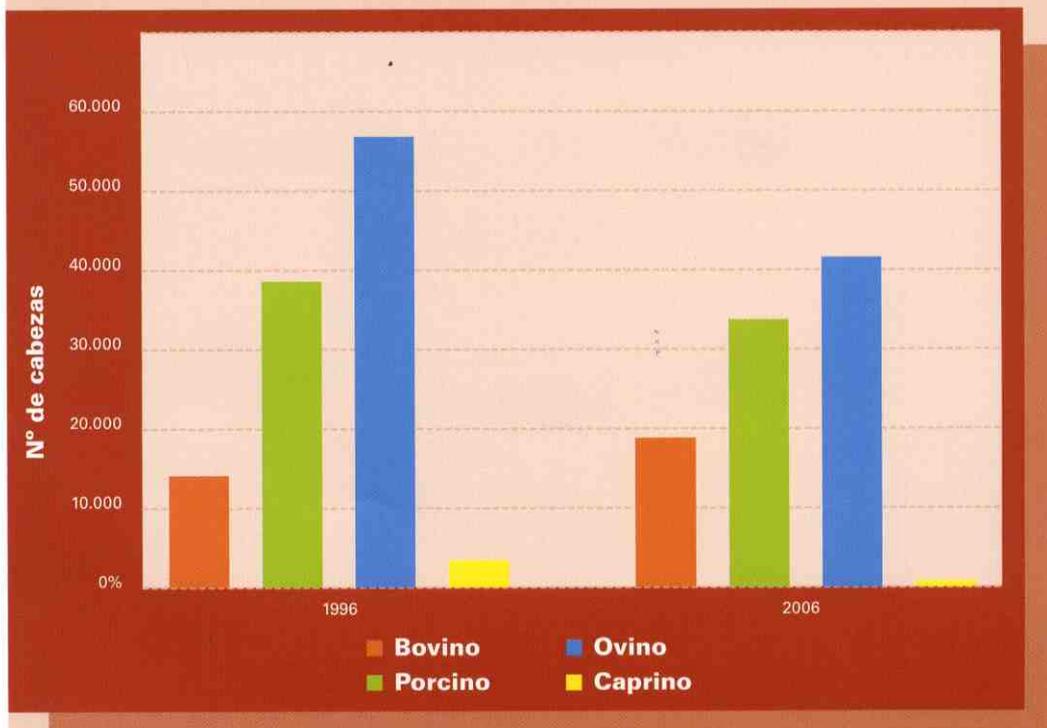


Figura 9. Evolución de la cabaña ganadera de los municipios de Cardena y Montoro entre 1996 y 2006

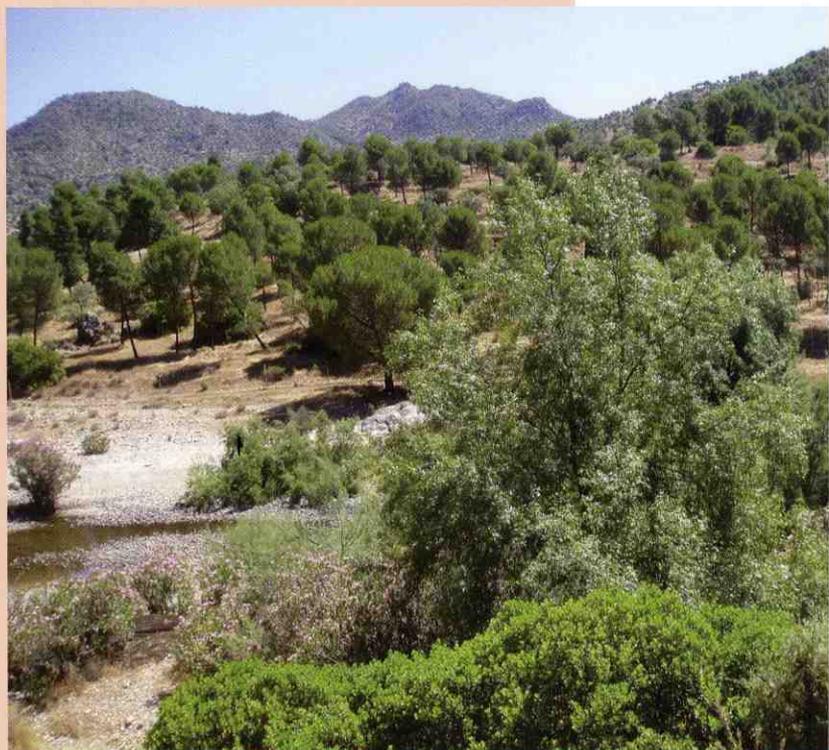


gético de caza mayor, por lo que existe una presión, por herbívoros, sobre la vegetación riparia, especialmente sobre el nuevo regenerado.

En los últimos tiempos se ha producido un descenso de la cabaña ganadera, así como una disminución de la presencia de pastores. Es por ello que se van reduciendo las cabañas de ovino y caprino, mientras que aumenta el bovino, que se adapta bien al pastoreo en condiciones de semilibertad.

Actualmente, la explotación de las dehesas se realiza en forma de pastoreo en semilibertad, donde los animales (ganado y ciervos) pastan en recintos delimitados por un vallado. Además de este nuevo sistema de gestión pastoral se han desechado muchas prácticas de aprovechamiento, como el trasmochó y el carboneo.

Una peculiaridad de la propiedad es que la mayoría de las fincas tienen el río como límite y se encuentran valladas para controlar a los animales. Esta característica hace que la ribera en la mayoría de su recorrido





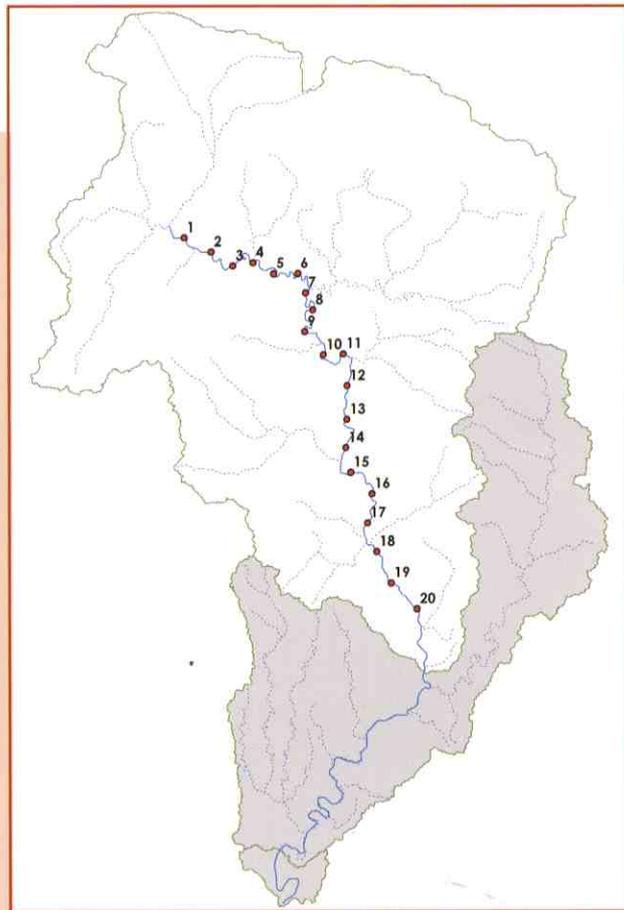
tuidas por las siguientes formaciones vegetales: saucedas, alisedas, fresnedas y tamujares.

Se han realizado prospecciones de campo cada 2 km del cauce para inventariar de visu la vegetación indicadora de los pisos bioclimáticos, determinándose que en los tramos más altos del río predomina una faciación típica mesomediterránea y en los tramos medios-bajos la faciación termomediterránea en la que se encuentra la adelfa (*Nerium oleander*) como elemento diferenciador característico.

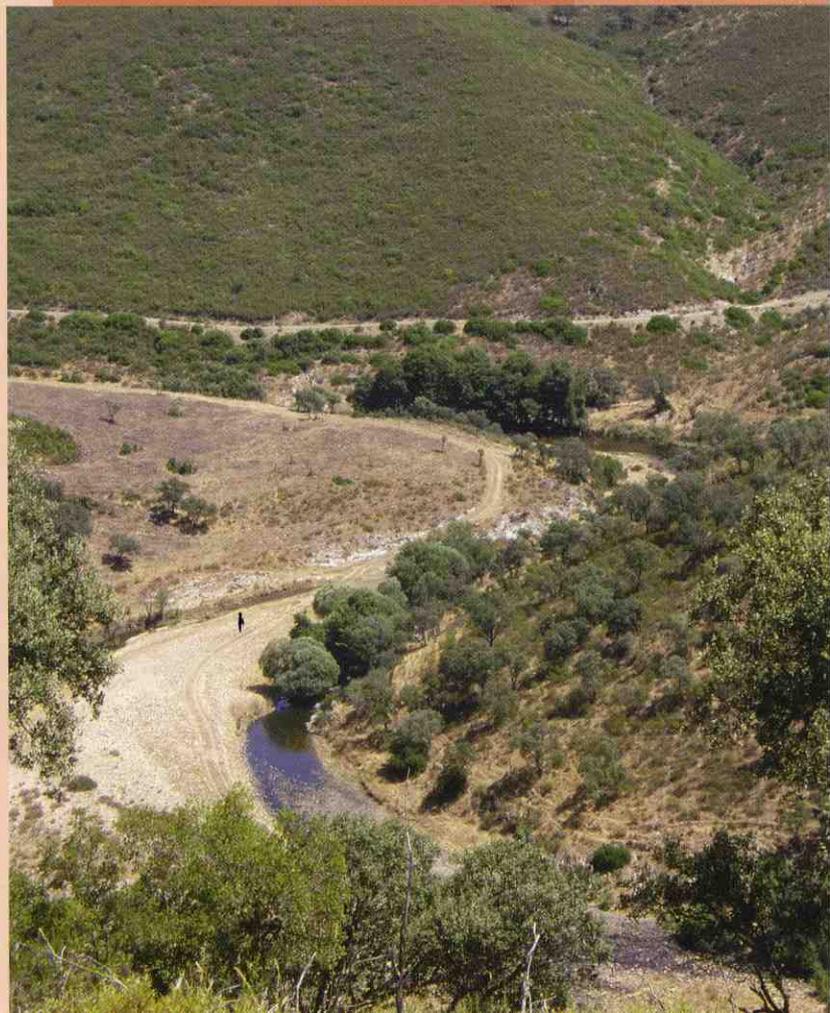
La comunidad arbórea de la faciación típica mesomediterránea se encuentra representada por el aliso (*Alnus glutinosa*), y como especie arbórea característica de la faciación termomediterránea tenemos el fresno (*Fraxinus angustifolia*).

Se ha comprobado que las comunidades de alisos presentes en los tramos altos se dan en bosquetes alrededor de pozas que aseguran el aporte hídrico estival, mientras que las comunidades de fresnos tienen una distribución más lineal a lo largo del cauce.

Así mismo, en el reconocimiento de las especies de la ribera se ha detectado la existencia de estramonio (*Datura stramonium* L.), especie alóctona que se desarrolla en los bancos de arena, y de taraje (*Tamarix sp.*), especie autóctona que no corresponde a la geoserie EH7.



**Figura 10.** Localización de los puntos de muestreo





**Figura 11.** *Datura stramonium* L. sobre banco de arena



**Figura 12.** *Tamarix* sp. Ejemplares adultos y regenerado





# Análisis de las especies arbóreas



# 1.3

# Análisis de las especies arbóreas

## 1.3 Análisis de las especies arbóreas

## 1.3 Análisis de las especies arbóreas

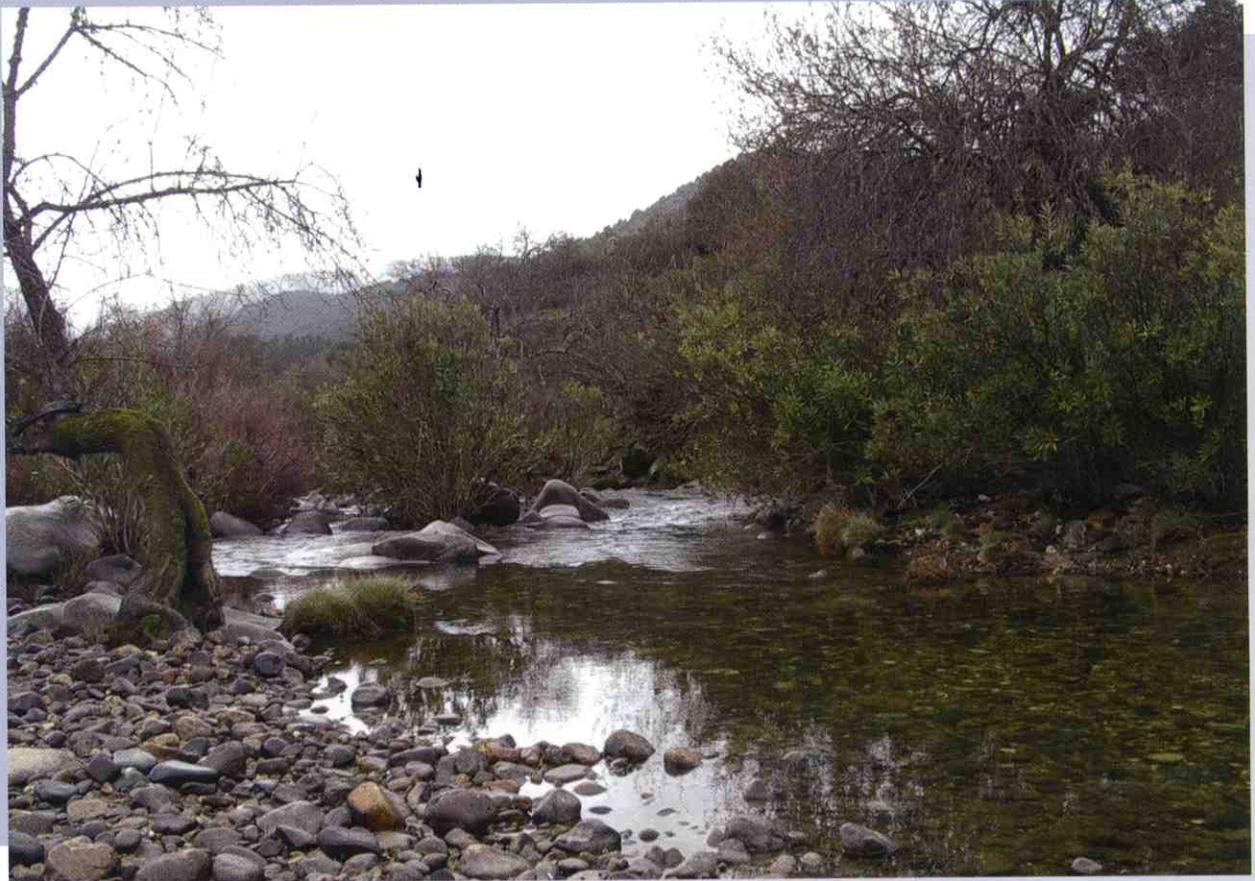
El río Yeguas presenta régimen hidráulico rápido. Esta característica del río condiciona la distribución de las especies de la ribera, pero no limita el desarrollo de comunidades arbóreas, salvo en los tramos fluviales muy encajados y con una fina capa de manto aluvial depositado sobre el material lítico.

La comunidad arbórea de ribera en el río Yeguas se encuentra representada por dos especies: aliso y fresno.

El aliso precisa agua abundante y asegurada durante todo el año climatológico. Su sistema radicular se desarrolla en zonas donde el nivel freático es superficial y sin grandes oscilaciones. Prefiere suelos sueltos y fértiles, con abundancia de limos y humedad permanente.

El fresno se establece en zonas que son inundadas esporádicamente y con nivel freático fluctuante. Su desarrollo

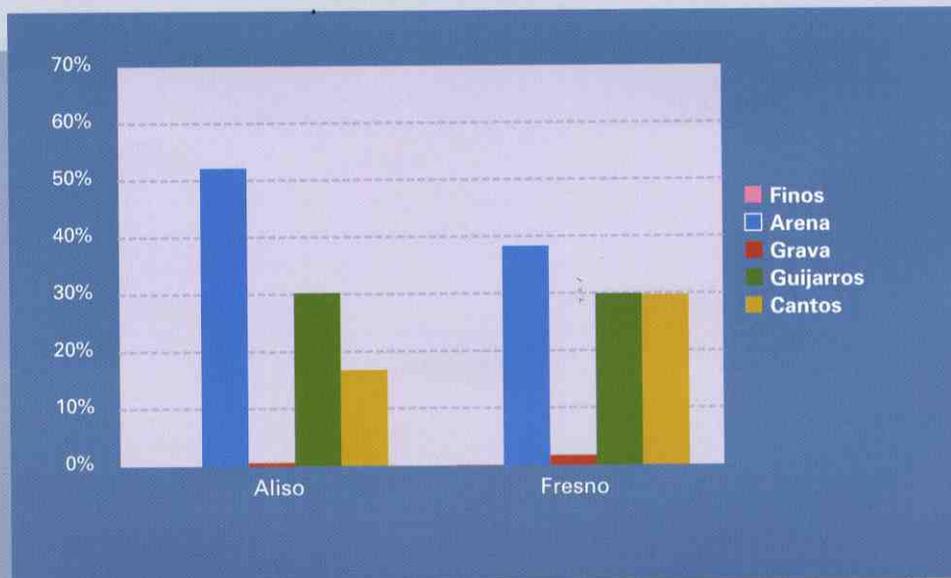




es mayor cuando vegeta sobre sustratos arenosos.

El sustrato aluvial de grava por su escasa movilidad proporciona estabilidad a la

morfología fluvial, produciéndose los cambios geomorfológicos a nivel local. Esta mayor granulometría del sustrato no es un condicionante para el desarrollo de las especies arbóreas de la ribera.



**Figura 13.** Distribución de las especies en función del sustrato



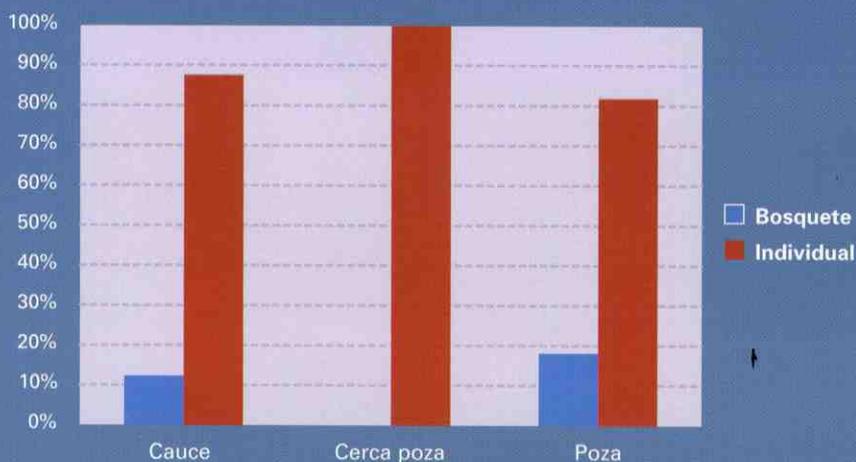
**Figura 14.** Densidad de pies en función de la ubicación

La ribera del río Yeguas se desarrolla sobre material aluvial silíceo, pobre en nutrientes. Aunque el factor determinante para condicionar las características de la ribera es la existencia de sequía estival, donde el único caudal que transita es el subsuperficial.

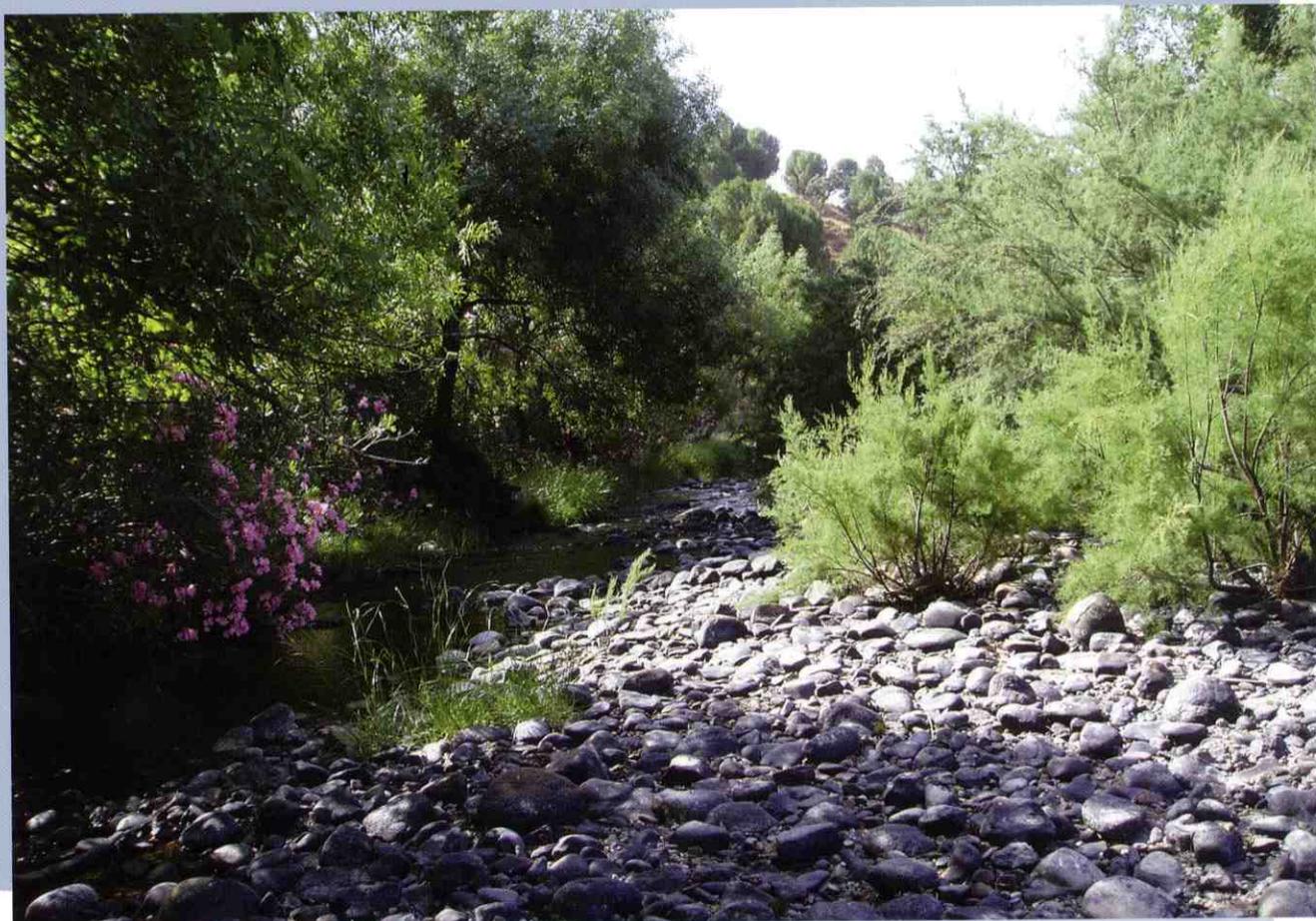
La influencia de las limitaciones hídricas durante el periodo estival se puede apreciar en el río Yeguas, donde las

zonas con el freático en superficie (pozas), tiene el doble de densidad de pies arbóreos (aliso y fresno) que las zonas donde el freático se encuentra en profundidad.

En los ríos permanentes del mediterráneo las riberas se denominan bosques en galería porque forman una masa densa y con continuidad lineal. Este ecosistema es posible por la abun-

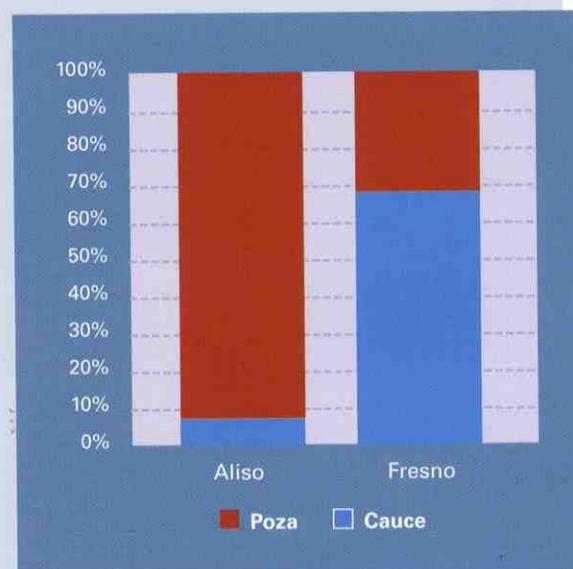


**Figura 15.** Tipo de formación según la ubicación



dancia de recursos hídricos, pero en los ríos temporales las aportaciones hídricas durante el periodo estival no permiten el establecimiento de masas densas. En el río Yeguas sólo el 12% de los árboles se presentan en forma de bosquetes (agrupaciones de arbolado que forman un dosel continuo similar a los bosques galería). Estas formaciones son independientes de la presencia de agua superficial durante el verano, aunque existe una zonificación de las especies porque los bosquetes de alisos se especializan en las pozas y los de fresno en los cauces.

La distribución de las especies de ribera en los ríos permanentes se efectúa en la sección transversal a tenor de las necesidades hídricas,

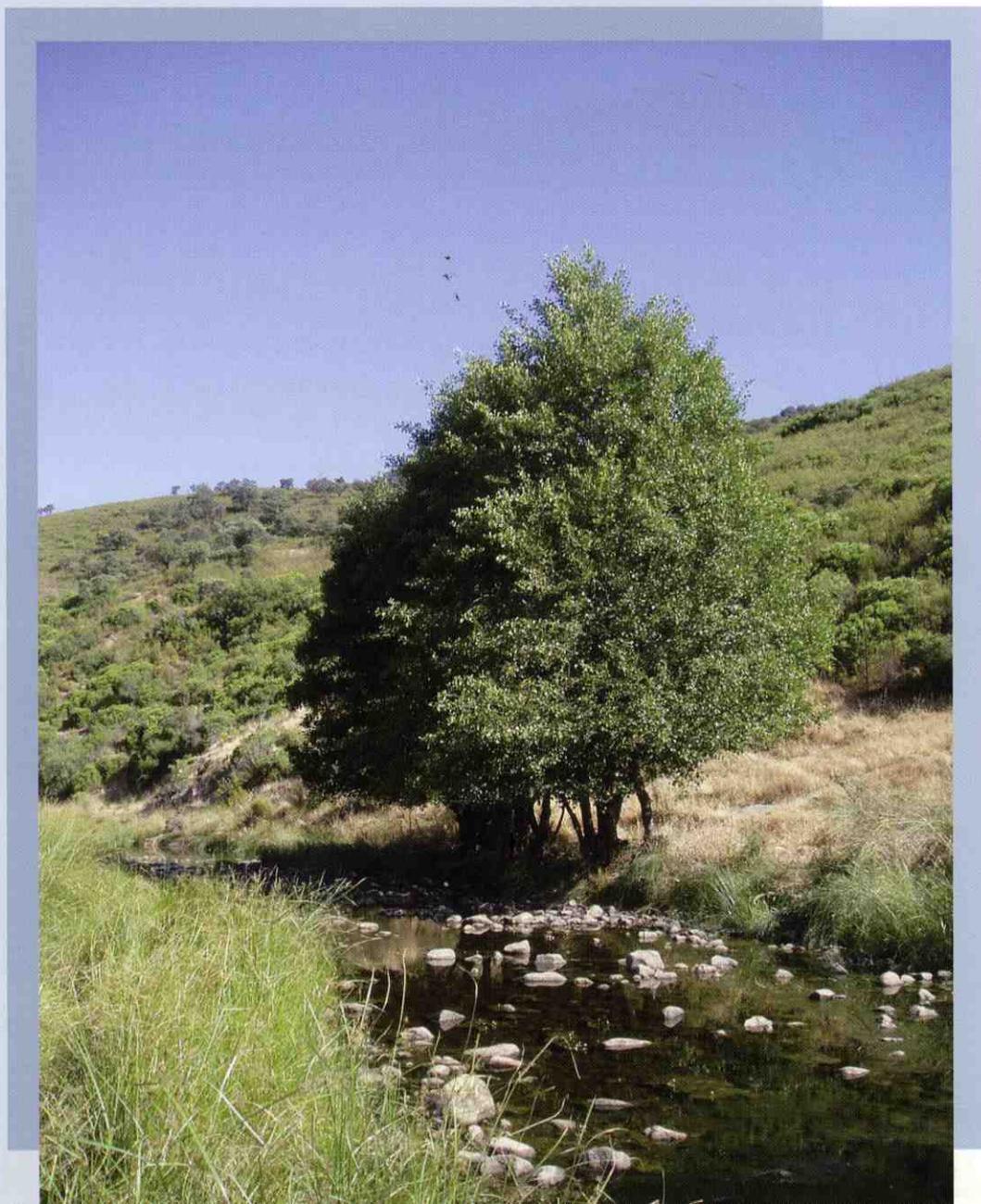


**Figura 16.** Distribución de los bosquetes según la ubicación

ubicándose más cerca del cauce las especies que necesitan mayores requerimientos hídricos. Esta zonificación transversal apenas existe en los ríos temporales de montaña. Por el contrario, sí se aprecia una zonificación de las especies en el sentido longitudinal del río. La razón de esta distribución la tenemos que buscar en la profundidad del freático durante el periodo de sequía. En estos ríos el flujo subsuperficial circula a través

del manto aluvial (material granular) que se encuentra depositado sobre una excavación en forma de "U" o "V" del terreno de la cuenca (roca madre silíceo). La relación entre estos dos materiales determinará la profundidad del freático y consecuentemente la disponibilidad del agua para la vegetación.

La profundidad del freático varía según la época del año. En la época



germinación o esquejado el nivel del freático debe estar en superficie. Y el descenso estival debe ser escaso y lento para garantizar que las raíces alcanzan el nivel freático durante el verano y por lo tanto la supervivencia de las plantas.

En el perfil transversal del río alejarse del cauce supone perder la conexión con el agua, al menos durante el periodo crítico (verano), porque desaparece el sustrato aluvial o aumenta la profundidad del freático. Explica este hecho con claridad la distribución de las especies en las curvas como puede verse en la figura 18. La vegetación se concentra en el margen exterior, a pesar de ser la que sufre la máxima erosión.

Esto es debido a que la práctica totalidad del flujo hiporreico circula por la zona externa de la curva, mientras que en la zona interna aumenta la profundidad del freático al conjugar un descenso del nivel con un incremento de la altura del manto aluvial por ser zona de sedimentación.

En el perfil longitudinal de un tramo de río la profundidad del freático depende de la relación entre el perfil del terreno y el manto aluvial, pudiendo estar a cualquier profundidad en verano: inalcanzable para el sistema radical, cercano (tramos sin agua en superficie pero con especies muy exigentes en agua) o en superficie (pozas y tramos intermitentes).





Los Puntos con Humedad Estival (PHE) son las zonas donde el agua permanece en superficie o en el estrato subsuperficial inmediato a lecho del cauce. A simple vista sólo se pueden identificar los PHE superficiales, salvo que exista vegetación que sirva de bioindicador.

Estas zonas aseguran el aporte hídrico a la vegetación de ribera. La cuantía y características de los PHE determinan las especies, densidad, grado de cobertura y continuidad de esta vegetación.

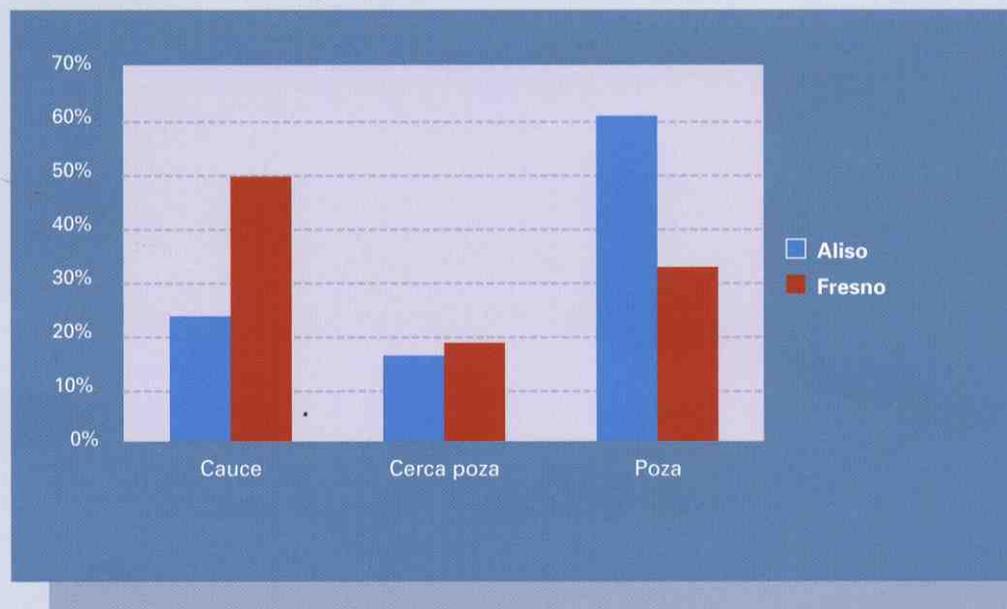
Las características más destacables de los PHE son el mantenimiento de un nivel constante del freático durante todo el verano y la existencia de un sustrato apto para el desarrollo radicular. Un claro ejemplo de lo que no es PHE son las pozas que presentan un descenso acusado del freático y los tramos fluviales de carácter lítico porque no existe vegetación riparia en ellos, a pesar de presentar agua superficial durante el verano.

Analizando la distribución de las especies de la ribera se puede observar su

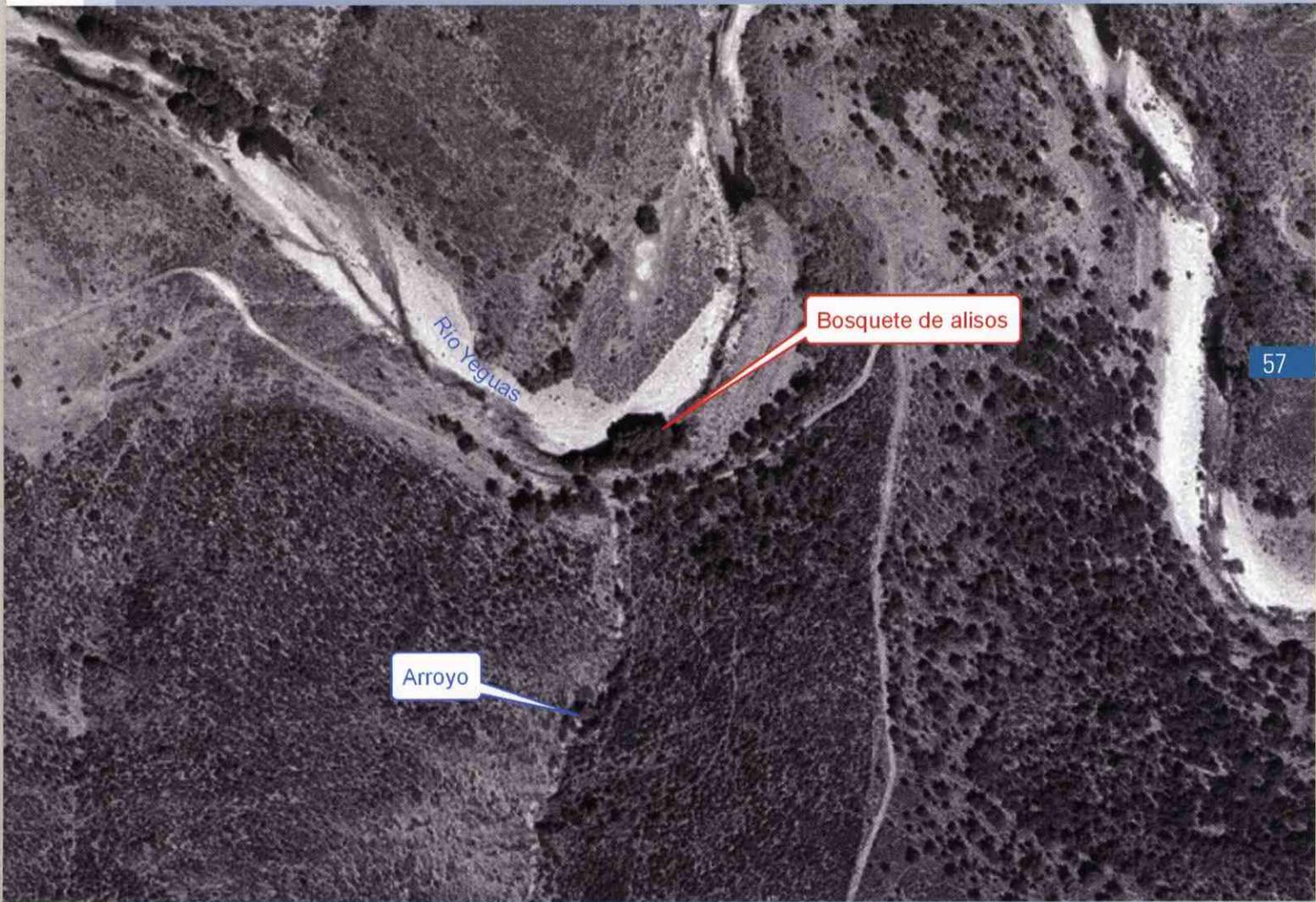
preferencia por colonizar diferentes espacios. El aliso coloniza las inmediaciones de las pozas, mientras que el fresno encuentra su óptimo en espacios donde el flujo subsuperficial se encuentra en profundidad. No obstante, esta dinámica no se puede explicar sin tener en cuenta la variación de la profundidad del freático en el perfil longitudinal del río, pues el 40% de la población de alisos del río Yeguas no está ligado al afloramiento del agua subsuperficial. Incluso el porcentaje de alisos en tramos con el cauce seco es superior a los espacios cercanos a las

pozas, donde se da por sentado que el freático está cercano a la superficie.

En ocasiones los alisos se encuentran emplazados en puntos de confluencia con arroyos. Esta situación se explica porque al tener un aporte directo de algún arroyo, aumenta tanto la cuantía del aluvial como la de los caudales, mejorando así la capacidad de acogida para el aliso.



**Figura 17.** Porcentaje de distribución según la zona hídricas



**Figura 18.** Confluencia de un arroyo con el río Yeguas donde se ha formado un bosque de alisos



# Tipificación de la ribera



1.4

# Tipificación de la ribera

## 1.4 Tipificación de la ribera

# 1.4 Tipificación de la ribera

Para caracterizar la ribera del río Yeguas se ha realizado un análisis por fotointerpretación sobre la ortofotografía digital de Andalucía de 2001, escala 1:5.000. Se han determinado las características de la ribera en función del grado de cobertura de la vegetación, tipo de sustrato y régimen hídrico.

El análisis se ha realizado en los 11 tramos superiores del río Yeguas. En este trabajo se han identificado cuatro tipos de ribera: A, B, C y D. En la tabla adjunta se describen las características de cada uno, pudiéndose observar que el régimen hidráulico es homogéneo en todo el trazado del río.

logía, para su caracterización en un trabajo de campo posterior.

Tipo	A	B	C	D	Total
Nº puntos	7	7	34	22	70

El muestreo de campo se realizó en una fracción del tramo fluvial de aproximadamente 1 km de longitud. La anchura era variable, de modo que cubriera la totalidad del cauce y parte de las laderas colindantes.

La zona de muestreo se caracterizó por la geomorfología y la vegetación, reali-

Tipología	Pozas	Sustrato	Régimen hidráulico	Vegetación	Tramo fluvial
Tipo A	NO	Lítico	Rápido	NO	2
Tipo B	Dispersas	Aluvial	Rápido	Incipiente	1
Tipo C	Abundantes	Mixto (lítico-aluvial)	Rápido	Media	2
		Lítico			2
Tipo D	Abundantes	Aluvial	Rápido	Alta	3
			Torrencial		1

**Tabla 7.** Tipología de los tramos fluviales

Una vez realizada la tipificación del río, se identificaron, por fotointerpretación, 70 puntos de interés para el estudio. Los criterios de selección fueron: singularidad del trazado, representatividad de la tipología y accesibilidad en vehículo. Del conjunto de puntos se seleccionaron cuatro, uno de cada tipo-

zándose un mínimo de dos muestreos de la distribución de la vegetación en el perfil transversal.

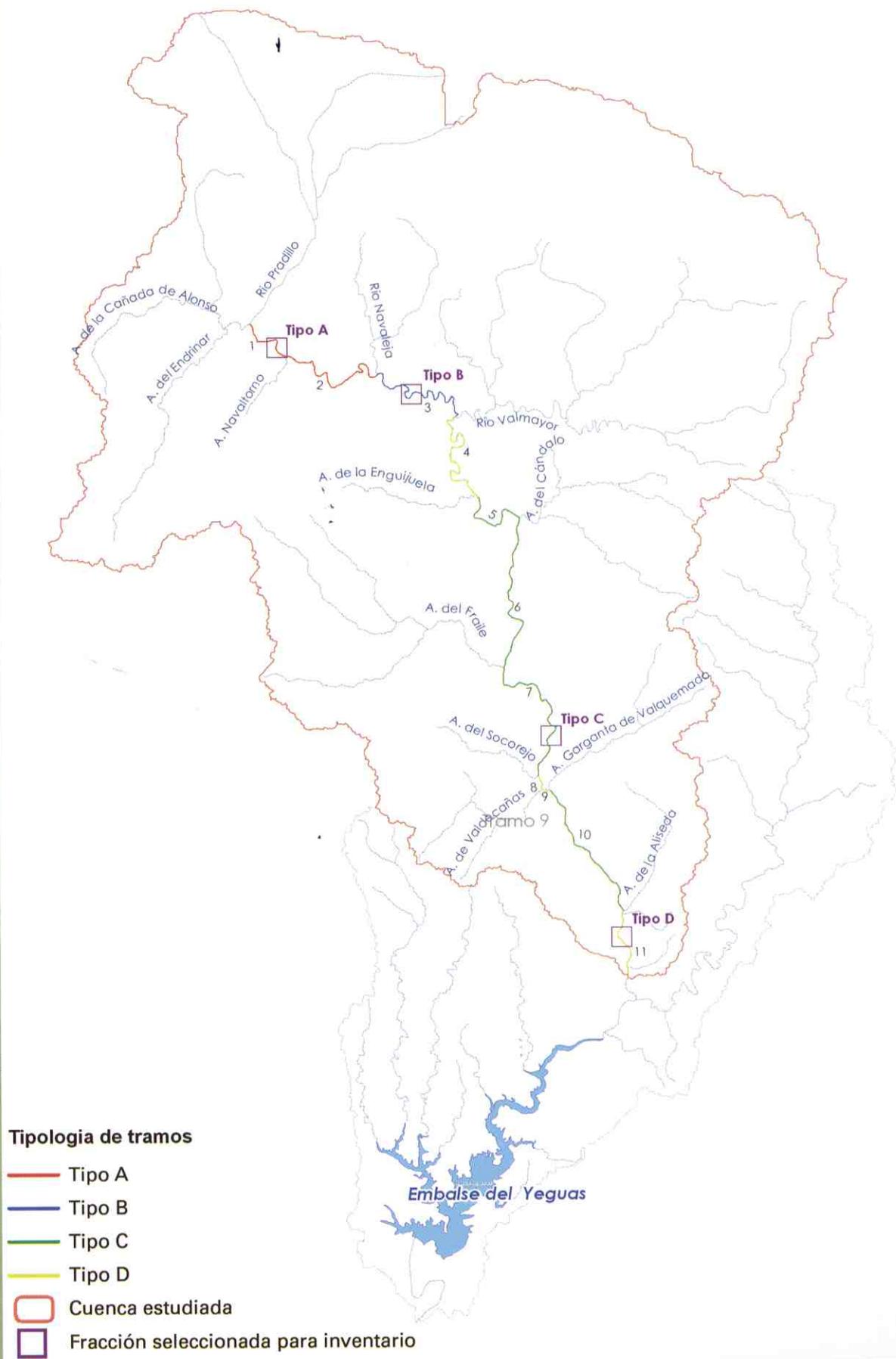


Figura 19. Tipología de los tramos fluviales

## 1.4.1 Tipología A

### Localizado en el tramo hidrológico 1

<b>Reg. Hídrico</b>	Flujo superficial en verano por afloramiento del flujo subsuperficial.
<b>Reg. Hidráulico</b>	Rápido (pendiente 1.43 %).
<b>Sustrato</b>	Sustrato aluvial de grava formado por cantos y gravas con materiales de pequeña granulometría (arena y finos).
<b>Uso colindante</b>	Ganadería extensiva. El ganado utiliza el río como zona de pastoreo y abrevadero.
<b>Vallado</b>	Malla ganadera en ambas márgenes pero existe acceso al río.
<b>Vegetación</b>	Escasa cobertura arbórea (6 pies/km). Pies dispersos de aliso y fresno. Los pocos pies jóvenes existentes crecen bajo setos de zarzas. Abundan las praderas de herbáceas.
<b>Vegetación-Geomorfología:</b>	No hay arbolado o es escaso, a pesar de que existe agua y el sustrato es bastante bueno. No existen especies riparias en el banco de sedimento del lado interno de la curva (el freático está muy profundo en esta zona).

**Tabla 8.** Características del tramo tipo A estudiado



### VEGETACIÓN - GEOMORFOLOGÍA. Tipo A

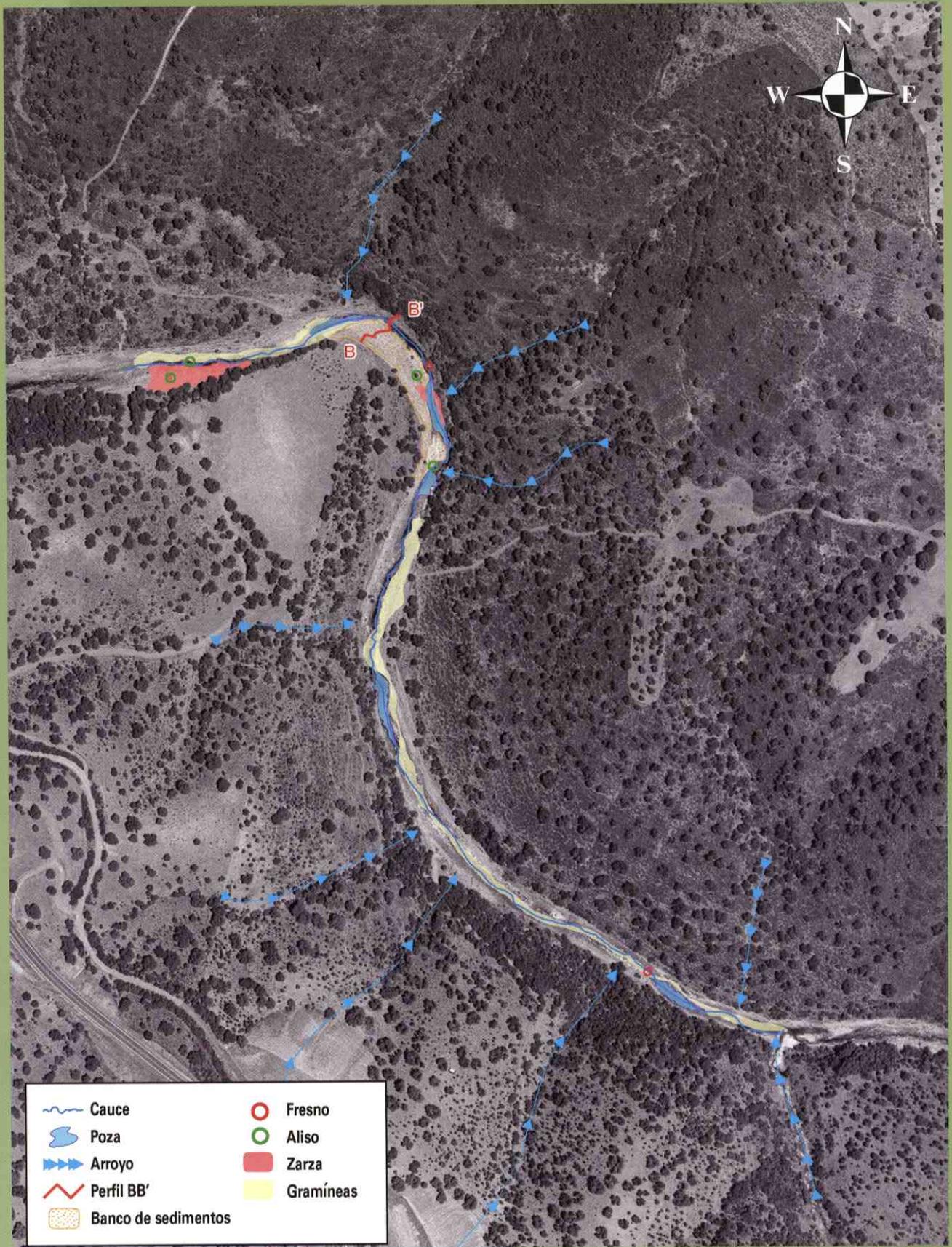


Figura 20. Tramo tipo A estudiado. Planta

Perfil transversal



TRAMO A PERFIL B-B'

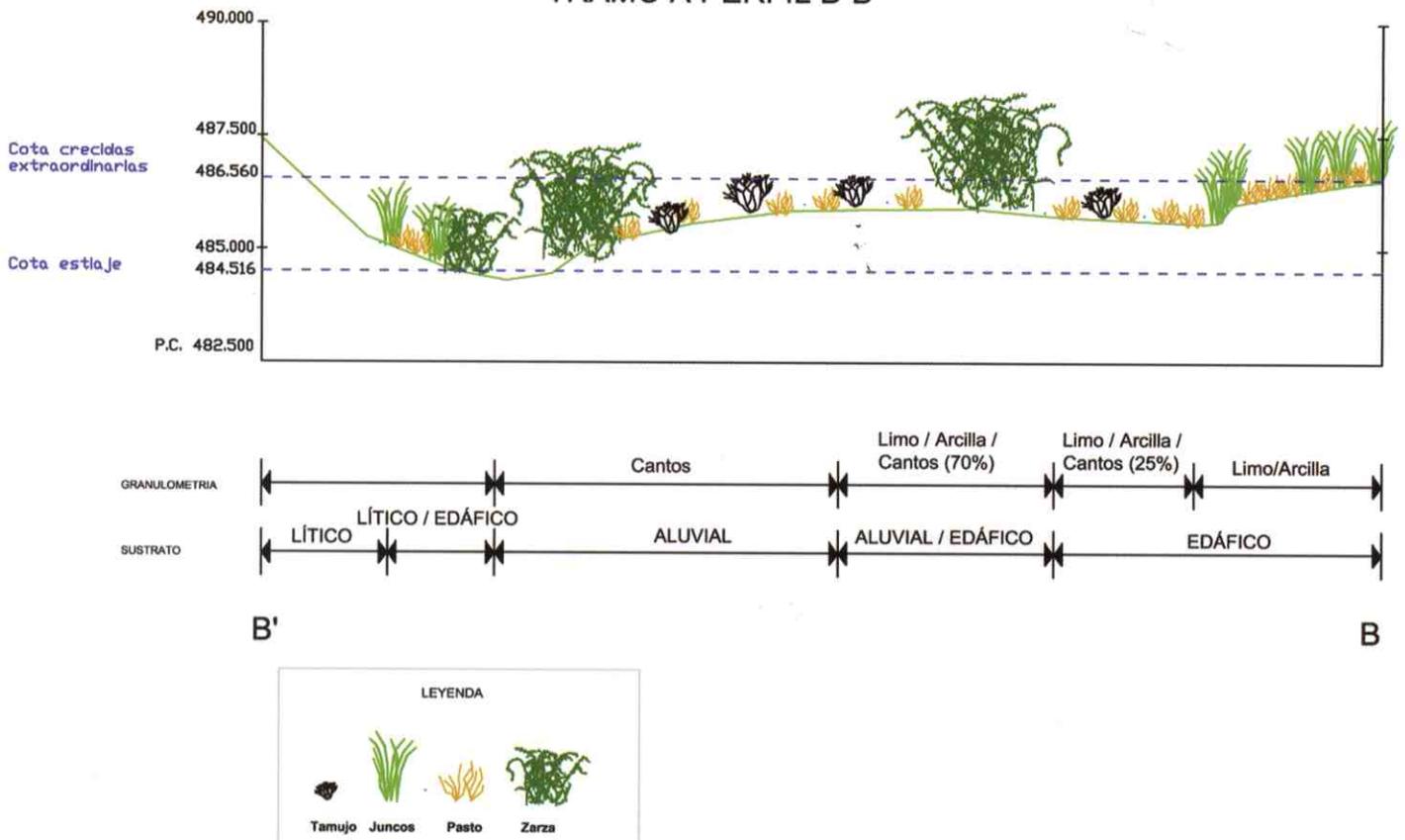


Figura 21. Tramo tipo A estudiado. Perfil transversal B-B'

## 1.4.2 Tipología B

### Localizado en el tramo hidrológico 3

<b>Reg. Hídrico</b>	Pozas dispersas.
<b>Reg. Hidráulico</b>	Rápido (pendiente 0.78%).
<b>Sustrato</b>	Sustrato aluvial de grava formado por cantos y grava. El lecho e incluso los bancos de sedimento están acorazados por lavado del material fino, arena.
<b>Uso colindante</b>	Uso principal ganadero y secundario cinegético. Hay un vado que puede haber modificado el trazado del cauce.
<b>Vallado</b>	Sólo un margen. El ganado utiliza el río como abrevadero y algo de pastoreo.
<b>Vegetación</b>	Poca cobertura arbórea (90 pies/km). Alisos en pozas y fresnos y tarajes en el cauce activo y madres viejas. Los nuevos pies están refugiados en las zarzas.
<b>Vegetación-Geomorfología</b>	Grupo de alisos muertos al perder la conexión con el freático debido a un cambio de trazado del río. En los bancos de sedimentos se desarrolla matorral mediterráneo al presentar sustrato de cantos y el freático muy profundo. Los fresnos y alisos se ubican en la parte externa de las curvas.

**Tabla 9.** Características del tramo tipo B estudiado



VEGETACIÓN - GEOMORFOLOGÍA. Tipo B

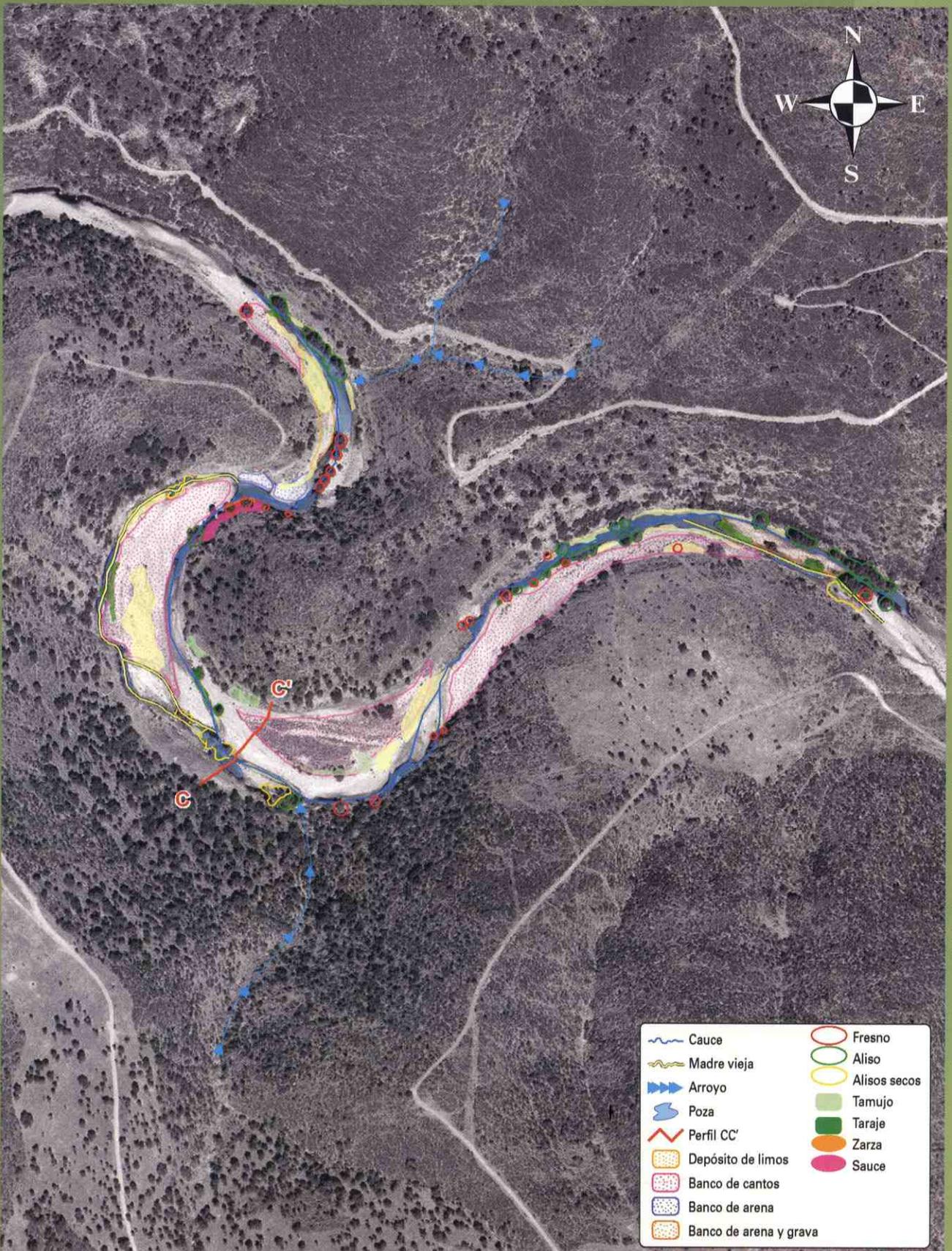


Figura 22. Tramo tipo B estudiado. Planta

Perfil transversal

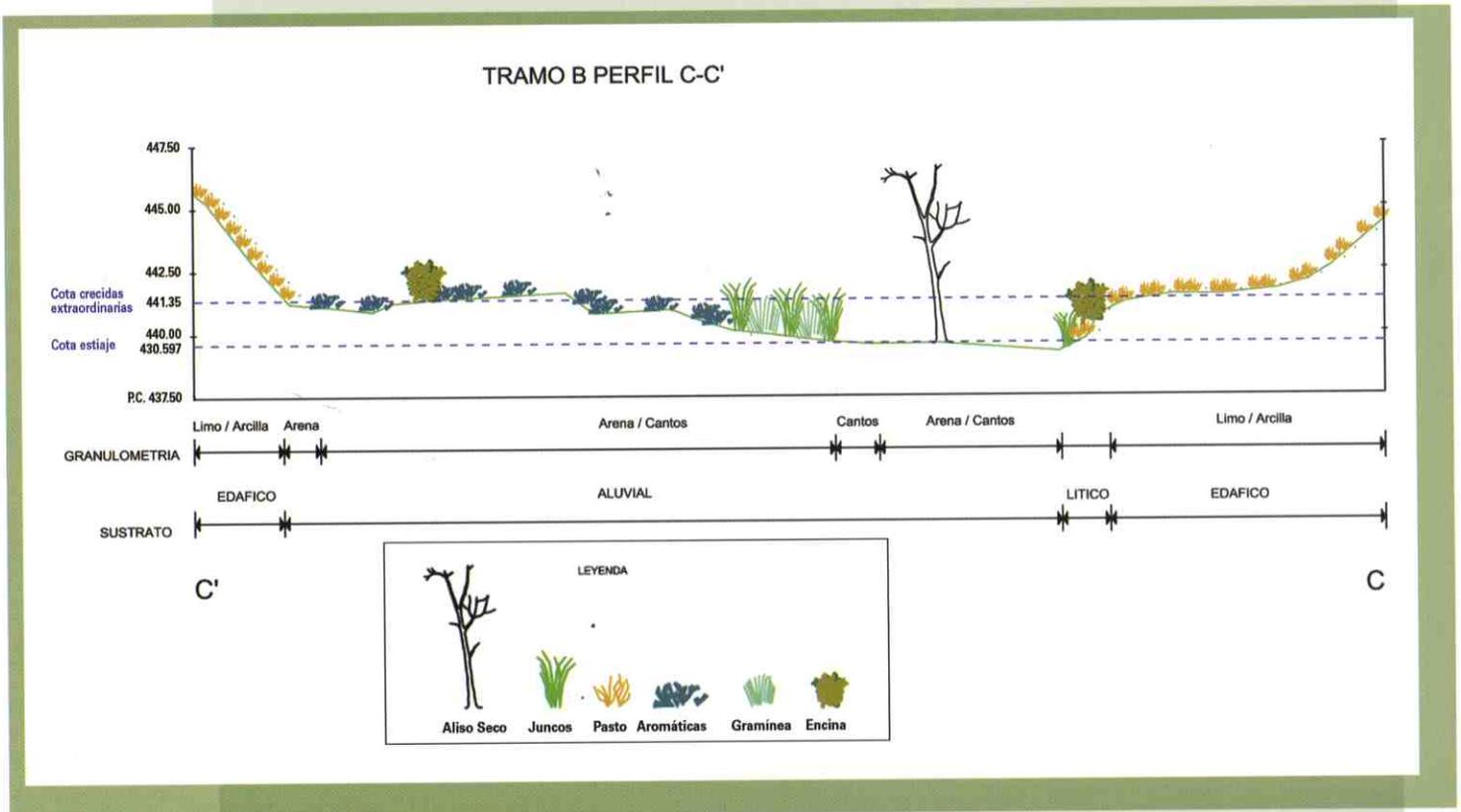


Figura 23. Tramo tipo B estudiado. Perfil transversal C-C'

### 1.4.3 Tipología C

#### Localizado en el tramo hidrológico 7

<b>Reg. Hídrico</b>	Pozas abundantes.
<b>Reg. Hidráulico</b>	Rápido (pendiente 0.76%).
<b>Sustrato</b>	Sustrato aluvial de grava, donde se distinguen tres tipos granulométricos por zonas: cantos, grava y arena. Esta última se localiza en las inmediaciones de las pozas.
<b>Uso colindante</b>	Finca pública sin uso ganadero.
<b>Vallado</b>	Sólo un margen.
<b>Vegetación</b>	Media cobertura arbórea (70 pies/km). Predominio de fresnos con tamujos, adelfas y tarajes.
<b>Vegetación-Geomorfología:</b>	Cauce activo y madre vieja: se desarrolla el fresno formando una alineación junto a la orilla del cauce. Rápidos con sustrato grueso (cantos): colonizado por adelfa y tamujo de forma dispersa. Tramos trenzados: se desarrolla taraje en las márgenes que en su conjunto crean un bosque de considerable dimensión.

**Tabla 10.** Características del tramo tipo C estudiado



VEGETACIÓN - GEOMORFOLOGÍA. Tipo C



Figura 24. Tramo tipo C estudiado. Planta

TRAMO C PERFIL B-B'

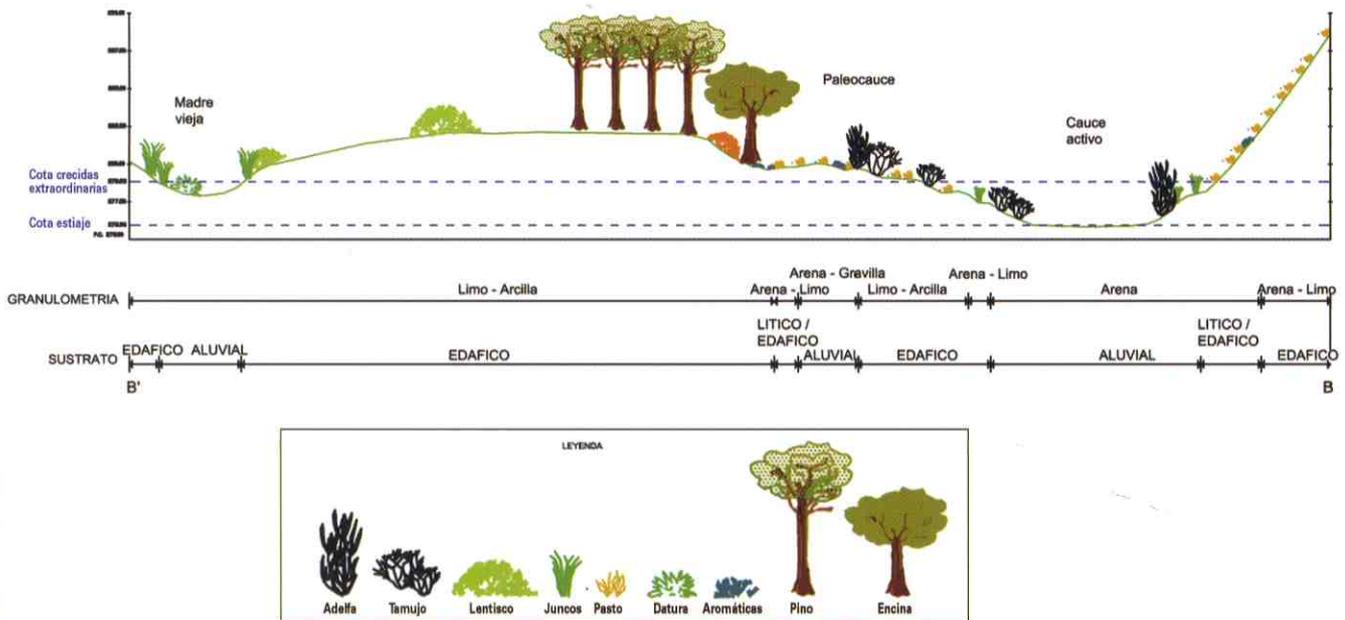


Figura 25. Tramo tipo C estudiado. Perfil transversal C-C'

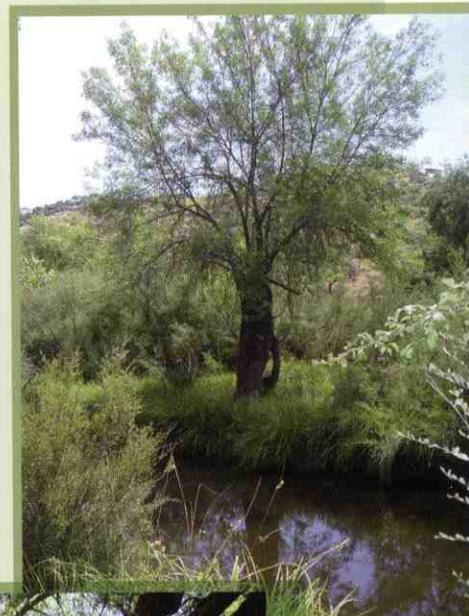
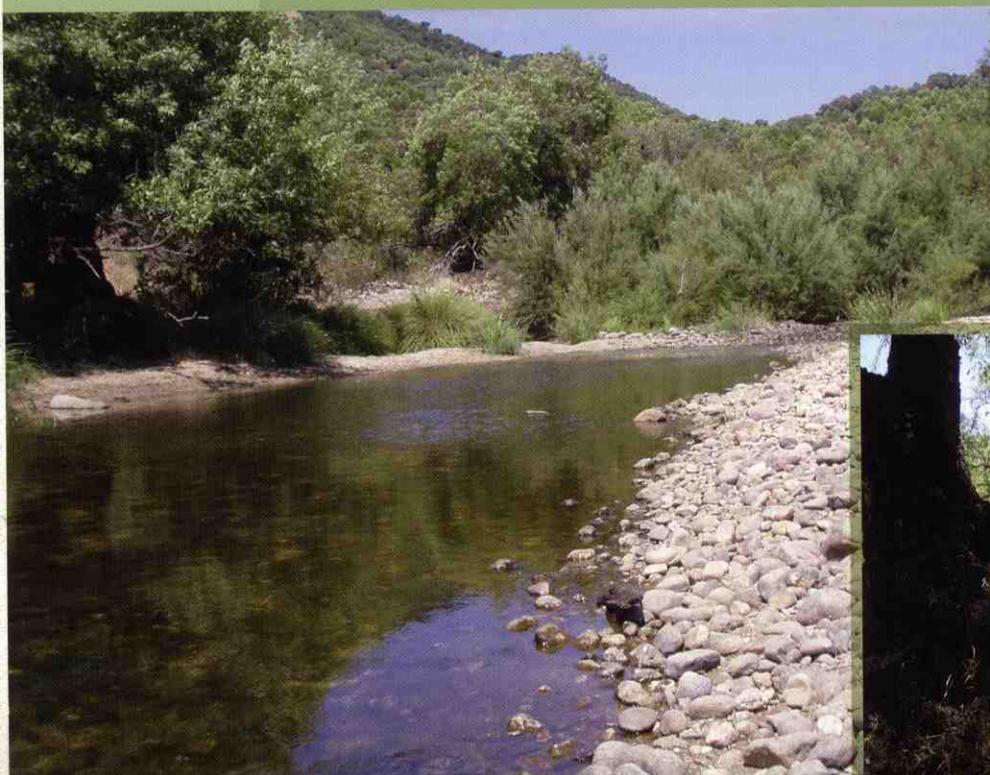
## 1.4.4 Tipología D

### Localizado en tramo hidrológico 11

<b>Reg. Hídrico</b>	Pozas abundantes.
<b>Reg. Hidráulico</b>	Rápido (pendiente 0.89%).
<b>Sustrato</b>	Sustrato aluvial de gravas, aunque los depósitos de arena son muy abundantes.
<b>Uso colindante</b>	Cinegético.
<b>Vallado</b>	Malla cinegética a ambos lados.
<b>Vegetación</b>	Alta cobertura arbórea (50 pies/km). Predominio de fresnos con tamujos, adelfas y tarajes.
<b>Vegetación-Geomorfología</b>	Cauce activo y madre vieja: se desarrolla el fresno formando una alineación junto a la orilla del cauce. Zona de rápidos con sustrato grueso (cantos): está colonizada de forma dispersa por adelfa y tamujo. Tramos trenzados: se desarrolla taraje en las márgenes. Banco de cantos: sólo hay herbáceas o tamujo. Terraza aluvial: colonizada por adelfa, desarrollándose el tamujo en el borde.

72

Tabla 11. Características del tramo tipo D estudiado



VEGETACIÓN - GEOMORFOLOGÍA. Tipo D

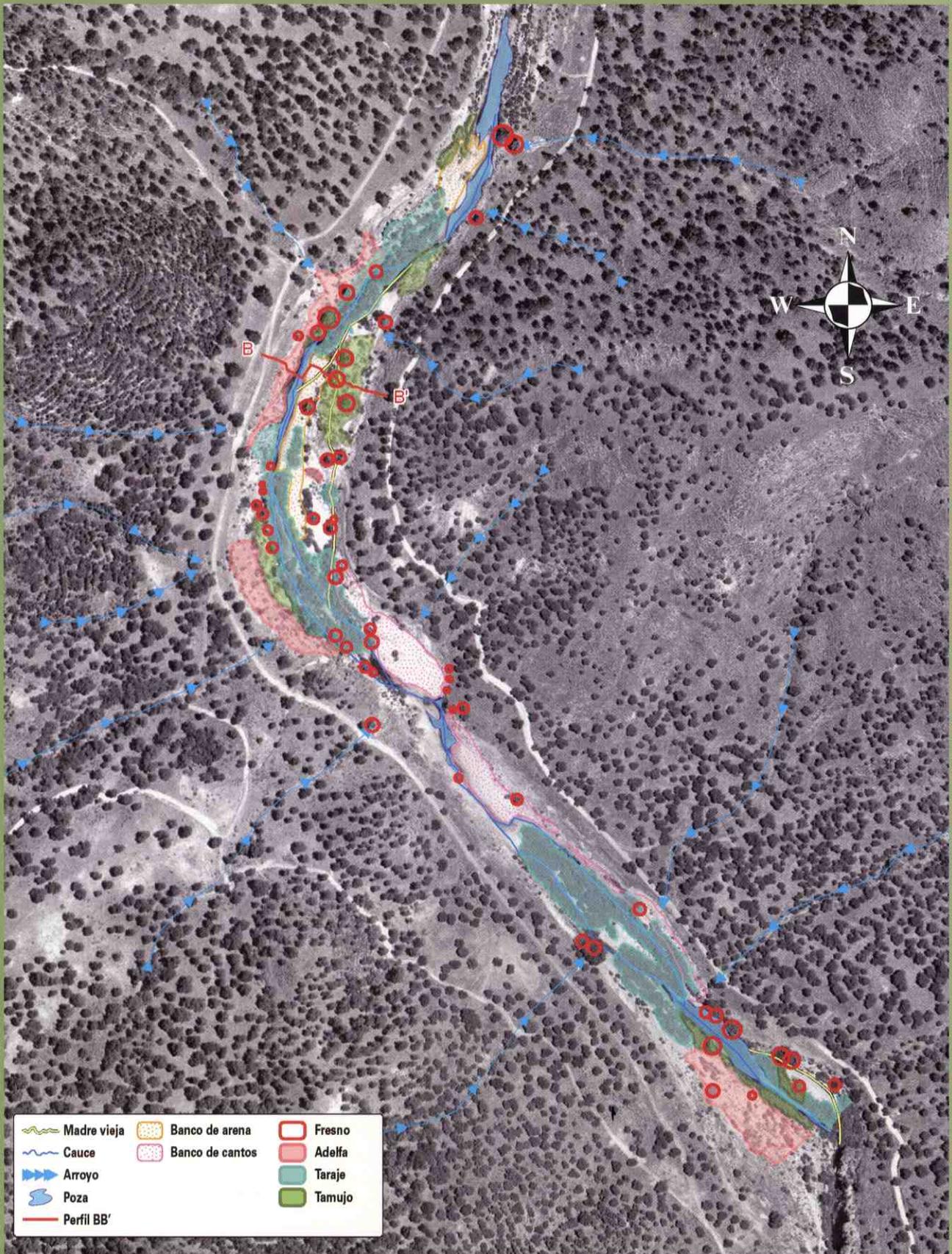


Figura 26. Tramo tipo D estudiado. Planta

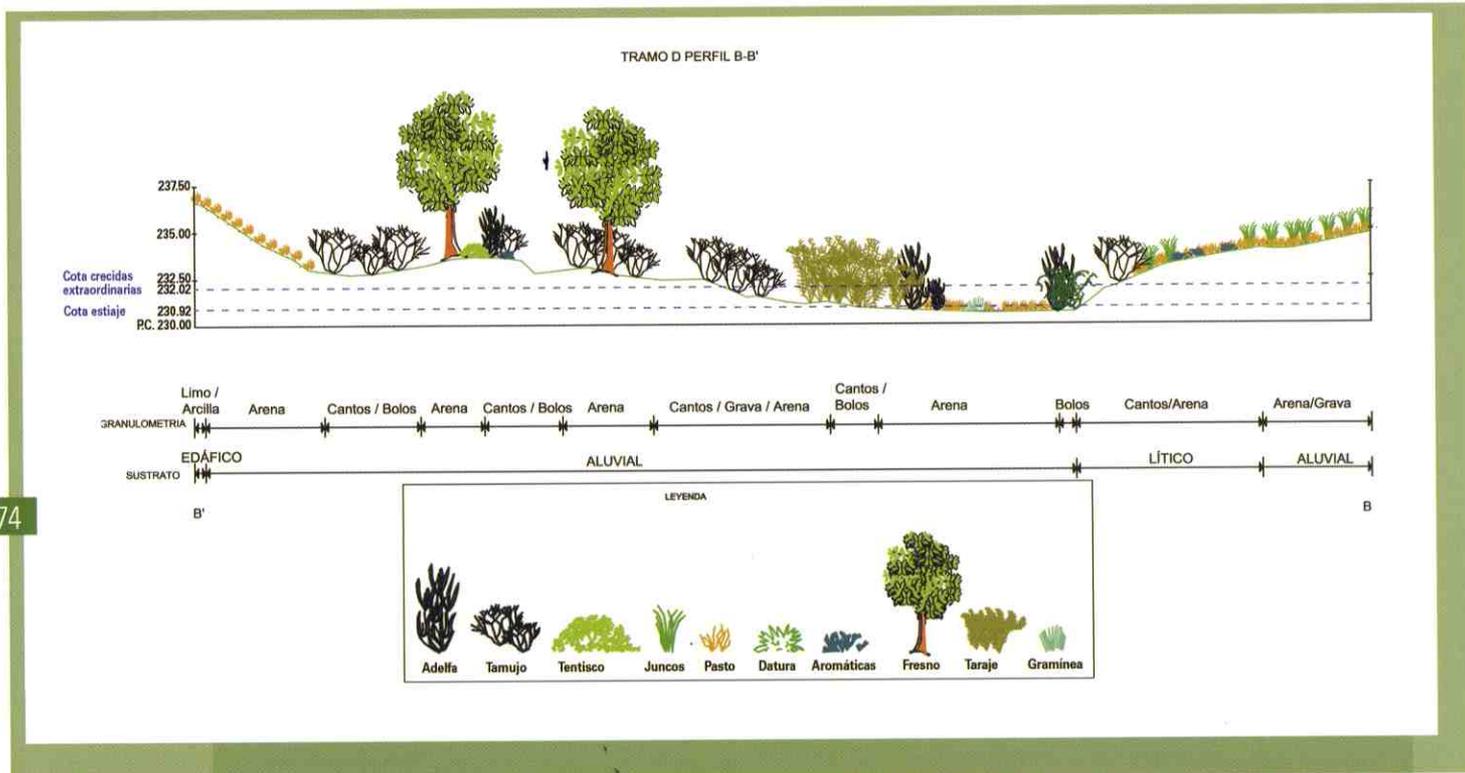


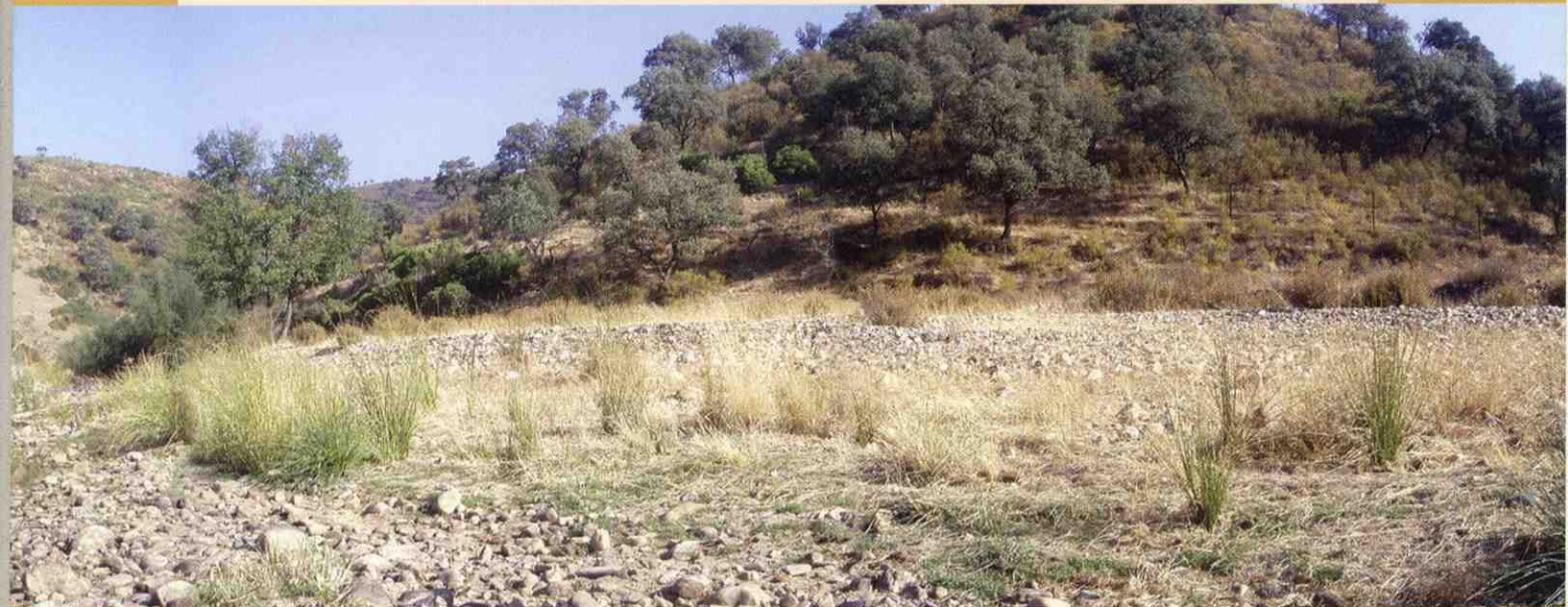
Figura 27. Tramo tipo D estudiado. Perfil transversal B-B'







# Vegetación de ribera y evolución hidrogeomorfológica



# 1.5

## 1.5 Vegetación de ribera y evolución hidrogeomorfológica

## 1.5 Vegetación de ribera y evolución hidrogeomorfológica

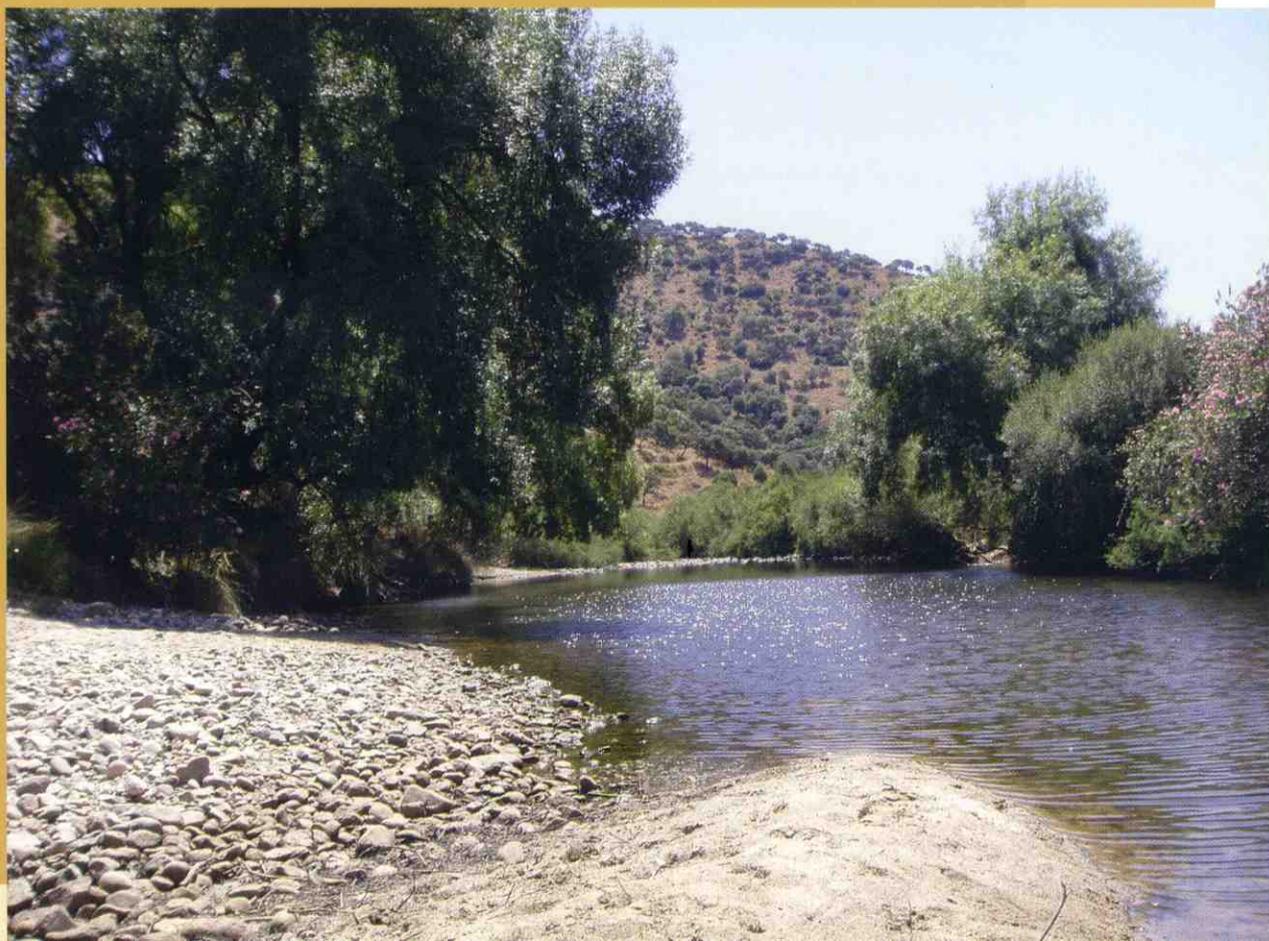
El río Yeguas presenta las máximas categorías de conservación, Estado Natural y Buena. Esta característica le puede avalar como modelo u objetivo en la conservación (Estado de Referencia) de los ríos de la media montaña mediterránea, concretamente del sector de Sierra Morena. Pero, si se analizan las fotografías aéreas del río y su cuenca se observa que se ha sufrido cambios notables en los últimos 50 años.

Comparando las fotografías aéreas de 1956 del "vuelo americano" con las del año 2001, realizado por la Junta de

Andalucía, se pueden observar cambios en la hidrogeomorfología fluvial y en la vegetación, tales como:

La geomorfología fluvial ha cambiado. En los años cincuenta el río tenía un trazado trenzado y en la actualidad es sinuoso y con abundantes pozas.

La cuenca del río siempre ha sido forestal, pero a mitad del siglo XX apenas existía cubierta leñosa (arbolado y matorral), mientras que en la actualidad presenta una buena cobertura leñosa.



Un progreso similar ha ocurrido con la vegetación de ribera. En la década de los años cincuenta la cobertura de la ribera era tan exigua que si se aplicara el índice ECRf (Estado de Conservación de la Ribera por fotointerpretación), sólo se obtendría puntuación por el estado del cauce. Por el contrario, en la actualidad obtendría la máxima puntuación.

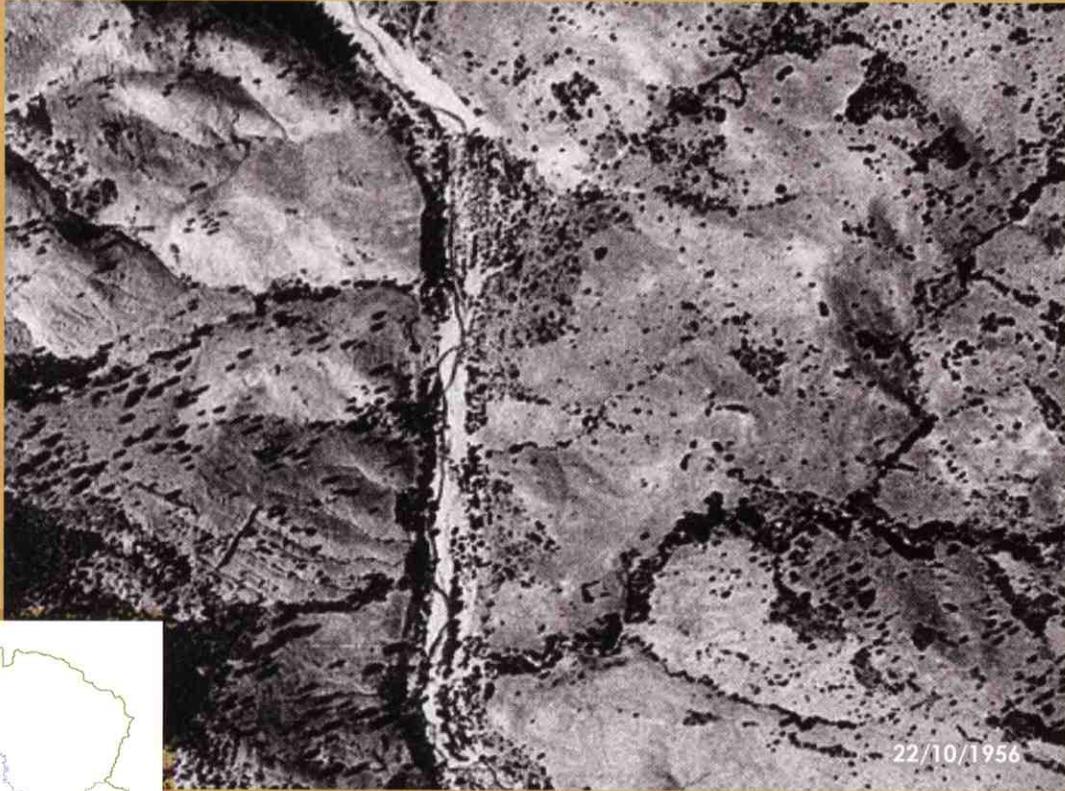
Observando las fotografías de 1956 y de 2001 se aprecia la dominancia del trazado trenzado en el río en 1956, mientras que en el año 2001 el trazado es sinuoso y con abundantes pozas. Igualmente, se observa una relación en los caudales inversa a lo esperado, porque en las fotografías actuales se aprecian caudales muy superiores a los de 1956, a pesar de que los primeros corresponden, en su mayoría, al periodo estival y los segundos al primaveral. No obstante, esta relación está afectada por la bondad climática del año meteorológico.

Tanto el cambio de trazado como el régimen de caudales son factores difíciles de cuantificar mediante fotointerpretación por lo que se ha estudiado el cambio hidrogeomorfológico a través de las pozas. El estudio determinó la evolución cronológica de la geomorfología del río por la evolución del número de pozas en el periodo comprendido entre 1956 y 2001. Concretamente, se estudiaron las fotografías aéreas de los años: 1956, 1977, 1984, 1991 y 2001. La

primera de la serie, 1956, y la última, 2001, están digitalizadas y georeferenciadas, mientras que el resto están disponibles en formato papel.

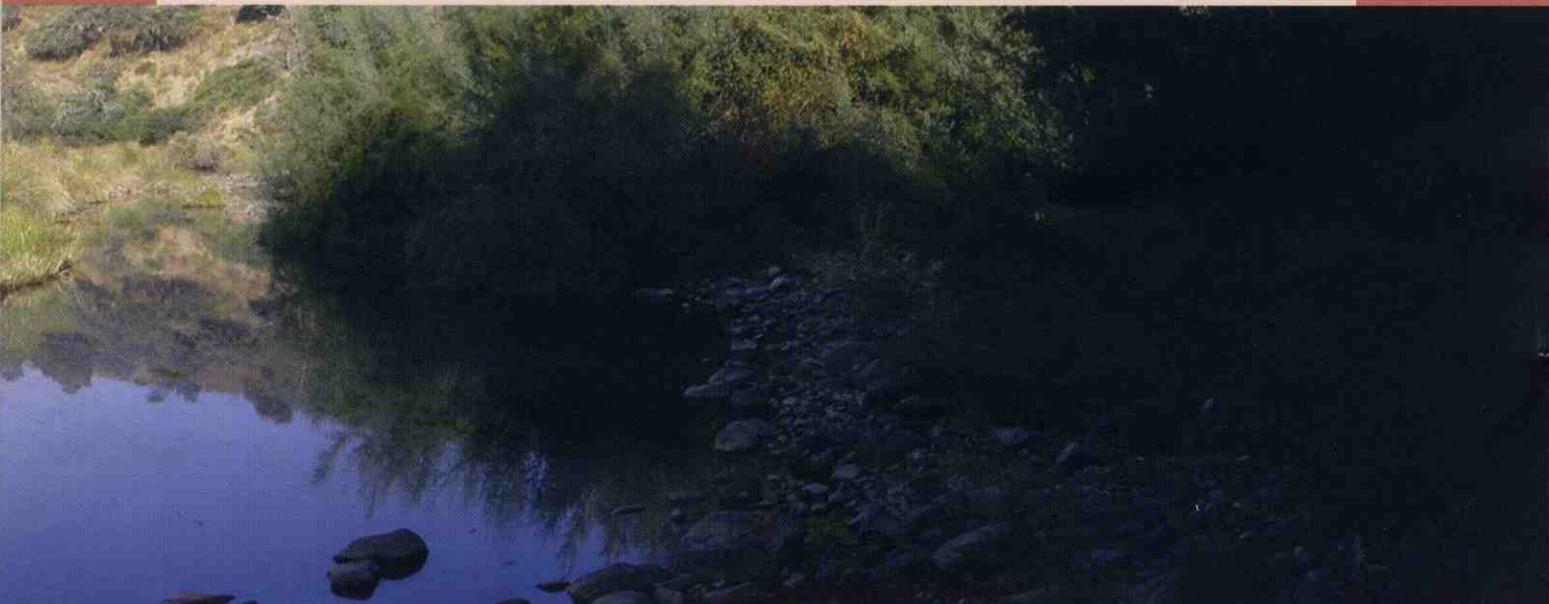
El estudio de la evolución de los usos en la cuenca del río Yeguas presentaba una limitación respecto a los datos disponibles. Las ortofotos digitalizadas y georeferenciadas disponibles de la cuenca no abarcan el sector de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, el 20% de la cuenca estudiada.

La evolución de la vegetación de ribera se ha estudiado a través de sus especies arbóreas (fresno, *Fraxinus angustifolia* - y aliso, *Alnus glutinosa* -). Para ello, se ha realizado un inventario pie a pie del arbolado, donde se ha recogido el perímetro, su localización en coordenadas y respecto a los puntos de agua superficial existentes en el periodo estival. Con estos datos se ha determinado la estructura de la población arbórea por edades y según la década de regeneración con la finalidad de estudiar las relaciones entre la población y la dinámica fluvial.





# Análisis de las perturbaciones



1.6

## 1.6 Análisis de las perturbaciones

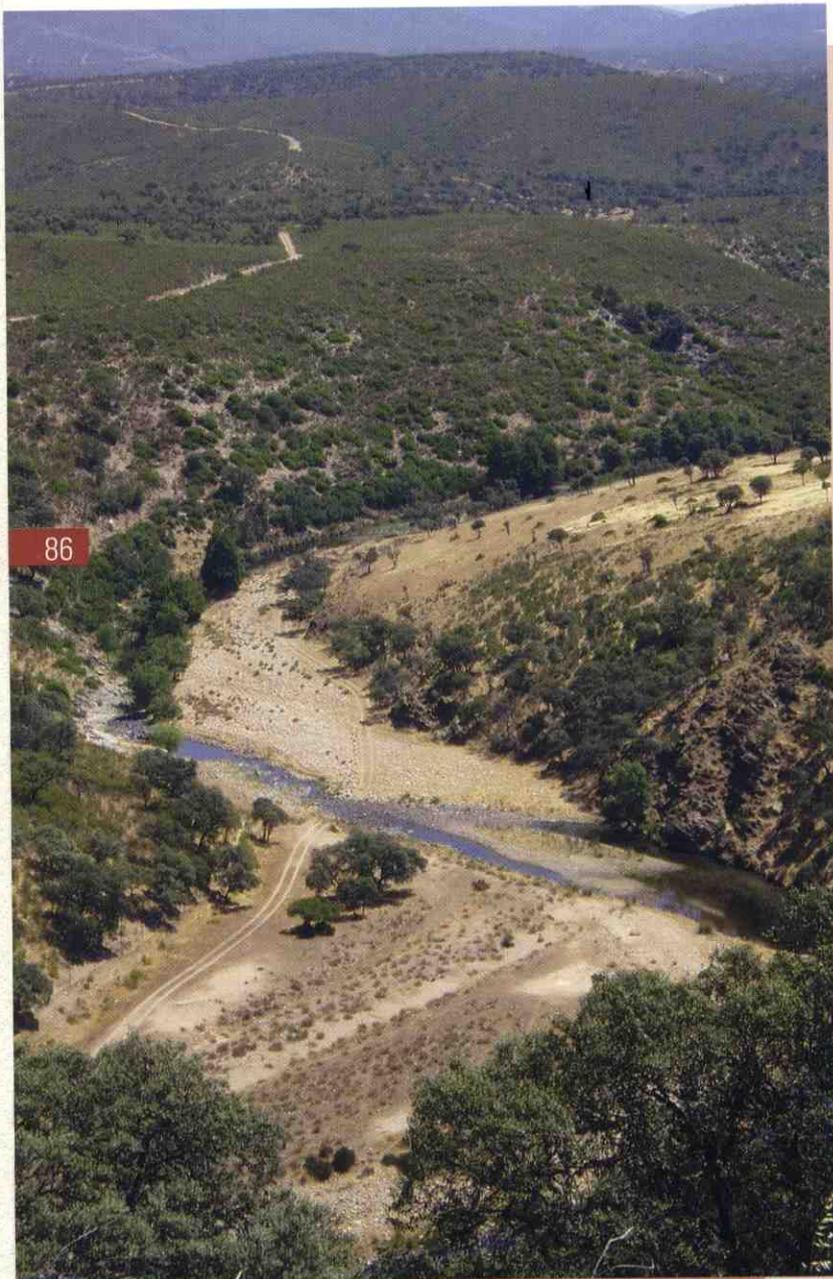
Análisis de las perturbaciones

## 1.6 Análisis de las perturbaciones

El buen estado de conservación de la ribera está relacionado con el bajo conflicto que genera el uso forestal colindante, pues nunca ha provocado invasión del espacio fluvial ni ha demandado actuaciones hidráulicas sobre el cauce. No obstante, la ribera del Yeguas no ha tenido buen estado de conservación siempre, en 1956 prácticamente no existía vegetación leñosa. Este cambio en la calidad de la ribera sólo se puede explicar por las perturbaciones que haya sufrido el río. Estas pueden haber sido naturales, como las crecidas y las sequías, o antrópicas,

como el pastoreo, la tala, los incendios y las alteraciones del cauce. Las perturbaciones naturales forman parte de las variables físicas del ecosistema y tienen carácter periódico, pues se repiten cada cierto tiempo, aunque en muchos casos son impredecibles. Las perturbaciones antrópicas en un principio se pueden calificar como constantes en el tiempo, pero si aumentamos la escala temporal del análisis se puede apreciar que el grado de presión sobre el ecosistema ha variado en función de los requerimientos socioeconómicos de la sociedad, a modo de "pulsos".





86

## 1.6.1 Perturbaciones naturales

Vamos a analizar la incidencia que ejercen tres factores: los cambios geomorfológicos, las crecidas y la sequía.

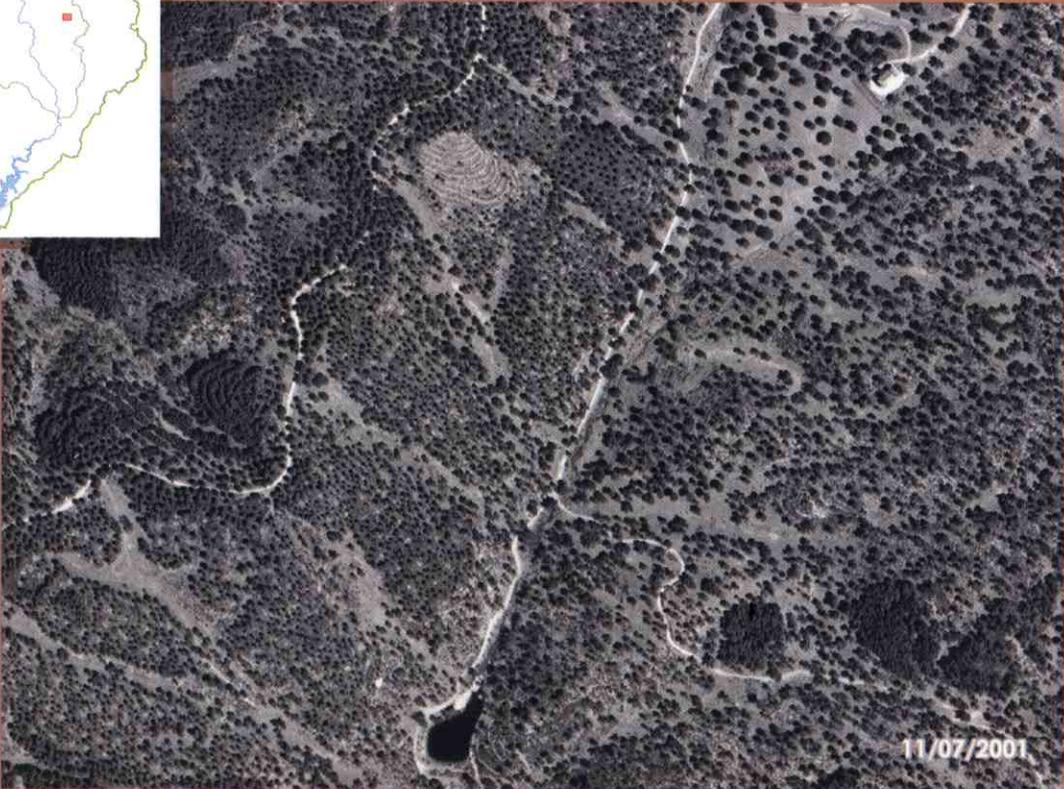
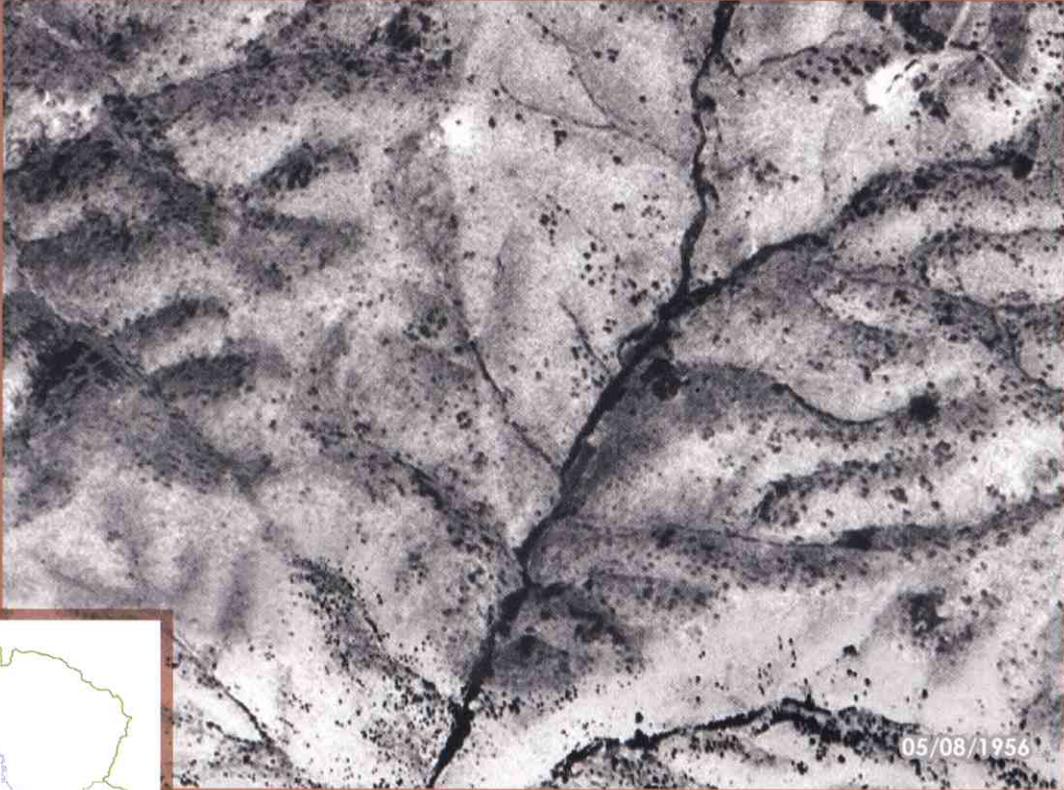
### 1.6.1.1 Cambios geomorfológicos

En la década de 1951 el río presentaba trazado trenzado en muchos tramos fluviales y la cuenca tenía un uso fores-

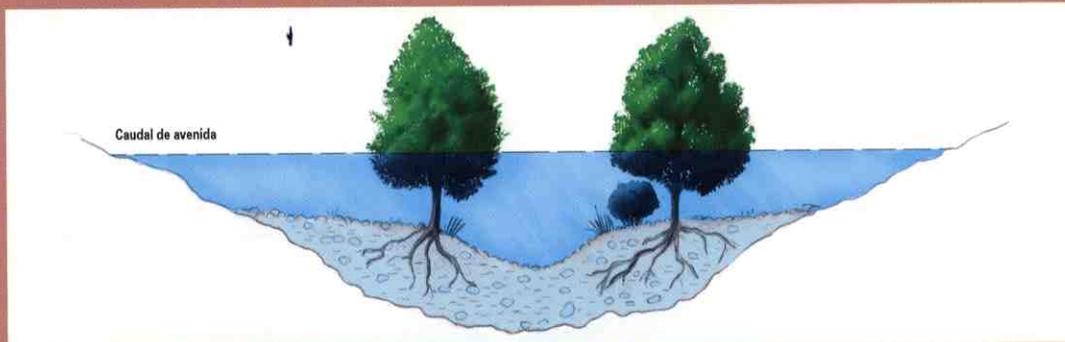
tal pero con baja cobertura vegetal leñosa (arbustos y árboles). El aspecto del río en la primera década del siglo XXI es muy distinto: la geomorfología dominante en los tramos es el trazado sinuoso y abundan las pozas, mientras que la cobertura leñosa ha aumentado en la cuenca y en la ribera.

La consecuencia de un aumento de la cobertura de la cuenca es la disminución de los tres tipos de caudales que circulan por el río, porque la vegetación capta el agua que precipita en la cuenca por interceptación y consumo. La primera actúa sobre los caudales de avenidas y la segunda sobre el caudal base y subsuperficial.

La cuenca y el río se encuentran interrelacionados y en equilibrio a través de los caudales, pues la magnitud de éstos influye en la capacidad de arrastre del material aluvial. Cuando la cuenca presenta más escorrentía, el río conduce mayores caudales sólidos y líquidos, dominando la erosión del cauce frente a la capacidad de transporte. Por el contrario, una menor escorrentía en la cuenca supone una disminución de los caudales que conduce a una morfología sinuosa en el tramo fluvial, donde existe un equilibrio entre la erosión y la capacidad de transporte.



## Caudales relacionados con la biología fluvial



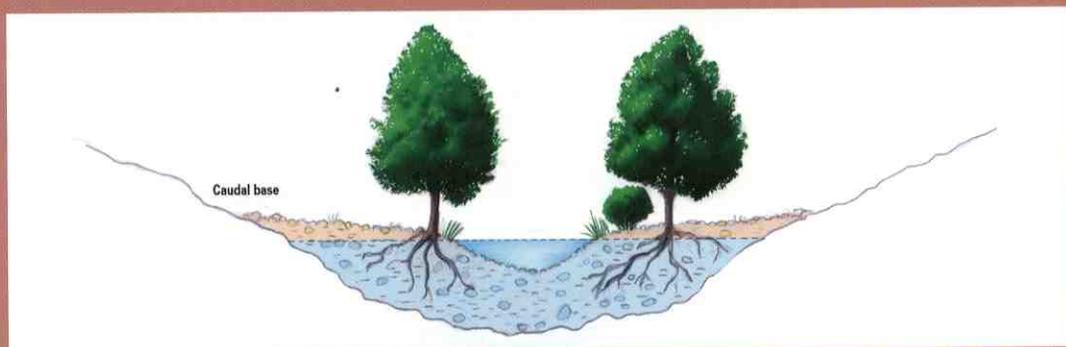
88

### Caudal de avenida

Generado por la escorrentía directa que se produce en la cuenca tras las precipitaciones. Es el responsable de las crecidas de los ríos y tiene un carácter extraordinario. El caudal de avenida se clasifica según el orden de magnitud que

puede alcanzar y la frecuencia con que se repite.

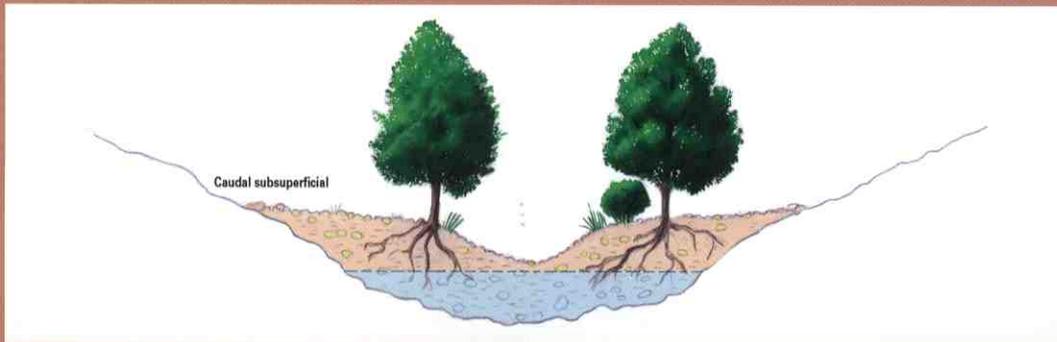
Las crecidas generan perturbaciones sobre las comunidades biológicas de los ríos, influyendo también en la conformación de la geomorfología del cauce.



### Caudal base

Tiene su origen en el drenaje de la cuenca y consecuentemente depende del balance hídrico de sus suelos. En el clima mediterráneo estos caudales tienen fuertes oscilaciones a lo largo

del año porque las precipitaciones son irregulares y determinan la capacidad de albergar a las comunidades faunísticas y botánicas.



### Caudal subsuperficial

Corresponde a una circulación de agua subterránea, que se produce en el interior del manto aluvial. Este flujo es lento y es donde se producen la mayoría de los procesos de autorregeneración de la calidad de las aguas de los ríos.

En el clima mediterráneo este caudal es básico para el desarrollo de la vegetación ripícola en los ríos temporales porque es la única fuente de agua para las plantas durante el periodo estival.

89

El aumento de la cobertura en la cuenca durante el periodo 1950-2000 ha generado una disminución del caudal efectivo, provocando en el río un descenso en la capacidad de transporte de sedimentos. Ante esta situación, el río ha modificado su geomorfología, cambiando de trazado trenzado a sinuoso. Este nuevo tipo de trazado tiene dos características importantes para la vegetación riparia: la morfología fluvial es más estable y la capacidad erosiva y de transporte se centra en las curvas, generando pozas.

La mayor estabilidad del trazado sinuoso se debe a una disminución de los caudales sólidos y a una menor

movilización de los bancos de sedimentos. Estas características favorecen el desarrollo de las especies arbóreas que presentan un ciclo de vida más largo que las arbustivas.

Para estudiar las relaciones de las riberas del río Yeguas con el cambio geomorfológico se ha analizado la estructura de la población de las dos especies arbóreas, fresno y aliso, diferenciando los casos en que están ligados a una poza de los que no lo están. †

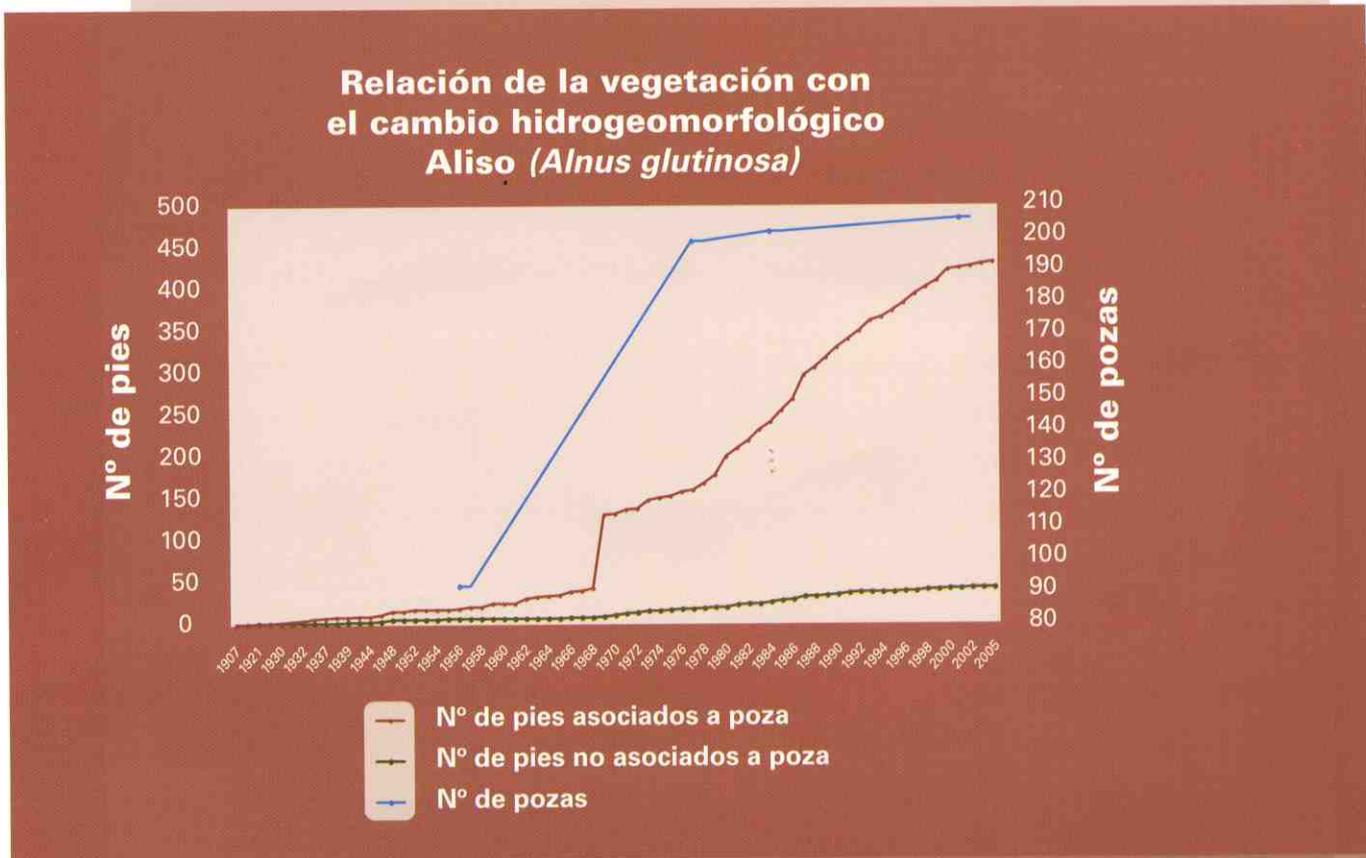
En la figura, Evolución histórica del cambio geomorfológico y de la población de aliso, se aprecia una relación directa entre la generación de nuevas pozas y el aumento del número de pies

de alisos ligados a estos espacios, así como una rápida colonización. Por el contrario, los alisos que se desarrollan alejados de las pozas no presentan una relación con el indicador del cambio geomorfológico (aumento del número de pozas). Esto nos indica que el cambio geomorfológico de un río con régimen hídrico temporal como el Yeguas sólo ha tenido capacidad para aumentar localmente la densidad de alisos, pero no para un aumento global de la población. La razón hay que buscarla en los requerimientos hídricos de los alisos (nivel freático superficial y sin fuertes oscilaciones) que en un río temporal se produce principalmente en las inmediaciones de las pozas.

La figura, Evolución histórica del cambio geomorfológico y de la población de fresno, refleja que las dos poblaciones de fresno presentan una expansión relacionada con el indicador del cambio geomorfológico (aumento del número de pozas).

Otro factor destacable en las dos especies arbóreas estudiadas es la existencia de un desfase cronológico entre los cambios geomorfológicos en el cauce y la colonización del espacio. El cambio hidrogeomorfológico atiende a una respuesta de la presión antrópica sobre la cuenca, pero el desfase cronológico no se puede explicar por una disminución de la intensidad de uso, salvo que

**Figura 28.** Evolución histórica del cambio geomorfológico y de la población de aliso



se trate de una actuación concreta en el tiempo, como pudiera ser el vallado de las fincas.

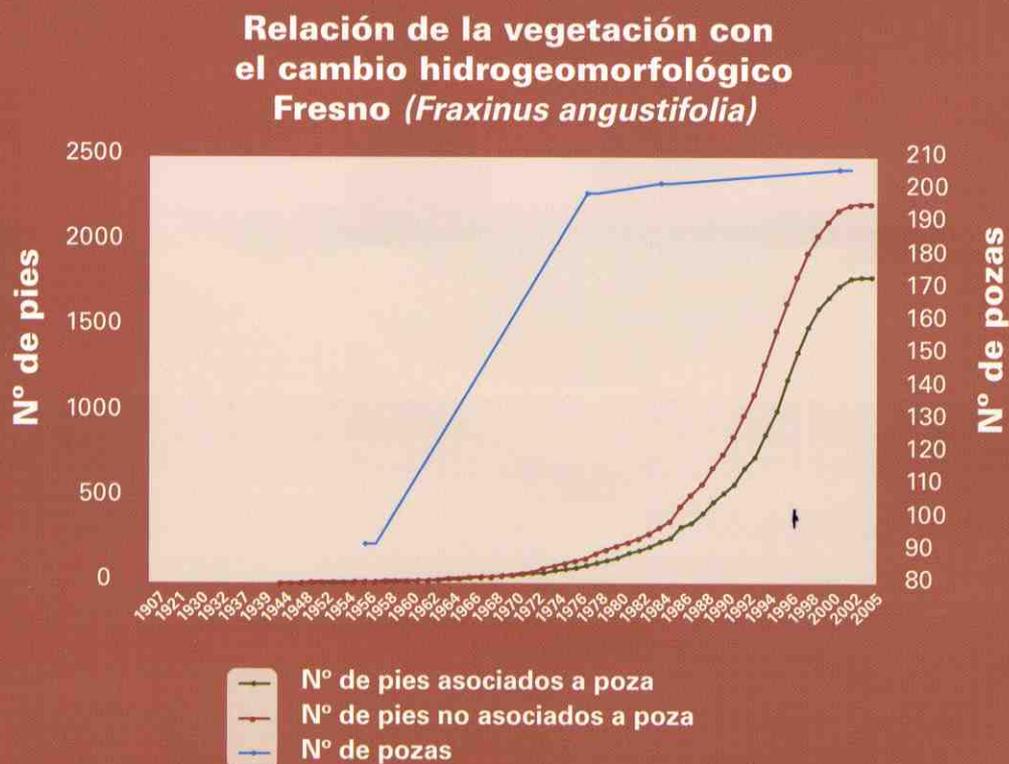
Ante esta situación se extraen algunas relaciones entre la vegetación riparia y los cambios geomorfológicos, teniendo en cuenta que finalmente se deben a una disminución del grado de presión en la cuenca:

- Las nuevas pozas generadas por el cambio hidrogeomorfológico son un hábitat ideal para los alisos en un río temporal. Estos nichos ecológicos fueron rápidamente colonizados, provocando su expansión.

- El incremento de la estabilidad geomorfológica ha supuesto una mejora de la capacidad del río para albergar especies arbóreas, pero es difícil cuantificar el incremento de capacidad desarrollada. Es muy probable que este incremento sea muy pequeño porque el sustrato del río Yeguas es de gravas y tiene poca movilidad.

- La expansión más suave de la población de fresnos podría deberse a una menor capacidad estratégica generada por un menor número de pies madre, menor banco de semillas o menor tasa de producción de semillas.

**Figura 29.** Evolución histórica del cambio geomorfológico y de la población de fresno



## Caudales relacionados con la geomorfología

Se caracterizan por el periodo de retorno, distinguiéndose dos tipos de caudales.

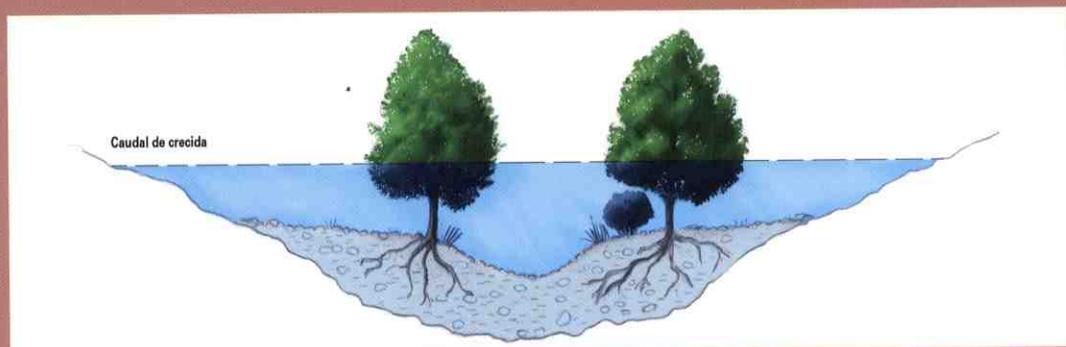


92

### Caudal efectivo o dominante:

Caudal configurador del cauce, corresponde con el caudal que tiene la máxima capacidad de transporte de sedimentos. Se obtiene al representar gráficamente el producto de dos factores asociados al caudal: la frecuencia y la carga sólida. En los ríos mediterráneos corresponde al periodo de retorno de 1 a 2,5 años,

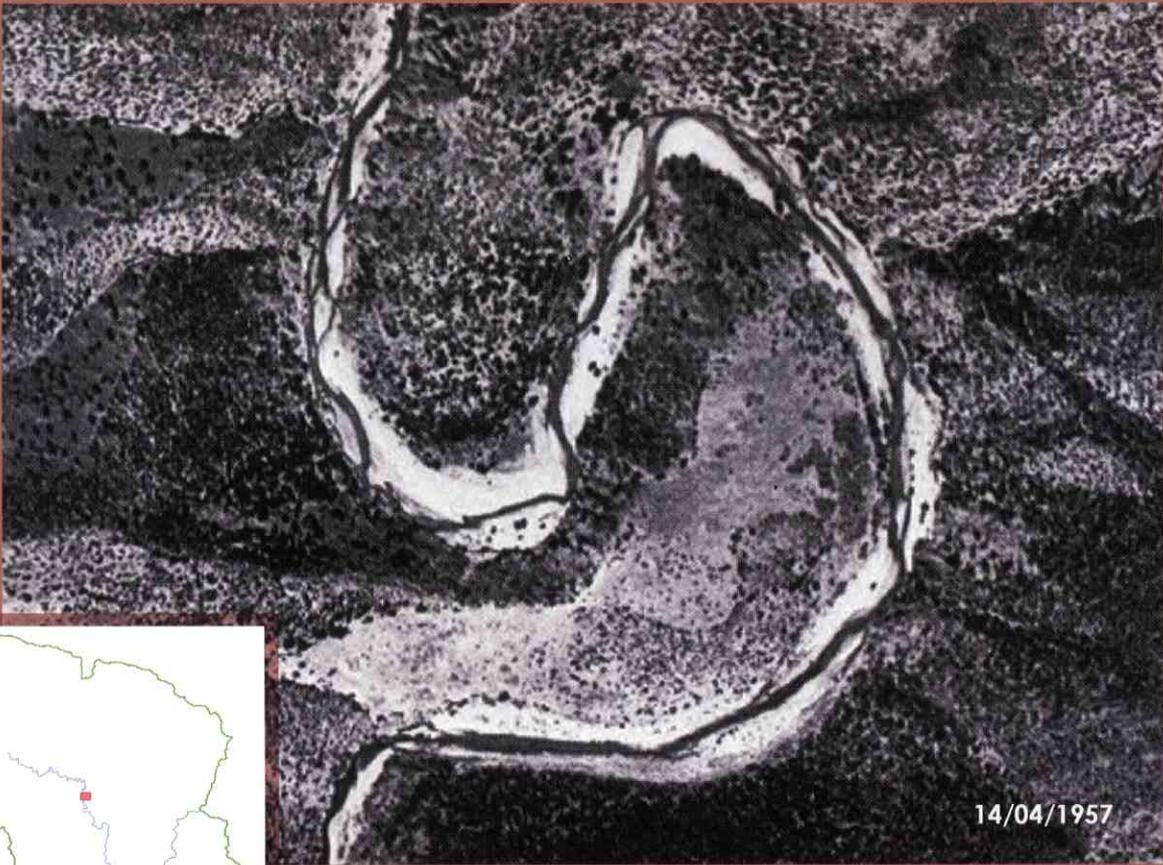
$T_{1-2,5r}$  pues presentan las máximas frecuencias y tasas de transporte aceptable. No obstante, en los ríos de cuencas con climatología irregular el caudal dominante puede corresponder a un periodo de retorno mayor, pudiendo llegar hasta 7 ó 10 años.



### Caudal de crecida con capacidad de movilizar el sustrato aluvial:

Está influenciado por el tipo de sustrato. En los ríos con sustrato arenoso, las crecidas de pequeña magnitud,  $T_{25r}$ , tienen capacidad para generar fuertes modificaciones en el cauce, debido a que los

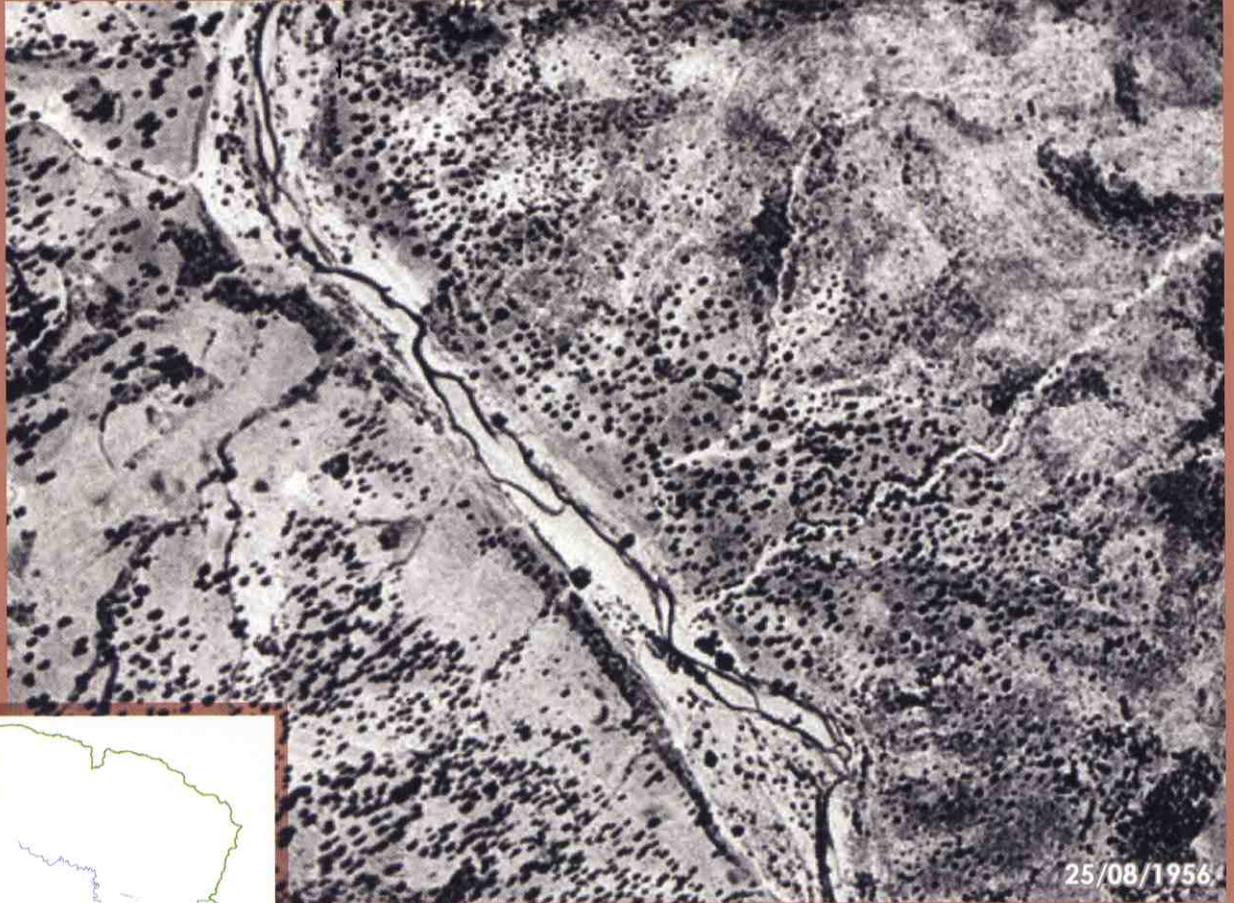
granos de arena necesitan poca energía para su movilización. Por el contrario, los ríos de gravas precisan crecidas de gran magnitud para movilizar el sustrato.



14/04/1957



11/07/2001





**Figura 30.** Madre vieja

### 1.6.1.2 Crecidas

Las crecidas son pulsos extraordinarios de caudal de los ríos que generan perturbaciones sobre la vegetación riparia, propiciando, no obstante, la regeneración de la masa vegetal. Ésta se produciría de forma generalizada por movilización del sustrato o de forma puntual por abatimiento de pies. El primer caso generaría masas coetáneas por bosquetes, mientras que en el segundo crearía masas irregulares.

El río Yeguas no presenta una estación de aforos que permita determinar las crecidas históricas que se han producido. Por esta razón, se ha recurrido a la serie histórica de precipitaciones extremas para estudiar la incidencia de las crecidas sobre la estructura de la población.

Los caudales de avenida dependen de tres factores: el área de la cuenca, la intensidad de la precipitación y el coefi-

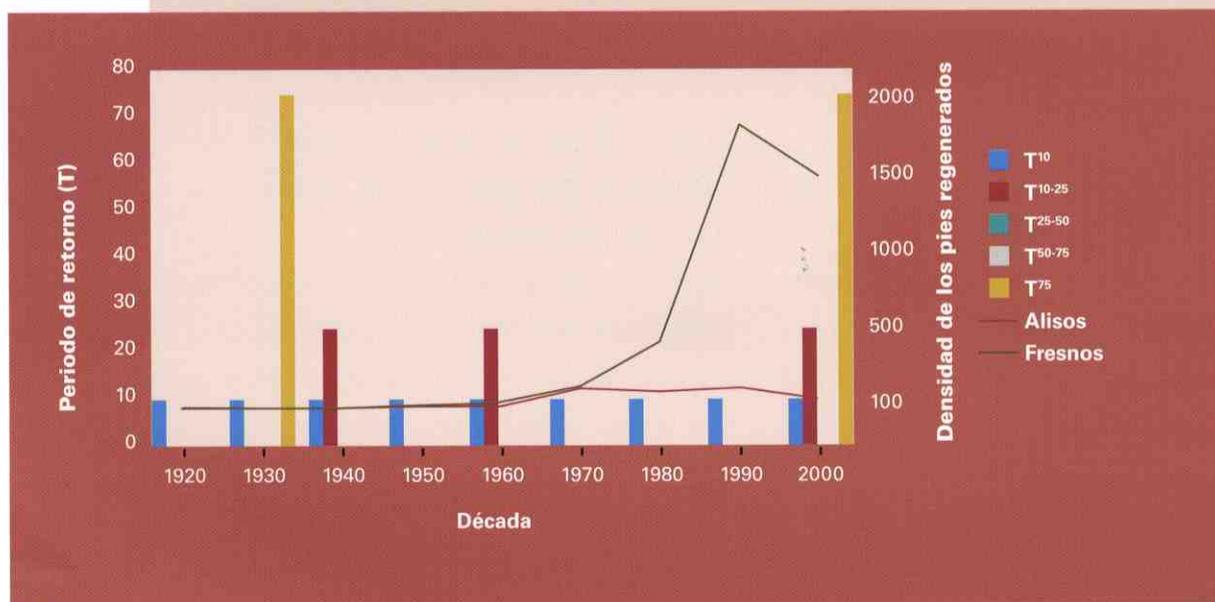
ciente de escorrentía. Se puede realizar un estudio cronológico de las crecidas del río Yeguas en función de las características de la precipitación porque el área de la cuenca y el coeficiente de escorrentía son parámetros constantes, aunque este último ha sufrido modificaciones durante el periodo de estudio.

En la serie histórica de las precipitaciones extremas se aprecia que han existido dos eventos con capacidad suficiente para realizar una movilización del sustrato. La primera se produjo en el decenio de 1930 y la segunda en la de 2000, aunque en 1930 los caudales debieron ser mayores porque la cuenca presentaba menor grado de cobertura.

Las dos especies arbóreas estudiadas presentan un descenso en el número de pies que regeneraron tras el año 2000. Este descenso pudiera deberse a un error de apreciación en el muestreo, pues los pies jóvenes pueden quedar ocultos por el matorral. En todo caso, no corresponde al efecto de una avenida porque esta clase de regeneración tendría que haber sido la menos afectada al presentar mayor flexibilidad. Por ello, se descarta la incidencia de la avenida del 2000 sobre la población arbórea de la ribera.

Observando la estructura de la población de fresnos se aprecia que los ejemplares más antiguos corresponden a la década inmediatamente posterior a la crecida de los años 30. La ausencia de árboles anteriores a la

**Figura 31.** Avenidas históricas y población arbórea



crecida de 1930 pudiera estar relacionada con un colapso generalizado de la ribera por efecto de la avenida. Esta hipótesis se vería reforzada porque la avenida se produjo cuando la cuenca tenía menor grado de cobertura y consecuentemente el caudal de avenidas habría sido superior a las lluvias torrenciales del 2000.

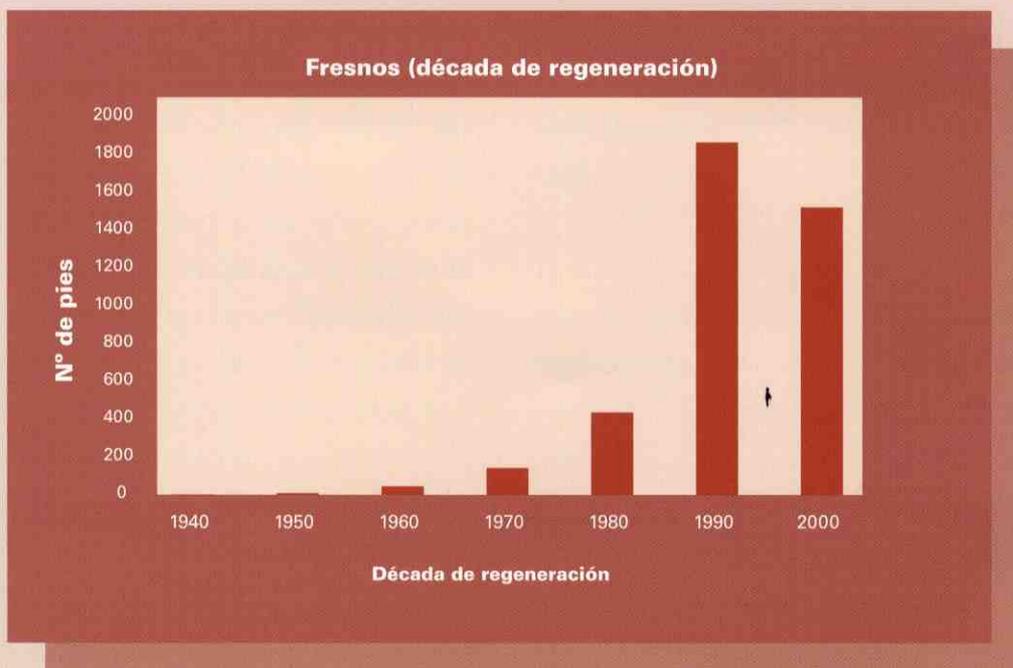
La hipótesis del colapso de la ribera del río Yeguas por la crecida de 1930 pierde peso cuando se observa la población de los alisos porque presenta pies que han regenerado desde 1910. La estructura de población de los alisos ofrece una ruptura en 1970 asociada a la colonización de las pozas, aunque en las décadas posteriores la regeneración se realiza en todos los espacios. En los años setenta el fresno también pre-

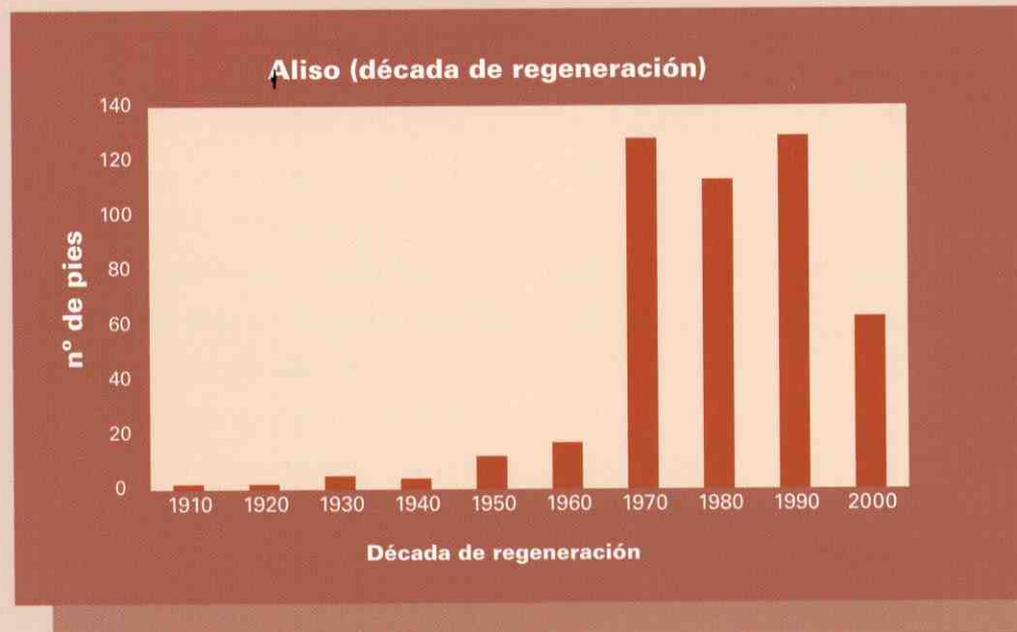
senta un aumento en la regeneración, aunque su máximo lo alcanza en los años noventa.

La menor longevidad de los fresnos frente a los alisos es difícil de explicar con los datos obtenidos. Podría estar relacionada con el tipo de hábitat que coloniza, donde se encuentran más expuestos a los factores adversos (crecidas y sequías) o con prácticas ganaderas que lo debilitan.

Las crecidas del río Yeguas han generado perturbaciones locales que se han detectado al observar restos de árboles abatidos, pero no han influido en la estructura de las poblaciones arbóreas. Es por ello que ha debido de existir otro factor que ha incidido en la estructura de la población arbórea de la ribera.

**Figura 32.** Década de regeneración de la población de fresnos





**Figura 33.** Década de regeneración en la población de alisos

### 1.6.1.3 Sequías

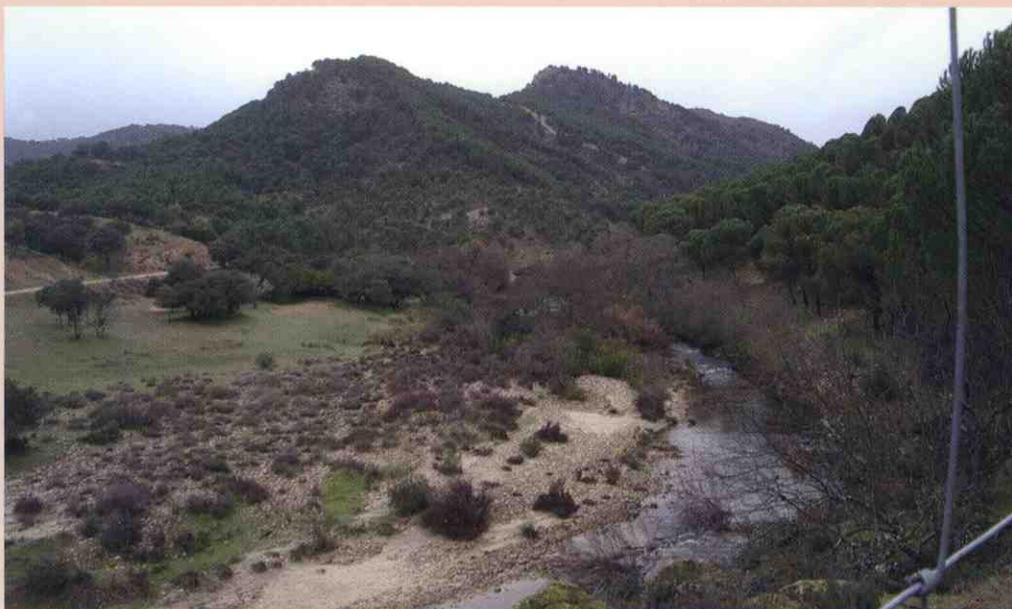
Las riberas mediterráneas están compuestas principalmente por especies caducifolias que concentran el periodo de crecimiento en primavera, verano y primeros meses del otoño. En los ríos mediterráneos el caudal durante este periodo es menor que en el invierno. Esta característica condiciona el tipo de especie que se puede desarrollar, su distribución en la ribera y la tasa de crecimiento.

A las limitaciones mencionadas hay que sumarles la perturbación que suponen las sequías meteorológicas. Éstas son un descenso anormal de las precipitaciones que tiene un carácter cíclico e incluso se producen durante varios años seguidos. Estos años secos alteran la tasa anual de regeneración de la vegetación de ribera, especialmente

cuando la sequía se centra en el periodo primaveral, momento en el que las plántulas tienen que desarrollar un sistema radicular lo suficientemente profundo como para alcanzar el freático.

Para estudiar la incidencia de las sequías se ha clasificado el año meteorológico en tres tipos según la cuantía de las precipitaciones acaecidas durante la serie histórica. Se ha considerado año seco cuando la precipitación del año es igual o menor al valor del percentil 25, por el contrario el año es húmedo cuando las precipitaciones han sido iguales o mayores al percentil 75. El año medio queda comprendido entre los percentiles 25 y 75 y corresponde al 50% de los casos.

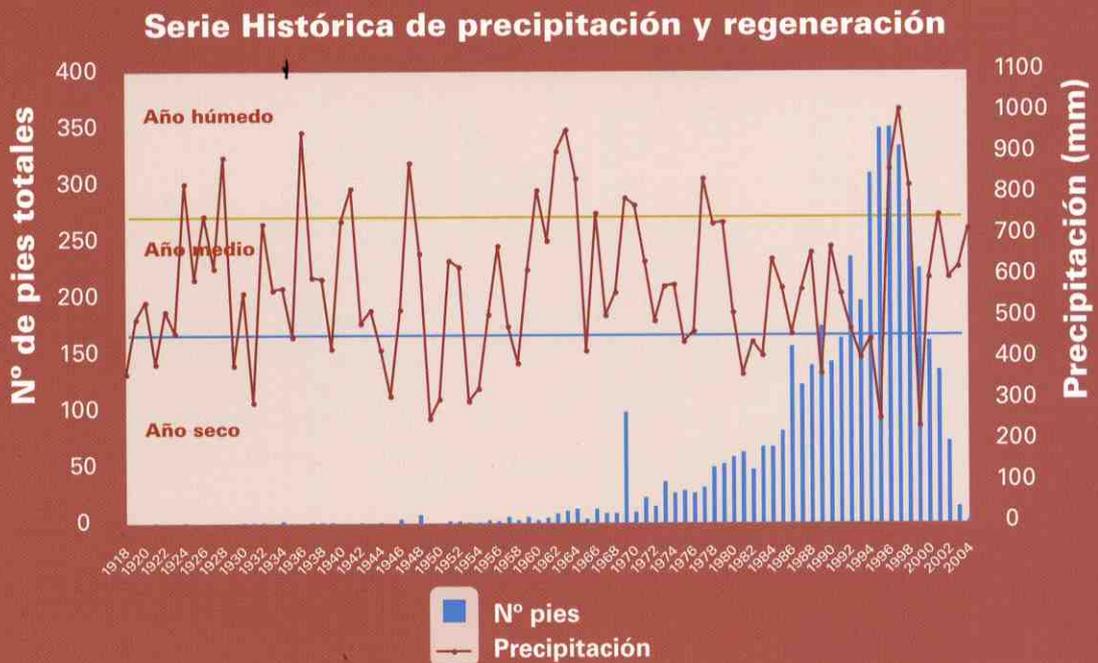
Los años secos tienen una frecuencia de 0.25, produciéndose un año seco cada



**Figura 34.** Ribera en invierno



**Figura 35.** Ribera a principios de verano. Obsérvese la lámina de agua correspondiente a los caudales bajos



**Figura 36.** Serie histórica de precipitación y regeneración

cuatro años, pero como su distribución es aleatoria, es común la existencia de varios años secos consecutivos.

El gráfico de la serie histórica de precipitación y regeneración representa la cronología de la precipitación anual y del número de pies regenerados. Se puede apreciar que el número de pies que regenera cada año ha seguido una evolución ascendente que no guarda relación con la evolución histórica de la precipitación anual.

También se observa la relación entre la bondad de la precipitación y el número de pies que regeneran, aunque ligeramente desplazada por la dificultad de conocer la edad exacta de cada árbol. Se puede apreciar que la regeneración

en los años secos es bastante elevada respecto a los años medios y húmedos. Esta independencia entre la precipitación y la tasa de regeneración en un río temporal sólo es explicable si se tiene en cuenta el caudal subsuperficial.

Podemos determinar que la estructura de la población no atiende a la incidencia de las sequías pues éstas son cíclicas, y la regeneración ha tenido un crecimiento exponencial, pudiéndose afirmar que las sequías no afectan a la regeneración porque el ecosistema se encuentra adaptado a este factor de perturbación e incluso es más resiliente con los cambios geomorfológicos producidos en el cauce.



**Figura 37.** Ribera en verano. Obsérvense las depresiones con charcas residuales y la distribución de los fresnos

### 1.6.2 Perturbaciones antrópicas

La cabecera de la cuenca del río Yeguas ha tenido un uso forestal en el periodo 1950-2000 pero el tipo de aprovechamiento y su intensidad han variado en los últimos 40 años, adaptándose a las necesidades socioeconómicas de cada momento. En este periodo, tanto la cuenca como la ribera han sufrido una recuperación de la cubierta que está asociada al nivel de presión del ganado sobre el ecosistema.

A pesar de que la carga ganadera ha descendido en la cuenca del río Yeguas desde la década de los años setenta, la densidad de pies en la ribera es muy irregular e incluso es contraria a lo esperado. Tal es el caso de tramos con abundante agua en superficie, donde la densidad de pies es baja o prácticamente nula, cuando lo lógico es una relación directamente proporcional entre los parámetros agua en superficie y densidad de pies.

Analizando los tramos tipificados, podemos observar que las tipologías definidas se distribuyen a lo largo del río Yeguas en el sentido del flujo,

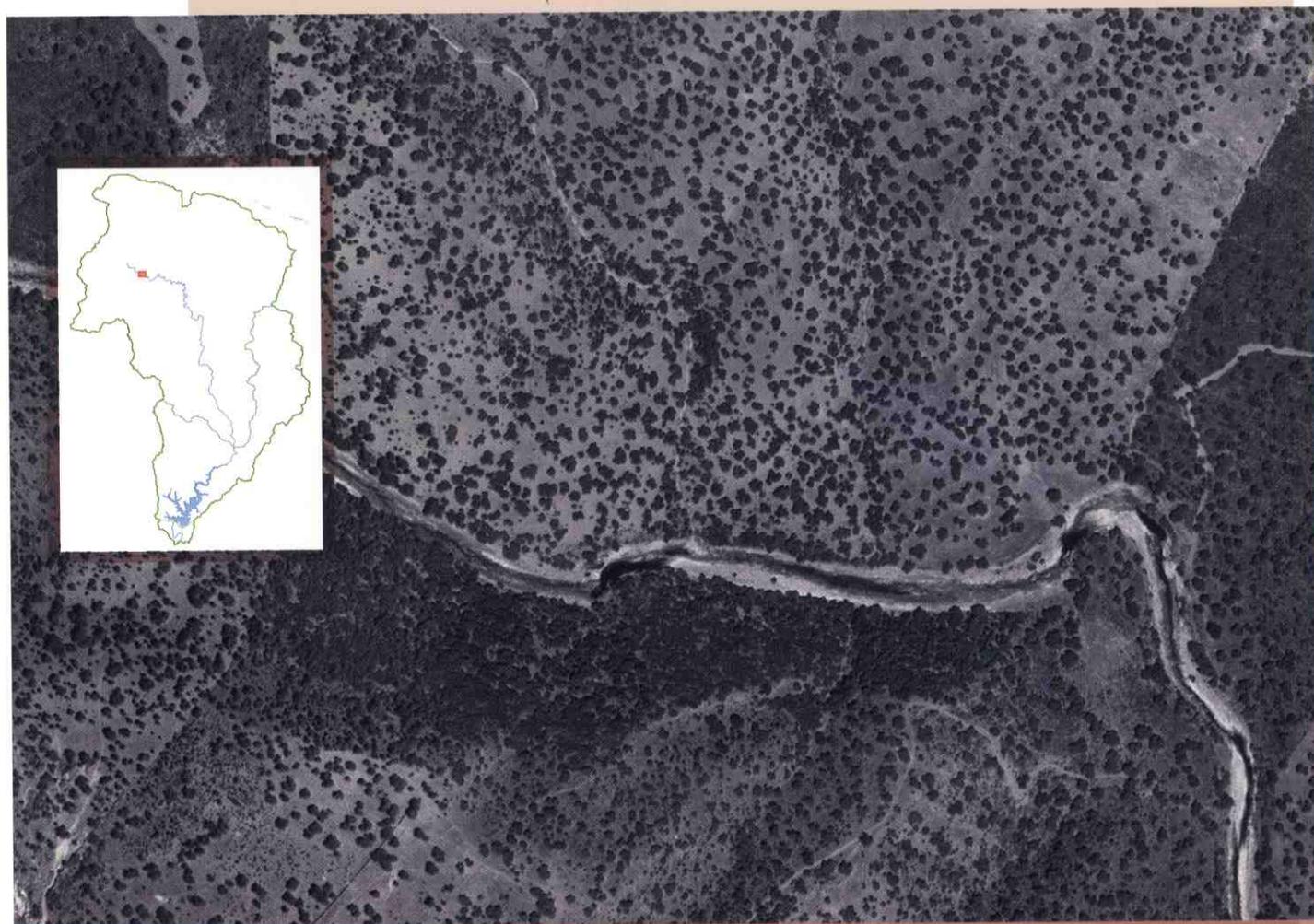
correspondiendo el tipo A a la cabecera de la cuenca y el tipo D al tramo final de la zona estudiada.

En los tramos tipo A y B se desarrollan tanto fresnos como alisos debido a la climatología mesomediterránea. El aliso se presenta en forma de bosque junto a las pozas y el fresno distribuido linealmente en el cauce. La densidad media en ellos es de 150 pies/km.

En tramos tipo C y D se localizan aguas abajo de los anteriores y tienen clima

termomediterráneo. Predomina la distribución lineal del fresno a lo largo del cauce, con una densidad media de 50 pies/km.

En la parcela tipo A la densidad es prácticamente nula, 6 pies/km, a pesar de presentar flujo hídrico en superficie. Por el contrario, en la parcela tipo B existe la mayor densidad de pies de las cuatro tipologías estudiadas. No obstante, para interpretar esta densidad de pies se tiene que relacionar con la densidad de pies en este tipo de tramo que



**Figura 38.** Zona de cabecera con abundante agua en superficie durante el periodo estival y escasa vegetación riparia

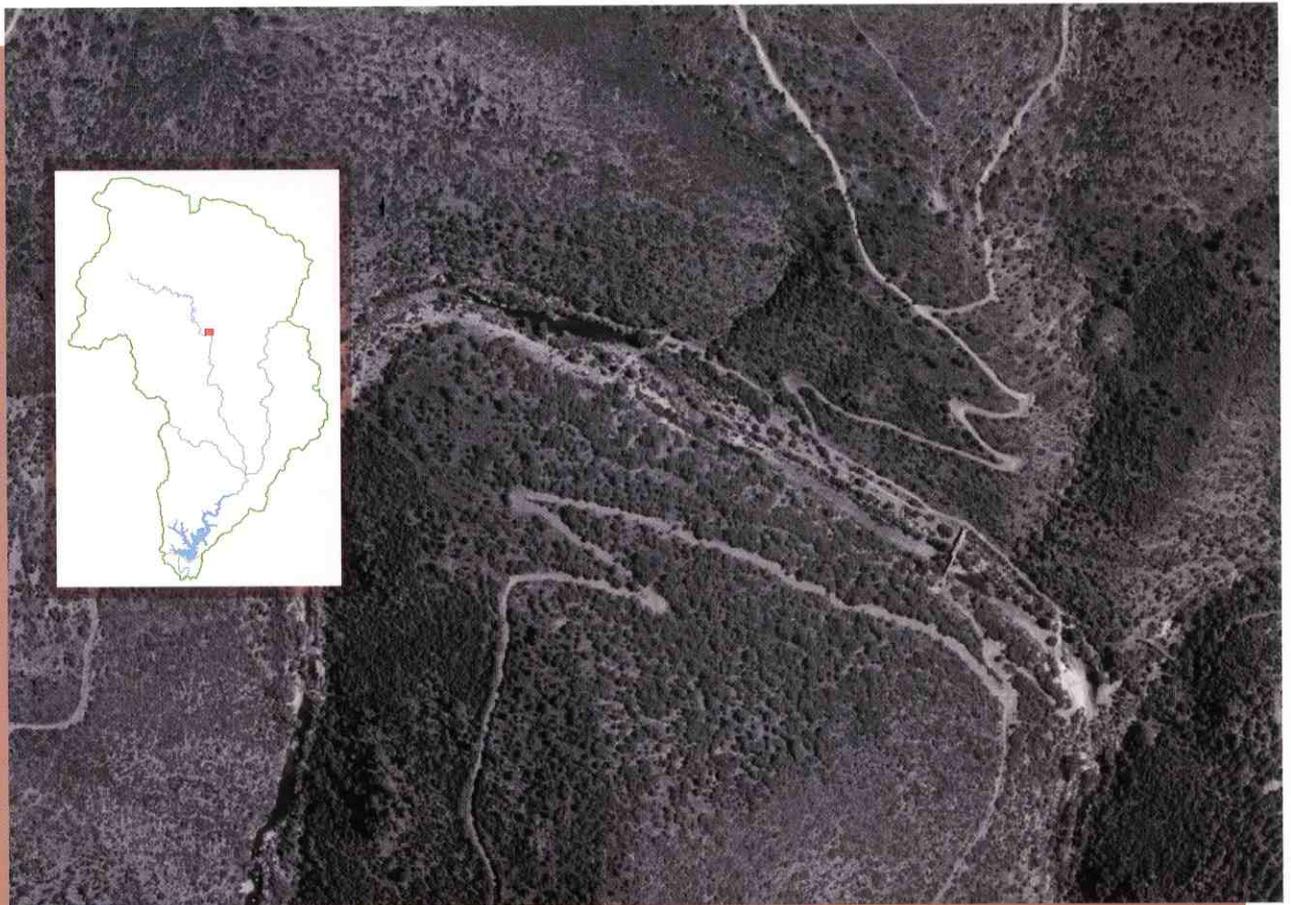
es 150 pies/km. Según esta relación la densidad de pies de la zona muestreada como tipo B es media.

Las parcelas muestreadas tipo C y D corresponden a zonas con pozas abundantes y la vegetación arbórea representativa está formada por fresnos. En ellas, la densidad de pies es alta y media porque igualan y superan, respectivamente, la densidad de pies media de estos tipos de tramos, 50 pies/km.

Si observamos la clasificación de la densidad de pies en la ribera de las cuatro zonas tipificadas se aprecia que está relacionada con el tipo de uso establecido en las márgenes, y concretamente con la carga ganadera y la posibilidad de que los animales entren en el río. Por ello, podemos afirmar que el número de pies de la ribera está directamente relacionado con la presión del ganado o de los ungulados.

Características	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
<b>Régimen Hídrico</b>	Afloramiento superficial	Pozas dispersas	Pozas abundantes	Pozas abundantes
<b>Régimen Hidráulico</b>	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido
<b>Sustrato</b>	Aluvial de grava	Aluvial de grava	Aluvial de grava	Aluvial de grava
<b>Uso colindante</b>	Ganadería extensiva	1º Ganadería 2º Cinegético	Finca pública sin uso ganadero. Ungulados silvestres en baja densidad	Explotación cinegética
<b>Vallado</b>	Malla ganadera, 2 márgenes	Malla ganadera, 1 margen	Malla ganadera, 1 margen	Malla cinegética, 2 márgenes
<b>Intrusión en el río</b>	SI	SI	Sólo fauna silvestre	NO
<b>Vegetación-ubicación</b>	Fresnos y alisos Flujo superficial	Fresnos y alisos Pozas	Fresnos Cauce sin pozas	Fresnos Cauce sin pozas
<b>Densidad de pies</b>	6 pies/km Nula	90 pies/km Media	70 pies/km Muy alta	50 pies/km Alta
<b>Tramo</b>	1	3	7↑	11

Tabla 12. Características de las tipologías de tramo fluvial



**Figura 39.** Zona de pozas con abundante vegetación

### 1.6.3 Conclusiones

Durante la primera mitad del siglo XX la población de la cuenca del río Yeguas, como el resto de comunidades de la montaña mediterránea, desarrollaba una economía basada en el aprovechamiento de los recursos forestales, principalmente pastos, bellota, corcho y carbón. En la ribera los aprovechamientos se daban por pastoreo directo e indirecto. Este último queda constatado en los pies viejos de los fresnos donde se pueden observar las fuertes podas que sufrían para obtener ramón durante el periodo estival (trasmochó).

Pero en la segunda mitad del siglo XX se inicia un nuevo periodo en la historia de España. En los primeros años 1950-1965 se produce un cambio radical al abandonarse el modelo de autarquía e iniciarse el Plan de Estabilización y Liberalización (1959). En este periodo comienza una política económica abierta, con desarrollo industrial y turístico que precisó mano de obra para su funcionamiento. Esta demanda se abasteció de jóvenes, 20-25 años, del mundo rural y mujeres que emigraron a las ciudades del territorio español e incluso fuera de sus fronteras.

La emigración rural se inició en los años cincuenta, alcanzó las cotas máximas

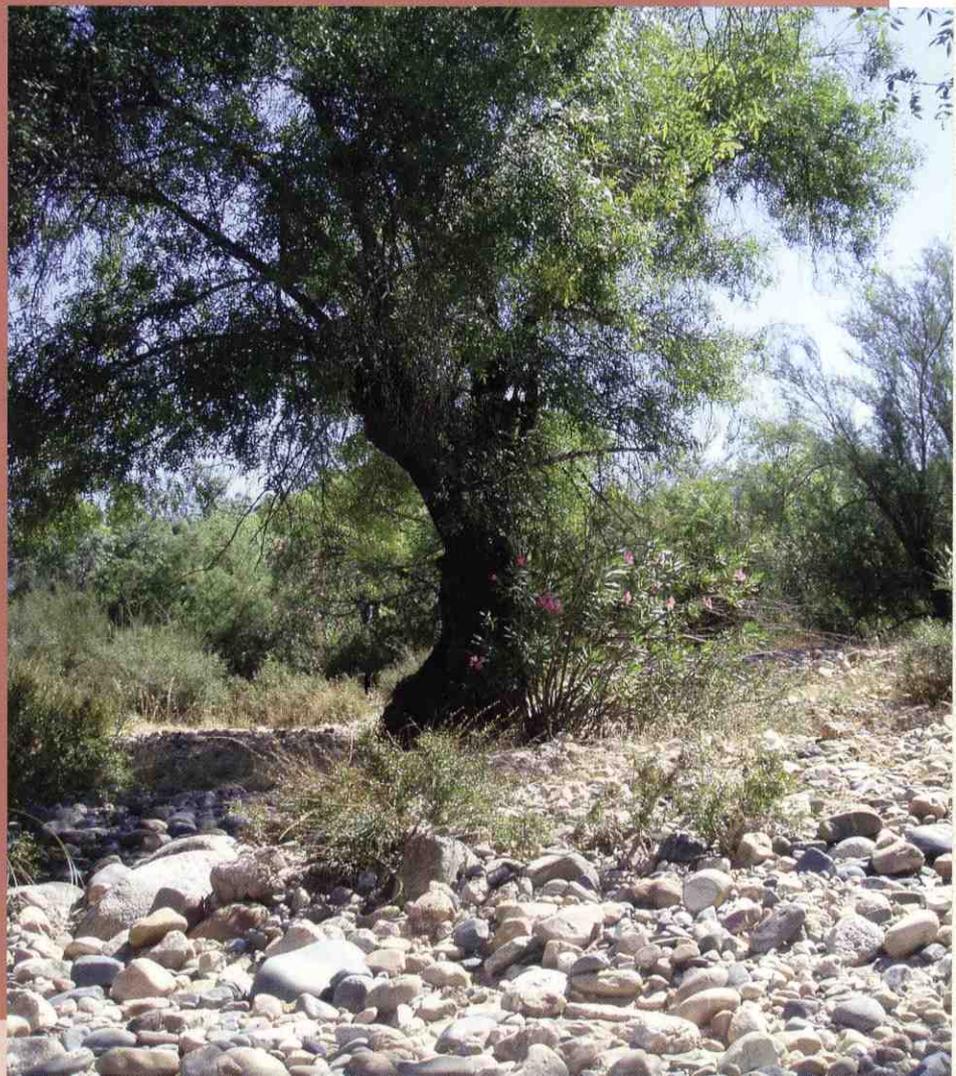
en los sesenta y finalmente se ralentizó en los setenta. Las repercusiones de la emigración se notarían unas décadas más tarde porque la pérdida de población se dió en la franja de población encargada de realizar el reemplazo generacional.

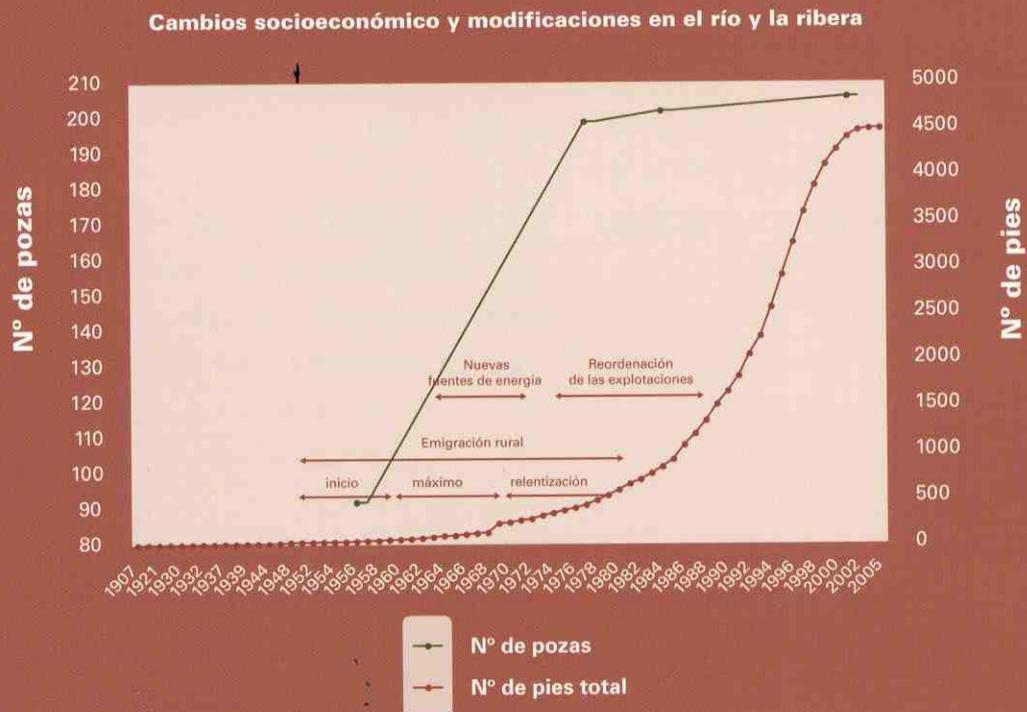
Otro fenómeno importante de la modernización de España fue el acceso a las nuevas fuentes de energía a un coste bajo. Estas nuevas fuentes energéticas fueron paulatinamente desplazando el consumo de carbón y leña. En los hogares se desarrolló en el periodo 1960-1970 con la

difusión de las cocinas y calentadores de gas, que desplazaron a las cocinas de carbón y los hornillos de petróleo y eléctricos.

La repercusión del cambio de la fuente energética fue un drástico descenso del consumo de biomasa. Esta disminución en las tasas extractivas supuso la recuperación de la cobertura vegetal leñosa, árboles y arbustos, de las cuencas hídricas.

Las repercusiones de la disminución de jóvenes en el mundo rural y del cambio energético se apreciarán con





**Figura 40.** Evolución histórica de los cambios socioeconómicos y la población arborea total

un desfase cronológico, como resultado de la conjunción del tiempo de recuperación del ecosistema y del tiempo transcurrido hasta la jubilación de los trabajadores rurales que no emigraron.

La pérdida de trabajadores en un medio silvopastoral generó una reordenación de las explotaciones forestales, zonificándose las actividades según criterios selvícolas y socioeconómicos. Estos se caracterizaron por:

1. Desaparición de actividades culturales como el carboneo y el trasmoch, por la generalización del uso de los combustibles fósiles y la desaparición del pastor.
2. La ganadería se desarrollaría en terrenos de mayor producción pastoral, dehesas y pastizales. La forma de explotación más común fue el pastoreo en semilibertad, donde el ganado pasta libremente en recintos vallados.
3. Surge la caza mayor como actividad económica, desarrollándose masivamente en fincas de gran tamaño y con propietarios que tienen ingresos económicos independientes de la explotación. Estas fincas se vallan para confinar a los animales adultos.
4. La disminución de la presión antrópica sobre el ecosistema forestal supuso un incremento de la cobertura

en la cuenca que provocó un cambio geomorfológico en el río. El río desarrolló caudales de crecida de menor magnitud perdiendo capacidad erosiva y de transporte de sedimentos, generando un trazado sinuoso, más estable y con abundancia de pozas. La mayor estabilidad hidrogeomorfológica ha potenciado el desarrollo de la vegetación arbórea, pero es difícil cuantificar el incremento, salvo en el aliso que se ha desarrollado en los nuevos hábitats que han generado las nuevas pozas.

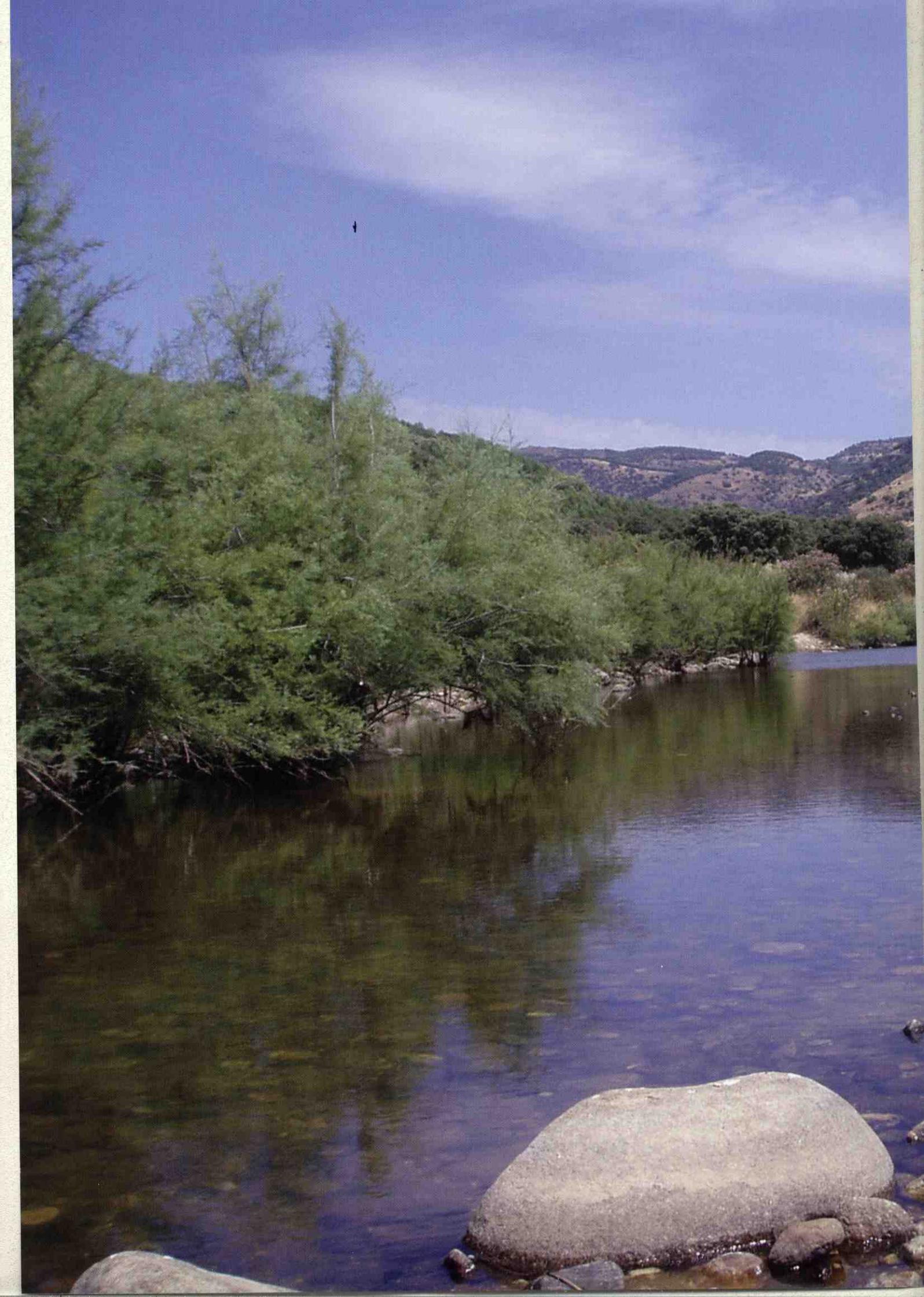
El modelo de gestión ganadera y cinegética, junto con la estructura de la propiedad ha provocado que el río sea un espacio libre de pastoreo, especialmente en los tramos donde las fincas colindantes presentan una explotación cinegética, pues en ellas no se permite que los animales entren en el corredor fluvial, mientras que en los tramos con fincas ganaderas colindantes es usual dejar al ganado pacer en la ribera. No obstante, los tramos fluviales con vallado cinegético no están totalmente excluidos de la presión herbívora porque la malla suele dañarse y algunos ejemplares pasan a desarrollar su existencia en el río.

La nueva relación cuenca-río generó cambios hidrogeomorfológicos en el río que propició una rápida expansión de la vegetación arbórea, máxime cuando el número de pies inicial era reducido. Asociado al cambio geomorfológico existió una disminución de la

presión antrópica debida a la concentración y especialización de la actividad ganadera y cinegética y al abandono del carboneo.

Este conjunto de cambios ha propiciado la regeneración de la ribera, siendo prácticamente imposible cuantificar el peso de cada factor. Aunque, podríamos afirmar que los factores con mayor grado de repercusión para el desarrollo de la vegetación arbórea han sido el incremento de nuevas pozas y el abandono de las prácticas culturales (carboneo y trasmocho). La razón de esta hipótesis se encuentra en el incremento de la cobertura leñosa que ha ocurrido en las dehesas, a pesar de que la actividad ganadera no ha cesado, sólo se ha readaptado.

La existencia de focos de vegetación residual en un ecosistema degradado disminuye el tiempo necesario para su autoregeneración. Por ello, es interesante realizar reforestaciones puntuales (regeneración adelantada) que promoverán la colonización del resto del río, una vez hayan alcanzado la madurez sexual y cesen las acciones perturbadoras. La función de estos "Caballos de Troya" es aportar material vegetal de reproducción, pero para sobrevivir en un medio hostil se deben ubicar en los sitios con mayor probabilidad de éxito (mejor calidad de la estación: humedad, suelo, etc.) y protegerlos de los agentes perturbadores, especialmente los antrópicos.



# **Actuación en ríos mediterráneos**

# **Parte**

# **2**



# Consideraciones generales



# 2.1

## 2.1 Consideraciones generales

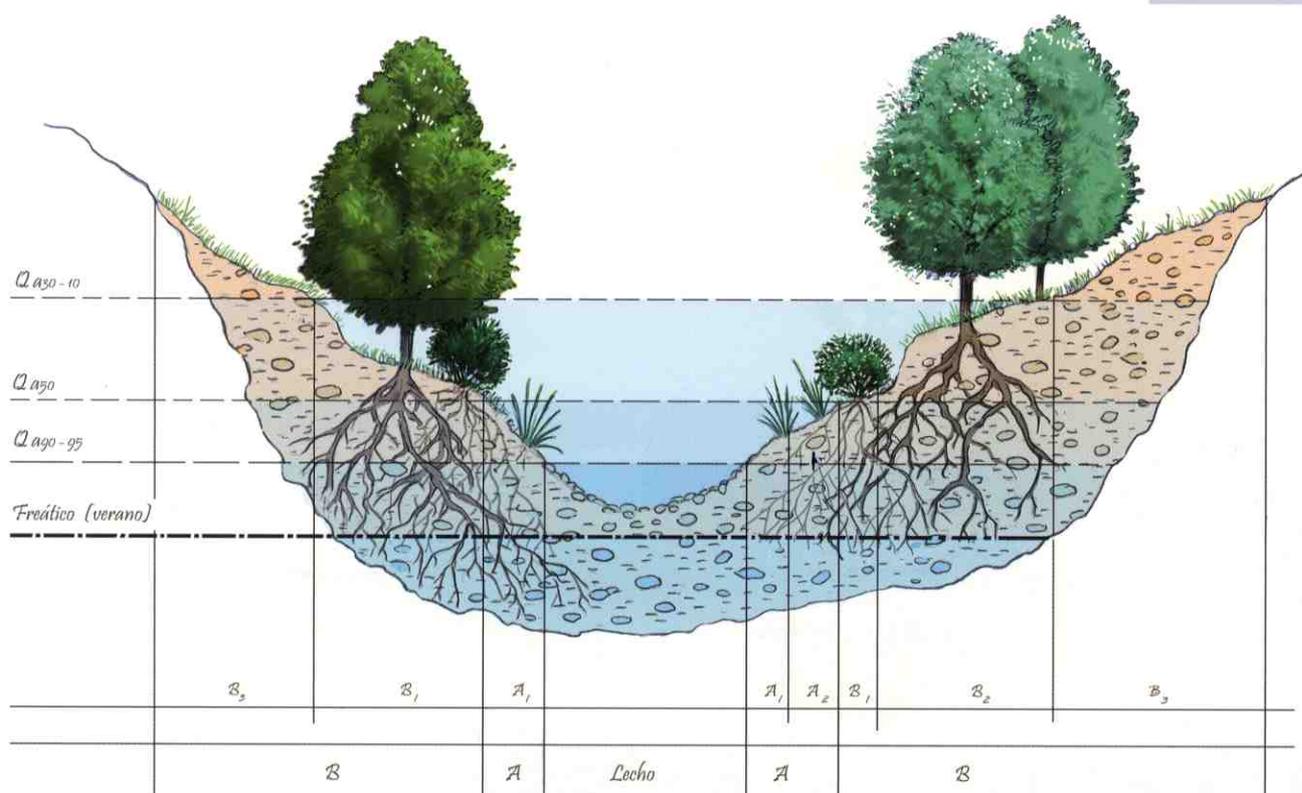
Consideraciones  
generales

## 2.1 Consideraciones generales

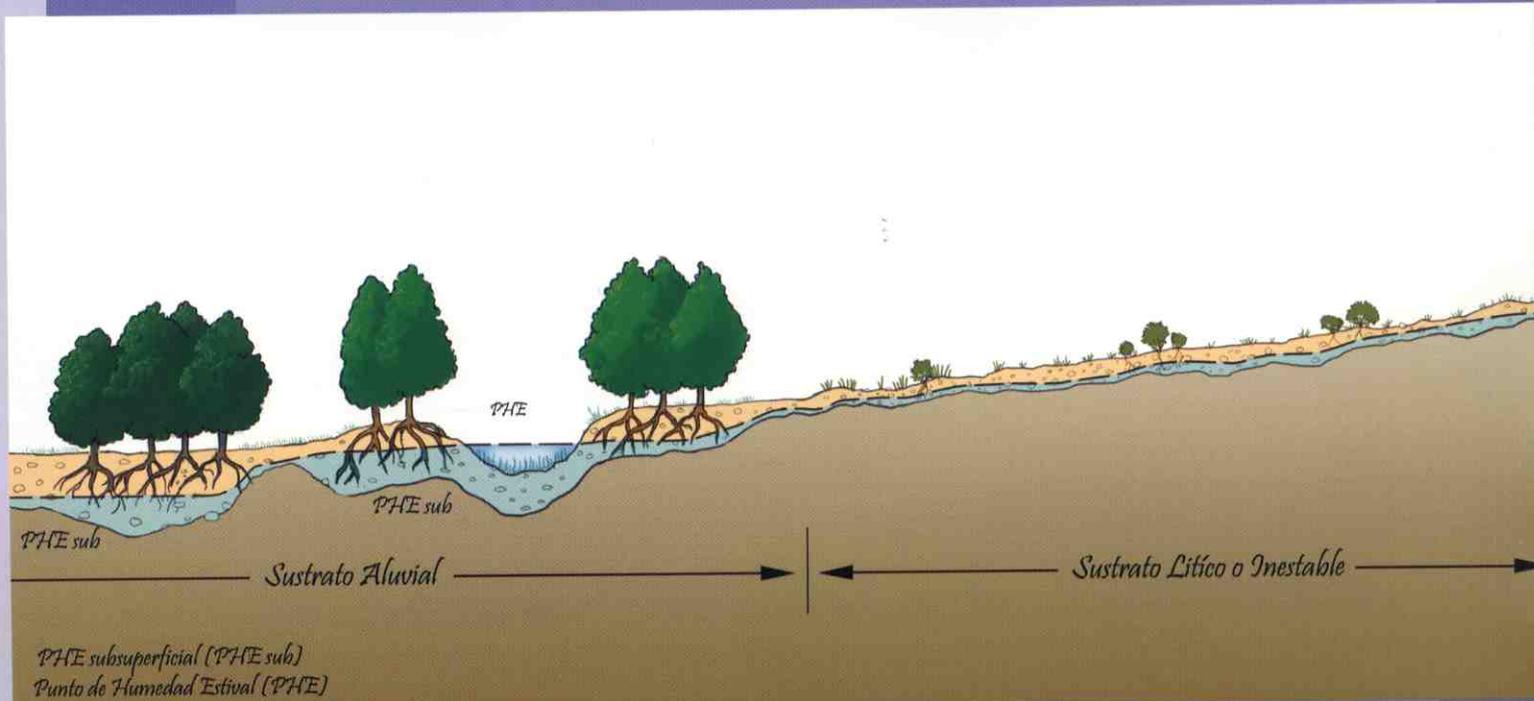
1. En los ríos temporales mediterráneos la cantidad y distribución del agua durante el estío, así como la profundidad del flujo subsuperficial y su evolución temporal, son parámetros que condicionan el tipo de ribera que se puede desarrollar, al influir directamente en el agua disponible para la vegetación durante el verano.
2. La vegetación de ribera más exigente en humedad, no está asociada necesariamente a los límites del cauce sino a los "Puntos de Humedad Estival (PHE)", tales como pozas y zonas con disponibilidad de agua subsuperficial permanente. La existencia de estos "Puntos de Humedad

Estival" se convierte en el elemento fundamental para la ubicación de determinadas especies arbóreas ripícolas. La necesidad que determinadas especies tienen de estos hábitats de humedad, condiciona la posibilidad de colonización de nuevos espacios y si la "capacidad de acogida" del hábitat está cubierta, no se producirán nuevos reclutamientos aunque queden espacios intercalares entre los individuos de una determinada especie.

3. La cantidad y distribución del agua superficial y del flujo subsuperficial durante el estío, están directamente relacionados con el tipo de sustrato del cauce, y con su capaci-



- dad de almacenamiento o de tránsito. Los sustratos líticos no suelen almacenar agua en superficie ni subsuperficialmente, por lo que no permiten la existencia de vegetación de ribera de portes medios o altos, aunque puede desarrollarse vegetación herbácea o arbustiva de porte bajo.
4. Los sustratos aluviales permiten tanto la existencia de agua permanente en pozas como la circulación de flujos subterráneos durante el estío, lo que facilita la colonización y el establecimiento de vegetación de ribera asociada de porte arbóreo. El tipo de especie y su distribución dependerá de la cantidad y duración de los puntos de humedad estival (PHE) asociados a las pozas y al flujo subterráneo.
  5. La geomorfología de los ríos temporales mediterráneos está directamente relacionada con el grado de cobertura forestal de su cuenca vertiente, lo que a su vez condiciona la formación vegetal asociada al cauce. El tipo y cantidad de sedimento aportado por la cuenca vertiente incide sobre la manera de circular el agua en el cauce y su almacenamiento y distribución durante el estío.
  6. Cuando la cuenca está deforestada, los sedimentos que se aportan al cauce son abundantes, afectando al modo de circular el agua. Durante el estío el agua desaparece del cauce al circular dispersa entre numerosos ramales anastomosados, provocados por la acumulación de sedimentos, que terminan secándose a lo largo del verano. Conforme la cuenca aumenta su cobertura vege-

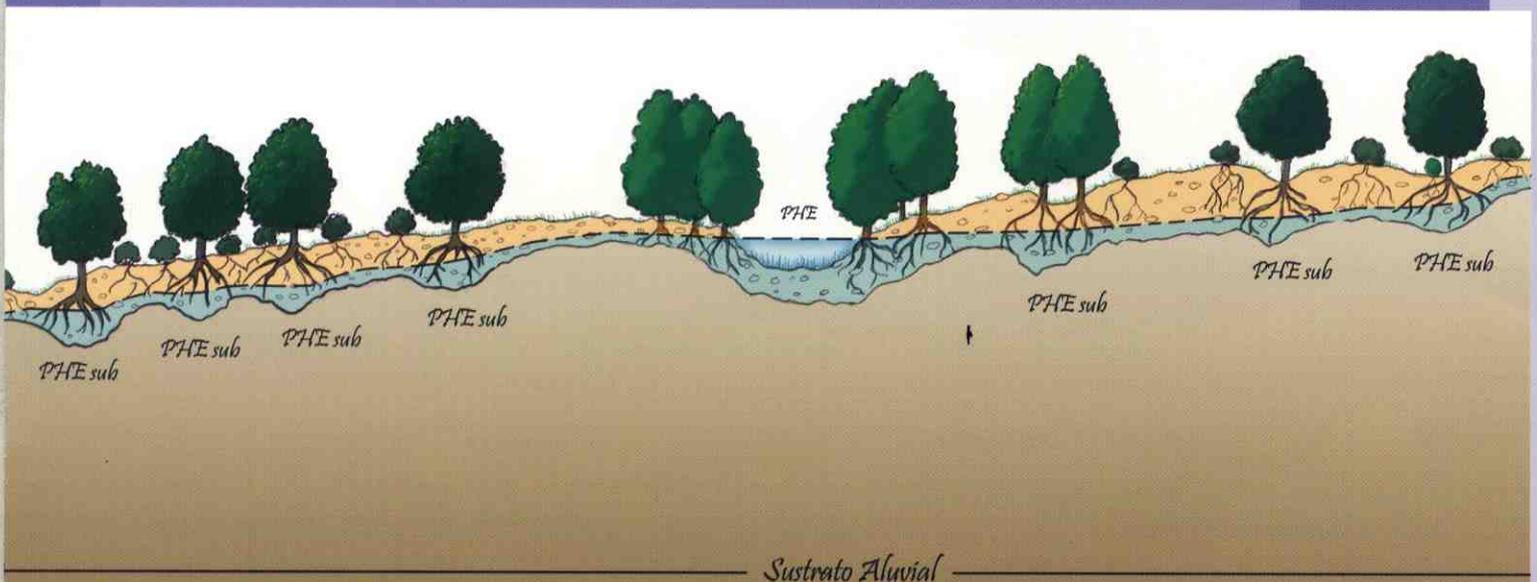


tal, disminuyen los aportes de sedimento, desapareciendo los ramales y comenzándose a formar charcas permanentes y circulaciones sub-superficiales, que permiten la existencia de plantas más exigentes en humedad como el aliso o el fresno.

7. Por lo tanto, la existencia o no de determinadas especies de la geoserie riparia correspondiente, parece estar directamente relacionada con el estado erosivo de la cuenca, ya que si está deforestada, el rejuvenecimiento constante del cauce puede impedir que se den las condiciones necesarias para que vegeten las especies arbóreas más exigentes.
8. Es más, si la cuenca se deforesta, los abundantes aportes de sedimentos pueden hacer inviable la existencia de la vegetación más exigente

de la geoserie, y puede que no sea suficiente compensar el déficit de agua estival mediante aportes artificiales, en tanto no se den las condiciones necesarias para permitir la existencia de las pozas permanentes a las que se asocia este tipo de vegetación.

9. Cuando el cauce se estabiliza por la reforestación de la cuenca vertiente, se produce una paulatina colonización del mismo por las especies más exigentes, colonización que es independiente de la mayor o menor circulación de agua derivada de las precipitaciones del invierno.
10. Al contrario de lo que acontece en los ríos permanentes, no hay una influencia determinista de los perfiles transversales de los ríos sino de los longitudinales asociados a



estos puntos de humedad. Es decir, las plantas no se ubican necesariamente en función de la distancia al eje del río sino en función de la distribución de los Puntos de Humedad Estival en sentido longitudinal.

**11.** El régimen hidráulico no influye de manera decisiva en la distribución de la vegetación de ribera, siempre que el suelo sea aluvial y permita la existencia de agua subsuperficial. Las crecidas en el río Yeguas han generado perturbaciones locales, pero no parecen ser el factor determinante que explique la distribución de las poblaciones de árboles de ribera, debido a la textura del sustrato de grava dominante en el río.

**12.** En los ríos temporales no es correcto hablar de bosques en galería, porque la vegetación no forma necesariamente una masa densa y con continuidad lineal. En estos ríos lo habitual es encontrar formaciones de bosquetes y árboles dispersos mezclados con pastizales y matorrales en función de la disponibilidad de agua.

**13.** Cada especie tiene preferencia por colonizar diferentes espacios asociados a la calidad y cantidad de PHE; por ejemplo, el aliso suele colonizar las inmediaciones de las pozas, mientras que el fresno encuentra su óptimo en espacios donde el flujo subsuperficial se encuentra en profundidad. Asimismo, es importante



estudiar la confluencia de los arroyos secundarios y los aportes de aguas subálveas.

**14.** En un perfil transversal, la vegetación se concentra en el margen exterior de las curvas, a pesar de ser la que sufre la máxima erosión, debido a que el flujo hiporreico circula por la zona externa de la curva mientras que, en la zona interna, por ser zona de sedimentación, aumenta la profundidad del freático al conjugarse un descenso del nivel de agua con un incremento en altura del manto aluvial.

**15.** La regeneración no tiene necesariamente relación directa con las sequías periódicas estivales,

sino que está más condicionada por los cambios geomorfológicos derivados de los cambios en la cuenca vertiente.

**16.** El número de pies arbóreos de la ribera, puede estar condicionado por la presión ganadera, por lo que, en caso de existir hábitats adecuados, es fundamental una regulación ganadera para conseguir la regeneración.





# Criterios técnicos



# 2.2

## 2.2 Criterios técnicos

# Criterios técnicos

## 2.2 Criterios técnicos

Se establecen aquí las pautas generales para reforestar una ribera mediterránea: tanto la idoneidad de la actuación escala de cuenca y tramo fluvial con el fin de definir la estrategia, como el tipo de restauración más adecuado.

La idea que se pretende trasladar es diseñar las revegetaciones teniendo en cuenta las peculiaridades de estos ríos, y bajo la perspectiva de que sea la propia dinámica fluvial la que perpetuará la ribera. Para ello, es básico estudiar el río, delimitando los factores de perturbación y su posible minimización con el fin de zonificar los distintos hábitats de la ribera e implantar las especies más adaptadas.

### 2.2.1 Definición del grado de estabilidad del sistema cuenca-río

Entre la cuenca y el río existe una relación tendente al equilibrio. Las condiciones de la cuenca vertiente, principalmente su tamaño, grado de cobertura y tipo de cubierta vegetal, determinan las características de los tres tipos de caudal (crecidas, base y subsuperficial) y consecuentemente su morfología fluvial. Los cambios que se producen en el grado y tipo de cobertura de la cuenca desestabilizan el sistema y tienen incidencia en la magnitud de las crecidas, en la

dimensión y pendiente del cauce o en los caudales punta del régimen hídrico, por citar algunos efectos. Como veremos a continuación, tan sólo se recomienda efectuar la revegetación de una ribera cuando el sistema cuenca-río alcance un cierto grado de equilibrio.

Lo más común es actuar en ríos donde la cuenca tiene un alto grado de escorrentía. Utilizaremos dos ejemplos de disminución de la cobertura vegetal en la cuenca que conllevan un incremento de la escorrentía superficial.

El primer ejemplo corresponde a un posible cambio de uso, como es el caso de la urbanización de la parte media y alta de una cuenca del litoral mediterráneo. La urbanización de estas zonas supone, como hemos comentado antes, una disminución del grado de cobertura y consecuentemente un aumento de los caudales de avenida y de los caudales sólidos. Estas modificaciones conllevarían una modificación del cauce para transportar los nuevos caudales circulantes, bien mediante un aumento de sección o bien de la pendiente longitudinal (régimen hidráulico). Pero este ajuste geomorfológico no es posible en los tramos bajos porque las zonas colindantes al río están urbanizadas y el río ha sido canalizado e incluso entubado.

En la mayor parte de las poblaciones litorales en las que son recurrentes los casos de desbordamientos catastróficos, las obras hidráulicas de drenaje hacia el mar fueron diseñadas para los caudales correspondientes a la situación inicial (sin urbanización de los sectores medios y altos de la cuenca), es decir, para unos caudales menores y sin tener en cuenta el transporte de caudal sólido. No es infrecuente además que en los cauces proliferen escombreras y rellenos de tierras sobrantes de las obras de construcción de las nuevas urbanizaciones que pueden aumentar el caudal sólido arrastrado por las crecidas.

En este caso las actuaciones a realizar sobre el cauce deberían estar diseñadas en el planeamiento urbanístico e iniciarse antes de las obras de urbanización. La intervención principal será disminuir el riesgo de avenidas mediante la construcción de estructuras de laminación de caudales y de retención de sedimentos, especialmente los gruesos, y crear estructuras de laminación (balsas de laminación, cubiertas ecológicas en los edificios, etc.) en la propia urbanización. Con estas actuaciones podemos mejorar el tránsito de caudales en la zona baja de la cuenca. En todo caso las escombreras y taludes generados por las obras se deberán restaurar adecuadamente construyendo si es necesario estructuras de control de la emisión de sedimentos para evitar incrementar los caudales sólidos.

El diseño de las obras se realizará en función de la variación de los caudales de avenida determinados por los coeficientes de escorrentía actuales y futuros. Para ello se puede comparar el Mapa de Usos y Coberturas de Andalucía (estado actual) con el planeamiento urbanístico (estado futuro).

El segundo ejemplo consiste en una cuenca en la que se ha producido un gran incendio. La pérdida de cobertura vegetal generará durante los primeros años un incremento de los caudales sólidos y líquidos, en tanto la cobertura vegetal se recupere, lo que dependerá de muchos factores (especie, intensidad del incendio, banco de semillas, meteorología posterior al incendio, etc.).

Durante los primeros años y con el fin de reducir la erosión, la emisión de sedimentos y la laminación de caudales, podremos realizar algunas obras de hidrología como diques, fajinas, muros pantalla, albarradas, etc. Para la construcción de obras de mediano y gran tamaño en la red de drenaje debemos tener en cuenta algunos principios:

- Se debe distinguir si la cuenca vierte a un embalse o infraestructura, o directamente al mar. En el primer caso, las obras de hidrología deben retener los sedimentos para evitar colmatar las infraestructuras. No obstante, cuando

la cuenca vierte directamente al mar, hay que considerar los beneficios del aporte de los sedimentos finos a la dinámica costera, por lo que las obras de hidrología deben retener sólo el material granular grueso, siendo recomendable utilizar obras de mediano y gran tamaño como diques rastrillo y diques de laminación.

- Se debe evitar realizar azudes o diques en la red fluvial cuyo régimen hídrico sea temporal o permanente, pues estas estructuras actúan como barreras para la fauna no reptante. En todo caso no deben realizarse con gaviones ya que son atravesados por los caudales medios y bajos impidiendo la migración de la fauna y su refugio en las pozas (las pozas son el único sitio con agua para que determinadas especies resistan el periodo seco de los ríos temporales).
- Hay que descartar totalmente la realización de azudes o diques en los tramos fluviales con pozas, pues la cuña de sedimento generada aguas arriba de la obra de hidrología las atarrará, perdiéndose una importantísima zona para la supervivencia durante el periodo estival de determinada fauna acuática.
- Cuando sea necesario realizar obras hidrológicas en los tramos de la red fluvial con régimen hídrico temporal se debe recurrir a obras de retención selectiva (rastrillos) y de laminación

de caudales que permitan el tránsito de los organismos acuáticos, tal como se ha recomendado en las cuencas de vertido directo al mar.

En las zonas incendiadas no es conveniente reforestar inmediatamente las riberas, siendo necesario esperar a la regeneración de la cuenca y a la estabilización de la relación cuenca-río. Por ello lo conveniente es esperar a que el grado de cobertura vegetal en la cuenca recupere los valores previos al incendio, independientemente de que la cobertura sea arbórea o arbustiva.

### 2.2.2 Condiciones hidromorfológicas del tramo fluvial

Legalmente el cauce o alvéolo natural se define como el terreno por donde circulan las aguas en las Máximas Crecidas Ordinarias (MCO) que corresponde al nivel medio establecido por las crecidas de los últimos diez años. A efectos de deslinde y diseño hidráulico de obras fluviales es común utilizar el periodo de retorno 2,33,  $T_{2,33}$ , como parámetro de definición del cauce. Geomorfológicamente, el periodo de retorno que configura el cauce oscila entre 1,5 y 7 años, siendo mayor cuanto más irregular es el régimen hídrico, y en ríos esporádicos (ramblas) puede llegar hasta 10 años.

El límite entre el cauce y las llanuras de inundación se define por el límite de caudales (bankfull) que se establece como el punto donde el cauce no tiene más capacidad de transporte y anega las márgenes (llanura de inundación). La vegetación de ribera se desarrolla en las fajas laterales del cauce, por encima del nivel de caudal de aguas medias o altas, pudiendo colonizar la llanura de inundación si existe una elevada humedad edáfica. No obstante en los ríos temporales es habitual que la vegetación de ribera se desarrolle dentro del cauce creciendo al amparo de zonas de aportación de sedimentos o pequeñas islas.

Según lo expuesto, la ribera se asienta en una franja del espacio fluvial modelado por dos componentes del sistema fluvial: la geomorfología y el régimen hidrológico. Las características y relaciones de estas componentes son muy diversas y complejas por lo que en este apartado se describen los factores más comunes que modifican la componente hidromorfológica natural y por lo tanto las características de la ribera y su capacidad de regeneración.

### **Componente morfológica**

Los ríos presentan una movilidad en las tres dimensiones espaciales; por ello actualmente hay una tendencia a promover obras fluviales que respeten un espacio mínimo denominado Espacio de Libertad Geomorfológica, ver apartado 3.2.1 Geomorfología y vegetación de ribera.

Los cauces situados aguas abajo de zonas con alteración del régimen hídrico u obras fluviales pueden presentar incisión o ensanchamientos al alterarse la relación anchura/profundidad. La incisión del cauce provoca un descenso del nivel freático que puede impedir el desarrollo o la regeneración de la vegetación de ribera hasta que el cauce se reequilibre por desmoronamiento de los taludes y sedimentación en su interior. Los ensanchamientos provocan la sedimentación en su interior, invasión de helófitos y la consecuente pérdida de eficiencia hidráulica, que se traduce en la acentuación de las inundaciones. Los ríos tienen capacidad para autorregularse y solventar estas deficiencias, y aunque esta regulación se puede acelerar con actuaciones hidráulicas con base geomorfológica, en la actualidad es frecuente que se recurra a actuaciones de solución momentánea (ver apartado 3.1 Limpieza de cauces).

Las obras fluviales generalmente se diseñan con taludes muy inclinados. Éstos normalmente son estables pero, al igual que los cauces con problemas de incisión, no pueden albergar vegetación riparia al no existir una franja de terreno que presente condiciones aptas para ello (inundaciones periódicas y profundidad del freático asequible). Para revegetar estas zonas es necesario previamente inclinar los taludes en relación (h:v), 5:1 ó 4:1 como mínimo.

### Componente hidrológica

La influencia de los caudales circulantes en los ríos los estudiaremos en dos subcomponentes: el régimen hídrico e hidráulico.

En Andalucía, región de clima mediterráneo, el régimen hídrico es pluvial, salvo en Sierra Nevada, donde es pluvio-nival, por ello, los caudales medios mensuales (régimen hídrico) son más abundantes durante el periodo de lluvia y menores, e incluso nulos, en los meses secos.

La singularidad de las riberas mediterráneas reside en ser formaciones caducifolias en un medio predominantemente esclerófilo, donde los meses de descenso de recursos hídricos coinciden con el periodo de plena actividad fotosintética de las plantas caducifolias. Es por ello que el grado de cobertura y las especies que se pueden desarrollar en la ribera están influenciados por el aporte hídrico del río.

La alteración más frecuente en los ríos mediterráneos es la inversión del régimen hídrico en los tramos situados aguas abajo de los embalses porque se utiliza el tramo fluvial como canal de abastecimiento. Otras afecciones comunes del régimen hídrico son la detracción de caudales para el riego y el aporte de caudales procedentes de la red de saneamiento de los núcleos urbanos. En ambos casos se acentúan especialmente los efectos sobre el régimen hídrico a lo largo del periodo seco.

Los caudales medios anuales definirán la zona del cauce sumergido, encharcado y emergido, estableciendo las distintas zonas fluviales en función del grado de inundación y permanencia de la lámina de agua. Por ello, en los tramos fluviales donde existan alteraciones del régimen hídrico se debe tener en cuenta que las especies que se desarrollen o puedan desarrollarse en estos tramos serán distintas a las definidas por la geoserie del tramo fluvial. Igualmente, existirá más riesgo de invasión de especies alóctonas.

Las crecidas de los ríos se clasifican según el periodo de retorno,  $T_n$ , siendo "n" el subíndice que indica, estadísticamente, el periodo mínimo de suceso del evento (la crecida  $T_2$  se produce al menos una vez cada 2 años). La dinámica de las inundaciones (régimen hidráulico), además de configurar la morfología fluvial, zonifica las especies en función de la frecuencia y magnitud de la inundación. Además, la aparición de espacios libres consecuencia de la eliminación de parte de la vegetación y el aporte de semillas en las zonas inundadas, favorecen la regeneración de la masa vegetal. No obstante, la regeneración sólo será viable en aquellas zonas donde la plántula consiga emitir un sistema radicular capaz de alcanzar el nivel freático de verano con una tasa de crecimiento igual o superior a la velocidad de descenso del citado nivel.

## 2.2.3 Establecimiento de la estrategia de revegetación

### 2.3.1 Localización de la intervención

Como se ha observado en el río Yeguas, las riberas tienen capacidad de autorregenerarse. Dicha capacidad será mayor cuanto mayor sea la calidad de la ribera situada aguas arriba del tramo objeto de revegetación al ser ésta la que aporte el material vegetal de reproducción. Igualmente, la recuperación será más espectacular cuando los factores de perturbación se reduzcan a tasas mínimas.

Si le damos un periodo de tiempo suficiente, al cesar o disminuir las perturbaciones, el río puede recuperarse por sí solo. No obstante, en determinados casos nos puede interesar reducir el tiempo necesario para recuperar la ribera y por ello tendremos que recurrir a su reforestación.

Según la localización de las actuaciones, podemos optar por tres posibles estrategias de revegetación: restauración convencional, restauración adelantada o de "Caballo de Troya" o restauración pasiva.

#### **Restauración convencional**

La restauración convencional consiste en actuar sobre la totalidad de un río o tramo fluvial. Su principal ventaja es que se acelera el proceso regenerativo

de la ribera, pero sus desventajas son la necesidad de levantar una información detallada y el elevado coste económico que conlleva. Se recomienda en tramos fluviales que tengan un elevado número de usuarios u observadores, como es el caso de tramos fluviales acondicionados, próximos a zonas urbanas o parques periurbanos.

#### **Regeneración adelantada o de "Caballo de Troya"**

La regeneración adelantada consiste en crear núcleos dispersos de vegetación riparia a lo largo del río. Su finalidad es que estos puntos actúen como núcleos de dispersión de material vegetal de reproducción y consigan la regeneración natural de la totalidad de la ribera años más tarde. Esta técnica está recomendada en tramos donde existen factores perturbadores que limitan el desarrollo de la vegetación, pero se prevé que cesen o disminuyan en un futuro cercano (extensas áreas donde las afecciones son difusas y generalizadas, caso de zonas agrícolas donde se practica la quema de rastrojos –campiña–, y tramos fluviales con ganadería itinerante). Su ventaja es el reducido coste y la creación de masas dispersas que adelantarán la autorrecuperación de la ribera a medida que los factores de perturbación vayan cediendo, y su desventaja radica en el tiempo de espera. Las actuaciones se localizarán en las zonas donde las perturbaciones sean mínimas (en zonas agrícolas corresponderían a tramos colindantes

con cultivos leñosos) y deberán estar protegidas por un cercado cuando exista presión ganadera.

### **Restauración pasiva**

La restauración pasiva consiste en restablecer la geomorfología del tramo fluvial y dejar que la revegetación la realice el propio río. Está recomendada en tramos y zonas fluviales en las que se restauren las condiciones geomorfológicas al eliminar o modificar obras fluviales (eliminación de motas y naturalización de cauces), y además el río presente, aguas arriba, una ribera en buen estado de conservación que posibilite el aporte de material vegetal de reproducción. Su desventaja es el lapso de tiempo que transcurre hasta que se revegeta el río, pero por el contrario la vegetación estará perfectamente adaptada a las condiciones del mismo.

#### **2.3.2 Tipos de actuaciones de revegetación**

La restauración de la ribera tendrá la finalidad de establecer una masa vegetal natural con resiliencia suficiente para tolerar el régimen de perturbaciones existentes, tanto las naturales como las antrópicas. También procurará la representación y el desarrollo de las especies más sensibles en los lugares menos adversos para que actúen como colonizadores del ecosistema.

En los casos en los que se opta por revegetar, el objetivo perseguido puede ser aumentar la cobertura, diversificar la comunidad vegetal o potenciar determinadas especies que por sus características son las que más sufren los factores de perturbación.

Las riberas de ríos temporales no presentarán coberturas del orden del 90-100% ya que las disponibilidades hídricas, al actuar como factor limitante, no se lo van a permitir, siendo esta limitación más acuciada cuanto más dilatado sea el periodo de sequía estival, (que en ríos temporales puede abarcar hasta 6 meses). El condicionante hídrico establece también bajos porcentajes de representación de las especies más exigentes en agua, que pierden peso frente a las menos exigentes. Este fenómeno suele ir asociado a la localización de las especies exigentes en las zonas donde el nivel freático está en superficie o próximo a ella, o la ausencia de las mismas por la severidad del régimen hídrico.

Entonces, ¿cuándo reforestar un río temporal? Hay que estudiar el río, las presiones que recibe y valorar la componente "Grado de cobertura" con el índice QBRm<sup>1</sup> o el ECRF<sup>2</sup>. Ambos contemplan la componente "Grado de cubierta de la zona de ribera" y establecen que un porcentaje de cobertura

<sup>1</sup> Índice de Calidad del Bosque de Ribera modificado, que puede consultarse en el Plan Director de Riberas de Andalucía.

<sup>2</sup> Índice de Estado de Conservación de la Ribera mediante Fotointerpretación, consultable en el Plan Director de Riberas de Andalucía.

mayor del 50% se considera ribera en Buen Estado; valores entre el 31 el 50%, Regular; y con valores de cobertura inferiores al 30%, Mala. Esto nos indica que una reforestación debería plantearse cuando la cobertura de un río temporal sea menor del 30%. No obstante, con coberturas medias (30-50%) es muy probable que sea conveniente realizar actuaciones de diversificación de la masa vegetal.

Las actuaciones de forestación o reforestación en las riberas las podríamos clasificar en tres tipos:

- **Densificación:** se realizará cuando la cobertura vegetal sea baja. En este caso se introducirán todas las especies del cortejo florístico en porcentaje y densidad adecuados al tipo de geoserie y a la acentuación del régimen hídrico. Un ejemplo podrían ser los ríos que transcurren por extensas zonas agrícolas, donde la reiterada incidencia de las perturbaciones ha terminado deforestando las riberas, e incluso mermado la capacidad de autorregeneración de las mismas, al no existir bosquetes residuales.
- **Diversificación:** se destina a los tramos fluviales con cobertura vegetal media o buena que presenten un porcentaje deficiente en determinadas especies de la geoserie. La actuación de reforestación consistirá en aumentar la población de

dichas especies, protegiéndolas frente a los factores de perturbación si fuera necesario. Esto suele suceder porque dichas especies son más susceptibles a las perturbaciones. Un ejemplo serían los ríos de Sierra Morena (geoserie edafohigrófila EH7) con alta presión por herbívoros, donde la cobertura vegetal es adecuada (media o alta) y el verdadero factor discordante es un bajo porcentaje de especies palatables (fresnos y alisos) que a su vez son las más exigentes en agua. En este caso, la revegetación consistirá en introducir las especies palatables en los lugares más húmedos (PHE) y protegerlas de los herbívoros.

- **Potenciación:** el objetivo es aumentar el porcentaje de algunas de las especies de la geoserie, con actuaciones directas o indirectas. Un ejemplo podrían ser algunos ríos de Sierra Morena donde, además de la presión por herbívoros, en las riberas han proliferado dos especies alóctonas, estramonio y eucalipto. La primera es una planta herbácea anual que se desarrolla en bancos de arena y la segunda es un árbol de crecimiento rápido. La actuación más rentable, económica y técnicamente, sería la eliminación del eucalipto ya que se erradica un gran competidor por el agua (principal factor limitante) y se liberan espacios fluviales de gran aptitud para especies arbóreas. Por el contrario,

intentar erradicar el estramonio conlleva un elevado coste (erradicación manual) y una escasa probabilidad de éxito, al ser una planta herbácea que regenera anualmente a través del banco de semillas. Otro factor a tener en cuenta es que el espacio fluvial liberado son bancos de arena (biotopo demasiado móvil para el desarrollo de especies leñosas de porte arbóreo).

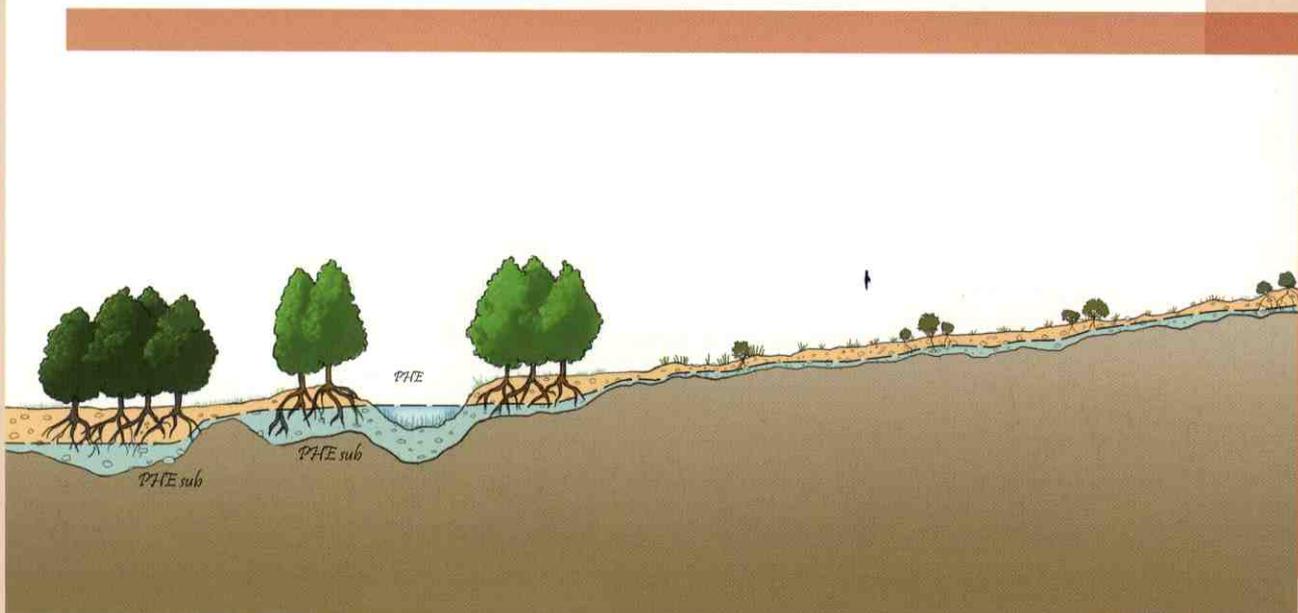
## 2.2.4 Diseño de la revegetación

Una vez establecida la idoneidad de la actuación de revegetación y su estrategia, es necesario realizar el diseño. Se deben descartar las actuaciones sistemáticas o las que no concreten los detalles de la actuación, pues la irregularidad y complejidad de los ríos mediterráneos conllevaría el fracaso de la intervención (porcentaje de marras elevado).

Para conseguir el éxito en la revegetación se debe establecer una zonificación, donde se diferencien los distintos espacios fluviales y se elijan cuidadosamente las especies a introducir, sabiendo que finalmente será el propio río quien determine los lugares de regeneración de las especies en función de los hábitats existentes.

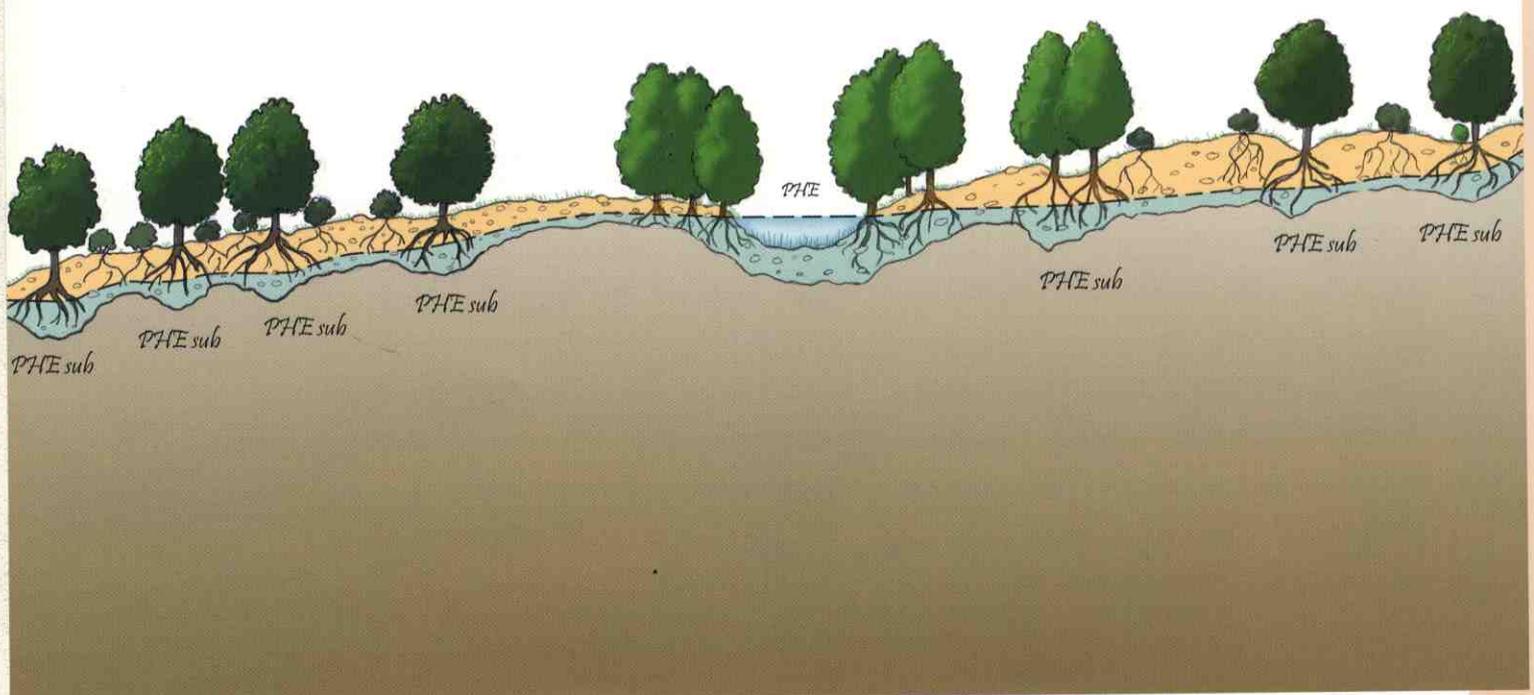
### 2.2.4.1 La zonificación de la ribera

El principal factor limitante para el desarrollo de las riberas en los ríos temporales son las limitaciones hídricas del periodo seco, que puede durar hasta seis meses. Ignorar esta característica y la sinergia que se produce con el resto de factores limitantes puede originar el fracaso de la revegetación, por ello se recomienda que la estrategia de la restauración se defina a escala de río, y su diseño a escala de tramo fluvial, mediante su zonificación previa.



La zonificación permite localizar los trabajos en las zonas con mayor probabilidad de éxito y seleccionar las especies más adaptadas a cada sector. En el resto de zonas no se recomienda actuar, salvo que se realice un estudio detallado, dejando que se regeneren de forma natural a partir de la vegetación preexistente o de las zonas restauradas (regeneración adelantada).

periodo seco. El agua circula por el interior del manto aluvial y su profundidad depende de los parámetros hidrogeológicos del río (velocidad de circulación, características del sustrato, continuidad y topografía de la capa impermeable, etc.). La conjugación de las características del río y su caudal subsuperficial determinan que existan tramos donde el agua aflora a



### Zonificación según la influencia hídrica

Los ríos temporales presentan dos periodos hídricos claramente diferenciados. Desde principios de otoño hasta finales de primavera el río transporta agua en superficie y se denomina periodo húmedo, pero durante el verano el único caudal circulante es el subsuperficial y se denomina

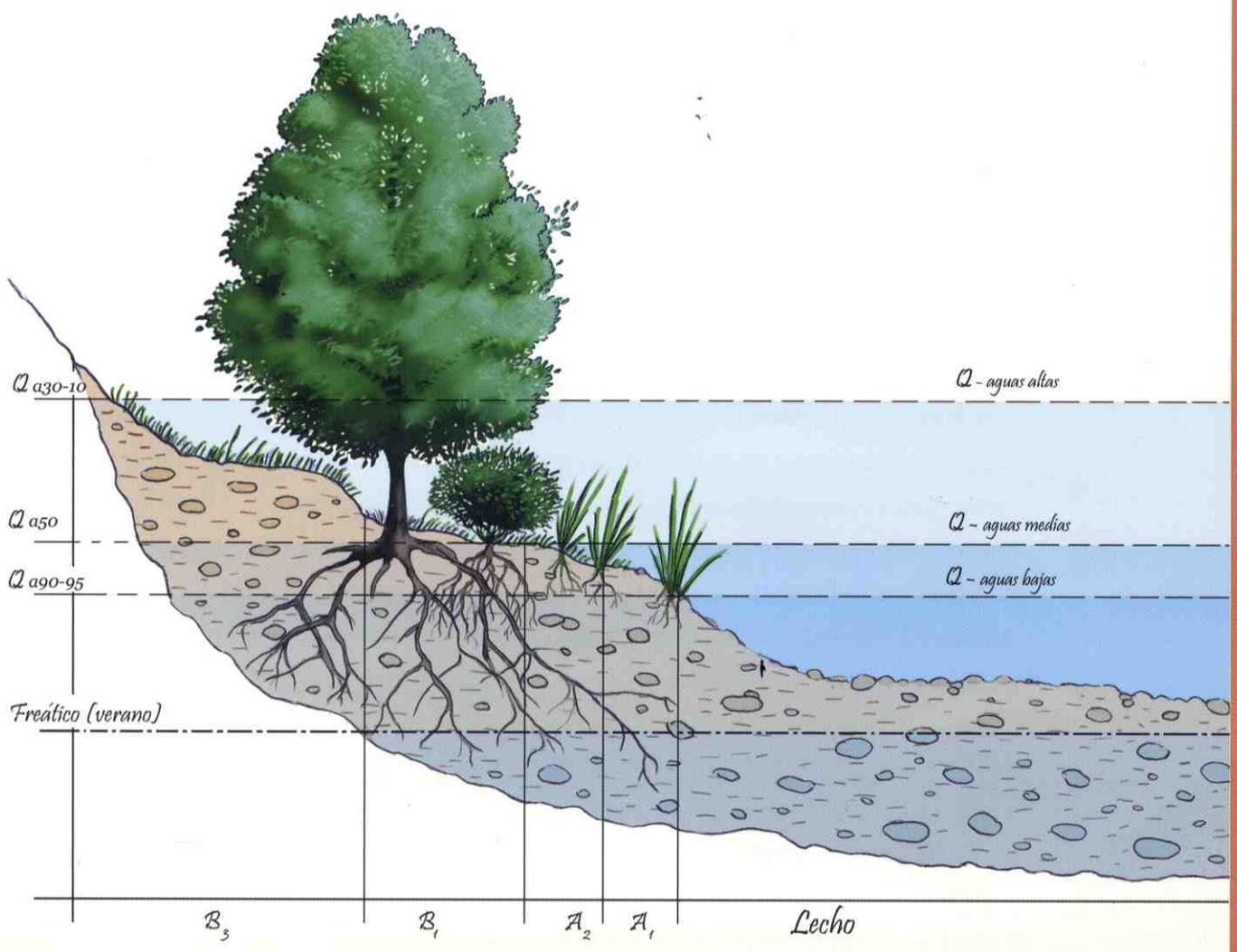
la superficie (pozas o tramos con caudal circulante en superficie) o permanece oculta, denominándose a los primeros Puntos de Humedad Estival (PHE).

La zonificación hídrica consiste en sectorizar los espacios fluviales teniendo en cuenta la variabilidad de los niveles hídricos a lo largo del año climato-

lógico. Durante el periodo húmedo el recurso hídrico está asegurado pero el calado de la lámina de agua varía, permitiendo diferenciar tres zonas para el desarrollo de las comunidades vegetales: acuática, encharcada y emergida, en función de la frecuencia de inundación: niveles de aguas bajas, medias y altas. Por otro lado, durante el periodo seco conviene conocer la profundidad y velocidad de descenso del freático, información con la que se podría llegar a subdividir las zonas encharcadas y emergidas (zonas A1, A2, ..., An, y B1, B2, ..., Bn), pues en estas zonas las

plantas freatófilas deben desarrollar un sistema radicular capaz de alcanzar los recursos hídricos subterráneos.

Según lo expuesto, zonificar la revegetación de ribera siguiendo únicamente un gradiente transversal de humedad decreciente es válido para un río con régimen hídrico permanente, pero es insuficiente para un río temporal debido a que los recursos hídricos estivales son aportados por el caudal subsuperficial. En estos ríos es necesario establecer previamente una caracterización longitudinal de la profundidad



del freático y conjugarla con otros factores de zonificación que influyen en las disponibilidades hídricas, como son las características hidráulicas y geomorfológicas del tramo fluvial. Un incremento de la pendiente longitudinal (régimen hidráulico) genera, a igualdad de condiciones, un descenso del calado de la lámina de agua en el substrato. Es por ello que en los tramos fluviales con mayor pendiente el nivel freático durante el periodo seco estará mucho más profundo que en un tramo de menor pendiente. Un proceso similar le sucede a los bancos de sedimentos, pues tienen una cota relativa mayor que el resto de las zonas colindantes y consecuentemente el nivel freático está más profundo.

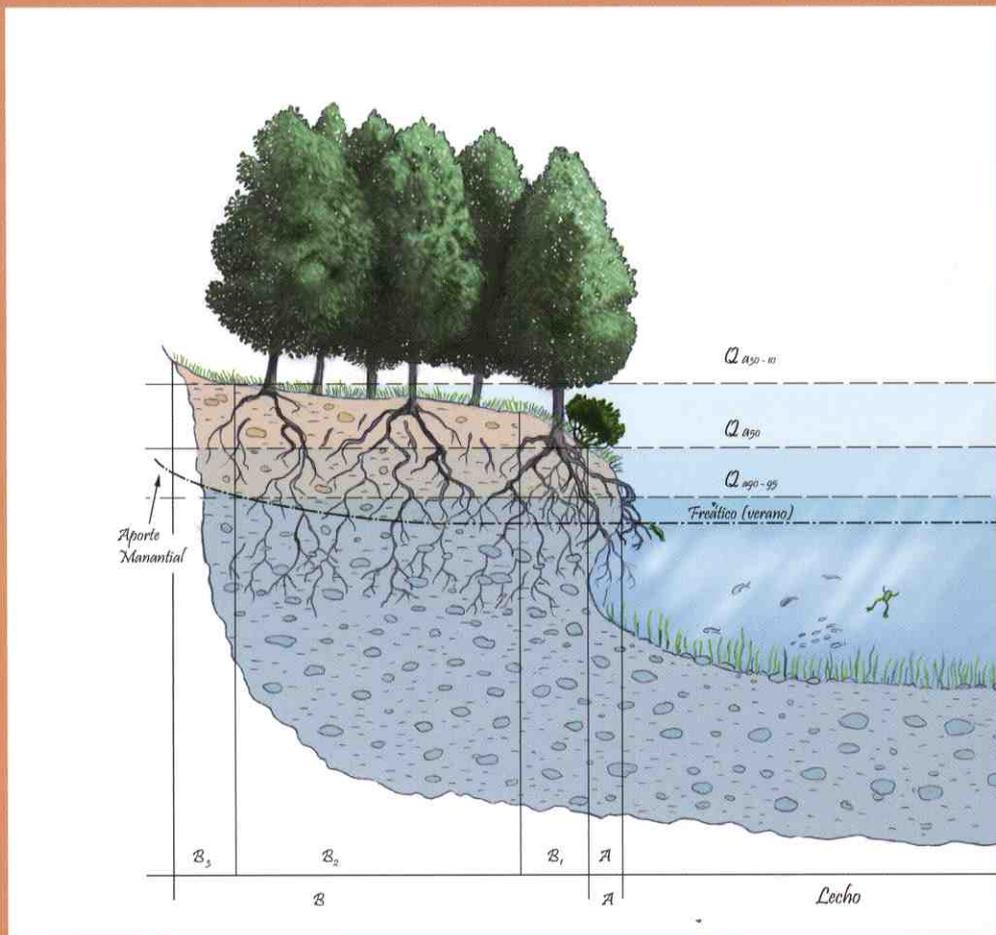
Estas relaciones pueden acentuarse en ríos con sustrato granular (arena, gravas y cantos) pues tiene mayor conductividad hidráulica (mayor velocidad del flujo subsuperficial) que los ríos con sustratos finos (margas, limos y arcillas). La consecuencia de esta característica es que la curva del freático es más acusada (descenso rápido) y en una escasa porción de terreno la profundidad del freático puede variar mucho. El río Yeguas sería un buen ejemplo de este fenómeno porque el sustrato aluvial granular reposa sobre una roca madre impermeable, donde las irregularidades topográficas de ésta provocarán que las distancias entre las subzonas puedan ser ínfimas o variar bruscamente a esca-

sos metros del punto muestreado. En estos casos, es frecuente que todas las especies se agrupen junto a la orilla (zonificación transversal nula) o que las más exigentes en recursos hídricos se ubiquen en los PHE (zonificación longitudinal) o puntualmente en aquellos lugares donde exista una depresión subterránea que actúa de depósito hídrico. Por ello, es necesario hacer una caracterización exhaustiva de la ribera o limitarse a actuar en las zonas bien definidas.

#### **Zonificación según la pauta hidráulica y geomorfológica**

El estudio del río a restaurar debe incluir la sectorización por tramos de características hidráulicas y geomorfológicas homogéneas.

El régimen hidráulico (tranquilo, rápido, torrencial o torrente) y, complementariamente, el tipo geomorfológico (tramo recto, sinuoso o anastomosado) nos permiten aventurar si las crecidas aportan sedimentos y/o movilizan el sustrato en mayor o menor medida, y con ello prever el grado de afección sobre las distintas especies vegetales. La repercusión de la crecida sobre la vegetación dependerá básicamente de la altura de la lámina de agua alcanzada, su velocidad punta, con la consecuente intervención en el balance de sedimentación/arrastre de materiales del lecho y orillas. Este fenómeno se debe conjugar con el régimen de perturba-



La zona acuática corresponde a la parte del cauce inundado por el caudal de aguas bajas ( $Q_{a90-95}$ ). Presenta agua durante un periodo igual o superior al 90% del periodo húmedo y es donde se desarrollan las comunidades acuáticas. La vegetación que se desarrolla son plantas sumergidas.

La zona encharcada estará delimitada entre el nivel de aguas bajas ( $Q_{a90-95}$ ) y medias ( $Q_{a50}$ ). Se encuentra sumergida durante más de la mitad del periodo húmedo y las comunidades vegetales que lo colonizan son herbáceas, helófitos. La zona emergida se sitúa por encima del caudal de aguas medias ( $Q_{a50}$ ) o altas ( $Q_{a10-30}$ ). Se inunda durante un periodo de tiempo inferior al 30-50% del periodo húmedo y es donde se desarrolla las plantas leñosas. Las plantas se alejarán de la orilla en función de la frecuencia de las inundaciones y de la profundidad del nivel freático o humedad edáfica, según se trate de sustratos granulares o finos.

ciones frecuentes, solamente las especies con un ciclo reproductivo corto podrán perdurar al haber alcanzado su madurez sexual antes de que se produzca una nueva crecida.

Los trazados trenzados o anastomosados son exponentes de cursos con una destacada pendiente longitudinal y con arrastre de sólidos elevado, donde la vegetación arbórea tiene grandes difi-

cultades para asentarse. Los tramos sinuosos o meandriformes se consideran un estadio intermedio, donde existe un equilibrio entre erosionabilidad de las orillas y capacidad de transporte. Y por último, los tramos rectos son más infrecuentes y corresponden a zonas donde el flujo de agua tiene menos capacidad de erosión que de transporte.

El tipo de tramo hidráulico-geomorfológico se complementa con una zonificación geomorfológica de la ribera (rápido, remanso, zona de ataque o sedimentación, bancos de sedimentos, etc.), que permite afinar la justificación de la distribución y abundancia de determinadas especies vegetales.

Tal como se concretará más adelante, la presencia inicial de vegetación natural y su distribución en los perfiles transversal y longitudinal del río es un excelente indicador del régimen hidráulico imperante, y debe utilizarse para el diagnóstico de la ribera cuando sea posible. Estas mismas observaciones podrán orientar el diseño de la revegetación, si ésta es necesaria.

### **Zonificación según la vegetación de ribera**

Las especies vegetales que componen la ribera se determinarán con el documento "Modelos de restauración forestal<sup>3</sup>", donde se definen las geoserias de vegetación edafohigrófilas que se desa-

rollan en los ríos de Andalucía. El cortejo florístico está influido por el régimen hídrico del río y es teórico, debiéndose realizar un inventario de campo para comprobarlo y cumplimentarlo.

Una vez determinadas las especies que se deben utilizar en la revegetación de la ribera se procederá a caracterizarlas con, al menos, los siguientes parámetros:

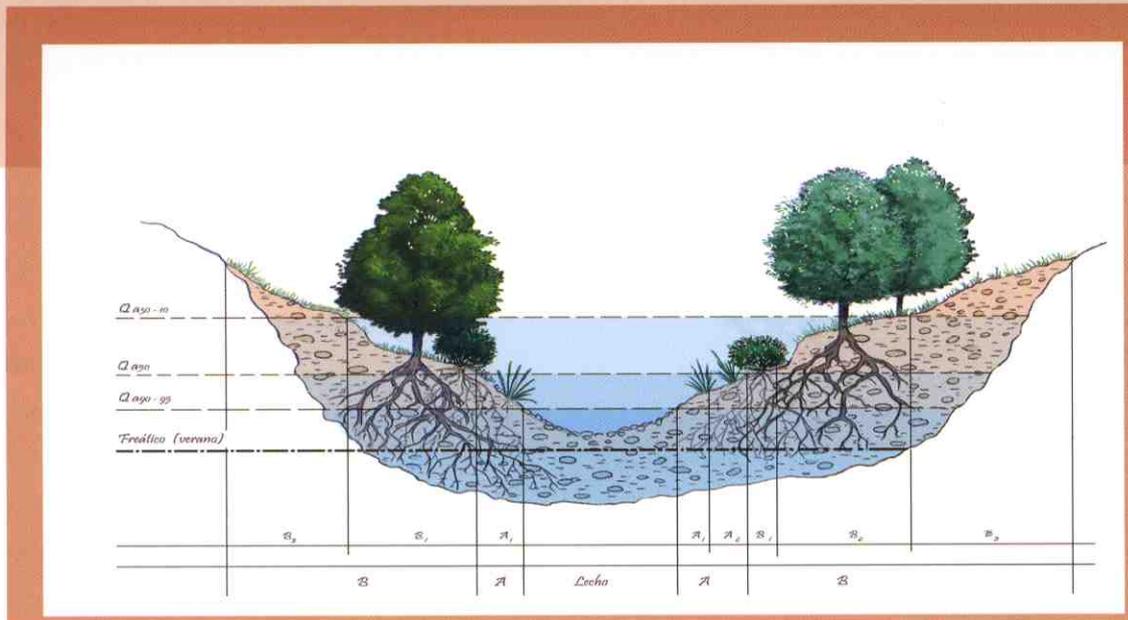
**Requerimientos hídricos:** se clasificarán las especies según las necesidades hídricas óptimas para su desarrollo, especificando la cota de inmersión y la profundidad del freático requerida.

**Palatabilidad:** la presión ganadera sobre las especies vegetales está influenciada por la carga ganadera y la palatabilidad. Ésta se clasificará en los siguientes niveles: nula, baja, media y alta.

**Tipo y tamaño:** se clasificarán las especies en alguno de los siguientes tipos: helófito, arbusto, árbol y liana. También se determinará la altura media con la finalidad de correlacionarla con la altura máxima de ramoneo.

**Estrategia de regeneración:** se caracterizarán las especies de la ribera según el tipo de regeneración que presenten, indicando si es rebrotadora (chirpial, brinjal, estolón, etc.) o germinadora. En este caso se debe especificar la forma

<sup>3</sup> Junta de Andalucía (2004). Modelos de restauración Forestal. Anexo Cartográfico y Series de Vegetación Edafohigrófilas.



de dispersión y la cuantía de las semillas. Esta información permite determinar la capacidad de autorregeneración y resiliencia que tiene cada especie frente a las perturbaciones, con el objeto de integrar dichos factores en el diseño de la revegetación.

**Relación con el régimen hidráulico:** se caracterizarán las formaciones vegetales que se desarrollan en la ribera, indicando el tipo (herbazal, matorral y arboleda), altura y grado de cobertura. Estos datos se utilizarán para seleccionar la formación vegetal más adecuada a cada régimen hidráulico y, en los tramos acondicionados, para determinar el coeficiente de rugosidad ("n" de Manning) que se debe aplicar en la modelización hidráulica.

**Zonificación según la incidencia de las actividades humanas**

Las actividades humanas generan perturbaciones en las riberas. Para determinar las afecciones de la ribera debidas a los usos colindantes se definirán los usos colindantes actuales y planificados a escala de subtramo, uti-

lizando, al menos, la siguiente clasificación: agrícola (herbáceo o leñoso), forestal, ganadero (extensivo o itinerante) y urbano. En este último se identificarán los siguientes subtipos: bienes (edificaciones e infraestructuras), espacios libres (zonas verdes, dotaciones deportivas, etc.) y marginal.

Una vez identificado el uso colindante se determinará el tipo y grado de afección sobre la ribera. Estos datos servirán para elegir las especies más adecuadas para la revegetación, consiguiendo que la ribera sea estable frente a la dinámica de perturbaciones.

**Síntesis de la zonificación**

Es necesario y clarificador que se realice una síntesis final de la información, delimitando las zonas de la ribera que acogerán labores de revegetación de diversa índole (rodalización). La síntesis final de la zonificación de la ribera se puede organizar, por ejemplo, en tramos, subtramos y, finalmente, dentro de los subtramos, zonas diferenciadas por su geomorfología (tipo de sustrato, estabilidad).

### 2.2.5 Determinación de la aptitud y viabilidad de las especies

Se recomienda valorar la idoneidad de las especies vegetales propuestas para la revegetación mediante una tabla multicriterio. En cada uno de los rodales o zonas diferentes a revegetar, se valoran las especies de la geoserie, en función de su aptitud y viabilidad. Dichos parámetros se pueden valorar numéricamente del 0 al 100, donde una puntuación menor de 50 define a la especie como no apta, cuando sea mayor o igual a 50, indicará que es apta y su grado de idoneidad. El resultado de la valoración multicriterio se concreta en el valor de la probabilidad de éxito asignado finalmente a cada especie.

**Aptitud:** se valora la idoneidad de la especie para adaptarse a la zona ribereña, en especial los requerimientos hídricos y en relación con el régimen hidráulico, analizando este último según la tolerancia a las crecidas.

**Viabilidad:** se valora la resistencia de las especies a las afecciones antrópicas identificadas.

La valoración conjunta de ambos factores se puede realizar mediante la media aritmética de los valores obtenidos de aptitud y viabilidad, obteniéndose el valor de la probabilidad de éxito.

**Probabilidad de éxito:** se aplicaría únicamente a las especies que hayan alcanzado una puntuación superior a 50 tanto en aptitud como en viabilidad, considerándolas especies con alta probabilidad de éxito cuando el valor del parámetro sea igual o superior a 75 y de baja probabilidad cuando sea inferior a 75. Se recomienda que el conjunto de especies a utilizar en cada zona ribereña, rodal, esté formado por un mínimo del 70% de las especies consideradas con alta probabilidad de éxito y un máximo del 30% de las definidas con baja probabilidad de éxito.

### 2.2.6 Recomendaciones finales para las labores

El diseño de las labores de revegetación en ríos mediterráneos está sujeto a un elevado grado de incertidumbre por el desconocimiento de los regímenes hídricos, del comportamiento del freático a lo largo del periodo seco, así como de su variabilidad interanual. Dichas incertidumbres tan sólo pueden ser corregidas en la medida de lo posible bien por una intensificación del levantamiento de datos de campo, bien por la restricción del ámbito de actuación del proyecto a los Puntos de Humedad Estival (PHE), donde se conoce mucho mejor la disponibilidad hídrica a lo largo del año. En los casos en los que la ribera presente un

régimen hídrico más restrictivo para la vegetación es donde habrá que seleccionar más cuidadosamente la estrategia de revegetación.

La densidad de plantación se adaptará a las disponibilidades hídricas del tramo y de la zona ribereña, estableciendo densidades altas sólo en las zonas donde existe agua en abundancia para asegurar la existencia de un bosque.

En la elección del material vegetal y de la técnica de preparación del terreno se tendrá en cuenta el riesgo de descalce y desarraigo de las plantas por el efecto de las crecidas, especialmente cuando se actúe sobre un río con régimen hidráulico rápido o superior. Igualmente, los elementos de protección frente a los herbívoros se adecuarán a las características hidráulicas de la zona ribereña.

En la elección del material vegetal para labores de revegetación también se debe tener en cuenta que actualmente las especies riparias no disponen de una identificación de sus Regiones de procedencia, por lo que existe el riesgo de traslocación de individuos o estirpes con unas características genéticas sensiblemente diferentes a las de las poblaciones locales. Para evitar este problema, en lugar de la adquisición de material procedente de vivero se puede optar por reproducir el material vegetal existente en la localidad. En dicho caso, si se utilizan técnicas de reproducción vegetativa

hay que asegurarse del empleo de material vegetal procedente de un número suficiente de árboles de zonas distintas, propiciando la variabilidad genética de la población introducida.

La incertidumbre de la profundidad del freático no debe solventarse con plantaciones a raíz profunda cuando se trate de reforestaciones con criterio ecológico. En ellas, el principio de zonificación se basa en plantar sólo en los lugares naturalmente aptos. Es decir donde podría germinar una planta y desarrollar un sistema radicular a un ritmo suficiente para alcanzar la curva de descenso del frente húmedo. De esta forma se asegura la implantación de especies adaptadas al medio y con capacidad de garantizar la autorregeneración.

Por último, cabe acompañar las labores de revegetación con otras medidas auxiliares que garanticen la consecución del objetivo global de la restauración ecológica de la ribera. Generalmente será necesario llevar a cabo otras actuaciones para eliminar factores de perturbación antrópica: limitación de las prácticas de quema de rastrojos, control de vertidos y escombros, corrección de la invasión del Dominio Público Hidráulico, etc.

#### **2.2.6.1 Ejemplo de revegetación**

Con el caso práctico que se muestra a continuación se pretende plasmar

en una situación concreta lo señalado hasta ahora para el diseño de actuaciones de revegetación. No obstante, al tratarse de un caso hipotético en el que no podemos extendernos en exceso, carece de la importantísima caracterización previa del río y su ribera. Por ello recalcamos aquí el interés que tiene evaluar previamente el estado del río y su cuenca vertiente, y establecer el grado de afección de la ribera y las causas que lo provocan. Una vez diagnosticado el río puede establecerse justificadamente la estrategia y tipo de restauración a aplicar en cada tramo fluvial, tal como ilustra el siguiente ejemplo.

El ejemplo de revegetación se hace en un río de Sierra Morena con régimen hídrico temporal y sin regulación de caudales ni alteraciones en el cauce. La ribera presenta una cobertura vegetal del orden del 50%, pero las especies arbóreas se encuentran escasamente representadas. El uso colindante es forestal con un aprovechamiento principal de ganadería extensiva y en segundo lugar cinegético.

Se ha descartado revegetar los subtramos con sustrato lítico y pequeños depósitos de sustrato y los tramos con elevado régimen hidráulico, porque en estas zonas la ribera está colonizada por arbustos y no tiene capacidad para desarrollar comunidades vegetales más exigentes. Igualmente, se ha evitado actuar en los tramos sin Puntos

de Humedad Estival (PHE) debido al desconocimiento sobre la profundidad del freático, que tan solo puede subsanarse con el uso de piezómetros. En su defecto, si se decide intervenir en estos tramos, deben emplearse en la plantación especies poco exigentes en recursos hídricos.

El tramo elegido corresponde a una zona donde abundan los Puntos de Humedad Estival, pues es fácil conocer la evolución de la curva del freático en el perfil transversal durante el año climatológico mediante el muestreo de la cota de la lámina de agua de los PHE (pozas y afloramientos).

Para facilitar el análisis y comprensión de las características fluviales, así como su zonificación, se ha representado el tramo fluvial mediante un dibujo en planta, un perfil longitudinal y al menos un perfil transversal por zona.

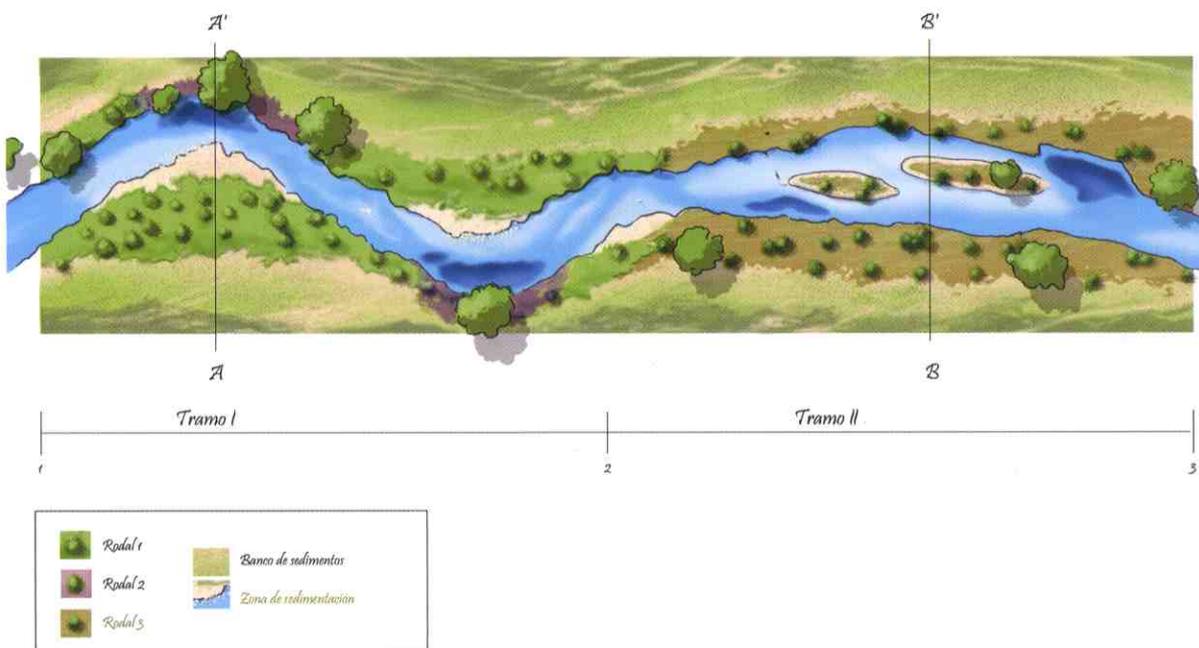
Se han identificado subtramos fluviales en función del régimen hidráulico y la geomorfología. El subtramo I presenta una pendiente del 1% (régimen hidráulico rápido) con alternancia de rápidos y remansos, pero la gran diferencia respecto a la vegetación se localiza entre los tramos rectos y curvos, ya que en estos últimos existen pozas que mantienen agua durante todo el periodo seco. El subtramo II tiene una pendiente del 3% (régimen hidráulico torrencial) y su trazado es trezado,

aunque el sustrato parece bastante estable. También presenta pequeñas pozas que se secan al final del verano (en agosto).

En el tramo I existen bancos de sedimentos donde se diferencian dos subzonas. La franja de terreno más cercana a la zona acuática no tiene vegetación y el sustrato es muy móvil (zona de sedimentación). La más lejana presenta mayor elevación y la vegetación, arbustiva, está dispersa o formando setos con una cobertura del 30% de la superficie. En las márgenes próxi-

El tramo II está formado por un conjunto de islas y bancos de sedimentos de poca altura respecto al lecho del cauce. Están colonizados por arbustos (adelfas y tamujos) distribuidos uniformemente y pies dispersos de fresnos y tarajes.

En la tabla 14 se caracterizan las especies asociables a esta ribera según la geoserie edafohigrófila que le corresponde (EH7), añadiendo también otras especies riparias detectadas en el trabajo de campo (en este caso el taraje).



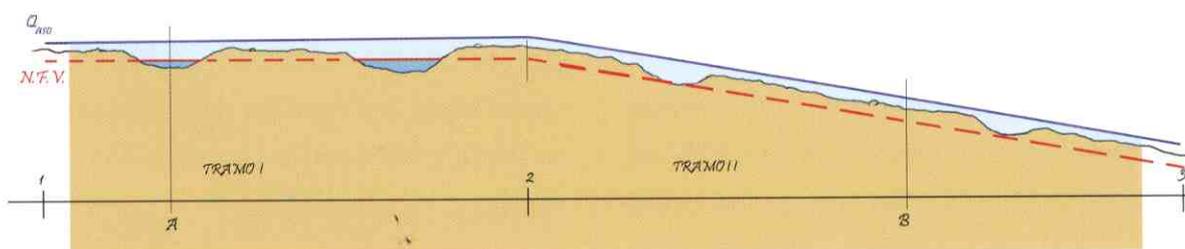
mas a pozas, en la zona de ataque del agua, existen pies de vegetación exigente en humedad (fresnos, sauces y alisos). En las márgenes de los tramos de rápidos existe vegetación arbustiva concentrada en la franja colindante con la orilla.

La restauración sólo actuará sobre las especies leñosas, pues las comunidades de helófitos se encuentran en buen estado. Consistirá en diversificar la comunidad riparia que se desarrolla en las márgenes con especies palatables (tarajes, sauces, fresnos y alisos),

pues son las que reciben más presión. Por este mismo motivo, las plantas introducidas deben protegerse y por lo tanto las especies de escasa talla se puntuarán con menor viabilidad al sufrir más el efecto del ramoneo una vez eliminado el protector.

zado la altura de la lámina de agua y la presencia de determinadas comunidades vegetales.

En este río las características del sustrato granular (escasa capacidad de retener humedad) determinan que las



$Q_{a50}$ : Caudal de aguas medias  
N.F.V.: Nivel del freático en verano

Al establecer la zonificación de los espacios fluviales se han definido tres zonas principales: zona acuática, orillas y márgenes. La zonificación de detalle sólo se ha realizado en las márgenes, por ser la zona en la que se pretende actuar. Para su definición se ha utili-

subzonas de las márgenes estén muy influenciadas por la profundidad del freático y su velocidad de descenso, pues la humedad edáfica se pierde rápidamente y las plantas sólo pueden captar el agua de la zona en contacto con el freático, salvo en periodos de

Especie	Requerimientos hídricos	Palatabilidad	Tipo y tamaño	Estrategia de regeneración	Requerimientos hidráulicos
<b>Adelfa</b> <i>Nerium oleander</i>	1	1	Arbusto 1-2 m	Germinativa (A)	Matorral
<b>Tamujo</b> <i>Securinega tinctoria</i>	1	1	Arbusto 0,5-1 m	Germinativa (A)	Matorral
<b>Taraje</b> <i>Tamarix gallica</i>	1-2	2	Arbusto 1-3 m	Germinativa (A) Rebrote (A)	Matorral
<b>Sauce</b> <i>Salix savifolia</i> , <i>Salix purpurea</i>	5	5	Arbusto 2-4 m	Germinativa (A) Rebrote (A)	Matorral
<b>Aliso</b> <i>Alnus glutinosa</i>	5	5	Árbol > 5 m	Germinativa (A)	Arbolado
<b>Fresno</b> <i>Fraxinus angustifolia</i>	3	5	Árbol > 5 m	Germinativa (M)	Arbolado

Estrategia de regeneración: A (elevada), M (media) y E (escasa)  
Requerimientos hídricos y palatabilidad: puntuación 1 a 5 (1 mínimo, 5 máximo).

**Tabla 13.** Características de las especies leñosas de la ribera

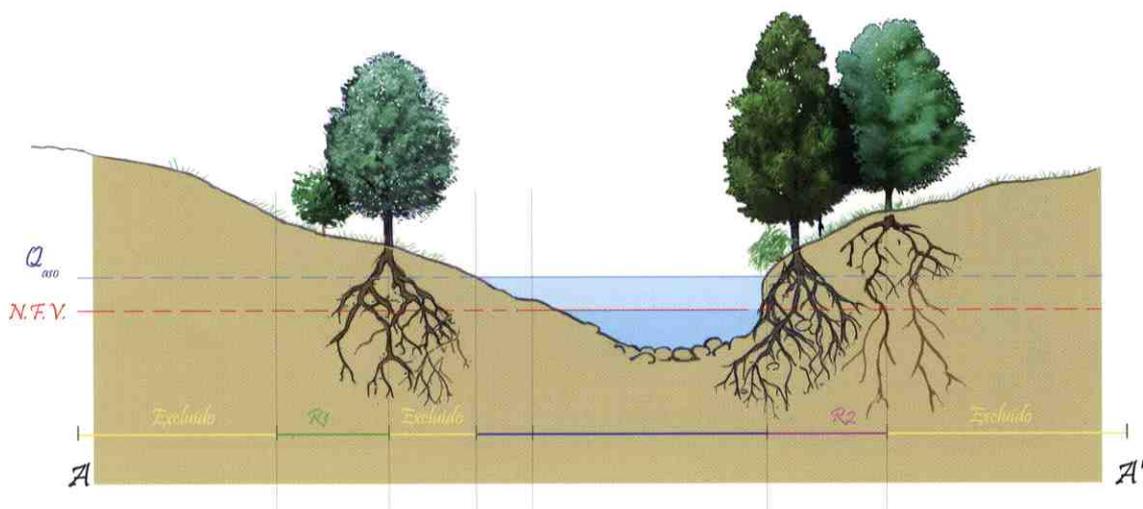
precipitación. Las subzonas definidas han sido tres:

- B1: El freático se encuentra a una profundidad baja.
- B2: El freático se localiza a una profundidad media durante el verano, pero su tasa de descenso, así como las características del sustrato permiten su accesibilidad a las plantas.
- B3: El freático se localiza a una profundidad media o alta, no pudiendo la mayoría de las especies germinar y desarrollar un sistema radical capaz de alcanzar la profundidad del freático en verano. Corresponde a bancos de sedimentos con 1-2 metros de altura relativa al nivel de aguas medias y a estribaciones de la ribera.

Los zonas rectas del tramo AB comprenden zonas de rápidos y remansos,

pero el aspecto más importante es la linealidad de la vegetación respecto a la orilla, que está relacionada con una profundidad baja y media del freático (zonas B1 y B2, respectivamente), así como la ausencia generalizada de especies arbóreas. Se engloba dentro del rodal 1, en el que el régimen hidráulico es rápido y la profundidad del freático es media. La anchura de actuación para este rodal corresponde a los primeros tres metros respecto al borde de la orilla, pues más lejos el freático es inaccesible (zona B3).

Las zonas de sedimentación de las pozas (tramo I) se han excluido de la actuación de revegetación porque presentan una cobertura adecuada teniendo en cuenta la movilidad del sustrato en la zona colindante a la orilla y la profundidad del freático en la zona más alejada (zona B3).



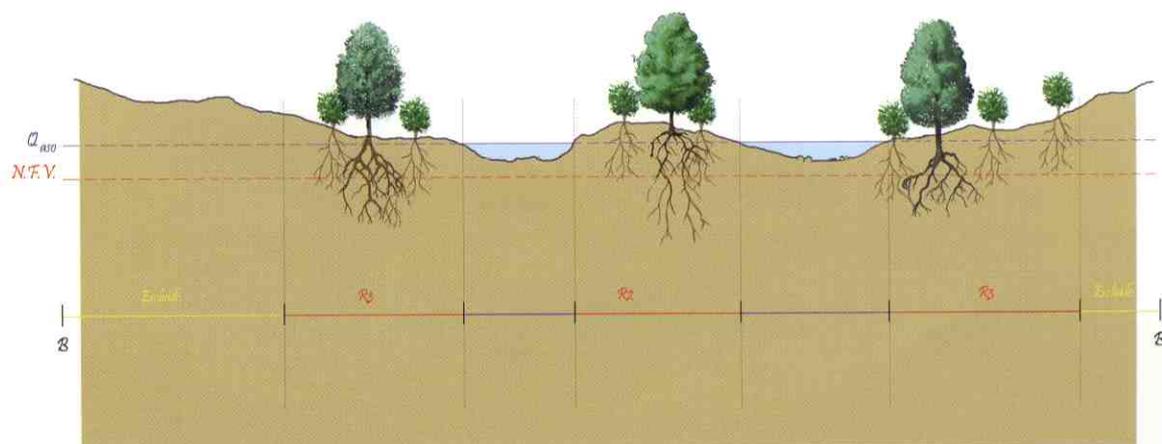
El margen más cercano a las pozas en las zonas de ataque (tramo AB) presenta el freático a escasa profundidad, ubicándose especies exigentes en requerimientos hídricos pero en baja cuantía. Estas zonas se han definido como rodal 2, pues el régimen hidráulico es rápido y la profundidad del freático es baja (zona B1).

El tramo II no se ha diferenciado a efectos de diseño de la revegetación porque la ribera mantiene características homogéneas. El régimen hidráulico y geomorfológico y la vegetación existente indican que es una zona apropiada para una comunidad arbustiva. No obstante, la existencia de pies dispersos de fresnos y la profundidad media del freático durante el verano permite atisbar que se puede establecer un matorral con arbolado. A efectos de rodalización toda la zona se identifica como

rodal 3 (régimen hidráulico torrencial y zonificación según el régimen hídrico tipo B1).

Para la restauración de la ribera se utilizarán las especies leñosas del cortejo florístico exceptuando la adelfa y el tamujo, que no se encuentran afectados por los herbívoros. La combinación de especies a utilizar en cada rodal se ha decidido mediante una tabla multicriterio, donde se ha valorado la aptitud de adaptación a las características hídricas e hidráulicas y la viabilidad frente el elemento perturbador a través de las características de palatabilidad y estrategia de regeneración.

Las especies a utilizar en el rodal 1 serán el taraje y el fresno. Los porcentajes de utilización serán iguales, aunque en la obra se implantará un porcentaje ligeramente superior de



fresnos en los tramos lentos y menor en los rápidos.

En el rodal 2, se pueden utilizar todas las especies, pero sólo se implantarán las especies más exigentes en humedad, sauces y alisos, para potenciarlos frente al resto de rodales donde no se utilizan.

En el rodal 3 se implantará fresno y taraje. Tratándose de un tramo torrencial en el que se pretende desarrollar una comunidad arbustiva con pies arbóreos, se introducirán con un por-

centaje del 70% en tarajes y del 30% en fresno.

Las plantas se introducirán formando grupos o bosquetes que contendrán las especies definidas para cada rodal.

#### Rodal 1 (R1)

Especie	Aptitud		Viabilidad		Probabilidad de éxito
	R. Hídrico	R. Hidráulico	Palatabilidad	E. Regeneración	
Taraje	100	100	60	80	85,0
Sauce	30	100	50	80	0
Aliso	20	80	80	60	0
Fresno	100	80	80	50	77,5

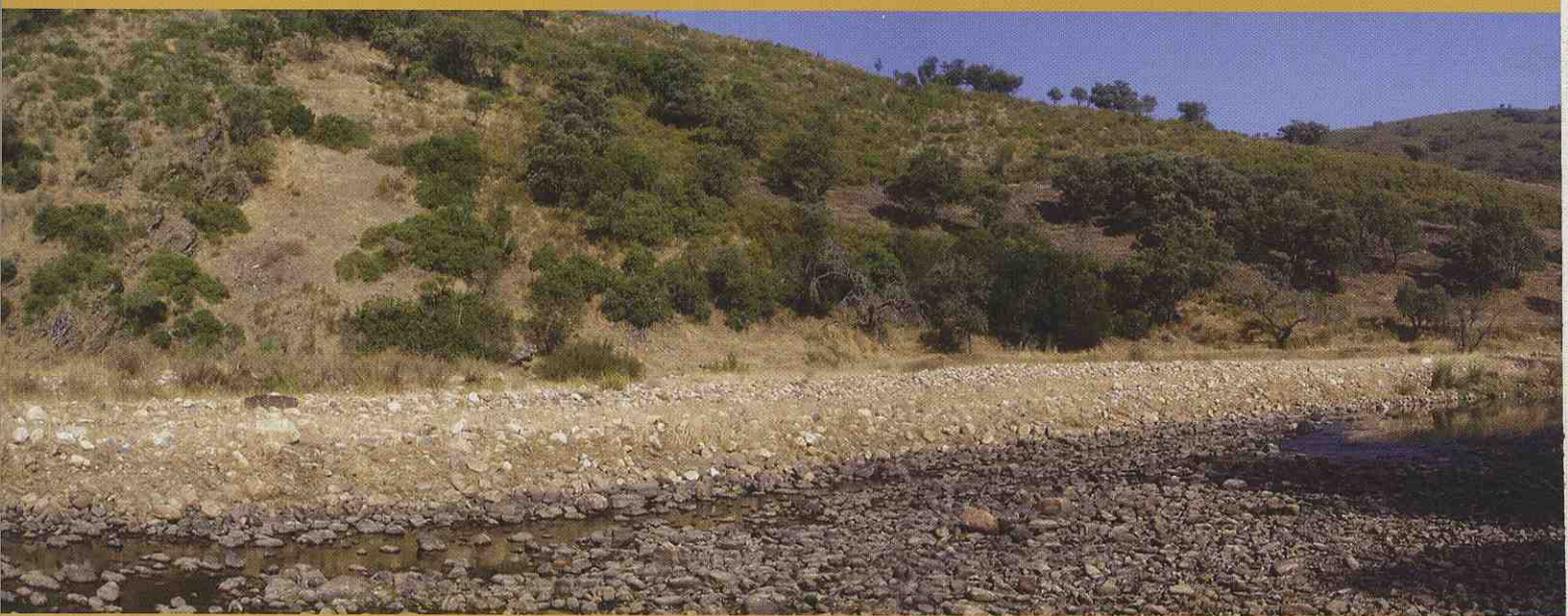
#### Rodal 2 (R2)

Especie	Aptitud		Viabilidad		Probabilidad de éxito
	R. Hídrico	R. Hidráulico	Palatabilidad	E. Regeneración	
Taraje	80	100	60	80	80,0
Sauce	100	100	50	80	82,5
Aliso	100	80	80	60	80
Fresno	90	80	80	50	75,0

#### Rodal 3 (R3)

Especie	Aptitud		Viabilidad		Probabilidad de éxito
	R. Hídrico	R. Hidráulico	Palatabilidad	E. Regeneración	
Taraje	100	100	60	80	85,0
Sauce	30	100	50	80	0
Aliso	20	40	80	60	0
Fresno	100	50	80	50	70,0

**Tabla 14.** Elección multicriterio para las especies de los rodales



# **Crterios tcnicos para obras fluviales**



# 2.3

# Crerierios técnicos para obras fluviales

## 2.3 Criterios técnicos para obras fluviales

## 2.3 Criterios técnicos para obras fluviales

El desarrollo económico de España ha establecido dos niveles de presión sobre los recursos naturales. En las zonas de montaña la presión sobre los ecosistemas normalmente se ha reducido, como hemos podido observar en el río Yeguas, pero en las zonas con aptitud agrícola o industrial se ha ejercido una fuerte presión sobre el territorio.

Las condiciones de los ríos antes del Plan de Estabilización y Liberalización (1959) se puede observar fácilmente en la actualidad comparando la ortofoto del 56 con una actual. Las riberas presentaban bastante deforestación, pero los ríos tenían libertad geomorfológica y los caudales prácticamente no estaban regulados.

Durante la última mitad del siglo pasado el crecimiento económico no valoró los recursos naturales ni tuvo en cuenta los criterios ecológicos o la funcionalidad de los sistemas. Esta cultura económica ha generado en los ríos la alteración de los tramos medios y bajos mediante captación y regulación de caudales, actuaciones hidráulicas para evitar inundaciones o erosiones locales, invasión, roturación, contaminación difusa, etc.

En la actualidad se ha desarrollado una extensa normativa medioambiental que pretende compatibilizar el desarro-

llo económico con la conservación del medio natural. En los ecosistemas fluviales se comenzó con la normativa de gestión de aguas residuales para mejorar la calidad de las aguas pero esta mejora no fue suficiente por lo que se desarrolló la Directiva Marco del Agua (DMA) que impide descender la categoría ecológica de los ríos y promueve su mejora ambiental.

En este epígrafe se establecen criterios mínimos de ecología y geomorfología fluvial que deben tenerse en cuenta para el diseño de futuras actuaciones en los ríos con la finalidad de cumplir la premisa de la DMA (evitar la degradación de nuevos tramos y mejorar las condiciones ambientales de los degradados). Estos criterios se han definido en dos apartados, limpieza de cauces y obras fluviales, y deberán estar presentes en todas las actuaciones que se proyecten en los ríos y valorarse en sus estudios de impacto ambiental (EIA). Igualmente, se deberá contemplar en los EIA de los planes urbanísticos e infraestructuras colindantes a la red fluvial, pues en ellos es donde se refleja el territorio que se le deja al río y el que se urbanizará o será ocupado por las infraestructuras.

### 2.3.1 Limpieza de cauces

La limpieza de cauce es un término que se utiliza para distintos tipos de actua-

ciones; desde la eliminación de basuras y escombros hasta el dragado del cauce pasando por la deforestación de la ribera. Todas tienen en común que se actúa periódicamente en el tramo fluvial debido a una alteración generada en el sistema fluvial.

La primera, eliminación de basuras, hará falta cuando la población viva de espaldas al río y lo utilice como vertedero. En este caso se debe actuar para integrar la zona urbana en el río y ponerlo en valor como lugar de ocio, educativo, paisaje natural, etc.

Las dos restantes, dragado y deforestación de la ribera, son propias de tramos con actuaciones de criterio hidrológico o hidráulico. La ausencia de caudales de crecida en los tramos regulados por embalses afecta a los procesos geomorfológicos, pudiendo producir desde la erosión por falta de transporte de sedimentos hasta la inmovilización del sustrato. En este último caso, la vegetación coloniza la zona acuática o los bancos de sedimento, provocando una disminución de la sección de desagüe que debe limpiarse mediante desbroces. En las futuras obras, así como en las actuales se puede incluir el caudal geomorfológico como parte de los caudales ambientales de los tramos fluviales situados aguas abajo de un embalse. Éste consiste en emitir crecidas con características similares (cuantía y periodicidad) a las que configuran el cauce para restablecer los procesos fluviales.

En las actuaciones de control de inundaciones (criterio hidráulico) ocurre un proceso similar. Estas obras se diseñan para garantizar el tránsito del caudal punta de una avenida en un espacio fluvial reducido, en la mayoría de los casos, al mínimo. Para conseguirlo, se aumenta la velocidad mediante una disminución de la rugosidad ("n" de Manning) del cauce y de la ribera. Esto conlleva, aparte de la degradación del ecosistema fluvial, mantenimientos periódicos en la obra que garanticen las condiciones de tránsito proyectadas, impidiendo que las formaciones vegetales diseñadas evolucionen a otra con mayor rugosidad. Aplicando la DMA las nuevas obras deberán asegurar un espacio fluvial mínimo donde se aseguren los procesos ecológicos y geomorfológicos aunque sea mediante la compra o expropiación de una franja de terreno, pues la sociedad no se puede permitir seguir perdiendo valores ambientales y pagando elevados costes de mantenimiento de por vida, máxime si se tiene en cuenta que se trata de la vida de futuras generaciones.

## 2.3.2 Obras fluviales

### 2.3.2.1 Geomorfología y vegetación de ribera

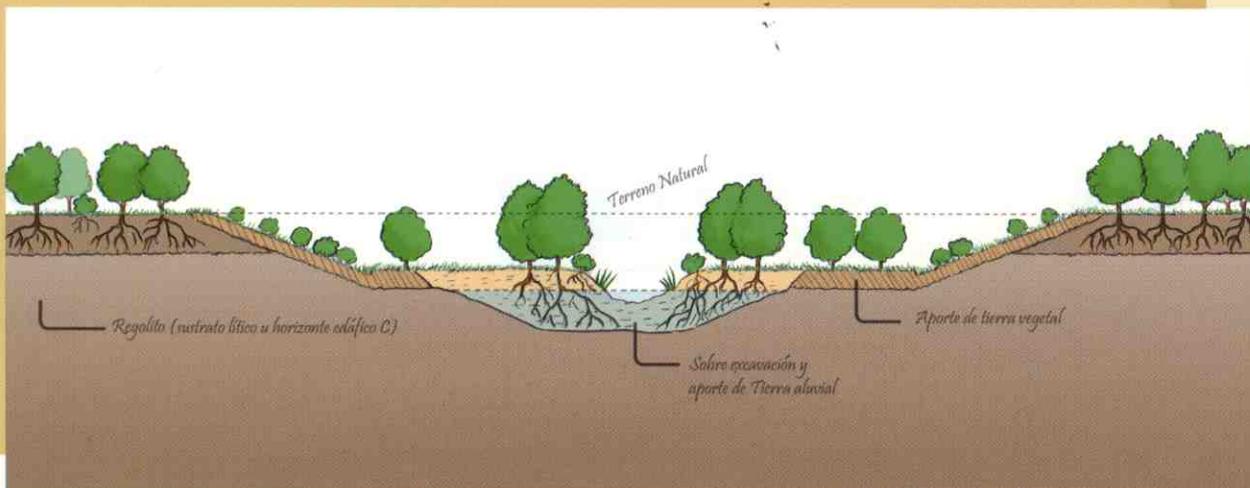
Las actuaciones en cauces no utilizarán paramentos o soleras rígidas que impidan o limiten el desarrollo de la vegetación. Éstas deberán presen-

tar material aluvial, de caracter3sticas similares al existente en el tramo natural, en cuant3a suficiente para permitir el desarrollo radicular de las especies vegetales y la circulaci3n del flujo subsuperficial.

Los taludes de la ribera deber3n tener baja inclinaci3n (relaci3n h:v m3nima 4:1) para permitir el desarrollo de vegetaci3n. En las zonas de ataque, asim3tricas, esta condici3n debe cumplirse en al menos una orilla y en las sim3tricas en las dos. La plantaci3n en la ribera ser3 irregular, centr3ndose en las zonas que se pretendan proteger de la erosi3n.

Los encauzamientos para el control de las avenidas deber3n presentar un cauce de doble secci3n. La secci3n del cauce inferior tendr3 un caudal de desbordamiento ( $T_{2.33}$  3  $T_{4-7}$ ) equivalente al caudal de la m3xima crecida ordinaria (M.C.O) seg3n el Reglamento de Dominio P3blico Hidr3ulico) y la secci3n superior se dise1n3 para evacuar los caudales de avenida que establezca la administraci3n hidr3ulica ( $Q_{100-500}$ ).

Cuando los encauzamientos modifiquen el trazado original del r3o deber3 asegurarse la existencia de un manto aluvial que permita el desarrollo de la



Las dimensiones de la ribera corresponder3n al criterio geomorfol3gico denominado Espacio de libertad. Cuando existan limitaciones t3cnicas para fijar esta anchura la ribera deber3 tener asegurada una anchura m3nima de 5-6 metros, lo que equivale a una fila de 3rboles.

vegetaci3n riparia y asegure el flujo subsuperficial. Cuando 3ste no exista se realizar3 una sobre excavaci3n del terreno, aportando el material aluvial y configurando el cauce sobre 3l.

Se deben potenciar o establecer zonas de expansi3n de las crecidas en los tra-

mos donde no exista presión para permitir la laminación de las avenidas.



En los tramos que presenten incisión de cauce o estén canalizados y se pretendan restaurar se deberá definir el espacio ripario, disminuir los taludes y finalmente proceder a su revegetación.

El tramo fluvial deberá tener libertad geomorfológica. Este concepto hace referencia a la capacidad que tienen los ríos de cambiar el trazado longitudinal y transversal. Su objetivo es darle al río un espacio de ajuste y autoconfiguración de la morfología fluvial y evitar daños por erosión en infraestructuras o propiedades. Para ello, se realizarán las estructuras de control de la erosión en el límite lateral de dicho espacio. Cuando sea necesario estable-

cer obras transversales para controlar la erosión del cauce se deben utilizar rampas con bloques de piedra dispuestas de forma reticular para crear depósitos que actúen de escalas para la fauna.

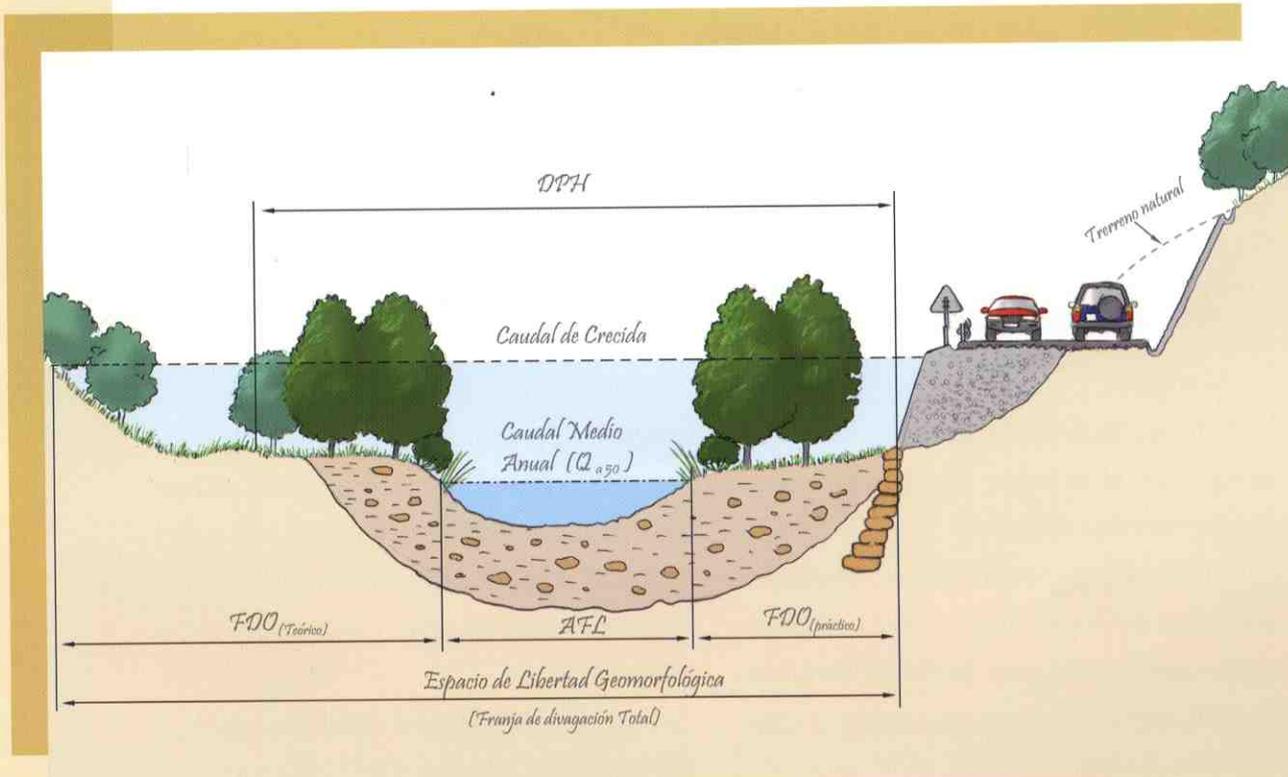
Las recomendaciones para el diseño del Espacio de libertad geomorfológica toman en cuenta dos parámetros: la anchura natural del fondo del lecho y la anchura de divagación.

**Anchura del fondo del lecho (AFL):**

es la anchura natural del lecho definida por la lámina de agua cuando el río presenta el caudal medio anual,  $Q_{a50}$ .

**Franja de divagación para una orilla (FDO):**

es el espacio de semi-libertad que tendrá el río para su divagación, debiendo alcanzar 2 ó 3 veces



la anchura natural del fondo del lecho. Su definición proviene de estudios geomorfológicos y corresponde a la siguiente fórmula:

$$\text{Franja de divagación para una orilla} \\ (\text{FDO}) = 2,8 \cdot \text{AFL}$$

**Espacio de Libertad Geomorfológica (E.L.G):** queda comprendido por la anchura del fondo del lecho y las franjas de divagación de las dos orillas.

$$\text{Espacio de Libertad Geomorfológica} \\ (\text{E.L.G}) = 2 \cdot \text{FDO} + \text{AFL}$$

Las fórmulas anteriores determinan la longitud del E.L.G para un río estándar. Si se desea calcular para un río concreto se tendrá que recurrir a documentos históricos: fotografías aéreas o planos, que hayan representado el río como límite administrativo.

La anchura del espacio geomorfológico pudiera ser en determinadas ocasiones muy grande. En estas ocasiones se puede reducir hasta un mínimo que corresponderá al Dominio Público Hidráulico (D.P.H), colocándose las obras de control de la erosión en su límite.

Los tramos no se diseñarán con un perfil longitudinal y transversal homogéneo, deberán ser variados, imitando las morfologías fluviales existentes en el tramo natural (rápidos, reman-

dos, pozas, zonas de expansión, etc.), pero sin gastar grandes esfuerzos en su diseño y ejecución porque será el propio río el que los configure al presentar semilibertad geomorfológica.

Las estructuras semirígidas, tipo escollera, son contrarias al concepto de libertad geomorfológica por lo que se deben utilizar sólo cuando no sea posible otra alternativa hidráulica, instalándolas enterradas y en el borde exterior de la franja de divagación de la orilla, asegurando así la existencia de una franja de terreno entre ella y el cauce. Para permitir su colonización por la vegetación, en el caso de que la erosión las descubriera, se dispondrán inclinadas y se utilizarán filtros de grava que no impidan el desarrollo radicular, y un recebado en los espacios existentes entre bloques, con material aluvial.

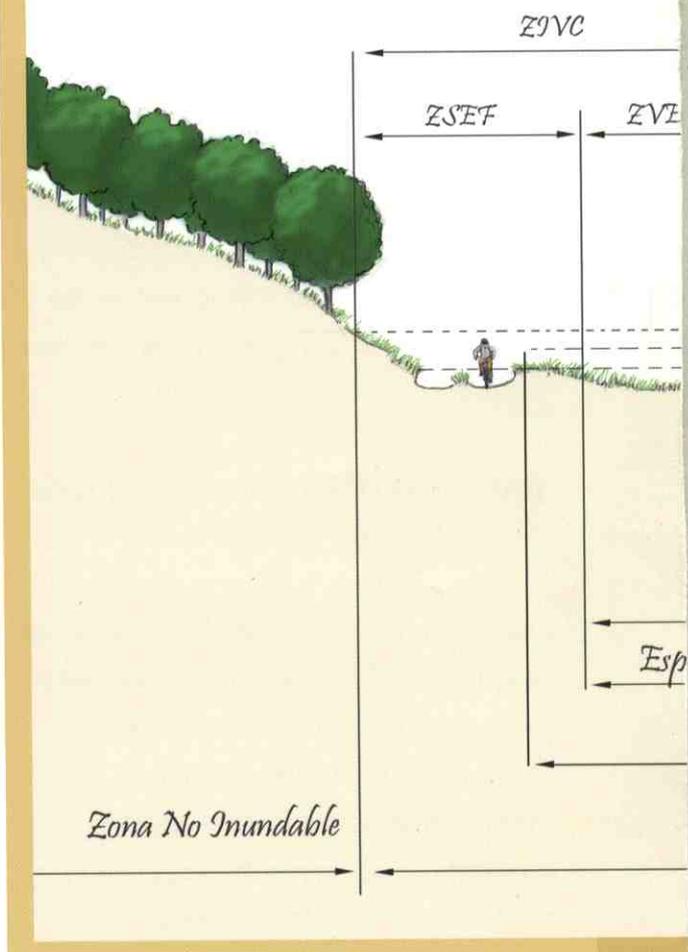
No es adecuado crear soleras impermeables porque anulan la libertad geomorfológica, impiden el flujo subsuperficial y la capacidad de laminación de la avenida en los ríos esporádicos. Esta última característica es muy importante en las ramblas porque el sustrato aluvial capta gran parte del caudal de la avenida, "al avanzar una ola sobre un sustrato seco".

### 2.3.2.2 Régimen hídrico

Los ríos tienen una elevada capacidad de autorrecuperación tras las perturbaciones bruscas. Tal es el caso de

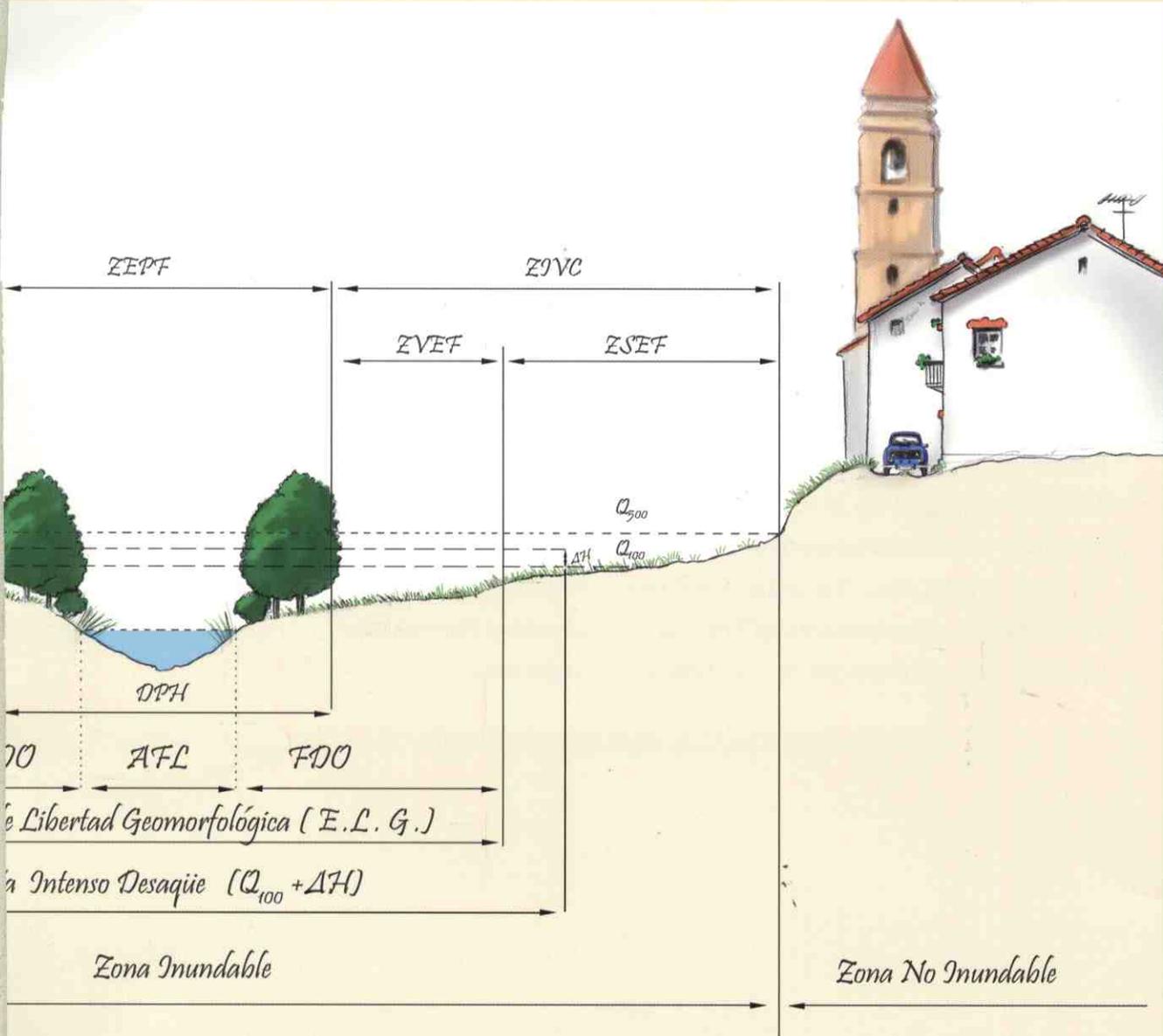
las crecidas, pues crean nuevos espacios fluviales que las comunidades biológicas rápidamente colonizan. A pesar de esta capacidad de colonización, es usual, en los tramos fluviales desviados por el hombre, mantener durante los primeros años el antiguo trazado con funcionalidad hídrica para que el nuevo cauce se vaya colonizando progresivamente. Esta técnica no es adecuada en los ríos mediterráneos porque se reparte entre dos cauces el caudal subsuperficial, que es un recurso escaso. Otro inconveniente es la generación de una zonificación ribereña temporal que conllevaría una reubicación de las comunidades ribereñas asentadas cuando se anule definitivamente el antiguo tramo. Por estas razones se recomienda que circulen los caudales correspondientes al régimen de caudales anuales por el nuevo cauce desde el primer día.

Sólo se deben repartir los caudales cuando se trate de una corta. Esta obra consiste en realizar un nuevo cauce que une los dos extremos de un meandro para evitar el desbordamiento. Lo más correcto es realizar obras hidráulicas de by-pass que regulen los caudales de entrada al meandro y a la corta, permitiendo que el antiguo tramo sea funcional. En este caso estamos imitando a la formación de un nuevo cauce con existencia de una madre vieja (antiguo cauce abandonado por un cambio de trazado natural).



Los desvíos fluviales se deberán realizar durante el periodo seco por varias razones:

- Porque en este periodo la fauna vertebrada se concentra en las pozas y es fácil capturar la totalidad de la población.
- Porque es el mejor momento para recoger el material aluvial del antiguo tramo y aplicarlo en el nuevo al encontrarse el cauce seco.



- Porque el desvío estará listo en otoño para su revegetación, cuando se inicie la circulación de agua por el cauce.

### 2.3.2.3 Régimen hidráulico

La tipología de la ribera atiende a criterios ecológicos y no humanos por ello el diseño de su revegetación no debe establecerse con criterios paisajísticos. Se debe limitar a implantar las especies y formaciones vegetales propias del río mediante bosquetes o grupos

de plantas. En la ribera sólo se deben desarrollar infraestructuras de carácter rústico, tales como sendas, mobiliario urbano y embarcaderos. Los diseños con criterios paisajísticos o funcionales (uso recreativo, instalaciones deportivas, etc.) se deben desarrollar en la llanura de inundación y ordenarse según los criterios de la inundación (nivel de daños y pérdidas económicas).

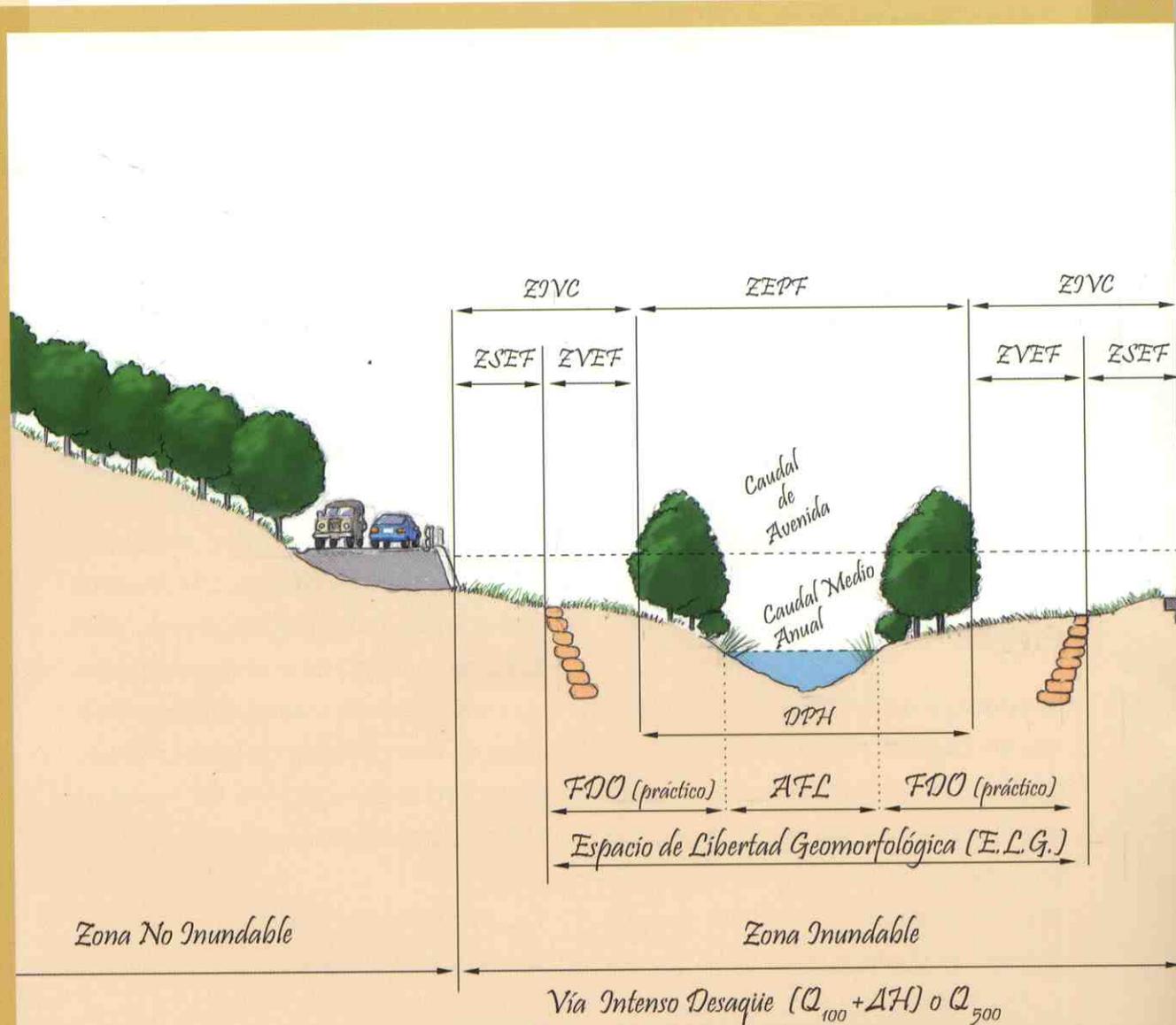
Los proyectos de modificación de cauces se realizan para poder circular los

caudales de avenida bajo condiciones de inundación aceptables. Este propósito no debe estar referido con la existencia de una ribera natural. Para ello, se deberá incluir el coeficiente de rugosidad ("n" de Manning) de las formaciones vegetales de la ribera en la modelización hidráulica.

**Zona Especial Protección Fluvial (ZEPF):** comprende el lecho del río y la ribera, aproximadamente el Dominio Público Hidráulico. En esta zona se producen las inundaciones frecuentes. Debe garantizarse la existencia

de una ribera natural, la ausencia de estructuras de control de la erosión o inundación (según el criterio de libertad geomorfológica) o la variación del coeficiente de rugosidad natural ("n" de Manning de la ribera).

**Zona Inundable de Uso Condicionado (ZIUC):** es el espacio definido entre la ZEPF y el extremo de la zona inundable. Los usos en esta zona están condicionados por las características de las inundaciones y por la erosión fluvial, distinguiéndose dos subzonas:



**Zona Vulnerable a la Erosión Fluvial**

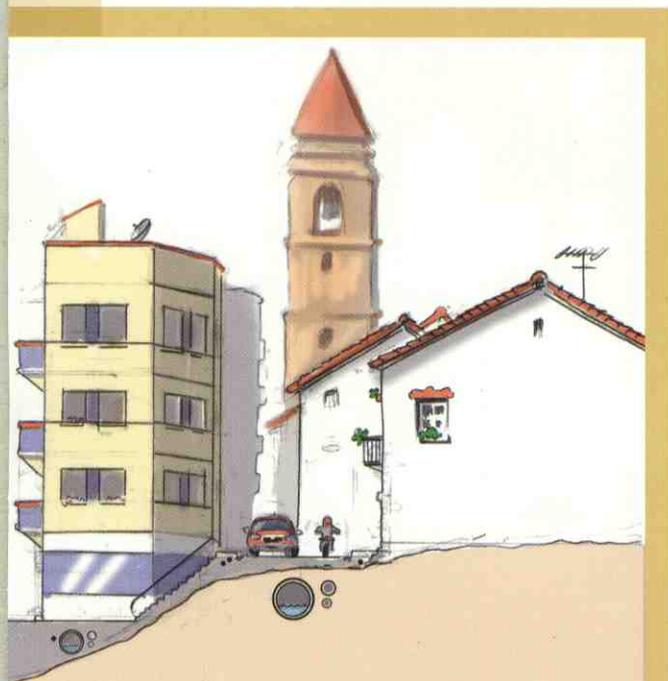
**(ZVEF):** es la franja de terreno situada entre el borde de la ZEPF y las obras de control de la erosión, corresponde a parte de la Franja de Divagación Fluvial (FDF) resultado de aplicar el criterio de libertad geomorfológica. En esta zona se puede producir erosión e inundaciones ocasionales. En zonas urbanas se recomienda clasificarlas como espacio libre, concretamente zona verde.

**Zona Segura a la Erosión Fluvial**

**(ZSEF):** es la franja de terreno situada entre las obras de control de la ero-

sión fluvial y las obras de control de las inundaciones. Este espacio es seguro frente a la erosión, pero sufrirá inundaciones esporádicas. En zonas urbanas se recomienda clasificarla como espacio libre, donde se instalarán dotaciones de bajo coste, tipo infraestructura deportiva.

En los tramos fluviales que sufran desvío de trazado se deberá, siempre que sea posible, realizar una estructura de control de los caudales en la bifurcación (by-pass). Su finalidad será evitar daños por crecidas en el regenerado del nuevo tramo. Esta estructura permitirá la circulación de caudales inferiores al valor de las avenidas ordinarias por el desvío y el tránsito del resto del caudal por el antiguo cauce. Esta estructura debería estar en funcionamiento hasta que la revegetación esté consolidada y mantenerla si se trata de una corta.



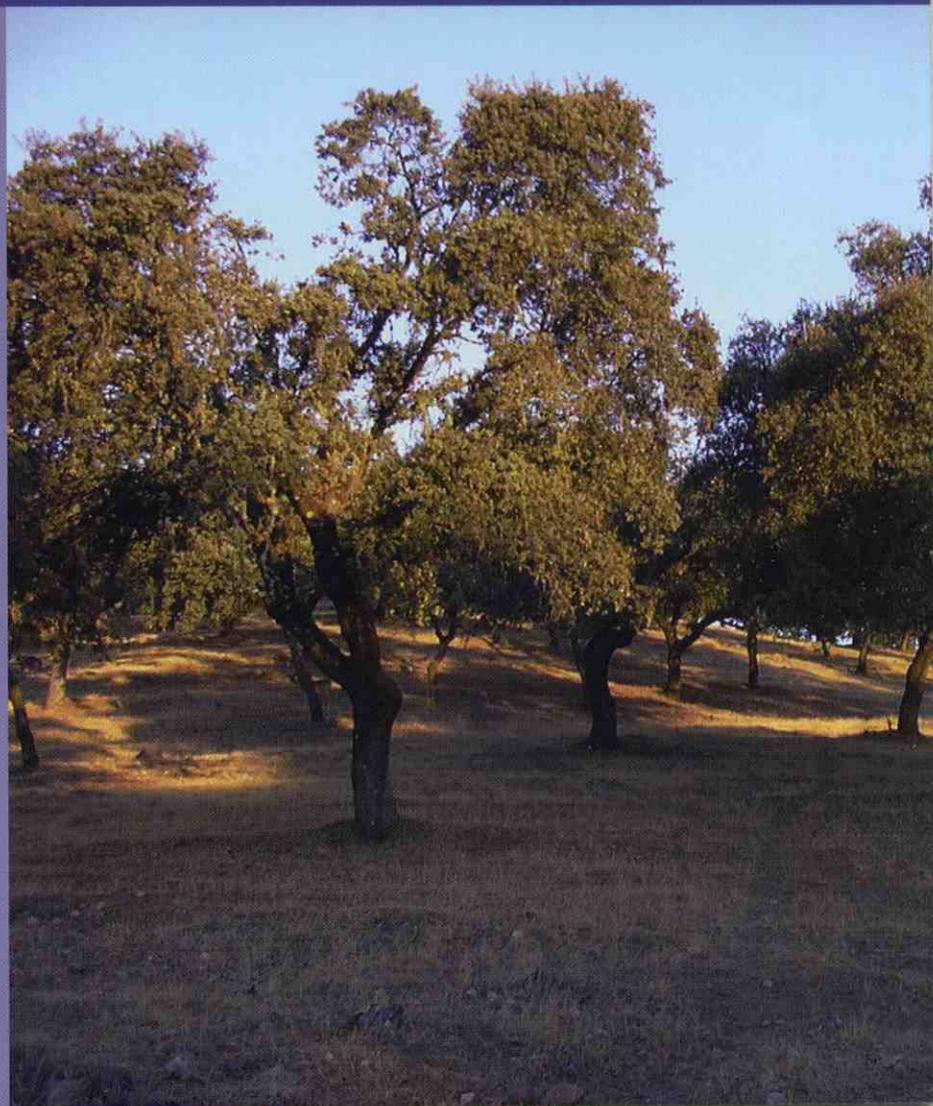
*Zona No Inundable*



# Anejos

# Metodología para la caracterización del río Yeguas

# A1



# A1. Metodología para la caracterización del río Yeguas

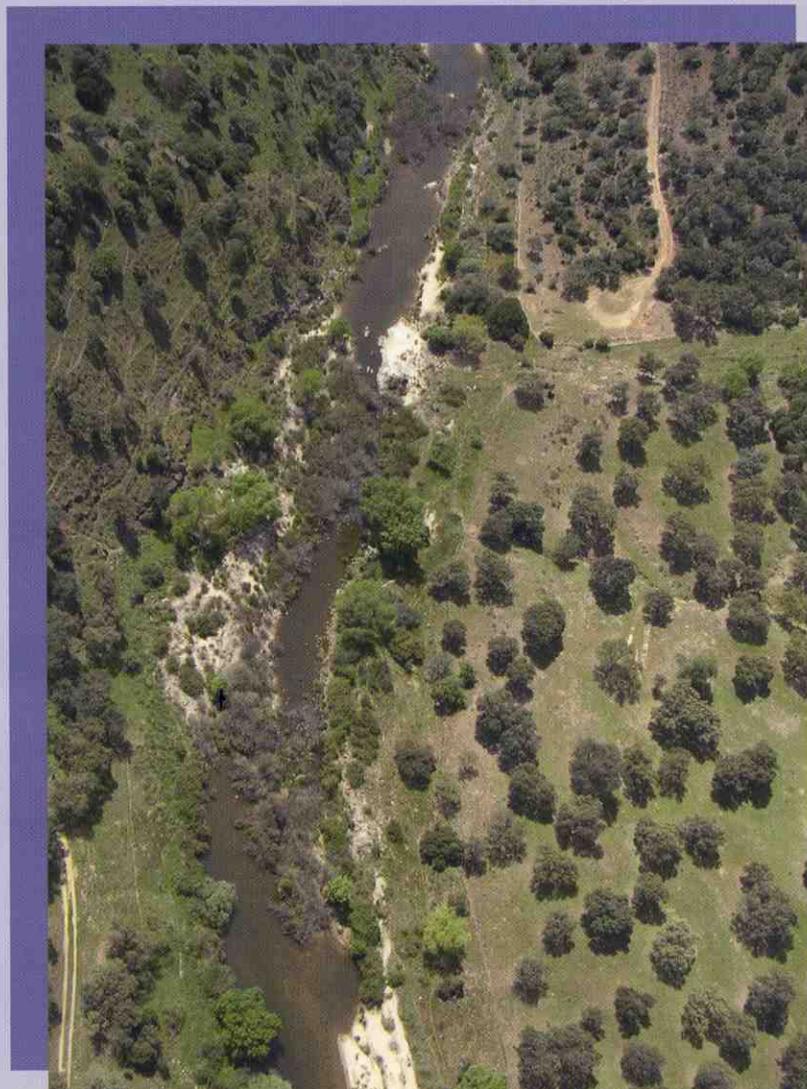
El objetivo de la caracterización fue determinar las distintas tipologías fluviales y establecer las relaciones de la vegetación de ribera con los parámetros fluviales. Para ello se caracterizó el río en dos etapas:

- La primera etapa definió tramos homogéneos, respecto a los parámetros: régimen hídrico, régimen hidráulico, tipo de sustrato y grado de cobertura vegetal. Este trabajo se realizó en gabinete, utilizando coberturas temáticas de la zona y la ortofoto digital, contrastando los datos obtenidos con visitas de campo. El resultado fue la definición de cuatro tipos de tramos fluviales ( A, B, C y D).
- La segunda etapa consistió en trabajo de campo, aunque previamente se definieron varias zonas del río representativas de los distintos tramos. Los parámetros de definición fueron: trazado en planta, geomorfología y vegetación. Finalmente, se eligió un tramo de cada tipo para su muestreo, tras ponderar el grado de accesibilidad por ser un factor limitante para hacer el estudio.

Una vez en campo se estudiaron los parámetros hídricos e hidráulicos locales que están relacionados con el desarrollo de las comunidades vegetales.

Para determinar la hidráulica fluvial se utilizó el régimen hidráulico. Este parámetro permite determinar de forma sencilla las perturbaciones a las que están sometidas las formaciones vegetales.

Los recursos hídricos se estudiaron teniendo en cuenta las disponibilidades estivales, definiendo la distribución de las especies en función de su ubicación respecto a los Puntos de Humedad Estival.



## A1.1 Identificación de tramos homogéneos

El análisis en gabinete de la ortofotografía digital de Andalucía a escala 1:5.000, permite caracterizar con cierto detalle la distribución de la vegetación en función de la geomorfología, el régimen hídrico y el hidráulico. Éste análisis se complementa con un trabajo de campo, el cual se aborda mediante el estudio de puntos representativos de las distintas situaciones del cauce.

Para la selección de los tramos representativos se parte de la primera aproximación llevada a cabo en gabinete donde se han analizado los siguientes parámetros:

- Régimen hídrico, tratándose de un río temporal se analiza la frecuencia de los puntos de agua superficial en verano.

### Régimen hídrico

- Sin pozas o pozas incipientes
- Hilo sin pozas
- Pozas dispersas
- Río ancho y continuo

- Régimen hidráulico de los diferentes tramos.

Régimen hidráulico	Pendiente longitudinal
Ríos tranquilos	0 - 0.2 %
Ríos rápidos	0.2 - 1.5 %
Ríos torrenciales	1.5 - 6.0 %
Torrentes	> 6.0 %

- Tipo de sustrato sobre el que se desarrolla el cauce.

### Tipo de sustrato

Lítico	Cuando discurre sobre rocas consolidadas
Edáfico	Cuando atraviesa materiales geológicos blandos
Aluvial	Cuando se aprecian acumulaciones de grava y arena
Mixto	Alternancia de sustrato lítico y aluvial.

- Grado de cobertura de la vegetación

### Abundancia de vegetación riparia

Nula	Tramos sin vegetación riparia
Incipiente	Tramos sin vegetación leñosa o su cobertura se considera irrelevante
Media	Tramos con bosquetes de vegetación cerrada pero sin continuidad espacial, o bien con cobertura media distribuida a lo largo de todo el tramo
Alta	Tramos cubiertos por una vegetación de tipo leñoso, cerrada y continua.

De este análisis se han determinado cuatro clases de tramos dentro del área de estudio del río Yeguas. Entendiéndose tramo como el interfluvio comprendido entre dos afluentes.

Los resultados han sido los que se ofrecen a continuación:

Tipificación	Pozas	Sustrato	Régimen	Vegetación	Nº de tramos
<b>Tipo A</b>	NO	Lítico	Rápido	NO	2
<b>Tipo B</b>	Dispersas	Aluvial	Rápido	Incipiente	1
<b>Tipo C</b>	Abundantes	Mixto (lítico-aluvial)	Rápido	Media	2
		Lítico			2
<b>Tipo D</b>	Abundantes	Aluvial	Rápido	Alta	3
					1
<b>Total tramos</b>					11

Una vez realizada esta tipificación previa, se han seleccionado, por fotointerpretación, 70 puntos susceptibles de ser estudiados, por la singularidad del trazado y por ser completamente representativos del grupo en el que fueron incluidos.

Para llevar a cabo el trabajo de campo, de los puntos seleccionados, se eligen los que tengan mejor acceso a través de montes públicos.

El análisis se lleva a cabo en una banda de anchura variable, de modo que se esté cubriendo una franja perpendicular al cauce y que ésta pueda considerarse representativa de la ribera.

Si la fracción de río presenta algún meandro, se realiza un perfil perpendicular a un tramo recto del río y el otro a la mitad del meandro. Dentro de este último perfil se marca qué margen corresponde a la parte interna del

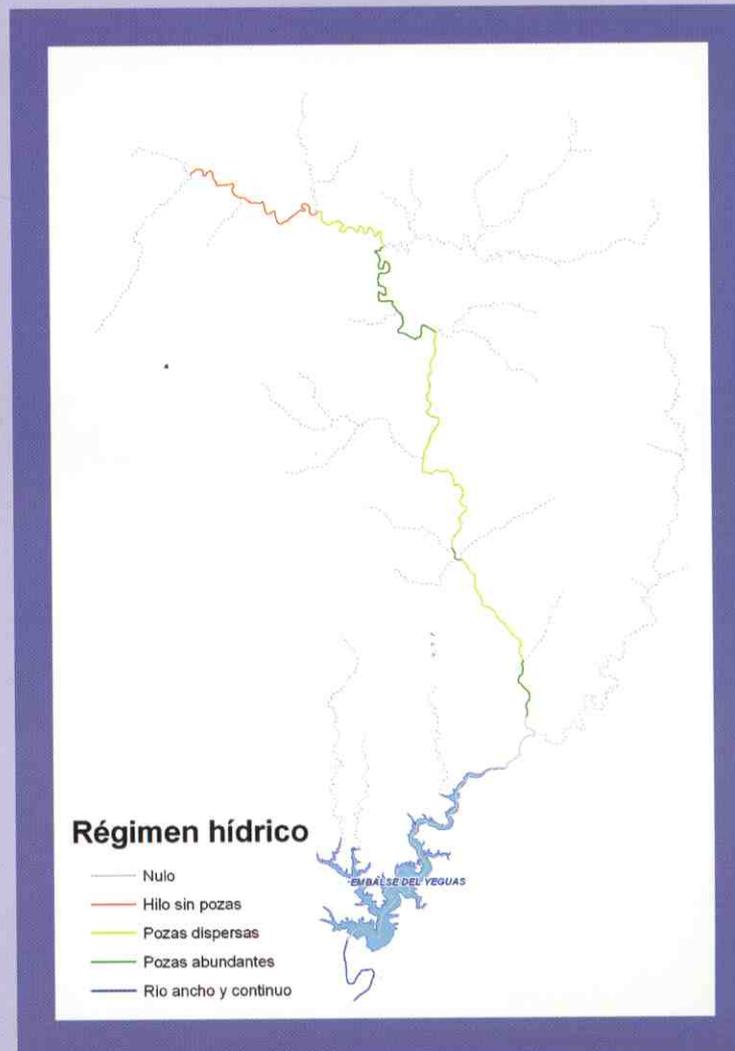
Tipificación	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Total
<b>Nº de puntos</b>	7	7	34	22	70

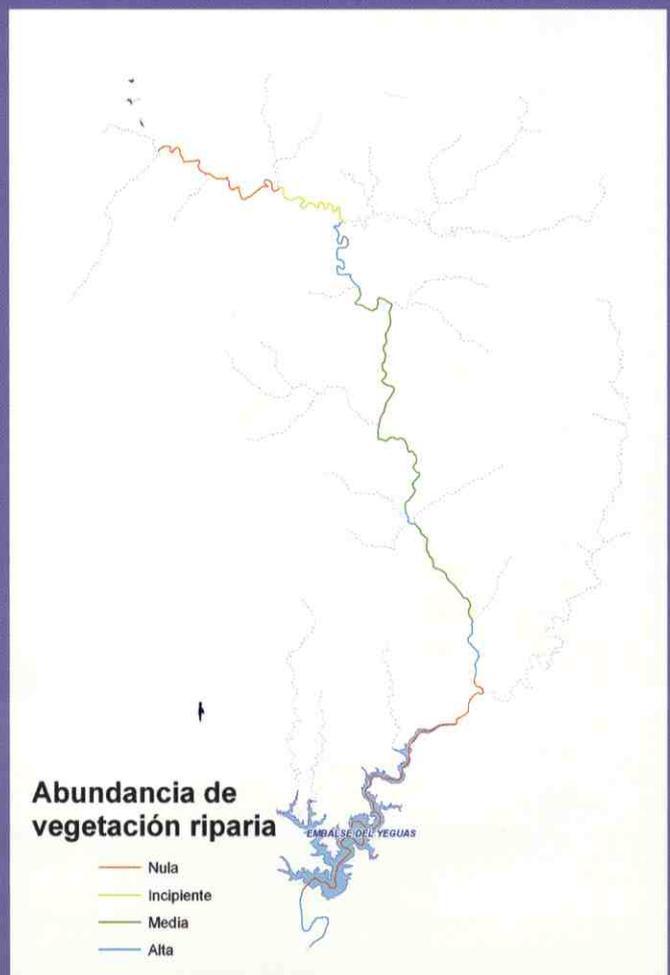
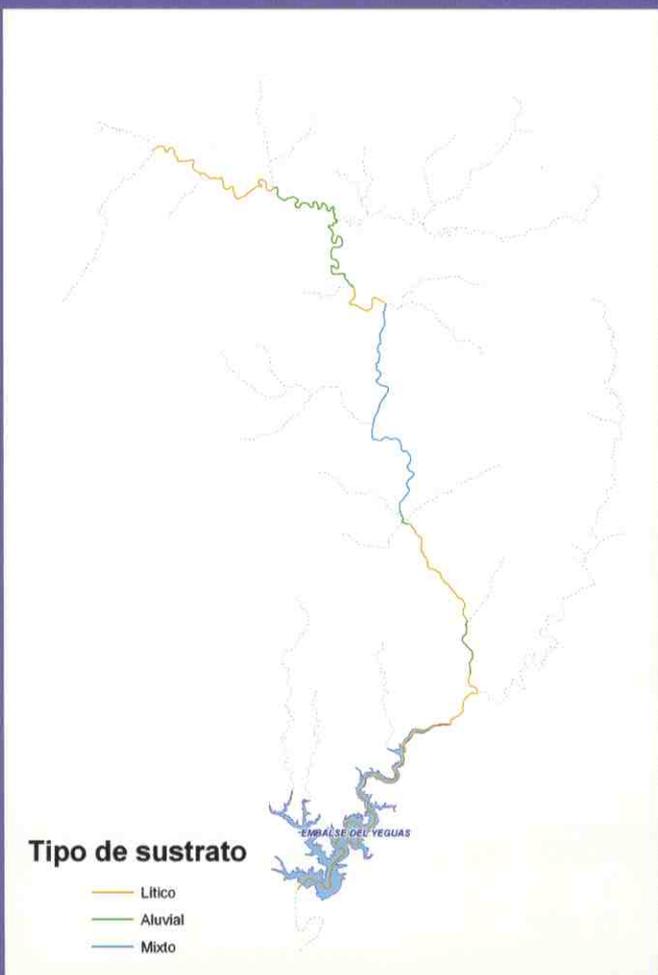
En los puntos elegidos, se selecciona una fracción de río de aproximadamente un kilómetro sobre el que se lleva a cabo un inventario detallado de la geomorfología fluvial y la vegetación presente en la zona, identificando las distintas zonas fluviales. Se realiza un mínimo de dos perfiles transversales, con el fin de analizar cómo se distribuye la vegetación en el mismo.

meandro y cuál a la parte externa del mismo, para establecer las diferencias entre zonas de ataque y zonas de depósito.

<b>Médano</b>	Depósito aluvial de granulometría fina y muy inestable, pues se remueve frecuentemente con las crecidas.
<b>Isla aluvial</b>	Se diferencia del médano por ser más estable y permitir el desarrollo de plantas leñosas.
<b>Taludes del "Bankfull"</b>	En los tramos curvos (asimétrico) se distinguirán la zona de ataque de la corriente y la de sedimentación.
<b>Banda de vegetación paralela al eje del cauce</b>	En las zonas donde la vegetación presente poca anchura y se disponga paralela al cauce se relacionarán con los cambios de estructura del suelo o con el efecto de las crecidas.

**Tabla 15.** Definción de las zonas fluviales





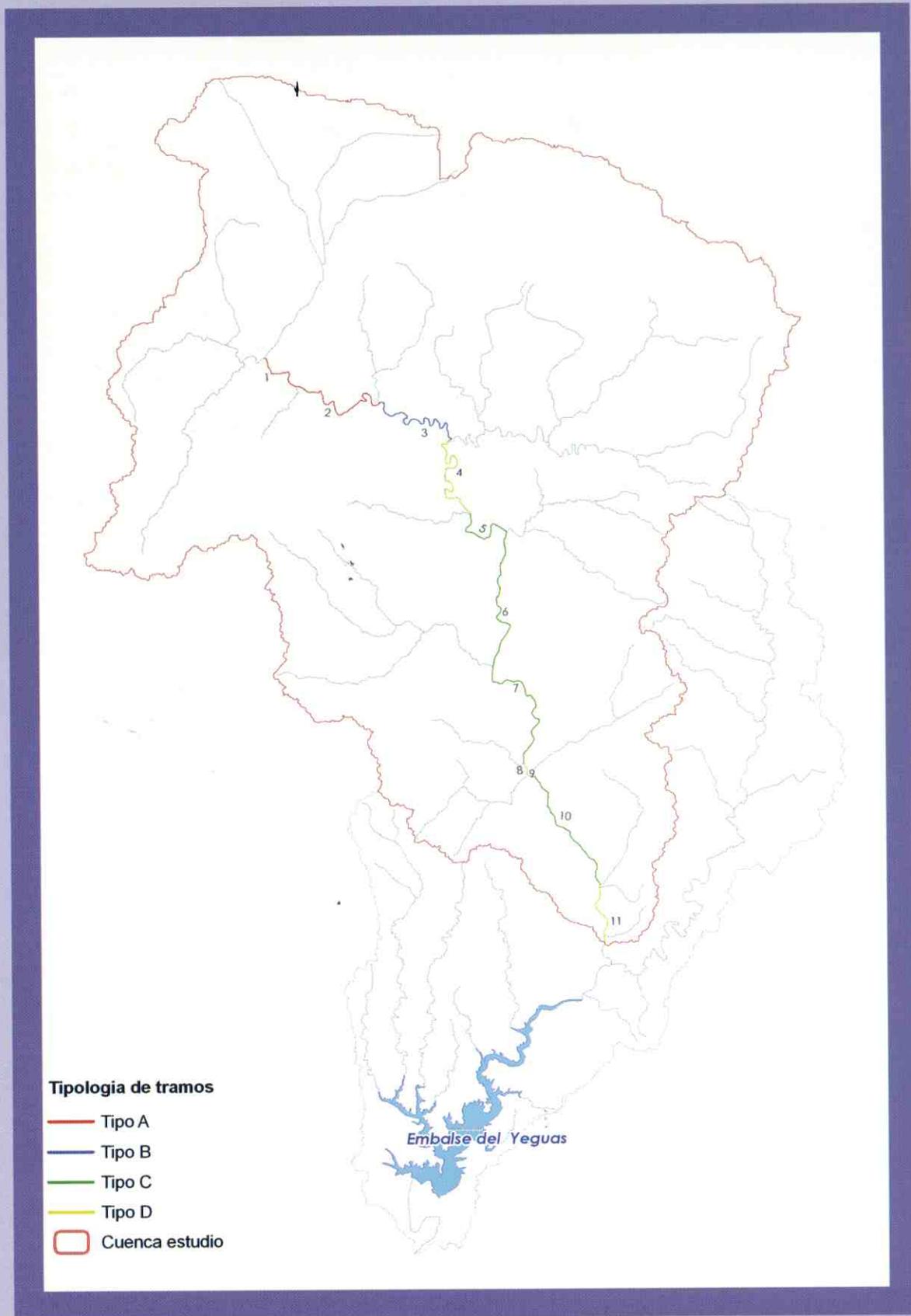


Figura 41. Localización de los tipos de tramos fuviales

## A1.2 Caracterización del tipo de perfil transversal

Otro paso en el presente análisis lo constituye la caracterización "intratramo", donde se definen los procesos erosivo-sedimentarios del cauce.

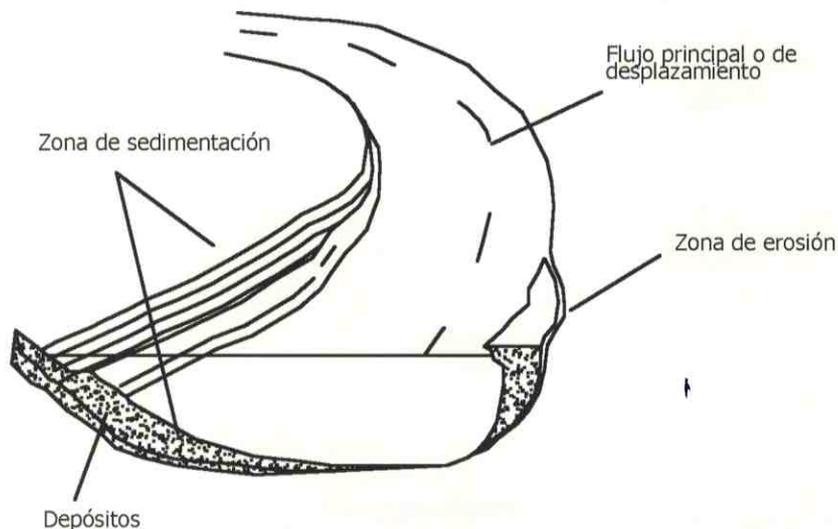
En los tramos en los que el cauce tiene un trazado recto suele presentarse un perfil "simétrico" en el que la vegetación se distribuye atendiendo únicamente a la morfología de la orilla y los taludes. Sin embargo, en los tramos en curva el perfil es asimétrico, distinguiéndose un lado externo, donde se producen fenómenos erosivos y un lado interno que recibe aportes de material.

Se podrán, por tanto, distinguir los tramos rectos de los curvos, diferenciándose en este último la zona "de ataque" y "de depósito", al objeto de identificar diferencias en la disposición de la vegetación.

En cada "intratramo" estudiado se analiza el perfil transversal del cauce. El estudio del perfil brindará la posibilidad de establecer las relaciones entre las formaciones vegetales y su capacidad de colonizar las diferentes áreas.

La disposición teórica de la vegetación de ribera del río Yeguas corresponde a bandas paralelas al cauce, según se representa en la figura adjunta. La distribución real y exacta de los diferentes tipos de vegetación se ha deter-

**Figura 42.** Fenómeno erosivo-sedimentario en un tramo curvo

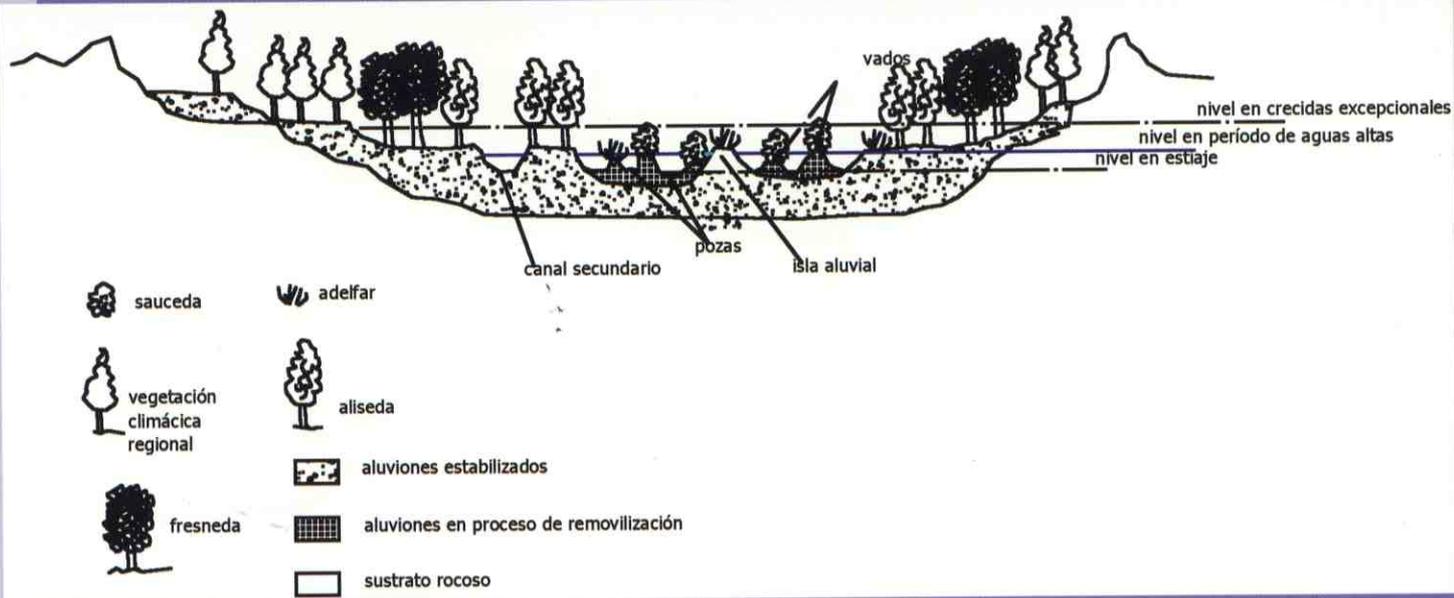


minado durante el trabajo de campo, permitiendo estudiar la relación entre la geomorfología y la banda de vegetación correspondiente.

A priori, se puede intuir que no todas las especies ripícolas serán capaces de

al definir éstas, en algunos casos, la disponibilidad de agua en los períodos de sequía.

El análisis de la capacidad de distribución y dispersión de las avenidas permitirá el estudio de las variaciones de

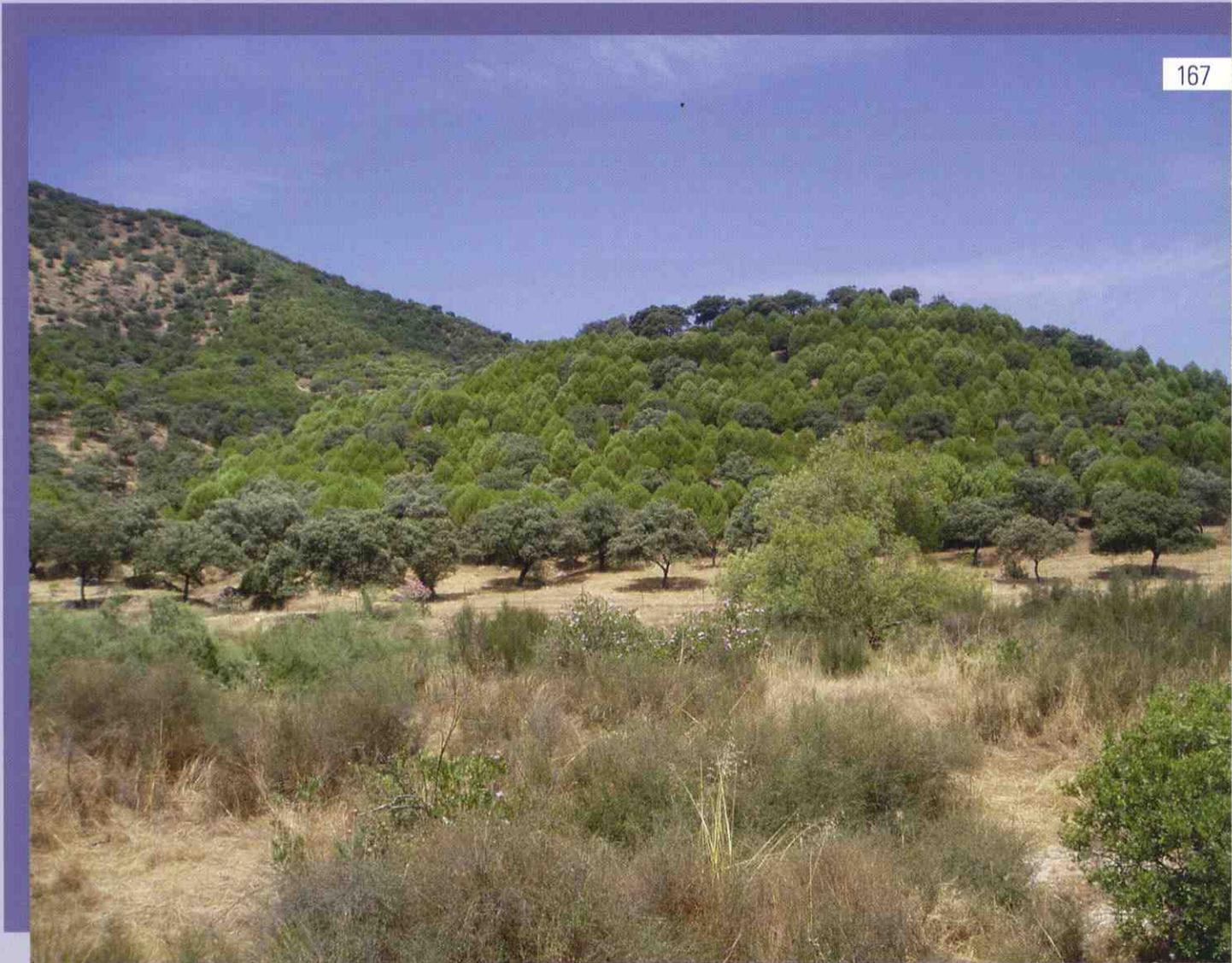


**Figura 43.** Perfil transversal teórico en un tramo anastomado

aparecer instaladas, por ejemplo, en las áreas de reciente sedimentación y en proceso de remoción. La inestabilidad, el grado de consolidación, el tipo/granulometría de los materiales que conforman el sustrato y la edad de la sedimentación van a permitir en unos casos la posibilidad de instalación de las formaciones vegetales, la restringirán en otros.

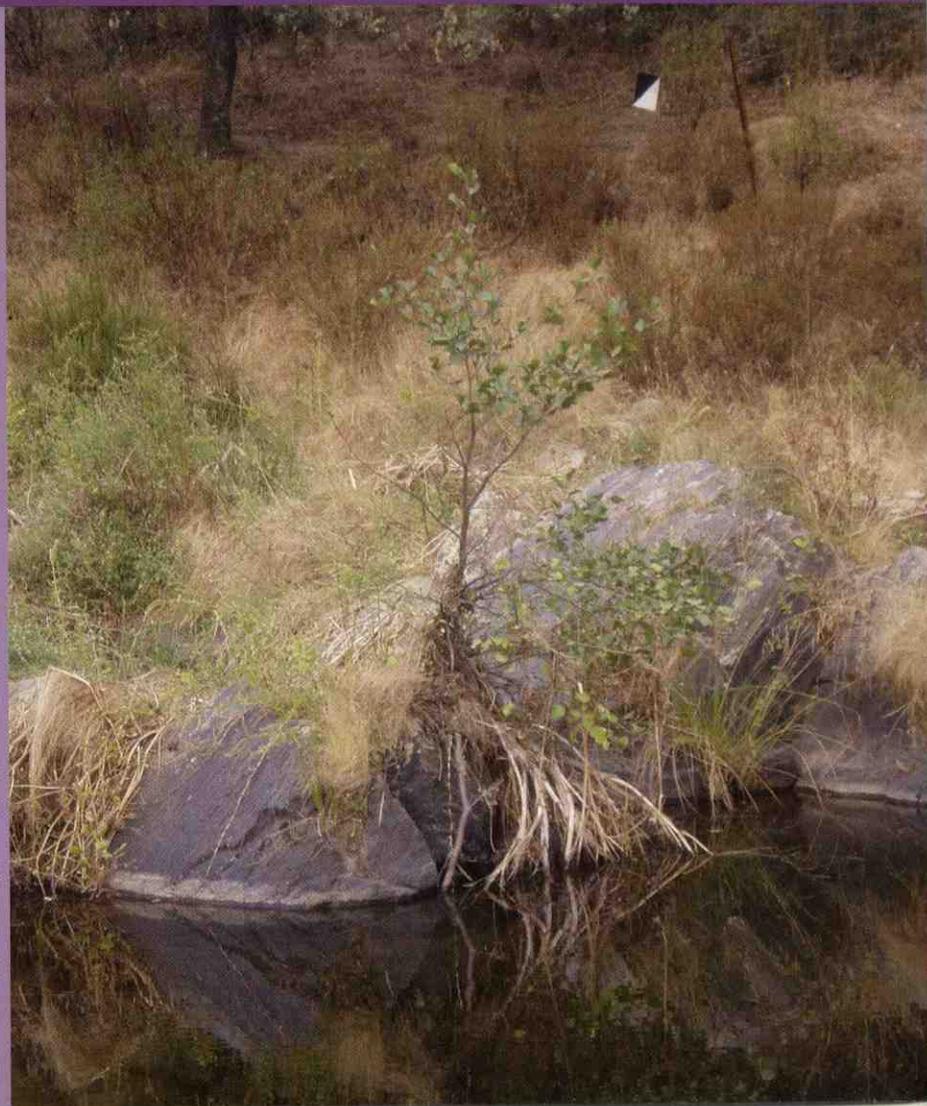
También podrán estudiarse las diferencias marcadas por la abundancia y distribución de las pozas dentro del perfil,

distribución vegetal dentro del perfil, en función de los niveles que el agua alcance en los períodos de aguas altas y máximas avenidas.



# Realización del muestreo

# A2



## A2. Realización del muestreo

Las observaciones sobre la población que constituye la vegetación ripícola estudiada deben hacerse eligiendo una muestra representativa. La tipificación del río realizada previamente en los diferentes tramos, ha permitido el diseño y aplicación del muestreo de forma que las conclusiones sean extensibles al resto de tramos no muestreados de características similares.

Dentro de cada uno de los tramos se han elegido perfiles representativos en las componentes geomorfología y

estructura y composición de la vegetación, resultando un tamaño de muestra total de doce perfiles transversales, a lo largo de los cuales se ha llevado a cabo el inventario. La localización exacta de los mismos se resume en la tabla 1 y en la Figura 3.

A continuación se describen los resultados del muestreo para cada uno de los tramos definidos, así como las características identificadas en gabinete que se han corroborado en el trabajo de campo.

TRAMO DE ESTUDIO	Unidad de muestreo	Localización (UTM) (punto de arranque del transecto)	
		Coordenada X	Coordenada Y
<b>Tramo A</b>	Perfil transversal AA'	385507	4246506
	Perfil transversal BB'	385599	4246527
	Perfil transversal CC'	385633	4246401
<b>Tramo B</b>	Perfil transversal DD'	390749	4244560
	Perfil transversal CC'	390247	4244409
	Perfil transversal BB'	390160	4244582
	Perfil transversal AA'	390304	4244764
<b>Tramo C</b>	Perfil transversal AA'	395535	4232500
	Perfil transversal BB'	395427	4232348
	Perfil transversal CC'	395269	4232195
<b>Tramo D</b>	Perfil transversal AA'	397800	4225314
	Perfil transversal BB'	397705	4225182

**Tabla 16.** Unidades de muestreo según la tipología definida

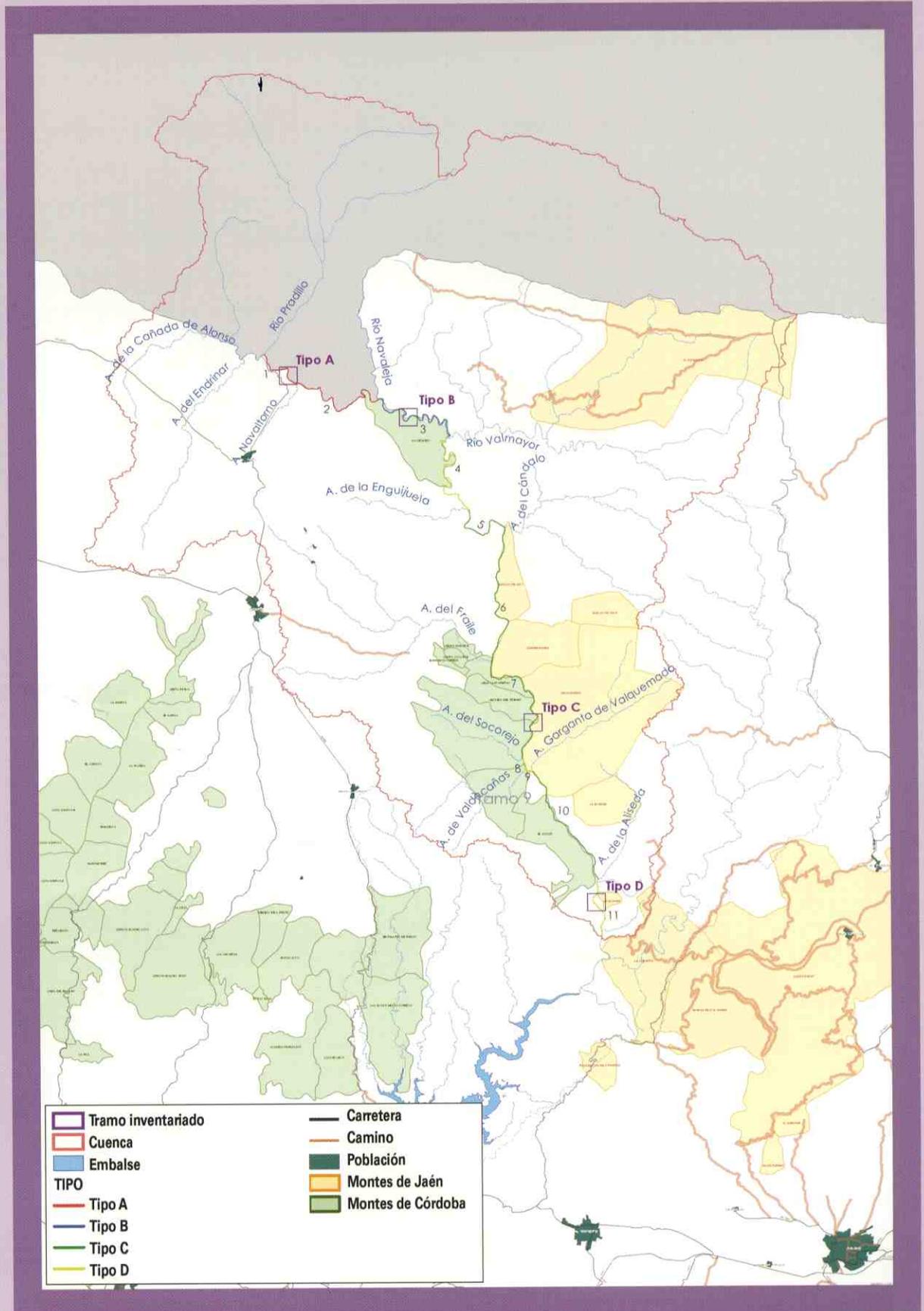
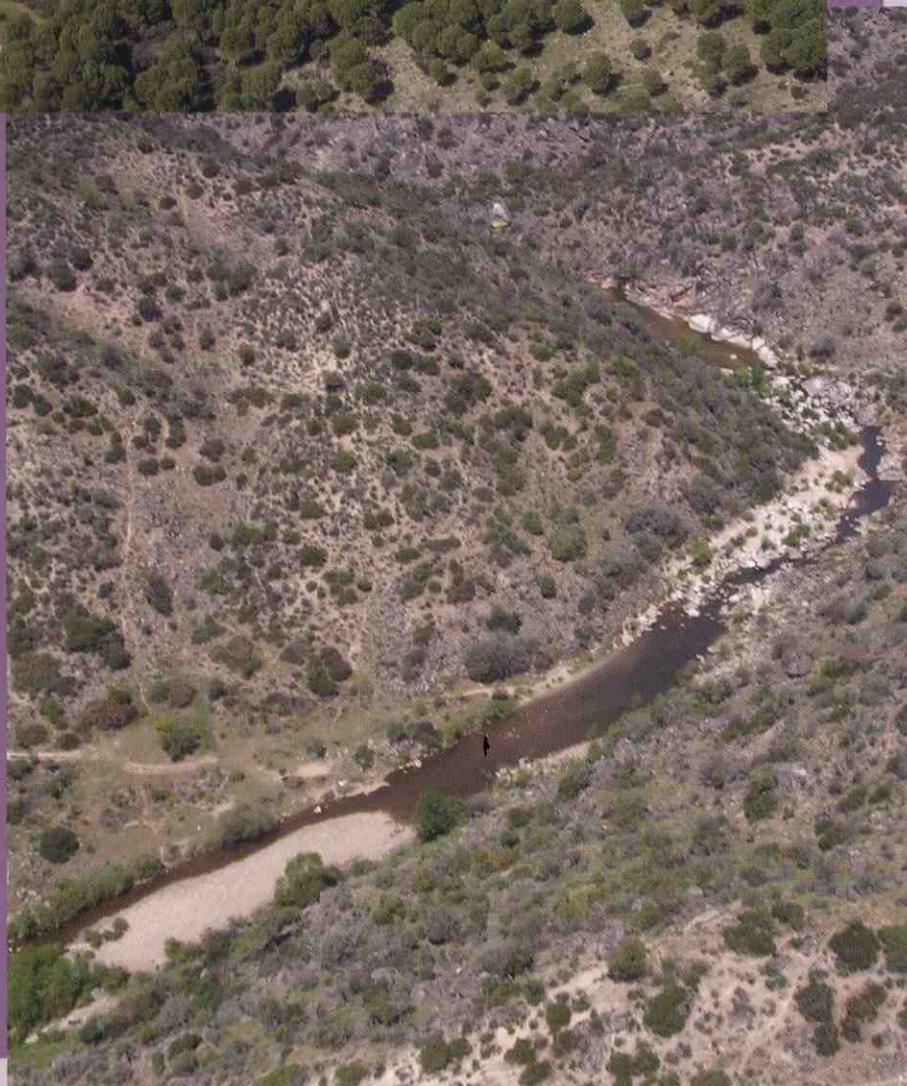


Figura 44. Tipología de tramos fluviales



## Tramo tipo A

# A3



# A3. Tramo tipo A

TIPIFICACIÓN	POZAS	SUSTRATO	RÉG. HIDRÁULICO	VEGETACIÓN
Tipo A	NO	Lítico	Rápido	NO

## A3.1 Localización

La titularidad de las fincas colindantes a las márgenes es privada, estando la ribera delimitada por vallas en toda su longitud.

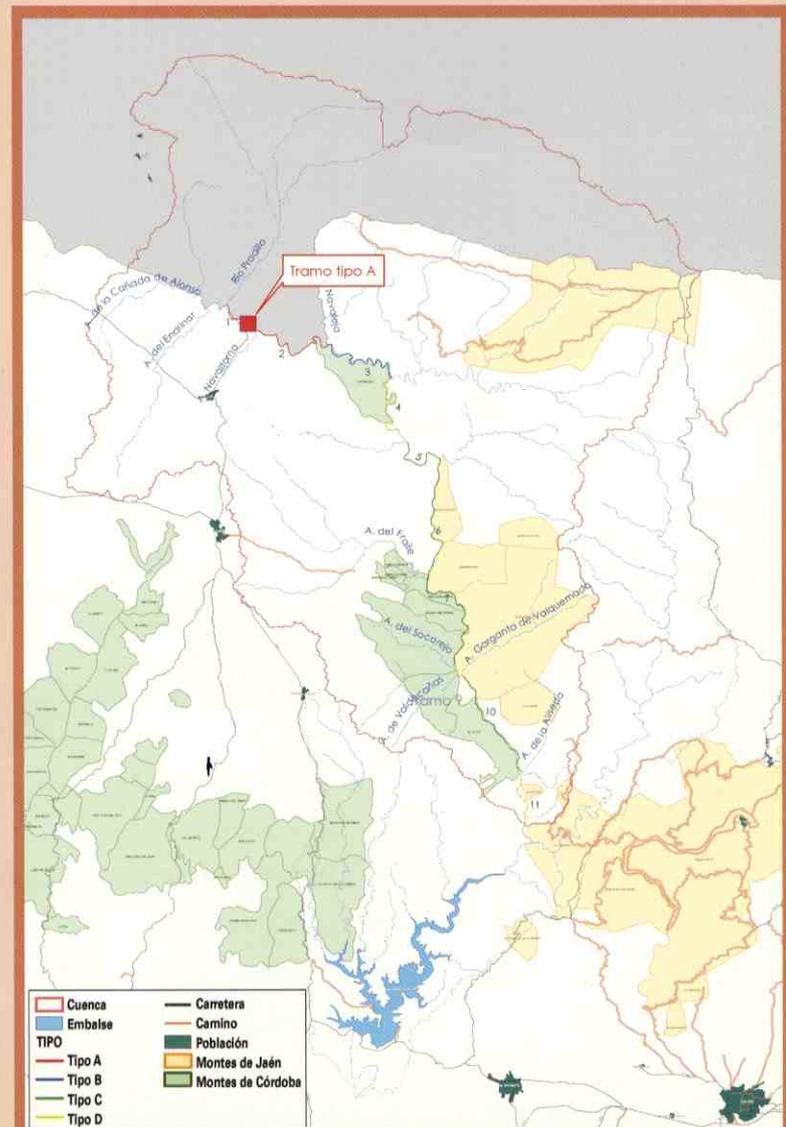
Se localiza en la cabecera de la cuenca, definiendo la línea divisoria de las comunidades de Andalucía y Castilla-La Mancha. El tramo seleccionado se encuentra entre el inicio del río Yeguas (marcado por la unión de dos arroyos; Arroyo de la Cañada de Alonso y Arroyo del Endrinar); y el Arroyo Navaltorno que se incorpora por la margen derecha, aguas abajo del tramo de estudio.

En el trabajo de gabinete se identificó como tramo tipo A, la zona donde el río se encaja en un valle abierto en forma de "U".

El régimen hídrico del río es permanente, existiendo en verano un hilo de agua sin pozas relevantes.

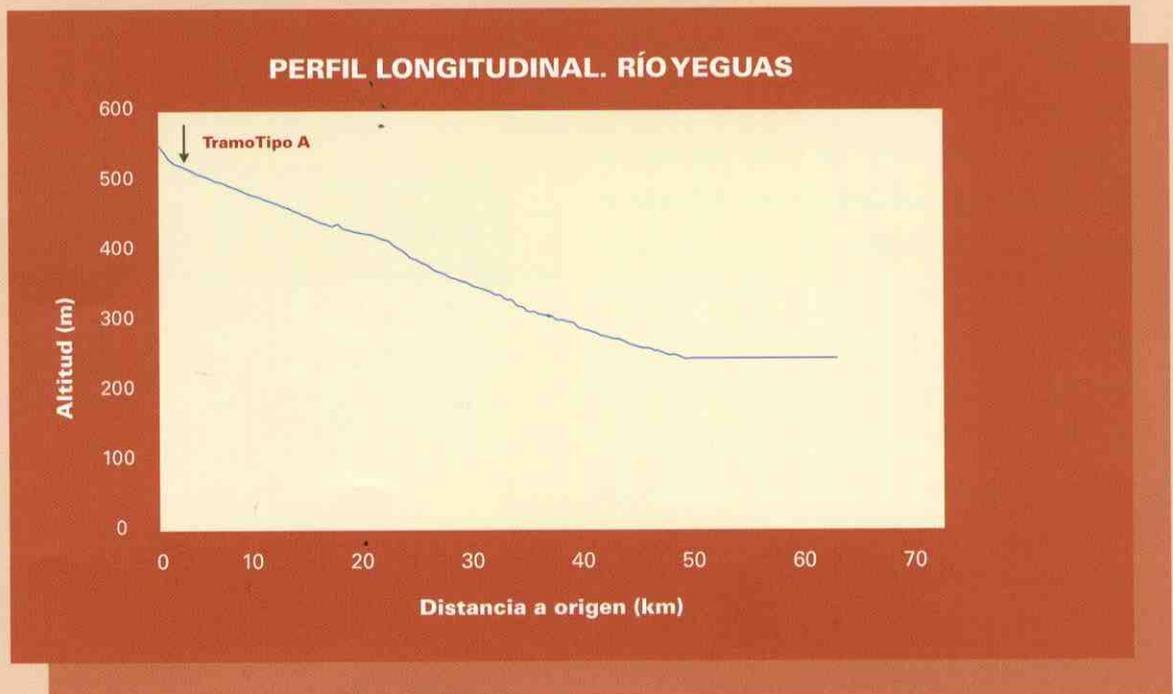
El sustrato es de tipo lítico, y el régimen hidráulico es rápido, siendo la pendiente longitudinal media de este

tramo del 1,43%. No existe vegetación freatófila, debido a la presión ganadera, ya que el uso colindante es forestal con aprovechamiento de ganadería extensiva.





174



**Figura 45.** Localización del tramo tipo A estudiado en el perfil longitudinal del río

### A3.2 Trazado en planta

En este tramo el río tiene un curso levemente sinuoso. Presentando una curva pronunciada para adaptarse a la topografía y otra con gran radio de curvatura, donde existen varias pozas de poca profundidad.

La longitud del tramo (medida en el eje principal del río) es de 1.024 m.

### A3.3 Geomorfología

A pesar de presentar la característica de encajarse sobre un valle abierto, la llanura de inundación que encontramos en este tramo es muy pequeña, llegando la vegetación del monte mediterráneo casi hasta el borde de las aguas.

Tras el estudio de la fotografía aérea de la zona, el tipo de sustrato fue clasificado inicialmente como predominantemente lítico, pero tras las prospecciones de campo se comprobó que se trataba de un tramo aluvial de cantos, gravas y arenas con una presencia secundaria de sustratos líticos. Por otro lado, se da la particularidad de que se han ido lavando las arenas en el lecho, mien-

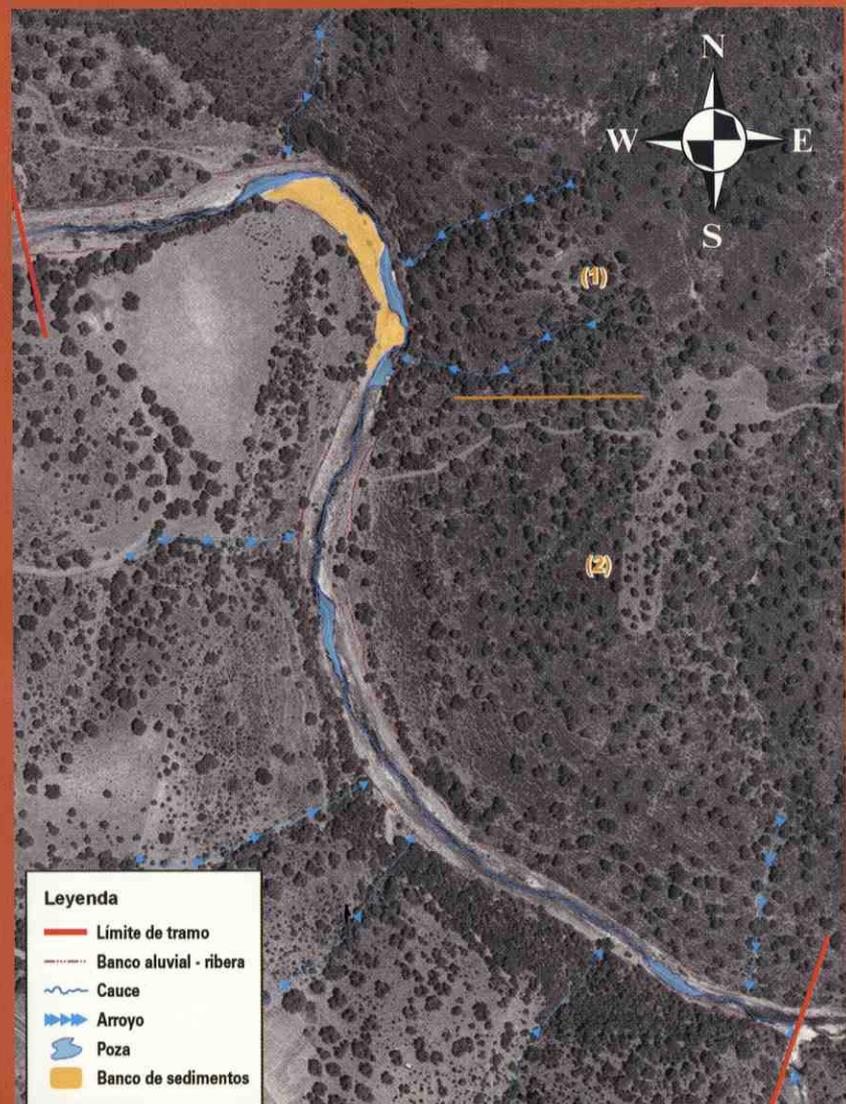
175

#### Geomorfología. Tramo tipo A

Podemos señalar dos zonas diferenciadas marcadas por dos curvas: La primera zona corresponde a una curva bastante pronunciada que se adapta a la topografía del terreno. Aquí podemos distinguir un banco de sedimento de origen aluvial en el margen interno de la curva, compuesto por cantos, gravas y arenas. En la parte externa de la curva se forman pequeñas pozas.

La segunda zona se corresponde con la siguiente curva que presenta un gran radio de curvatura. En este caso encontramos pozas someras, y en ocasiones pequeños depósitos de limo donde se desarrollan praderas de gramíneas.

Con la salvedad de que existen algunas pozas someras, el resto de características son iguales a las planteadas en el trabajo de gabinete. Posiblemente esta característica del río se deba al efecto de las crecidas que por la reducida superficie de la cuenca y los usos colindantes, no tiene capacidad para barrer las arenas e incluso deposita material fino en las márgenes.



El sentido de circulación de las aguas es norte-sur



**Figura 46.** Sustrato aluvial de cantos, grava y arenas.

tras que en las márgenes el material aluvial existente presenta limos y arcillas. La generalidad del cauce presenta de forma predominante un sustrato aluvial de cantos, grava y arenas, con la especificidad de que en el lecho se ha lavado la arena, mientras que en las márgenes el material aluvial está formado por limos y arcillas.



**Figura 47.** Banco de sedimento (zona 1)



**Figura 48.** Entrada del barranco al río por su margen izquierda

Sin embargo, como se ha dicho, hay zonas donde el río transcurre directamente sobre el material geológico, presentando un sustrato lítico.

A lo largo del tramo existen nueve aportes de agua procedentes de

pequeños barrancos, cinco por la margen derecha y cuatro por la margen izquierda. Cabe destacar la elevada torrencialidad de algunas de estas entradas de pequeños barrancos vertientes al río, que dejan al descubierto el sustrato lítico.

El uso colindante, forestal con aprovechamiento de ganadería extensiva, no posibilita el desarrollo de la ribera, por lo que el tramo fluvial prácticamente no presenta vegetación frea-tófila debido a la acción del pastoreo.

Existen pies jóvenes dispersos de especies arbóreas típicas de los tramos altos de los ríos, tales como el aliso (*Alnus glutinosa* L. Gaertner), y el fresno (*Fraxinus angustifolia* Vahl), localizadas en zonas de difícil acceso para el ganado o bajo el cobijo de zarzas (*Rubus ulmifolius* Schott) que es la única especie arbustiva que prospera en este tramo.

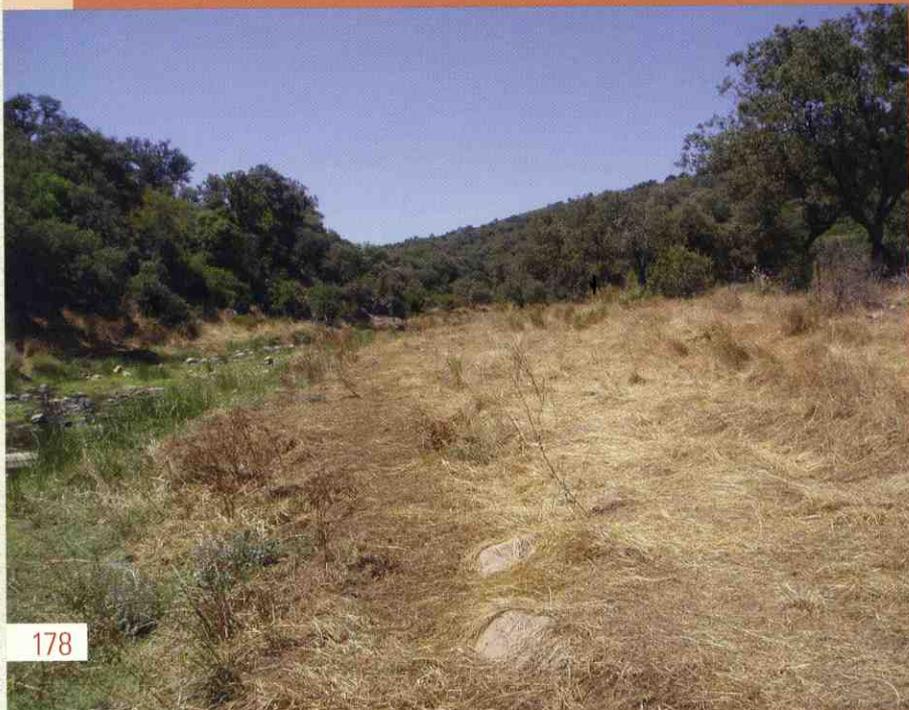
Las márgenes se encuentran colonizadas por plantas herbáceas, en zonas donde el cauce se ensancha levemente se forman pequeñas praderas de gramíneas. En las orillas encontramos también plantas aromáticas como la menta (*Mentha sp*) y la lavanda (*Lavandula stoechas* L.).

En el banco de sedimento de la parte interior de la curva pronunciada se encuentran pequeñas matas de sauce (*Salix sp*).

En zonas con afloramientos rocosos se han detectado pies de higuera (*Ficus carica* L.), que no han podido desarrollarse debido a la acción del pastoreo.

### Vegetación. Tramo tipo B





**Figura 49.** Vista general del cauce sin vegetación freatófila

### A3.4 Vegetación

**Figura 50.**  
Pradera de gramíneas



**Figura 51.** Zarzas



Figura 52. Pie joven de aliso al cobijo de la zarza

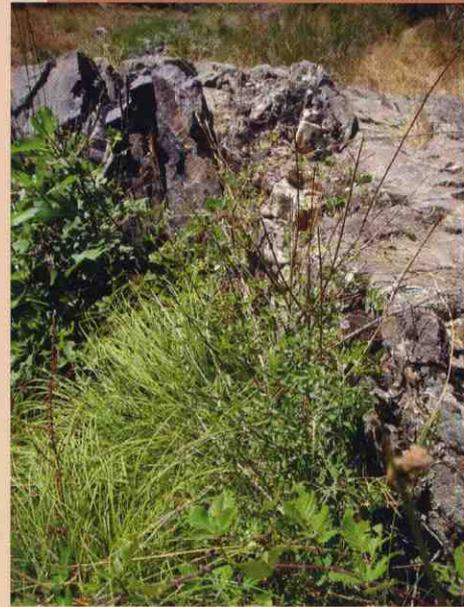


Figura 53. Efecto de la presión ganadera (pie de higuera, *Ficus carica* L., comida por el ganado)

179

### A3.5 Perfil transversal / longitudinal

AA'      BB'      CC'

Localización de los perfiles. Tramo tipo A

Longitud (m)

34      49      40

Localización. X    385507    385599    385633  
Punto de inicio  
del transecto.

Coord. UTM    Y    4246506    4246527    4246401



Dentro de este tramo se han elegido tres perfiles representativos respecto a los componentes geomorfología y estructura y composición de la vegetación. En cada punto de muestreo se han levantado un perfil transversal y un inventario de la vegetación. En este tramo se han realizado un total de 3 puntos de muestreo, localizados en el inicio, final y parte media de la curva pronunciada. La localización de los perfiles es la siguiente:

### Perfil AA'

Este perfil se localiza justo al comienzo de la curva pronunciada, aquí el cauce es estrecho, y levemente sinuoso.

La vegetación zonal llega prácticamente a la orilla del río.

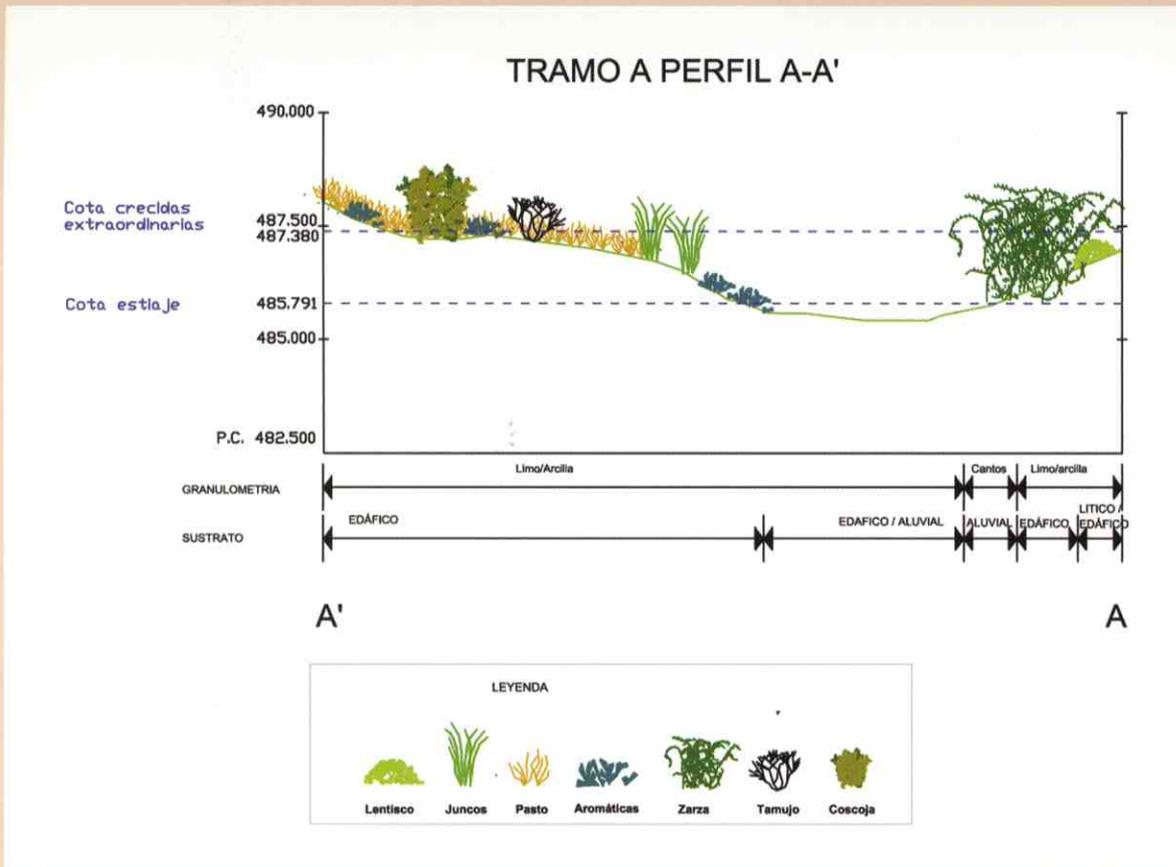
En el perfil no hay un gran desarrollo de la vegetación riparia, con la salvedad de las grandes matocadas de zarza que crecen en las orillas del cauce, preferentemente en zonas donde hay acumulaciones de agua.

Si nos fijamos en el perfil transversal, la banda de vegetación de ribera de la margen derecha (A) es bastante estrecha encontrándose la vegetación zonal prácticamente a orillas del cauce. En esta margen el talud es bastante pronunciado y con gran cantidad de zarzas que impidieron que el perfil se levantara más por esta margen (ver fotografía al pie de la página).

En la margen izquierda (A'), encontramos una zona de sedimento procedente de la ladera constituida por limo y arcilla sobre la que se desarrolla un pastizal acompañado de juncos en las inmediaciones del cauce. En las zonas más húmedas afloran pequeñas matas de menta; y de lavándula en el banco de depósito de sedimento. La única planta riparia que encontramos en la margen izquierda es el tamujo que aparece de forma esporádica y sin gran desarrollo.

En el perfil transversal A-A' del tramo A se puede observar de forma gráfica la vegetación presente en el perfil y la relación de vegetación y geomorfología recogida para el perfil.





**Tabla 54.** Tramo tipo A estudiado. Perfil A-A'

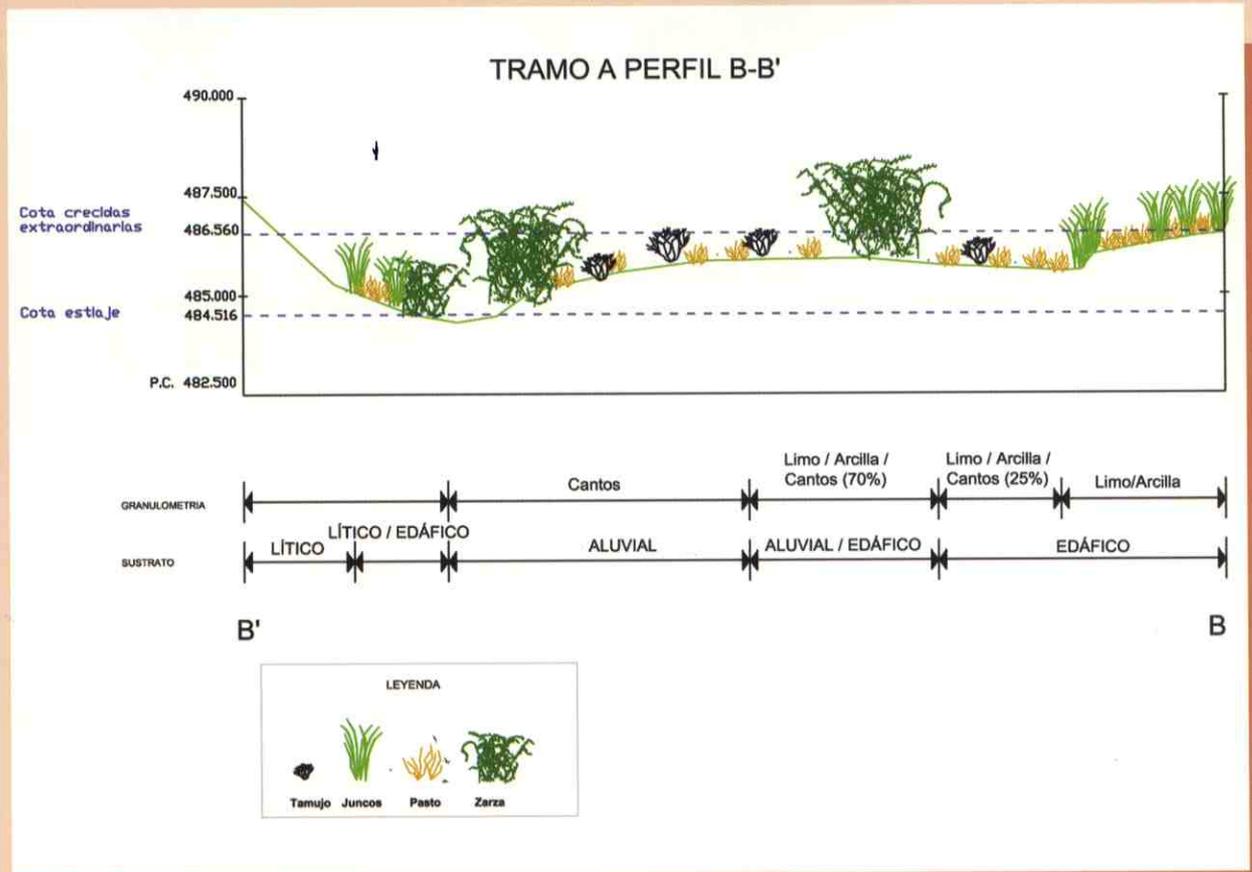
## Perfil BB'

Este perfil se localiza en el centro de la curva pronunciada, por lo que podemos distinguir en el mismo la zona de ataque y la zona de sedimentación. La margen derecha (B) se corresponde con la zona interna de la curva (zona de sedimentación), aquí es donde se encuentra un banco de depósitos de procedencia aluvial formado por cantos, grava y arena.

Este banco se encuentra colonizado por plantas de salix de forma dispersa y alguna zarza con pasto disperso intercalado.

La margen izquierda (B') se corresponde con la parte externa de la curva (zona de ataque), presenta un talud bastante pronunciado, con afloramientos rocosos. En ella, se desarrollan gramíneas y juncos dispersos. Las zarzas se localizan junto al cauce en las proximidades de las acumulaciones de agua.





**Tabla 55.** Tramo tipo A estudiado. Perfil B-B'

### Perfil CC'

Este perfil se localiza al final de la curva pronunciada. El cauce es prácticamente simétrico.

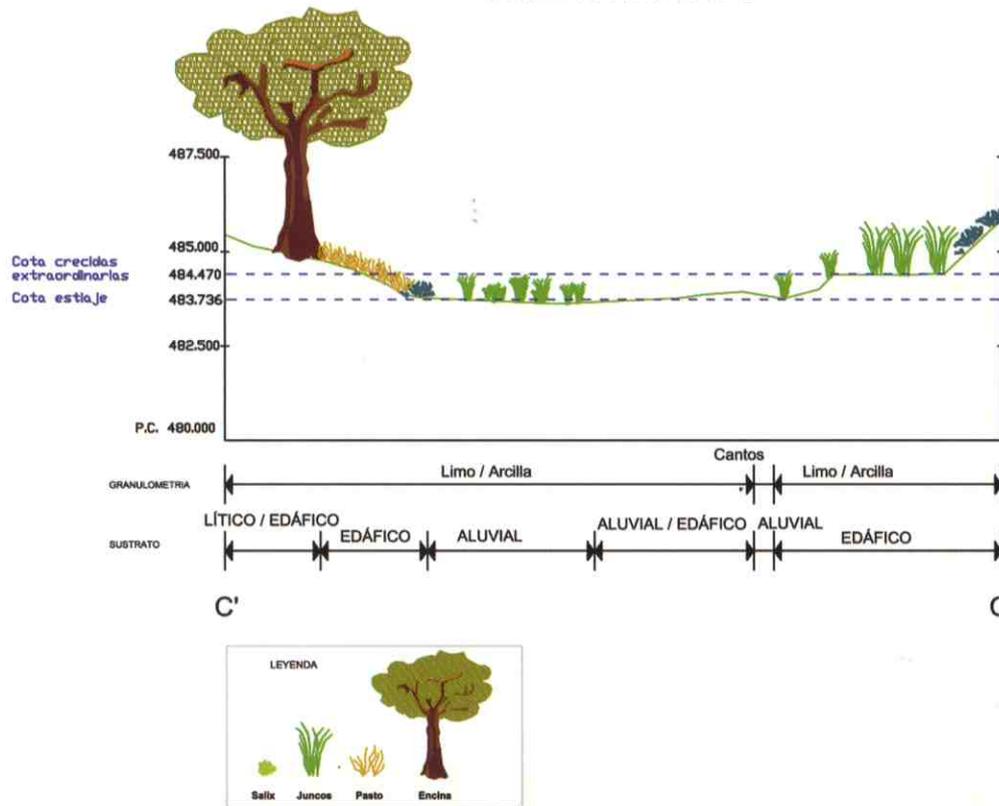
Se sitúa en la zona de transición entre dos curvas, donde no hay zona de

ataque y sedimentación claramente diferenciadas.

En la zona donde se localiza el perfil el cauce es mucho más abierto, tal y como puede verse en la fotografía del pie de página.



## TRAMO A PERFIL C-C'



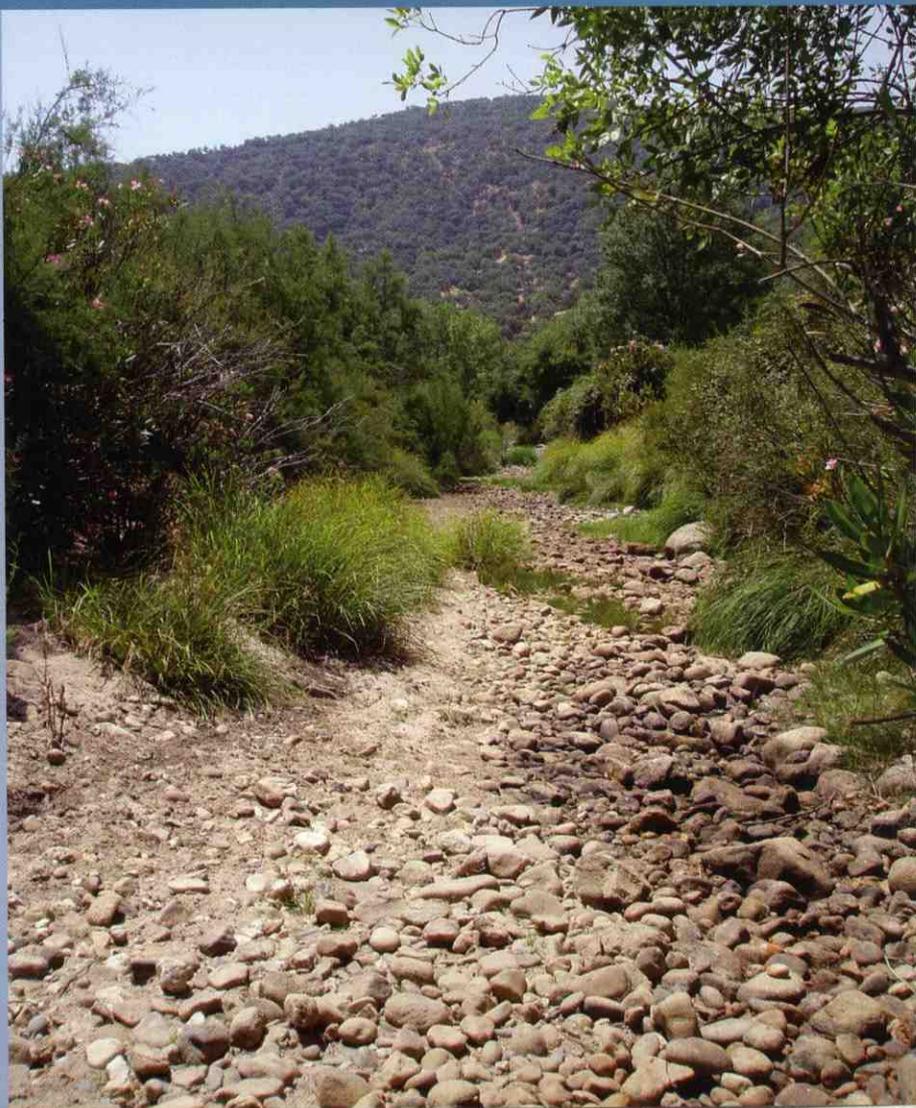
**Tabla 56.** Tramo tipo A estudiado. Perfil C-C'

En el cauce se forma una pradera de gramíneas y juncos dispersos en las orillas.

En la margen derecha hay una formación de pastizal con aprovechamiento ganadero.

## Tramo tipo B

A4



# A4. Tramo tipo B

TIPIFICACIÓN	POZAS	SUSTRATO	RÉG. HIDRÁULICO	VEGETACIÓN
Tipo B	Dispersas	Aluvial	Rápido	Incipiente

## A4.1 Localización

El tramo tipo B se localiza en la parte media-alta de la cuenca del embalse del Yeguas. El tramo seleccionado se encuentra en el transecto comprendido entre el río Navaleja y el río Valmayor, ambos conectan con el río Yeguas por su margen izquierda.

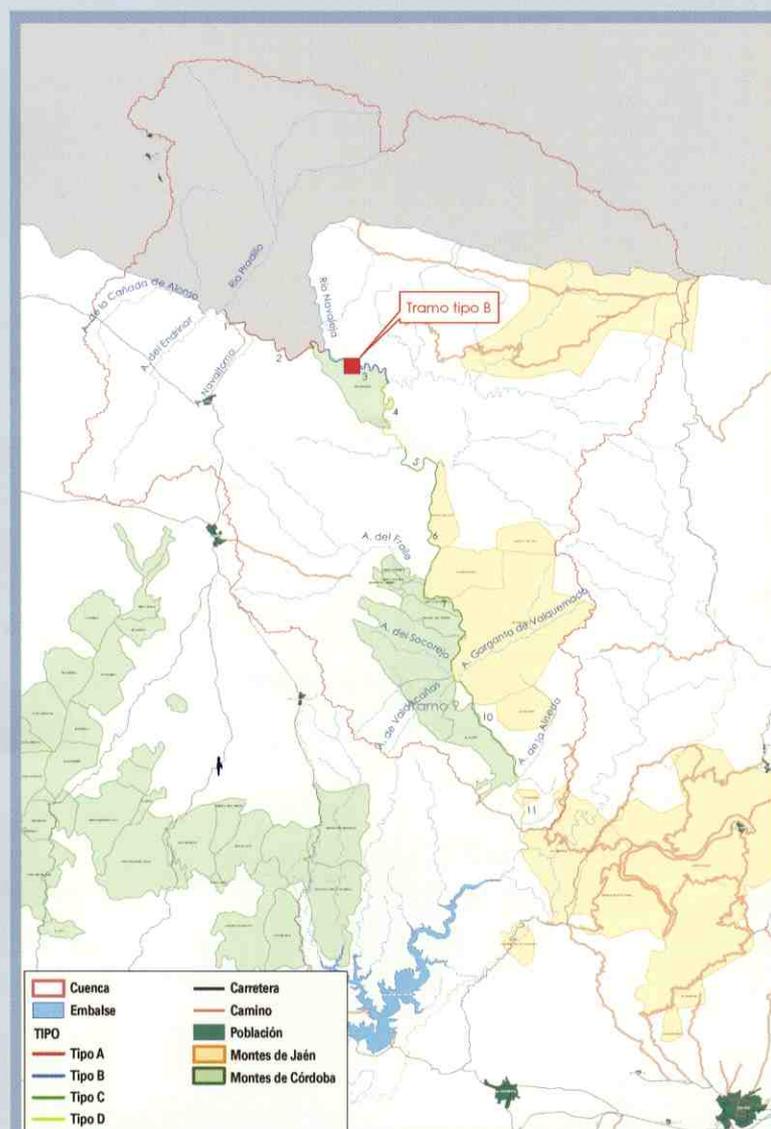
Con el trabajo de campo se ha verificado que el tramo estudiado presenta características concordantes con la tipificación realizada en el trabajo de gabinete, donde se definió como tipo B.

El cauce, alojado en un valle en forma de "U", presenta pozas dispersas, fluendo sobre un sustrato de naturaleza aluvial, fundamentalmente arenoso. Presenta un régimen hídrico temporal e hidráulico rápido, siendo la pendiente longitudinal media de este tramo del 0,78%. Se caracteriza por ser un tramo con vegetación riparia incipiente.

El uso en las márgenes es forestal al igual que en el resto de tramos, pero presenta la singularidad de la coexis-

tencia de un uso principal de ganadería extensiva con otro cinegético como secundario.

Al no existir vallado en el margen derecho, el ganado utiliza el río como zona de abrevadero, especialmente en la poza del vado del río, donde la playa de



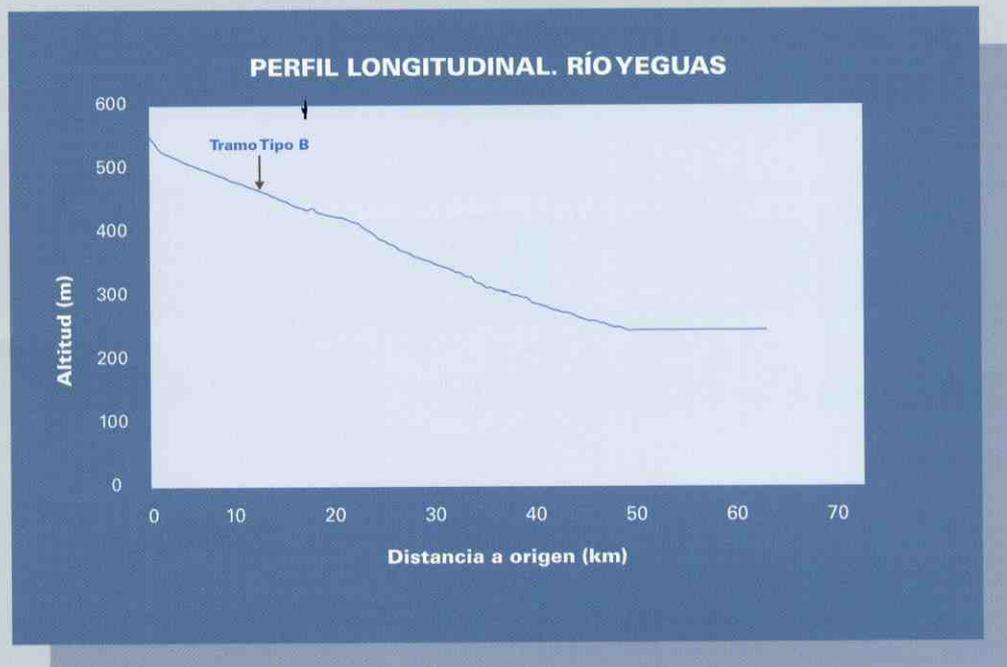


Figura 57. Localización del tramo tipo B a lo largo del perfil longitudinal del río

arena se encuentra muy pisoteada. No obstante, la incidencia sobre la vegetación es reducida.

## A4.2 Trazado en planta

El río presenta un trazado adaptado a la topografía de los cerros que conforman el valle. Esta sinuosidad forzada le proporciona una configuración de curvas sucesivas.

La longitud total del tramo medida en el eje principal del río es de 1.186 metros.

## A4.3 Geomorfología

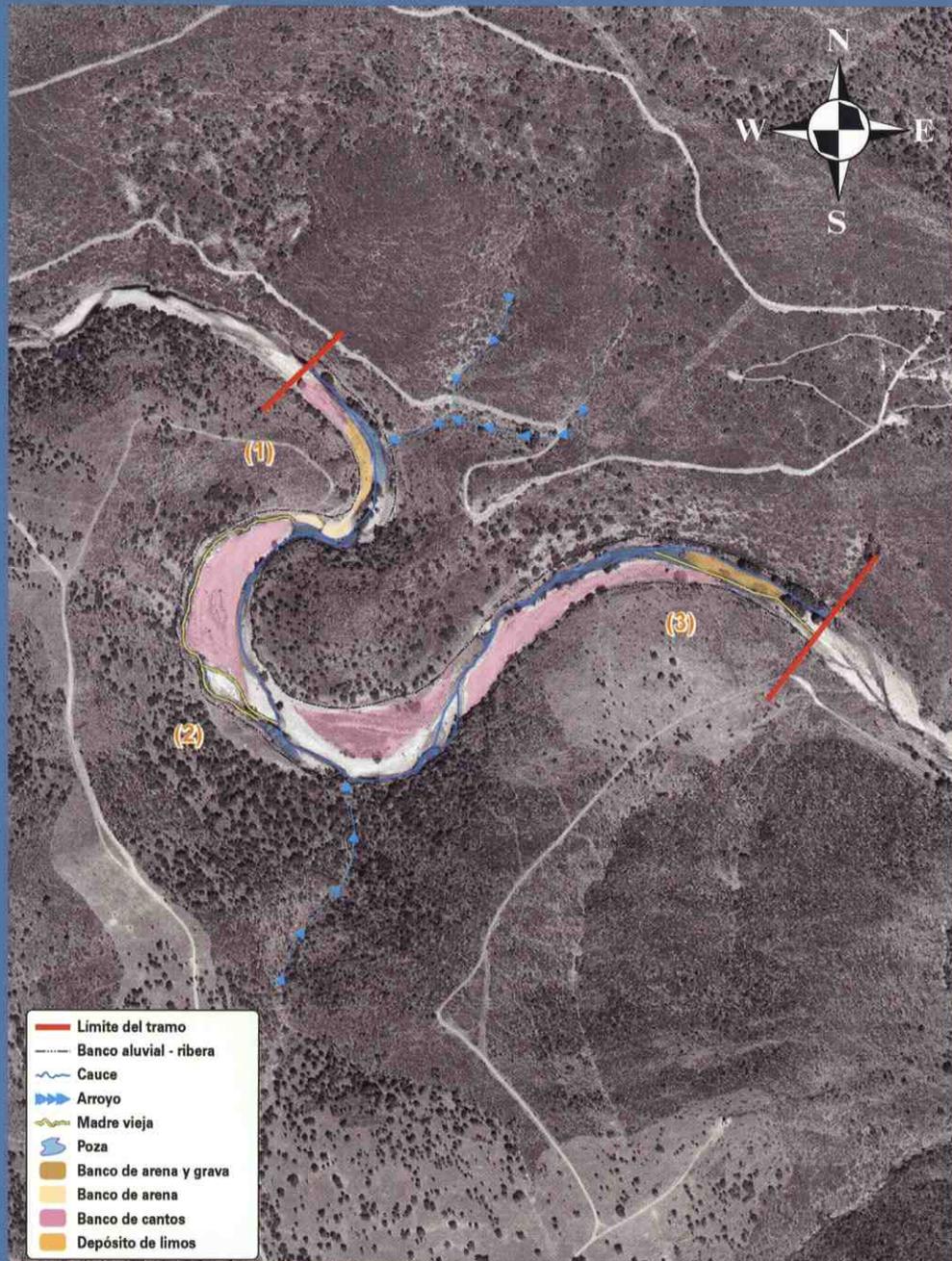
El tramo estudiado se enmarca en una 'vuelta' que realiza el río a uno de los cerros mencionados anteriormente,

adoptando un trazado meandriforme con presencia de pozas dispersas, localizándose las de mayor tamaño en la zona de ataque de las curvas. Igualmente, se aprecian pozas residuales de un antiguo trazado que forman charcas que se secan en verano.

En las zonas de transición entre pozas se forman rápidos con alternancia de barras de sedimentos y de antiguos cauces.

Las barras de sedimento están constituidas primordialmente por cantos y gravas y se sitúan en el interior de las curvas. Estas barras presentan un cierto desnivel respecto al lecho del cauce, quedando desconectadas del freático en la época estival.

## Geomorfología. Tramo tipo B



187

Podemos diferenciar tres zonas dentro del tramo de estudio, caracterizadas por tres formaciones singulares de sustrato y dos cambios de trazado:

La primera zona que encontramos es un tramo de escasa curvatura (prácticamente recto), en el que encontramos un depósito de limos en la orilla interna del mismo.

(2) La segunda zona comprende una curva pronunciada que comienza en una poza profunda que se encuentran en la zona de inflexión de dos acusadas curvaturas, donde se ha formado una pequeña playa de arena en las inmediaciones de un vado generado por la acción del tráfico rodado por el propio cauce.

En esta zona encontramos el primer cambio de trazado antes mencionado, siendo éste el más acusado. Se localiza en la 'vuelta' del cerro, iniciándose en el vado y discurriendo el nuevo cauce por el margen interno de la curvatura en un comportamiento contrario al que sería esperable o normal. El cauce antiguo, madre vieja, sólo se activa con los caudales de aguas altas. Las pozas se han convertido en charcas que se secan en verano.

Es posible que este fenómeno se encuentre potenciado por la acción de barrera que genera el vado, especialmente al haberse mejorado para el tránsito rodado.

(3) La tercera zona comprende una curva amplia caracterizada por una poza larga en la zona de ataque de la

curva, que se compensa con un banco de depósitos compuesto de cantos en su mayor parte, en la orilla opuesta. A continuación de la poza y como enlace con un trazado prácticamente rectilíneo aguas abajo, se ha formado una barra de arena y grava donde se está desarrollando abundante taraje procedente de regeneración. La barrera de arena ha dividido el cauce en dos, no fluyendo el agua en el periodo de aguas bajas por el cauce del margen interno de la curva.

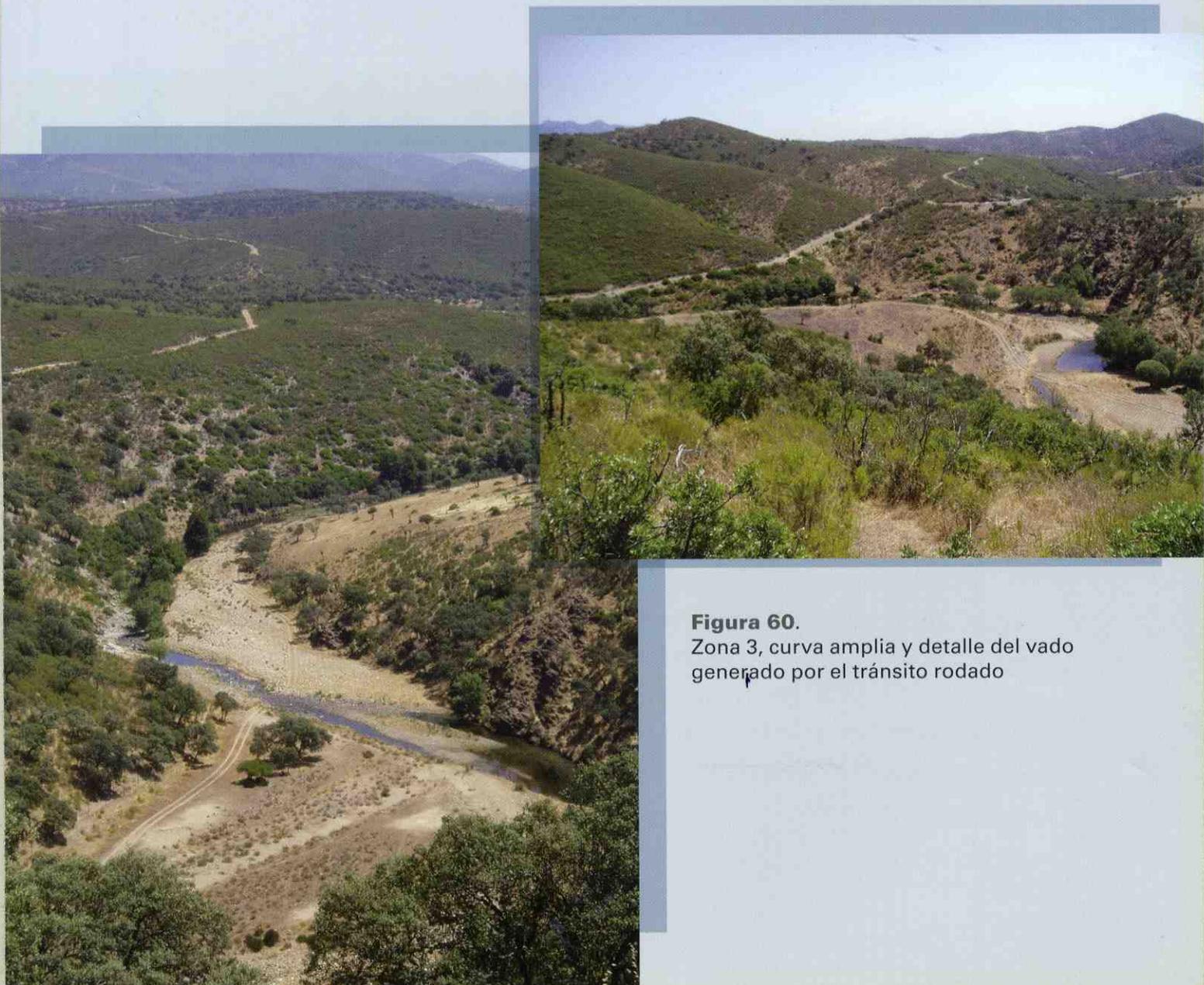
A lo largo del tramo existen tan sólo dos entradas de agua procedentes de pequeños barrancos; la primera por la margen izquierda al principio del tramo y la segunda por la margen derecha en la parte media del tramo como puede verse en la fotografía aérea de la página 187.



**Figura 58.**  
Zona 1, depósito con predominio de limos



**Figura 59.** Zona 2, curva pronunciada



**Figura 60.**  
Zona 3, curva amplia y detalle del vado  
generado por el tránsito rodado



**Figura 61.** Lecho del cauce

La granulometría dominante en este tramo fluvial es la gravá, aunque en realidad el sustrato está compuesto por una mezcla de cantos y gravas con una fracción mínima de arenas, suceso que se explicaría por un proceso de lavado en las crecidas ordinarias. Este lavado ha producido un acorazamiento del lecho incluso en las barras de sedimento que están formadas por cantos y gravas, siendo extremo en la línea del cauce principal, donde sólo existen cantos.

#### **A4.4 Vegetación**

La disposición de la vegetación dentro del tramo fluvial se encuentra estrechamente ligada con las distintas formaciones geomorfológicas.

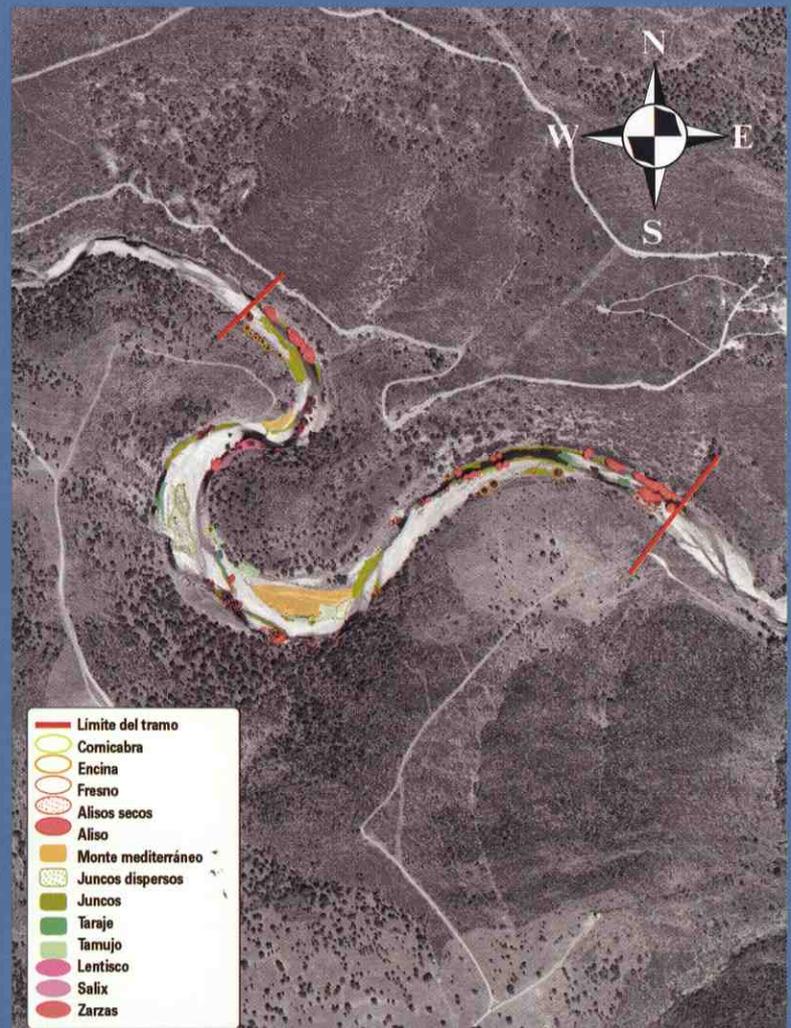
Cabe destacar la vegetación que se forma alrededor de las pozas donde abundan los materiales finos y se mantiene la humedad edáfica durante el periodo estival. Las márgenes de las pozas están colonizadas por alisos, fresnos y sauces, acompañados por helófitos.

La especie arbórea característica de este tramo es el aliso (*Alnus glutinosa* L. Gaertner), que necesita un suelo con humedad casi permanente. Por ello, su distribución se encuentra íntimamente ligada a las pozas, donde el agua se encuentra disponible durante la mayor parte del año.

Destaca del resto una formación de alisos, localizada en la poza al final del tramo de aguas someras, que se desarrolla en ambas márgenes, formando una galería cerrada.

En las pozas de cauces antiguos, que actualmente no mantienen humedad edáfica durante todo el periodo estival, se aprecian alisos muertos y colonización por taraje y helófitos en las orillas sobre acumulaciones de materiales finos.

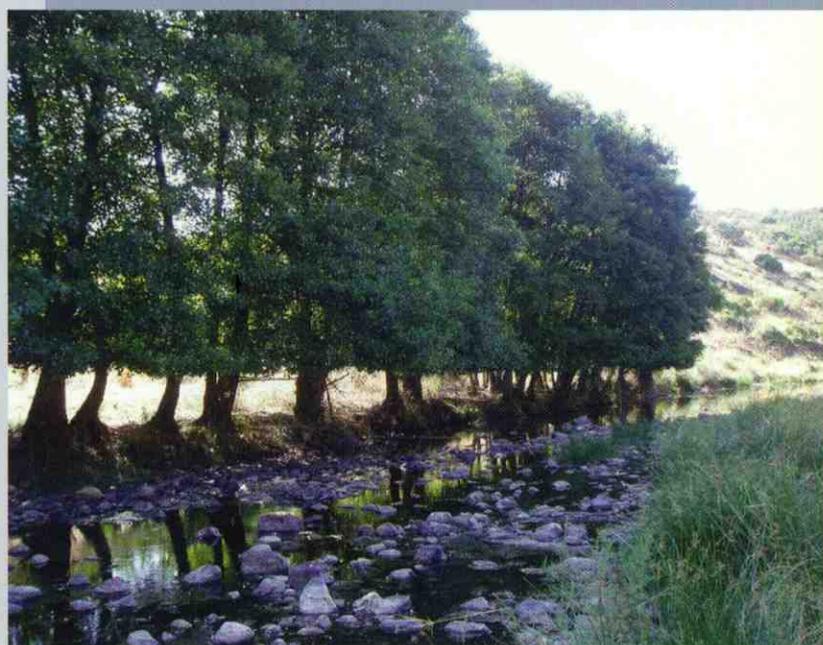
### Vegetación. Tramo tipo B

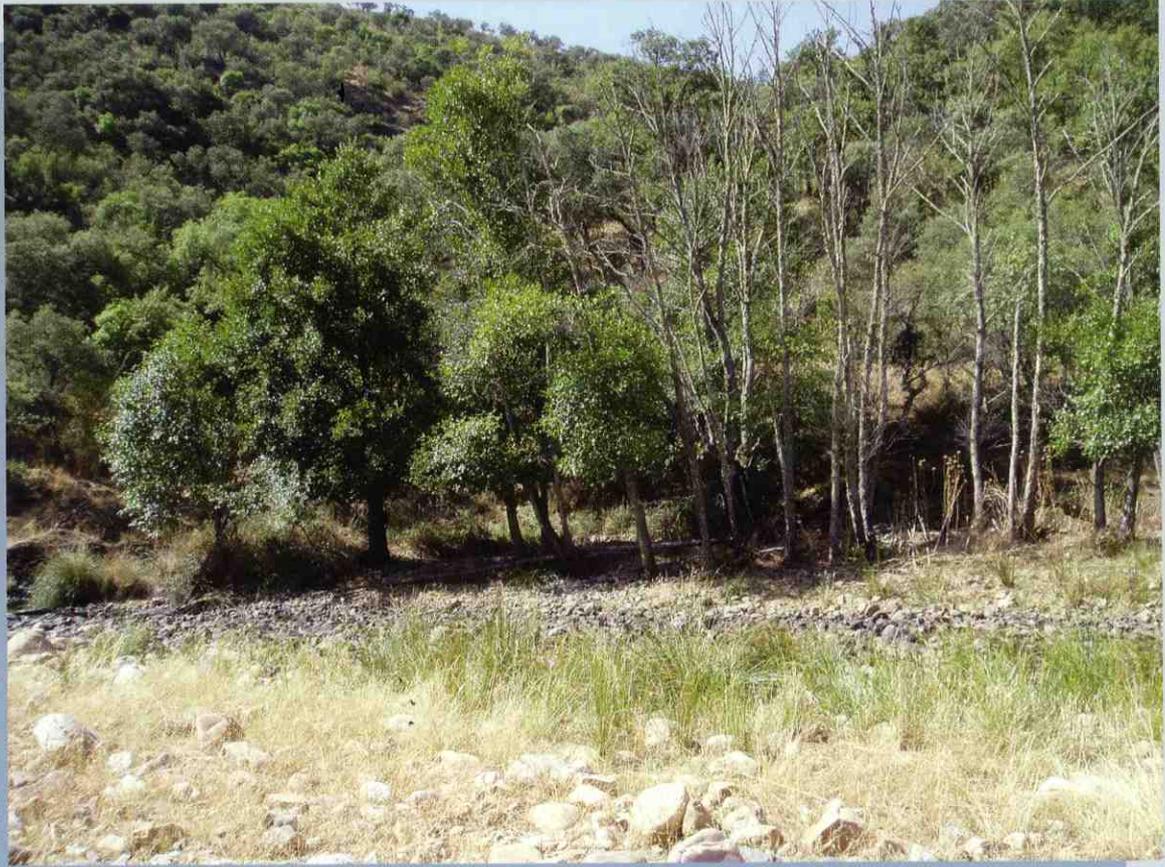


191

Los fresnos (*Fraxinus angustifolia* Vahl) y sauces (*Salix* sp.) aparecen en este tramo de forma puntual y dispersa.

**Figura 62.** Formación de alisos





**Figura 63.** Alisos muertos por cambio de trazado del río

Los helófitos (*Juncus sp.* y *Scirpus sp.*) son típicos de la zona de la orilla situada entre las aguas bajas y medias. Se dan a lo largo de todo el cauce en las zonas donde se mantiene la humedad edáfica.

En los tramos fluviales donde la velocidad de la corriente ha lavado los materiales más ligeros (zona de rápidos) sólo quedan los cantos rodados, no existiendo vegetación, salvo tarajes ocasionalmente.

En el extremo de la poza somera que existe en el final del tramo, donde se ha formado una cuña de sedimento

de cantos, arena y grava, se han desarrollado varios pies de taraje y un abundante regenerado de la misma especie. El regenerado parece proceder de semilla, desarrollándose sobre un sustrato rico en arena y con agua en superficie.

Debido a las condiciones edáficas y la desconexión del freático, en las barras de sedimento compuestas casi exclusivamente por cantos y gravas, se desarrollan especies pioneras de vegetación zonal; principalmente, herbáceas, canchaleso (*Lavandula stoechas* L.) y romero (*Rosmarinus officinalis* L.).



**Figura 64.** Helófitos



**Figura 65.** Tarajes



**Figura 66.** Vegetación zonal en bancos de grava

**Figura 67.** Zona de rápidos sin vegetación



Se puede apreciar que el río ha cambiado su dinámica trazando su nuevo cauce por el interior de la curva que rodea al cerro. El cambio ha generado alteraciones en la dinámica del subalveo, modificando a su vez las condiciones ambientales para la vegetación en esta zona. Este fenómeno también ocurre en el final del tramo estudiado, pero en este caso el cambio ha sido hacia el

exterior de la curva. Estas modificaciones han afectado a los alisos, que se han quedado desconectados del freático durante el periodo estival y en algunos casos han muerto.

Perfil		AA'	BB'	CC'	DD'
Longitud (m)		51	86	94	74
Localización. Punto de inicio del transecto.	X	390304	390160	390247	390749
Coord. UTM	Y	4244764	4244582	4244409	4244560

Localización de los perfiles. Tramo tipo B

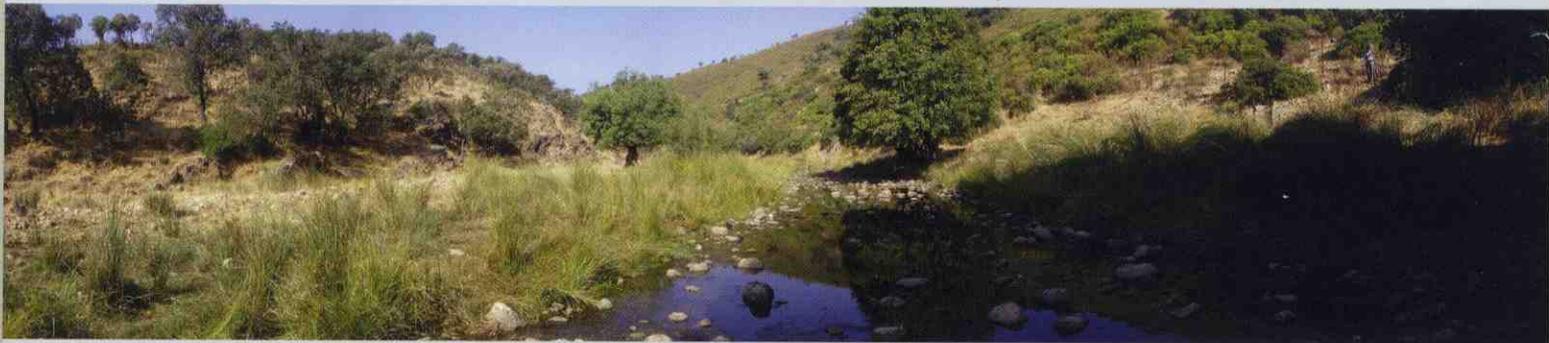


## A4.5 Perfil transversal / longitudinal

En este tramo se han elegido 4 perfiles representativos de las componentes geomorfología, estructura y composición de la vegetación. Los puntos de muestreo se han elegido mediante perfiles transversales, a lo largo de los cuales se ha llevado a cabo el inventario. La localización de los perfiles se resume a continuación:

## Perfil AA'

Este perfil se localiza al principio del tramo, en una zona donde el cauce se presenta prácticamente recto. El perfil en este punto es simétrico y no se aprecian grandes diferencias entre la margen izquierda y la derecha. En ambos márgenes se localizan depósitos de limos y arcillas sobre los que se desarrolla un pastizal, aumentando la presencia de juncos conforme nos



TRAMO B PERFIL A-A'

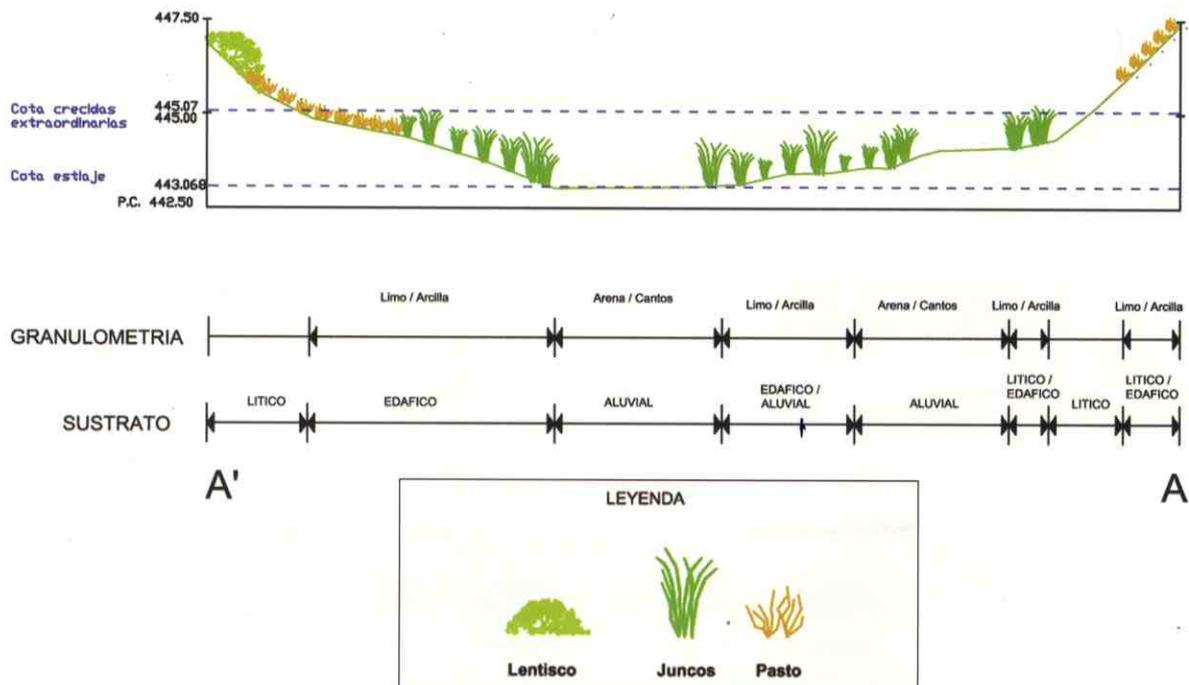


Figura 68. Tramo tipo B estudiado. Perfil transversal A-A'

acercamos al cauce, donde el sustrato comienza a ser aluvial.



En esta parte del tramo no hay gran desarrollo de la vegetación riparia, con la salvedad de grandes pies de alisos que se encuentran alineados junto al cauce por su margen izquierda.

### Perfil BB'

Este perfil se localiza en la primera parte de la curva cerrada. La margen derecha (B) se corresponde con la zona de ataque de la curva y la margen izquierda (B') con la zona de sedimentación. En ambas márgenes el talud que delimita la zona de ribera es bastante pronunciado, encontrándose sobre sendos taludes vegetación zonal.

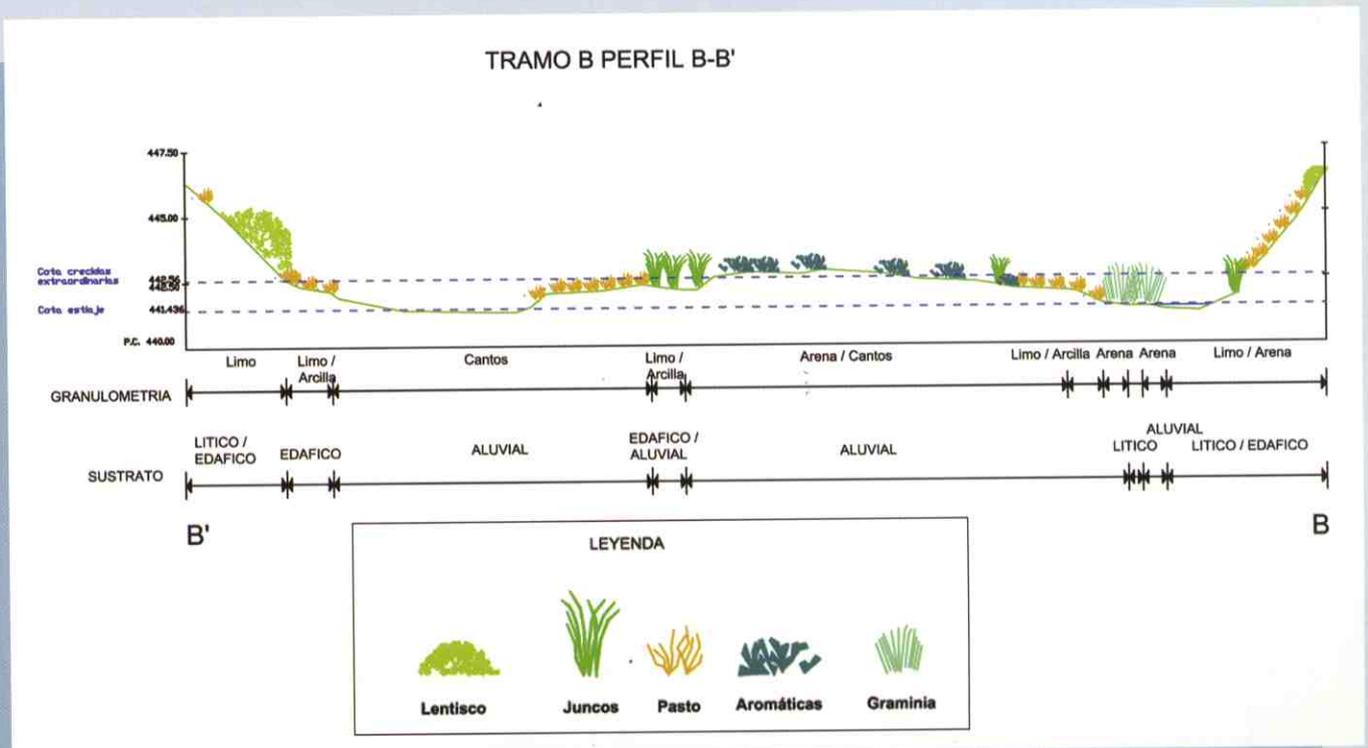


Figura 69. Tramo estudiado tipo B. Perfil transversal B-B'

En este perfil distinguimos 2 cauces, localizándose el dominante en el lado interno de la curva.

Entre los dos cauces existe una barra de sedimentos de origen aluvial formada por cantos y arena que se encuentra colonizada por pequeñas plantas de lavanda, tomillo y romero.

En este perfil no hay un gran desarrollo de la vegetación freatófila.

## Perfil CC'

Este perfil se localiza en el tramo medio de la curva pronunciada. La relevancia de este perfil reside en que es en este punto donde los dos cauces citados en el perfil anterior se unen.

La zona de ataque se corresponde con la margen derecha (C) y la de sedimentación con la margen izquierda (C'); es aquí donde se encuentra un banco de

197



TRAMO B PERFIL C-C'

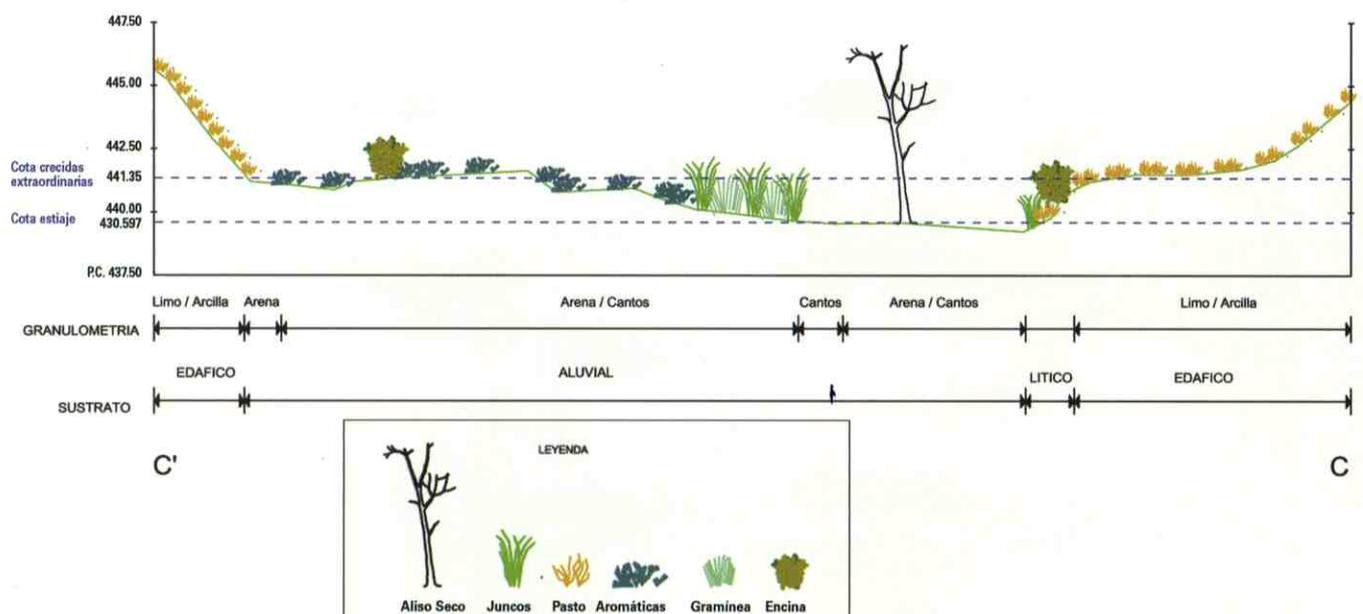


Figura 70. Tramo estudiado tipo B. Perfil transversal C-C'

sedimentos de origen aluvial formado fundamentalmente por cantos y arena, que se encuentra colonizado prácticamente en su totalidad por distintas especies aromáticas como lavanda, romero y tomillo.

En esta segunda parte de la curva la barrera de sedimentos se encuentra algo más elevada y el cauce que había por la margen interna se ha visto obligado a desviar su trazado hacia la margen externa de la curva.

A pesar de encontrar agua permanente en una poza durante el verano, se localizan en este punto pies de alisos secos.

En el margen derecho del cauce se aprecian afloramientos rocosos.

## Perfil DD'

Este perfil se localiza al final del tramo, en la última parte de la curva más abierta, donde se aprecia un cambio del trazado del cauce.

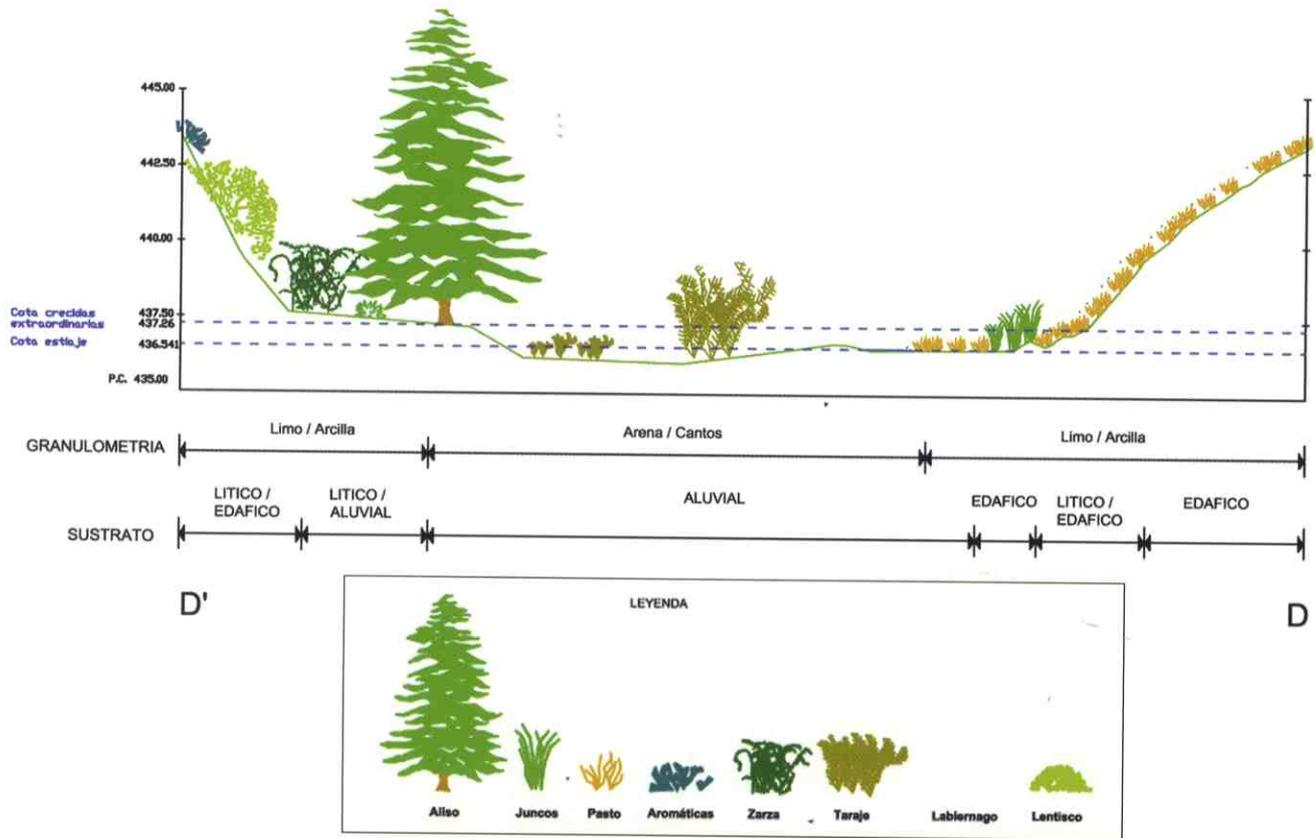
En este punto el cauce se encuentra levemente trenzado, existiendo dos cauces principales.

El cauce de la margen derecha (D), sujeto a un proceso de sedimentación, está quedando ligeramente más alto que el de la izquierda (D', zona de ataque). Posiblemente, este suceso haya desconectado los pies de aliso del freático, provocando su muerte.

En el cauce de la margen derecha (D) se ha desarrollado un pequeño bosque en galería.



## TRAMO B PERFIL D-D'



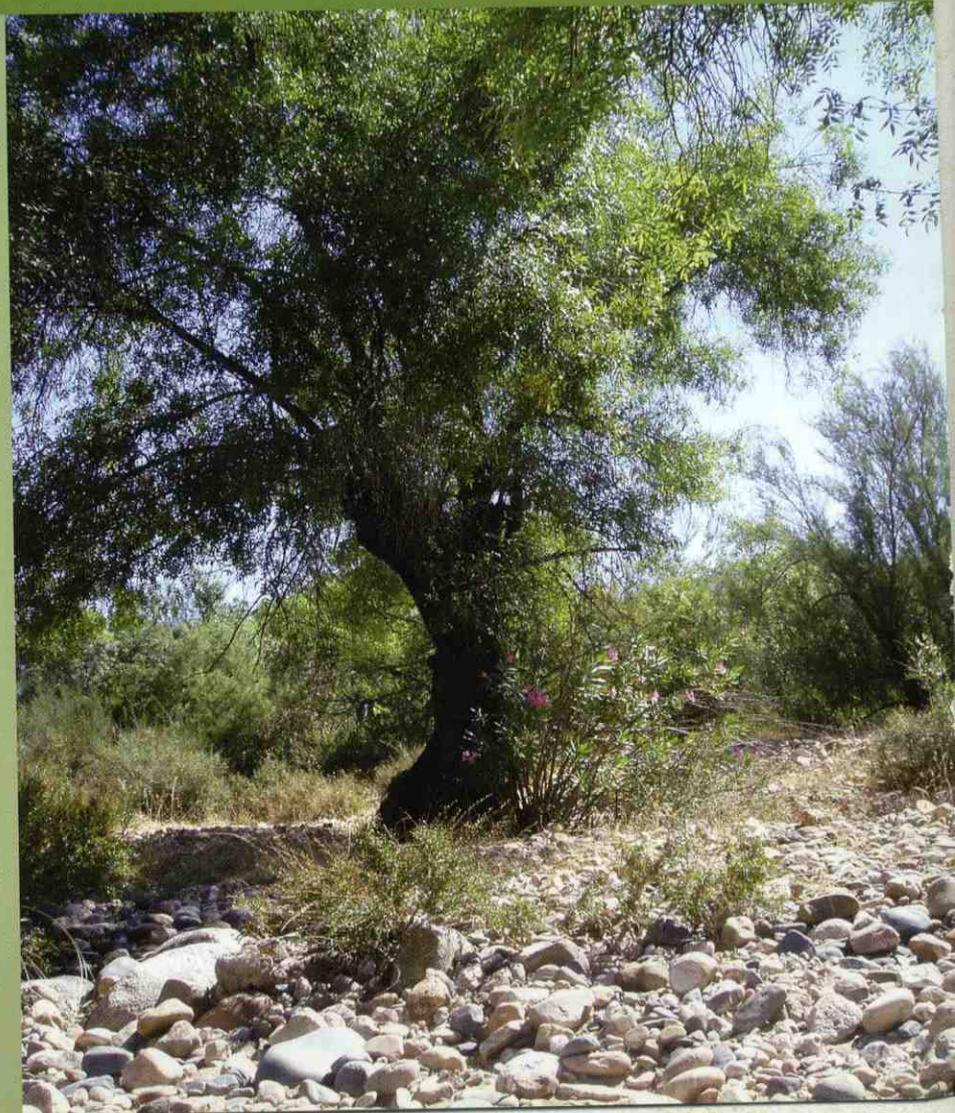
**Figura 71.** Tramo estudiado tipo B. Perfil transversal D-D'

Entre ambos cauces se ha formado una barrera de cantos y arena sobre la que se ha desarrollado un tarajal de dimensiones considerables. Se aprecia que en el cauce que ha quedado en la parte izquierda sobre los depósitos de bolos y arena hay un abundante regenerado de tarajes.

Asimismo, se aprecia un mayor desarrollo de vegetación freatófila que en los perfiles anteriores.

# Tramo tipo C

# A5



# A5. Tramo tipo C

TIPIFICACIÓN	POZAS	SUSTRATO	RÉG. HIDRÁULICO	VEGETACIÓN
Tipo C	Abundantes	Mixto (lítico-aluvial)	Rápido	Incipiente
		Lítico		

## A5.1 Localización

El tramo tipo C se localiza en la parte media / baja de la cuenca aportadora al embalse del Yeguas. La zona de estudio se encuentra comprendida entre el Arroyo del Fraile y el Arroyo del Socorejo, ambos fluyen al Yeguas por su margen derecha.

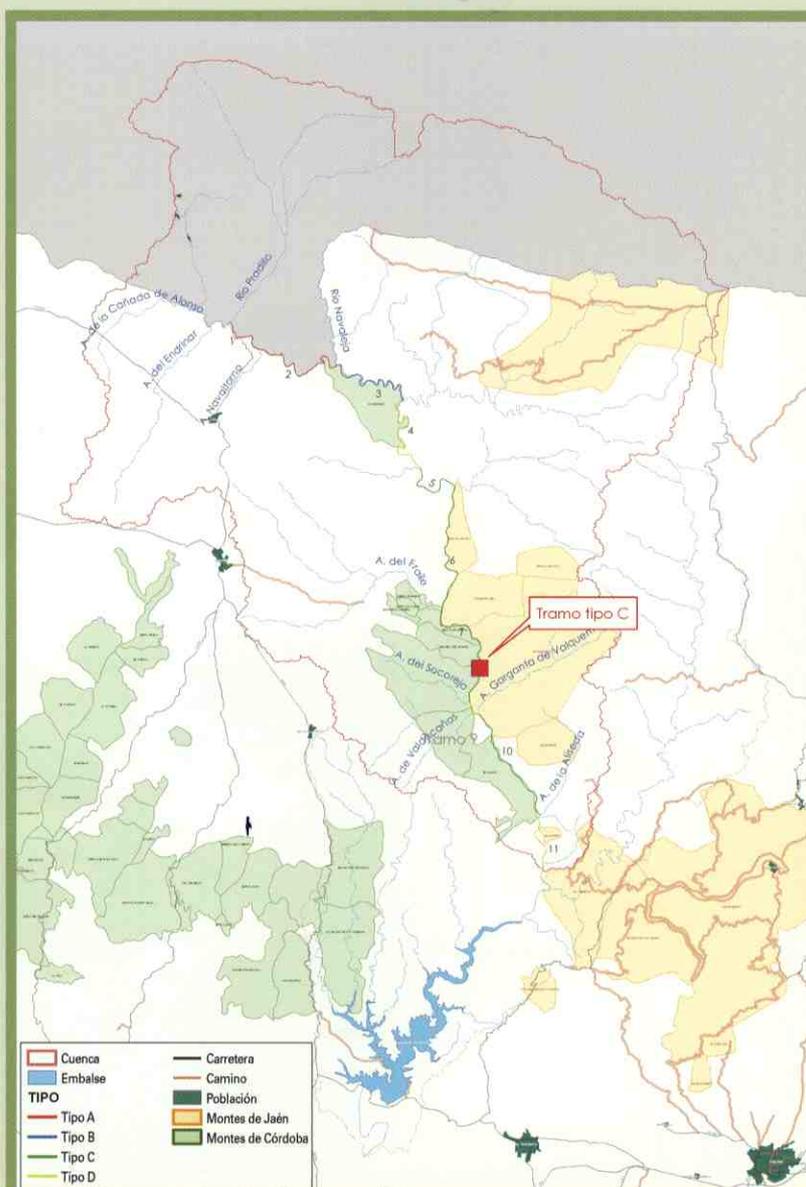
A ambos lados hay fincas públicas, en la parte jienense "Valquemado" y en la parte Cordobesa "Vegueta del Fresno".

Por su margen izquierda el río se encuentra delimitado por un vallado cinegético, sin embargo, por la margen derecha el acceso al río es directo, no hay vallado que limite el cauce.

En el trabajo de gabinete se identificó como tramo tipo C, donde el cauce se desarrolla sobre un valle que toma forma de garganta, en "V".

Se caracteriza por presentar pozas abundantes o dispersas, indicador de la potencia del flujo subalveolar.

El sustrato dominante es el lítico, pudiéndose encontrar también sustratos mixtos, lítico-aluvial.



Los tramos tipo C se caracterizan por tener un grado de desarrollo de la vegetación grado medio. †

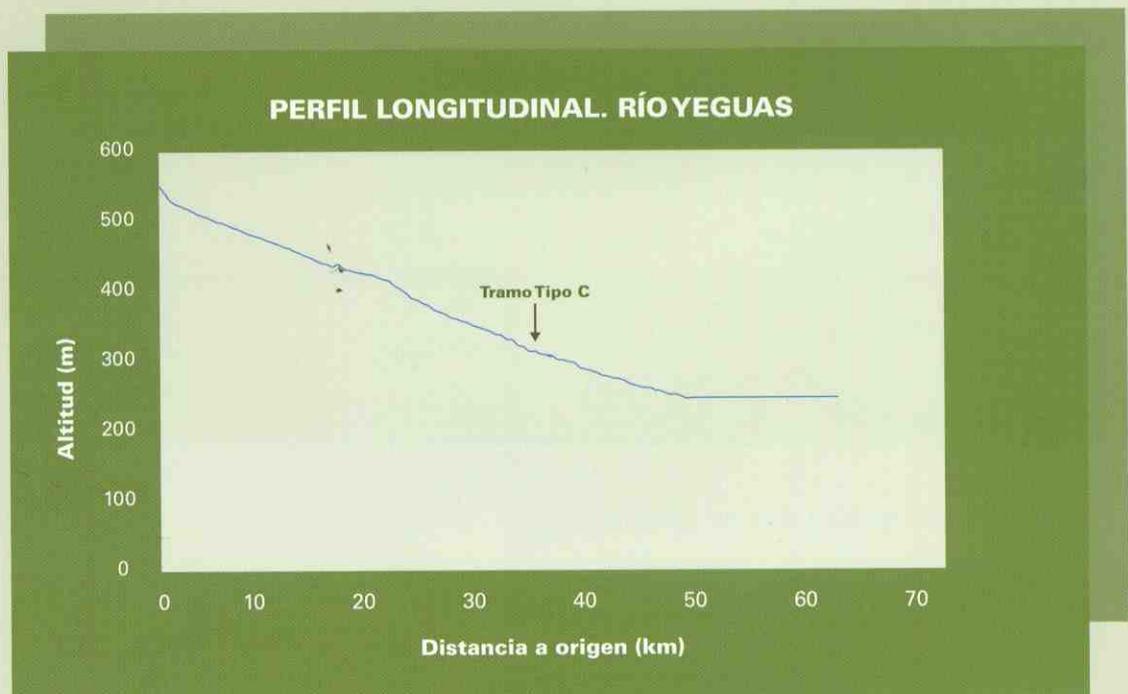
En este grupo el régimen hidráulico que caracteriza al flujo es rápido, siendo la pendiente longitudinal media de este tramo del 0,75%.

## A5.2 Trazado en planta

El río tiene un trazado sinuoso con alternancia de rápidos, remansos, depósitos de sedimentos y pozas abundantes.

El tramo en estudio tiene una longitud total de 1.055 metros medidos en el eje principal del río.

202



**Figura 72.** Localización del tramo tipo C estudiado en el perfil longitudinal del río



## A5.3 Geomorfología

A lo largo del tramo existen diez entradas de agua procedentes de pequeños barrancos, cuatro por la margen derecha y seis por la margen izquierda que no alteran la geomorfología general del cauce salvo por

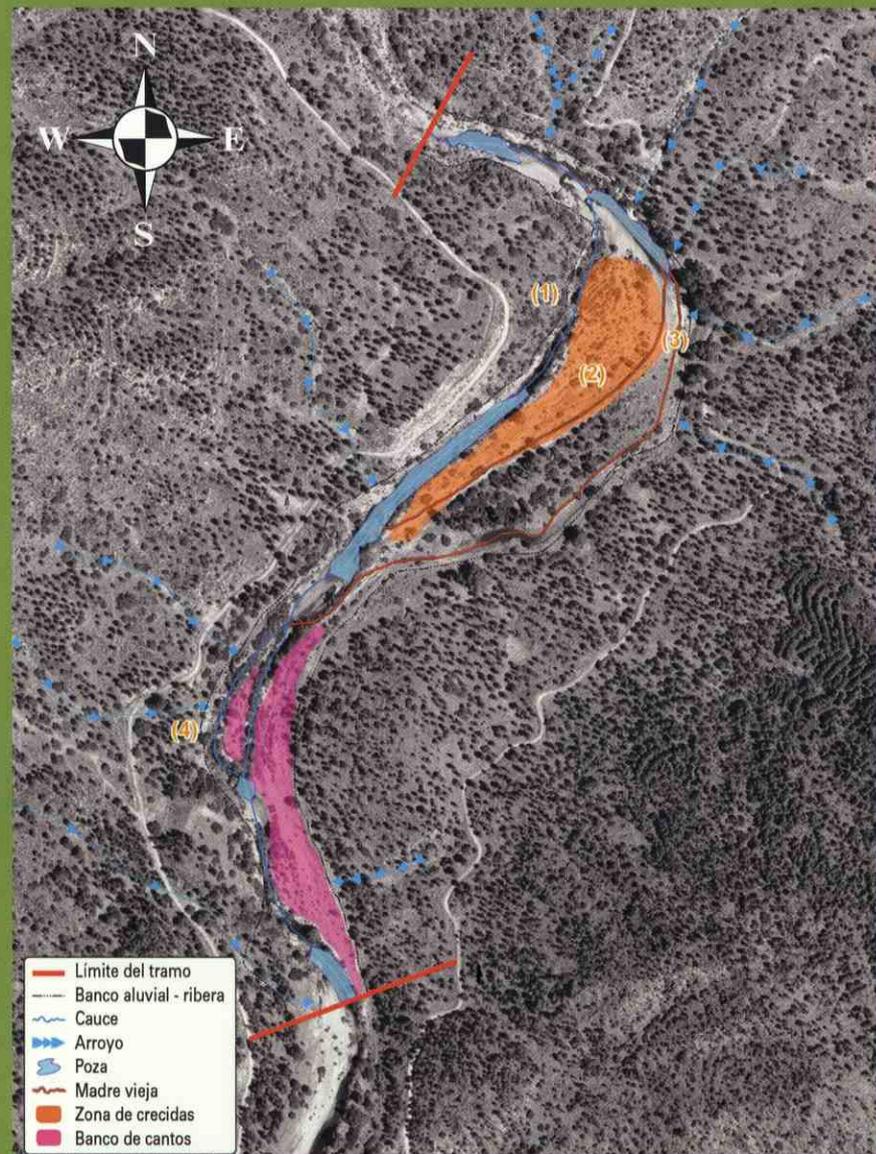
la creación de pequeños conos de depósito aluvial.

En el trazado del río se pueden diferenciar claramente dos curvas; en la primera existe una corta natural (1), y una bifurcación que rodea a un islote de sedimento de grandes dimensiones (2).

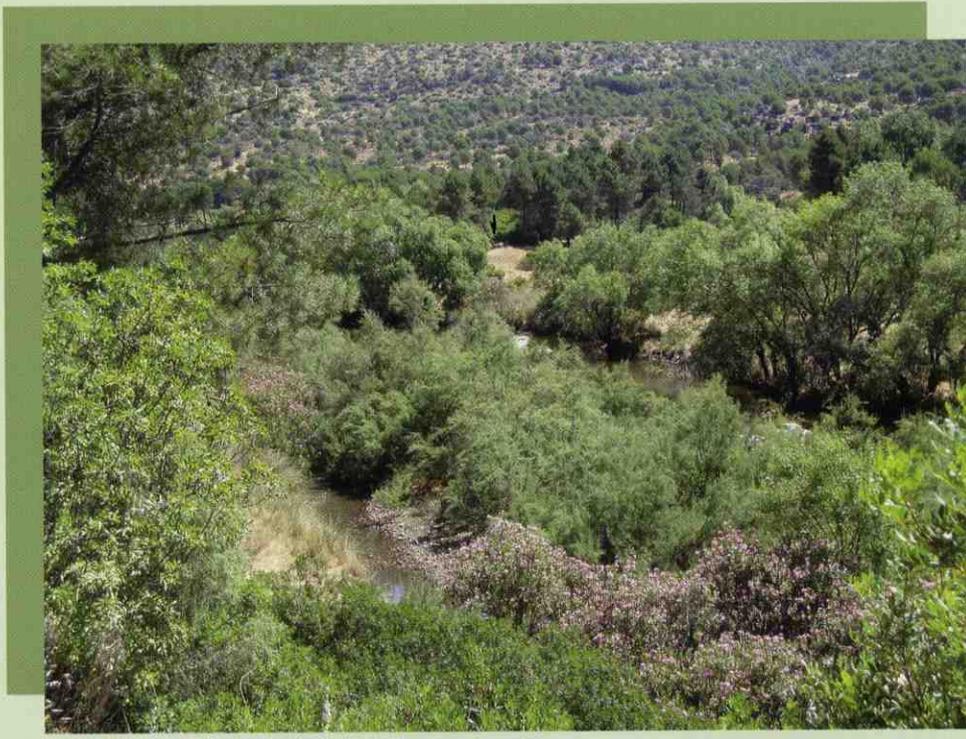
La corta no se encuentra totalmente funcional. La conexión del trazado del río con la corta se realiza con un ángulo muy cerrado sobre un depósito de bolos. Cuando el río se desborda el agua inunda toda la superficie de la curva fluvial, transcurriendo por dos antiguos cauces (madres viejas) (3), y por una terraza aluvial, manteniéndose en superficie sólo una isleta.

La segunda curva (4) no es tan marcada como la primera. Aquí encontramos el cauce levemente trenzado sobre un banco de bolos, donde se desarrollan pozas de pequeño tamaño.

### Geomorfología. Tramo tipo C

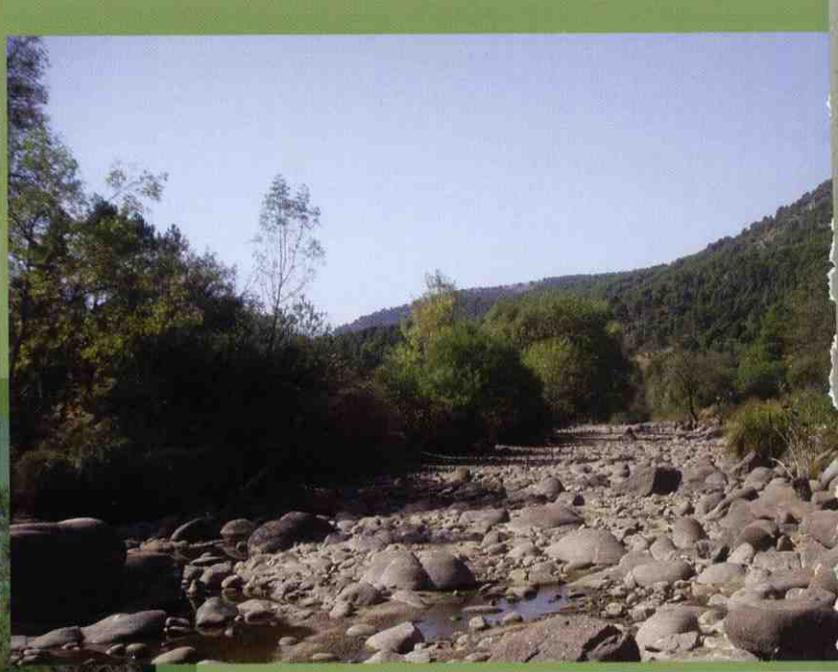


El sentido de circulación de las aguas es norte-sur



**Figura 73.**  
Bifurcación (4)

**Figura 74.** Detalle del lecho del cauce



**Figura 75.** Madre vieja (3)

## A5.4 Vegetación

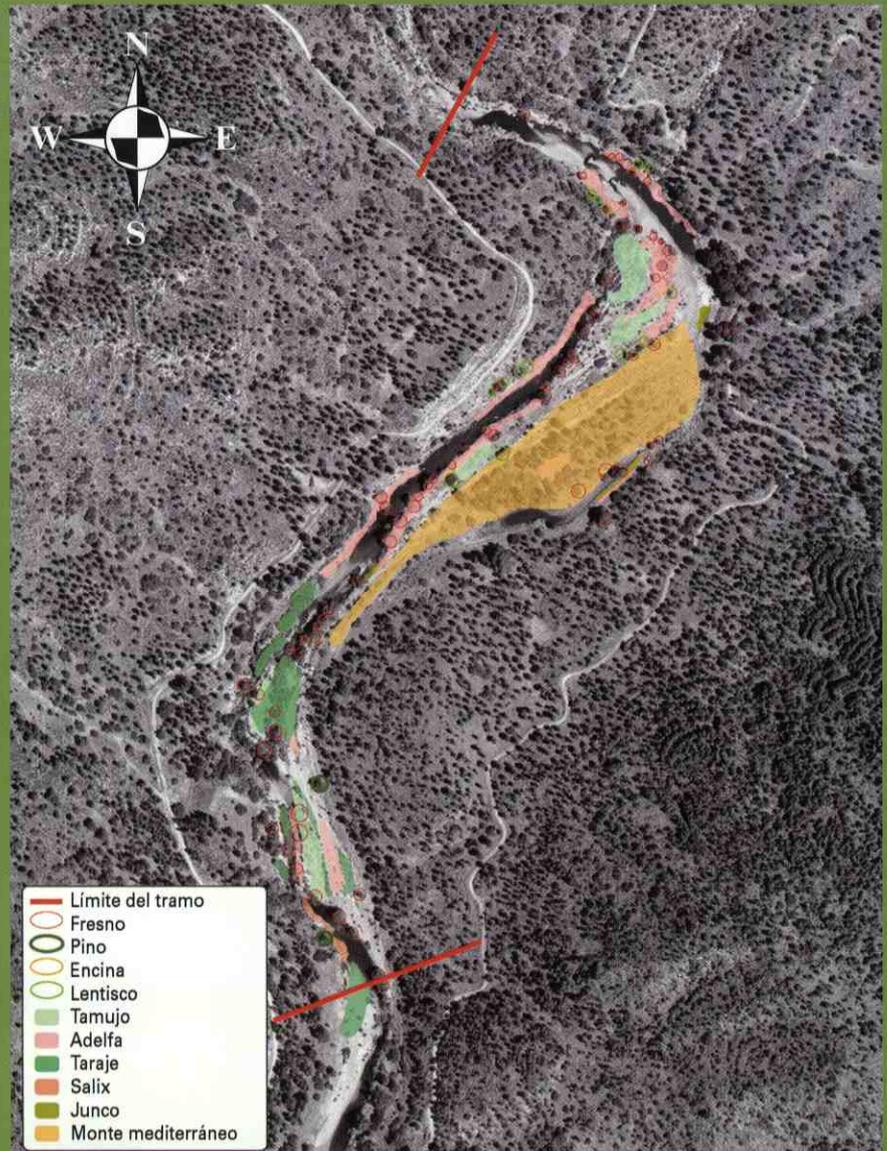
La vegetación en este tramo se caracteriza por estar constituida por numerosos pies de fresnos (*Fraxinus angustifolia* Vahl) que se distribuyen longitudinalmente a lo largo de todo el cauce, tanto en los cauces activos como en las madres viejas.

La edad de los mismos es variable a lo largo de todo el tramo y también en el sentido transversal sin observarse una relación directa sobre la distribución por edad.

En el punto de conexión de la corta con el río el sustrato está formado por bolos y colonizado por tamujos (*Securinega tinctoria* L.) formando hileras en el sentido de la corriente. En este punto existen pies residuales de fresno que se encuentran descalzados.

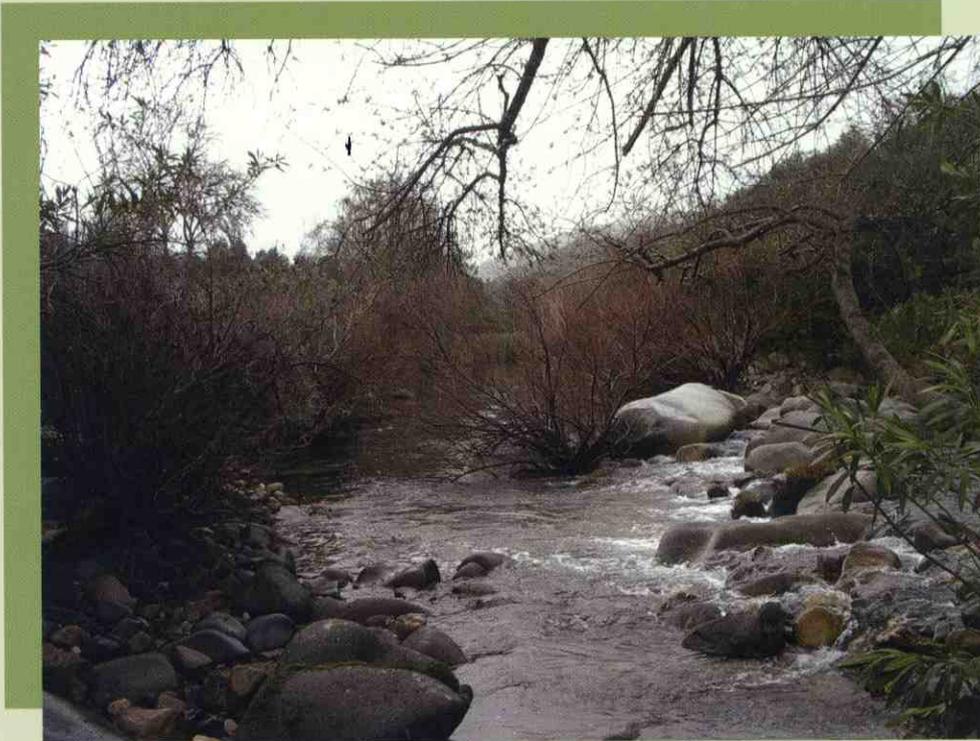
En las márgenes donde las pozas presentan mayor profundidad se desarrollan fresnos acompañados de adelfas (*Nerium oleander* L.), juncos y gramíneas, mientras que en las márgenes convexas abundan las adelfas y los tarajes (*Tamarix sp.*).

Vegetación. Tramo tipo C



Sobre las márgenes del islote de sedimento se desarrolla un tarajal espeso acompañado por pies de fresno.

También se ha apreciado abundante regeneración de tamujo en el banco de bolos que hay en la segunda curva.



**Figura 76.** Cauce colonizado por tamujos



**Figura 77.** Fresno descalzado junto al cauce





**Figura 78.** Regenerado de tamujo creciendo a mayor ritmo que el descenso del freático



**Figura 79.** Vegetación junto a poza

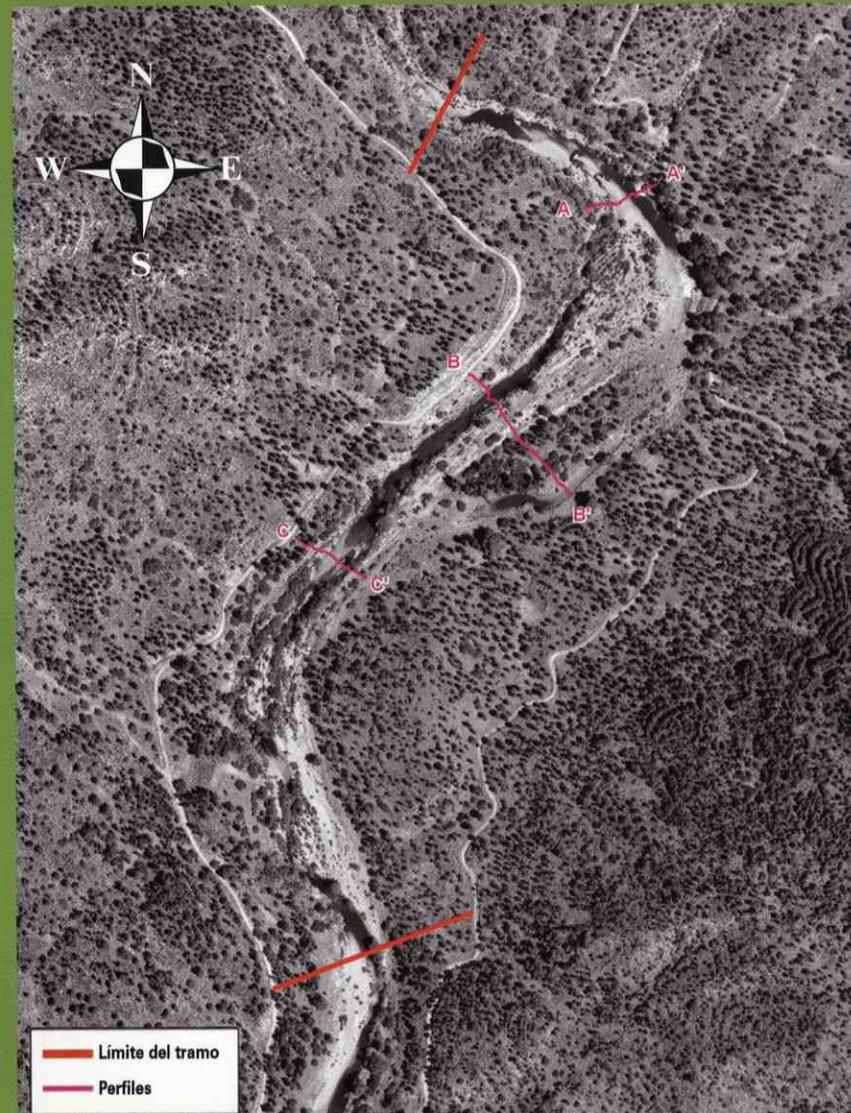
## A5.5 Perfil transversal / longitudinal

La localización de los perfiles transversales es la siguiente:

Perfil		AA'	BB'	CC'
Longitud (m)		82	158	77
Localización. Punto de inicio del transecto.	X	395535	395427	395269
Coord. UTM	Y	4232500	4232348	4232195

208

Localización de los perfiles. Tramo tipo C



## Perfil AA'

Este perfil se localiza al principio del tramo, al comienzo de la curva cerrada. Distinguimos la zona de ataque en la margen izquierda del río (A') y la de sedimentación en la margen derecha (A), aunque podemos considerar que el perfil es prácticamente simétrico. En este punto aún no hay mucha vegetación, pues el cauce discurre sobre un

Se desarrollan numerosas plantas de estramonio (*Datura stramonium*) colonizando una pequeña playa de arena.

## Perfil BB'

Este perfil se localizó en la parte central de la curva pronunciada, con la intención de reflejar los distintos cauces que encontramos en este punto.

209

TRAMO C PERFIL A-A'

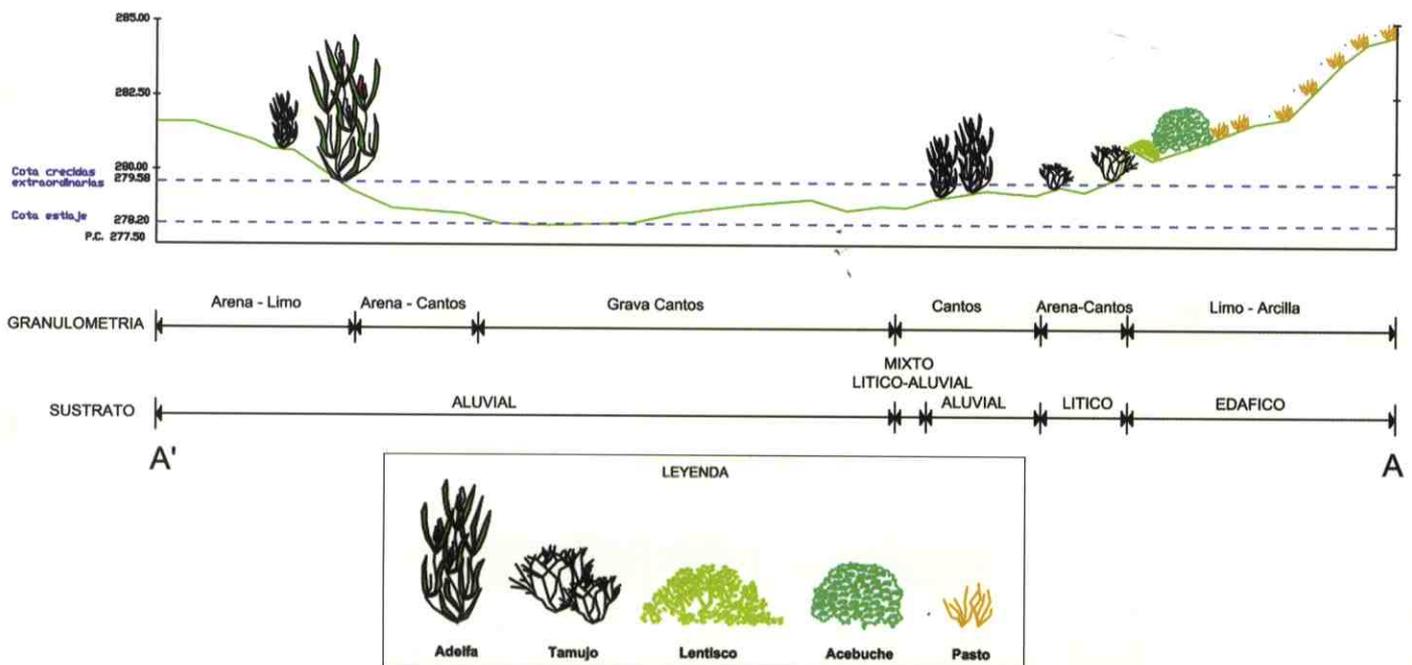


Figura 80. Tramo tipo C estudiado. Perfil transversal A-A'

sustrato lítico que no posibilita el desarrollo de especies ripícolas.

En esta zona comienza a formarse el islote de sedimento que separa la corta natural de la bifurcación que va por la parte externa de la curva.

Se distinguen en este perfil un total de 3 cauces. El actual, una madre vieja que entra en actividad en época de crecidas y un paleocauce que se localiza en el islote de sedimentos, que en la actualidad se encuentra desconectado de la actividad del río.

El cauce activo es prácticamente simétrico, al encontrarse en un tramo recto localizado en la corta natural. A ambos lados del cauce se desarrolla vegetación arbustiva compuesta fundamentalmente por adelfas.

La madre vieja la zona de ataque se corresponde con la margen izquierda y la de sedimentación con la derecha, no hay gran desarrollo de vegetación arbustiva pero se encuentran de forma esporádica pies de fresnos y pequeñas plantas de estramonio colonizando el cauce.

En la barra situada entre el cauce activo y la madre vieja se puede diferenciar una parte procedente de depósitos alu-

viales en la que encontramos el paleocauce, y otra de sustrato edáfico con un pequeño bosque de pinos y encinas dispersas.

### Perfil CC'

Se localiza al comienzo de la segunda curva. En este punto el perfil es relativamente simétrico, aunque cabría distinguir la zona de ataque en la margen derecha (C), limitada por un talud de elevada pendiente; y la sedimentación en la margen izquierda (C'). Presenta un cauce bastante ancho formado por depósitos de arena y cantos.

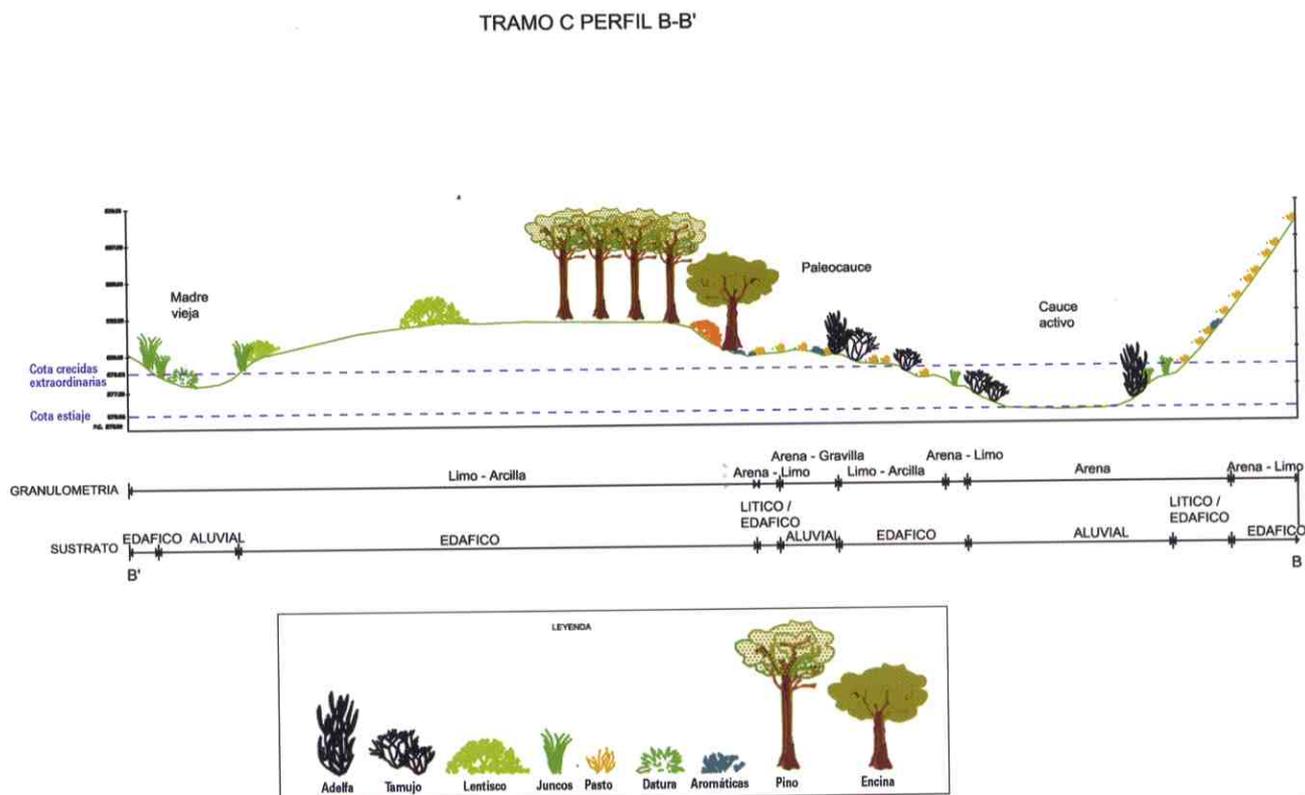
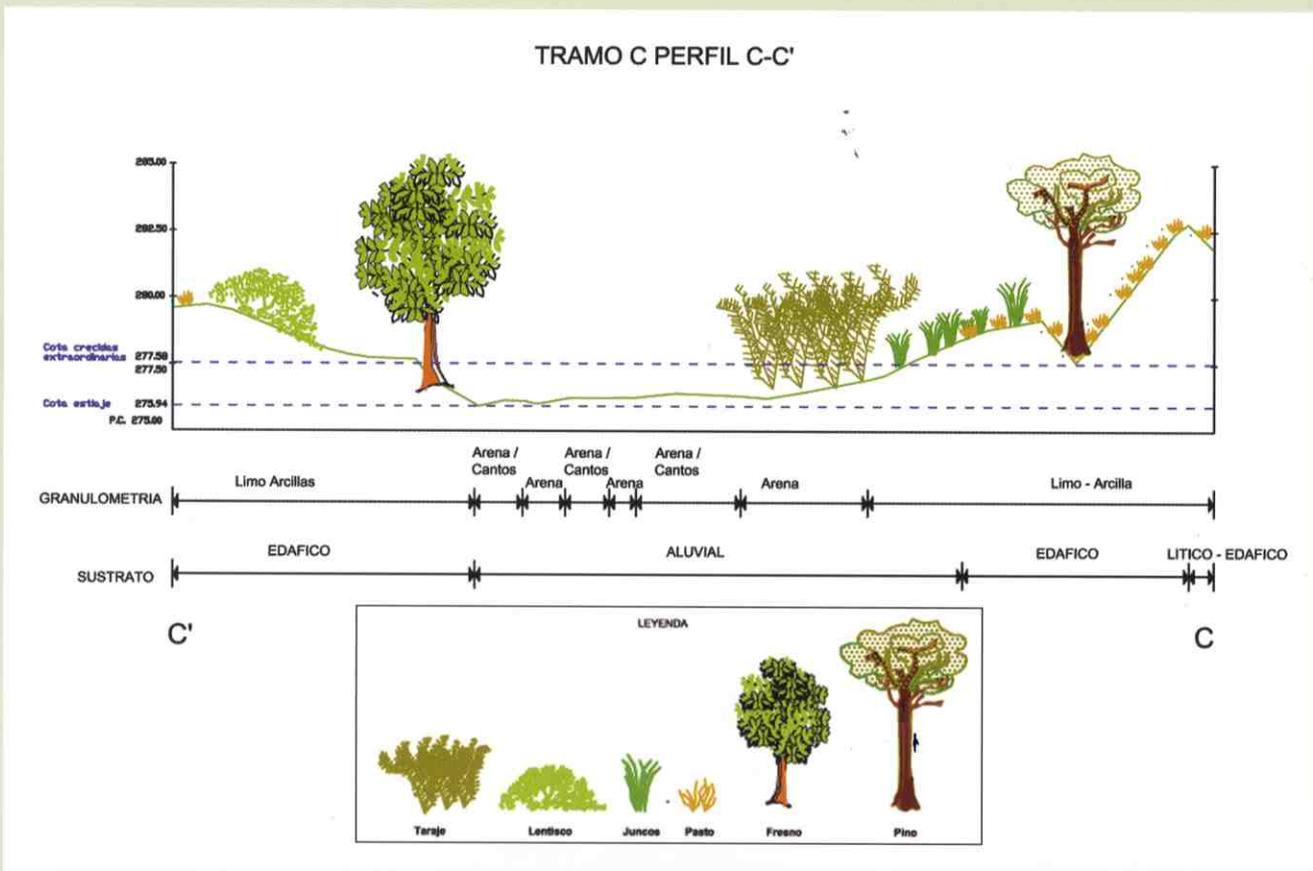
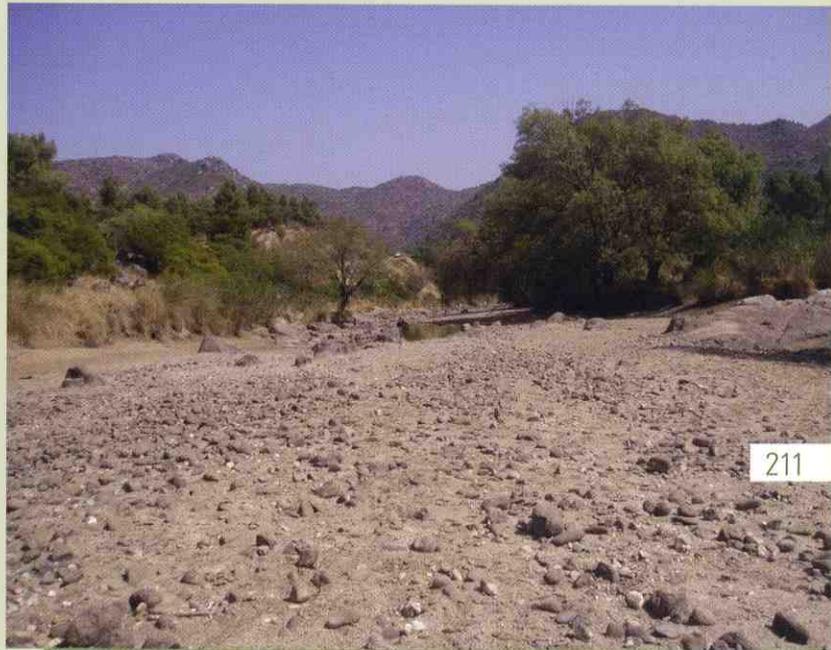


Figura 81. Tramo tipo C estudiado. Perfil transversal B-B'

Es uno de los puntos donde hay un mayor desarrollo de la vegetación riparia. En la margen derecha se desarrolla una gran masa de tarajes y en la margen izquierda, coincidiendo con la zona de depósito de la curva, se localizan pies de fresnos que se disponen a lo largo de la corriente.

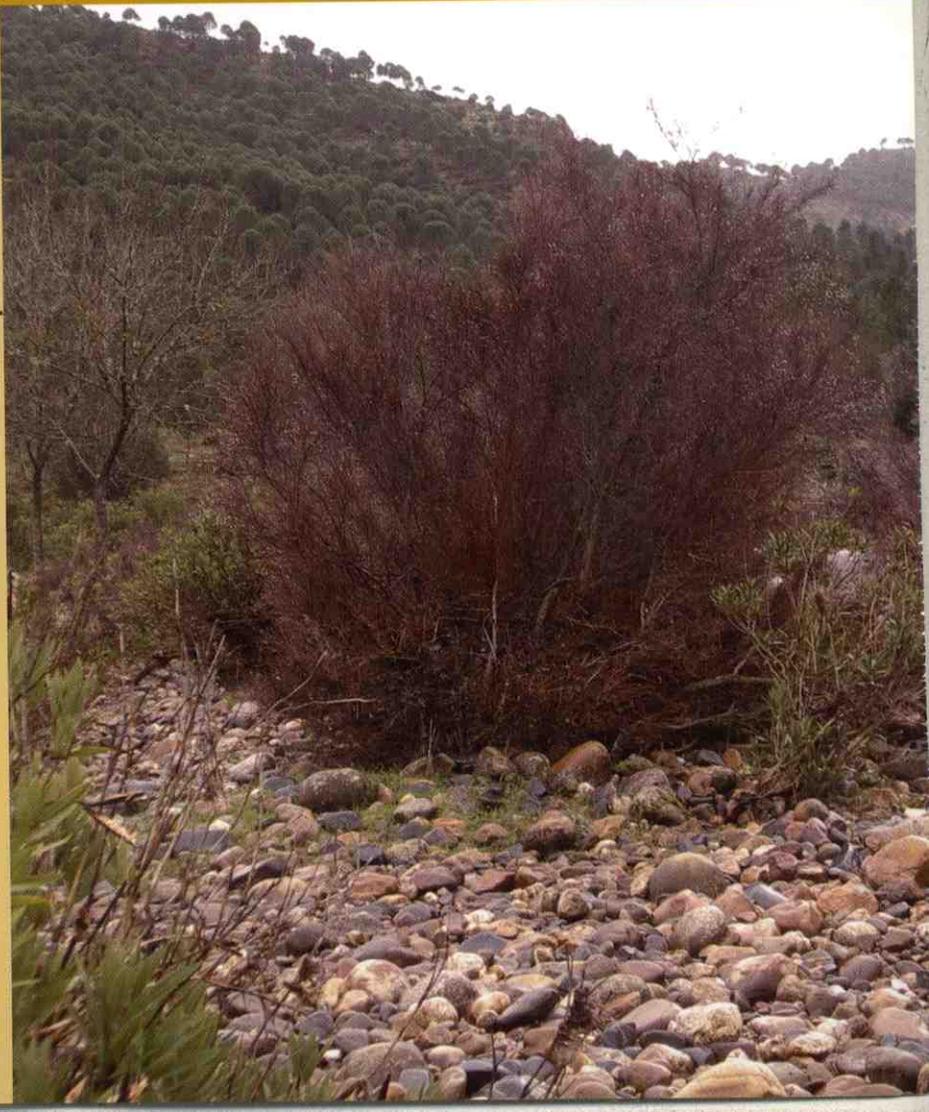
La vegetación zonal alcanza prácticamente la orilla del cauce.



**Figura 82.** Tramo tipo C estudiado. Perfil transversal C-C'

## Tramo tipo D

# A6



# A6. Tramo tipo D

## TIPIFICACIÓN POZAS SUSTRATO RÉG. HIDRÁULICO VEGETACIÓN

Tipo D

Abundantes

Aluvial

Rápido

Alta

### A6.1 Localización

El tramo se localiza en la parte baja de la cuenca aportadora al embalse del Yeguas, aunque sin verse influido por su lámina permanente de agua. Se sitúa entre el Arroyo de la Aliseda y el Río de la Cabrera que confluyen con el río Yeguas por su margen izquierda.

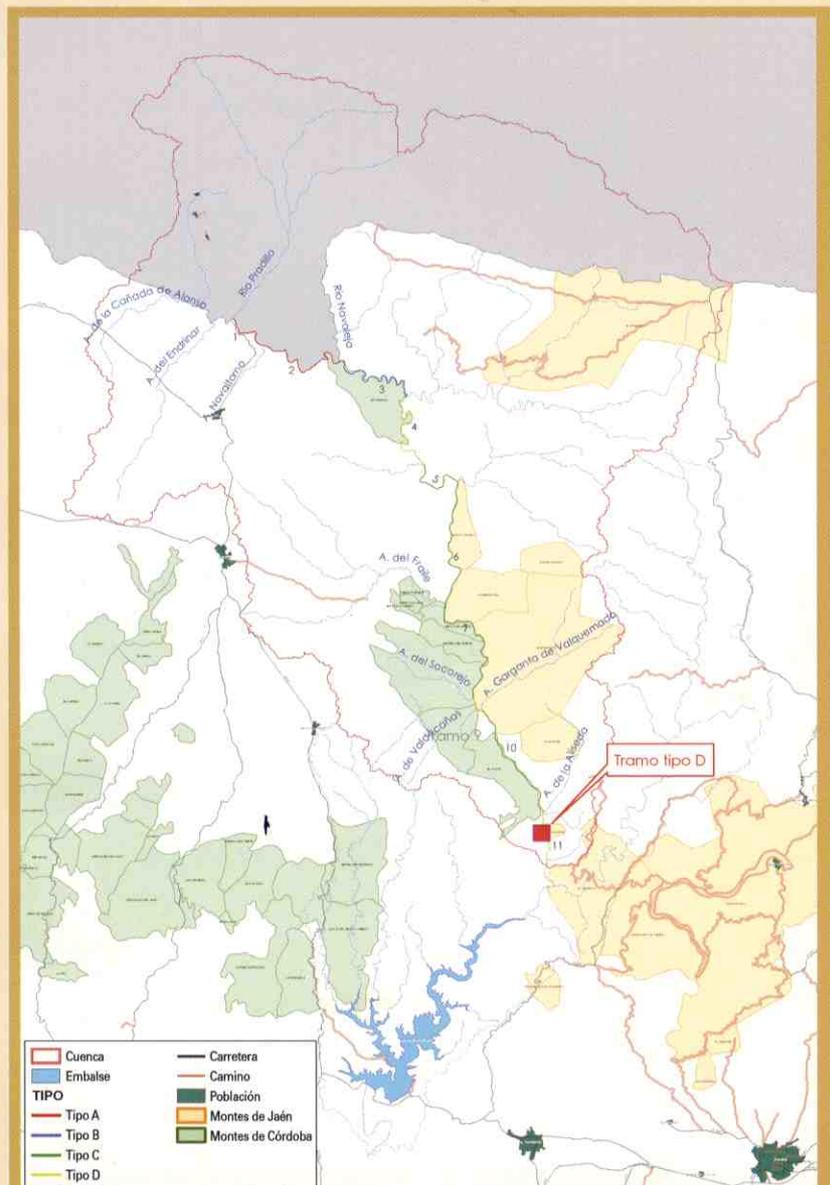
En las dos márgenes del río existe vallado cinegético longitudinal. En el trabajo de gabinete se identificó el mismo como tramo tipo D, donde el cauce se encaja sobre el valle en forma de "U".

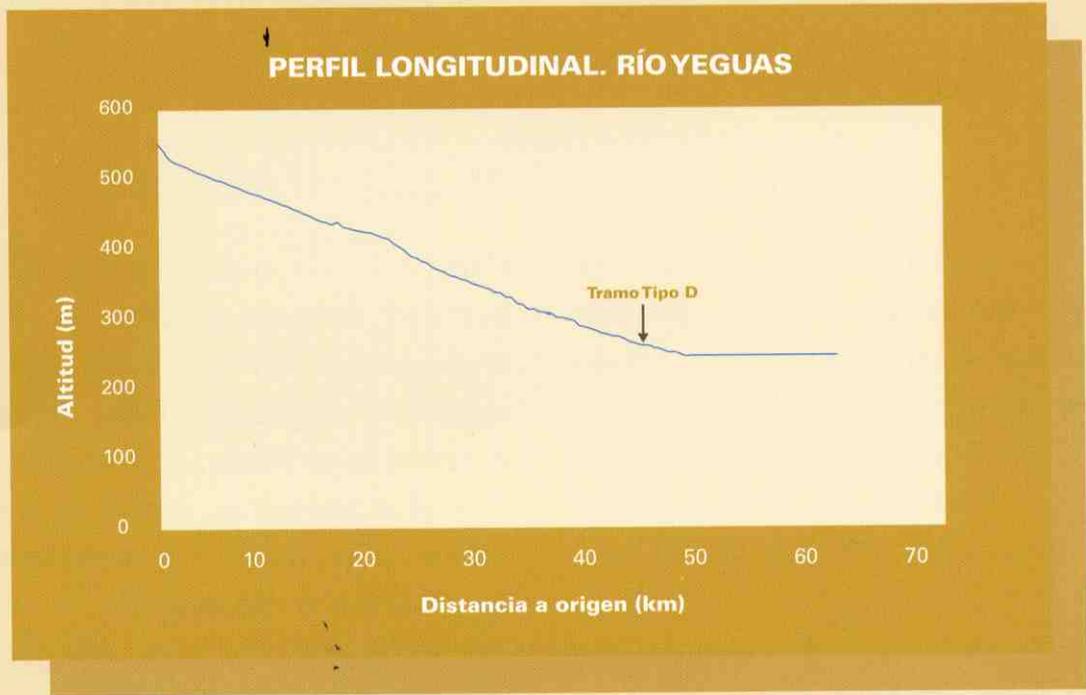
Se caracteriza por presentar pozas abundantes, que aseguran la disponibilidad de agua para la vegetación. El sustrato aluvial y la granulometría de tipo arena, son factores geomorfológicos que permiten un elevado grado de cobertura vegetal independientemente del régimen hidráulico existente, que en este caso es rápido, siendo la pendiente longitudinal media de este tramo del 0,89 %.

### A6.2 Trazado en planta

El tramo estudiado se ajusta a la caracterización realizada en gabinete, presentando una alternancia de pozas y rápidos, conformándose estos últimos en forma de un cauce principal y otros pequeños trenzados, dentro de una longitud total de 1.074 metros medidos en el eje principal del río.

213





**Figura 83.** Localización del tramo tipo D estudiado en el perfil longitudinal del río



## A6.3 Geomorfología

Existen cinco zonas diferenciadas, tres marcadas por pozas y dos por rápidos. Las zonas limitadas por los rápidos presentan potentes bancos de sedimentos e incluso antiguos cauces (madres

viejas) que sólo están activos durante las crecidas.

A continuación se pasa a describir con más detalle estas zonas:

(1) El tramo engarza con una zona de pozas aguas arriba, correspondiendo la primera zona a una poza con bancos de sedimento en las márgenes, donde la vegetación se desarrolla en bandas paralelas a la línea de la corriente.

(2) La segunda zona presenta un trazado curvo, diferenciándose dos subzonas:

2a) La primera comprende la parte de la curva donde existe una pequeña poza, con un banco de sedimento que se encuentra en el interior de la curvatura y que alberga dos madres viejas. La vegetación se desarrolla en las márgenes del cauce principal y en el banco de sedimento siguiendo el trazado de las madres viejas.

2b) La segunda es una bifurcación con islas de sedimento en su interior, y elevada cobertura vegetal.

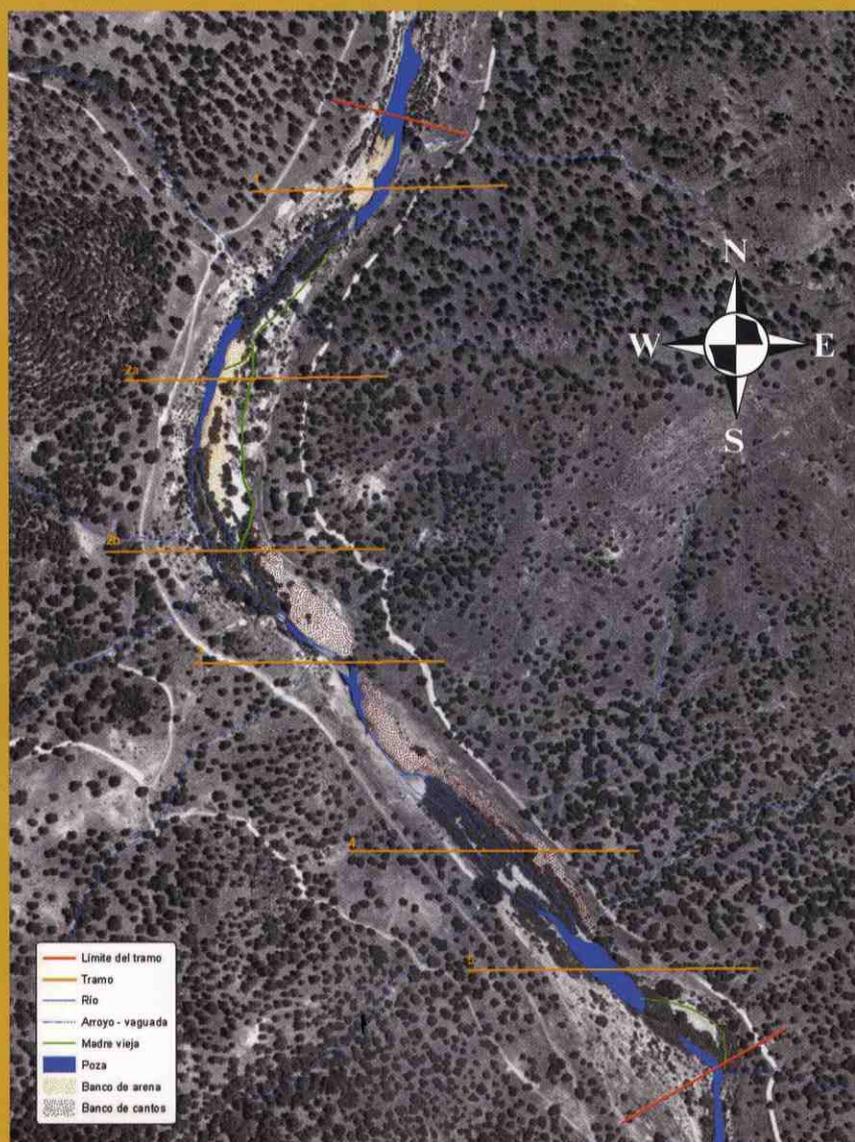
(3) La tercera zona comprende una poza con grandes bancos de sedimento desprovistos de vegetación.

(4) En la cuarta zona el cauce es trenzado presentando islas de sedimento en forma de cordón totalmente colonizadas por vegetación riparia.

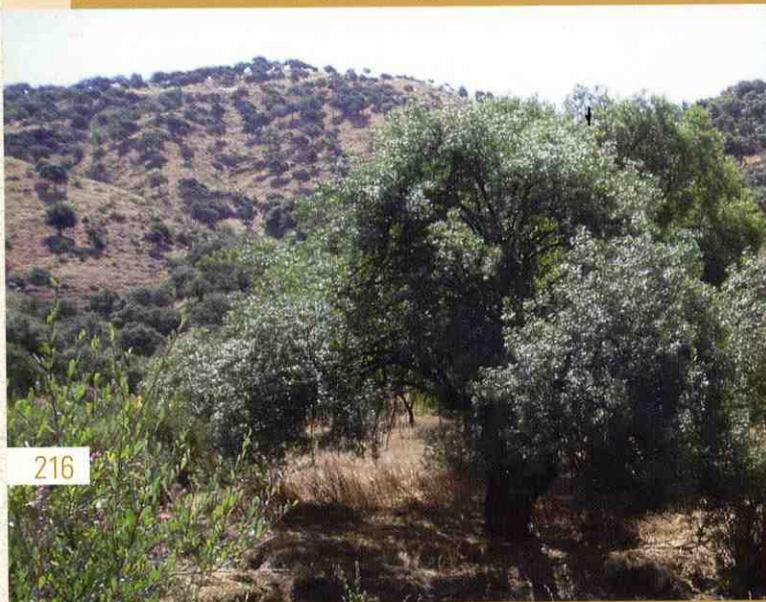
(5) La quinta zona está formada por una poza con una madre vieja en el extremo final. En toda esta zona la cobertura vegetal es prácticamente total.

A lo largo del tramo existen trece entradas de agua procedentes de pequeños barrancos, siete por la margen derecha y seis por la margen izquierda.

### Geomorfología. Tramo tipo D

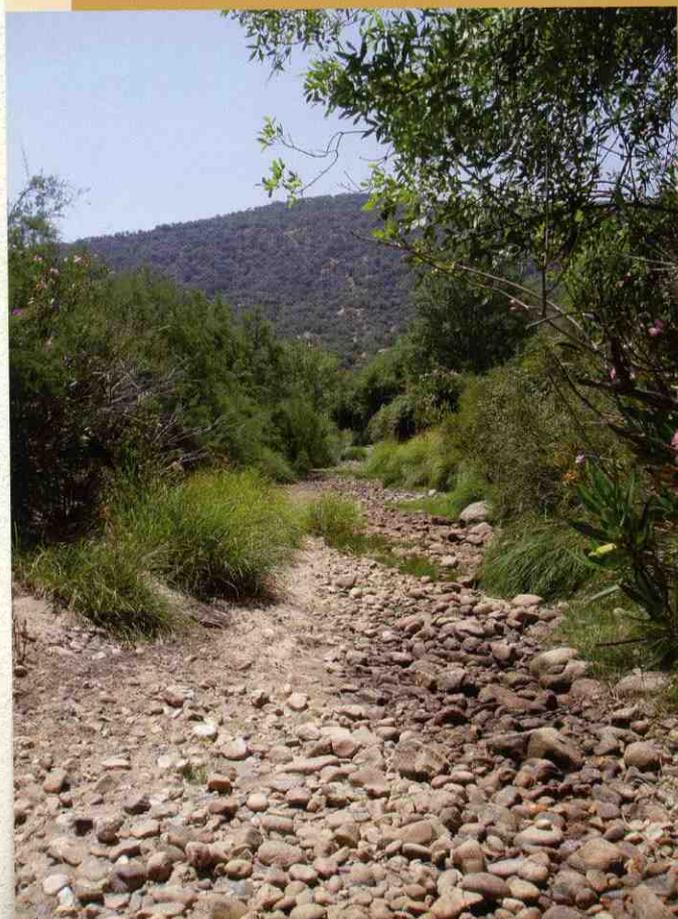


El sentido de circulación de las aguas es norte-sur

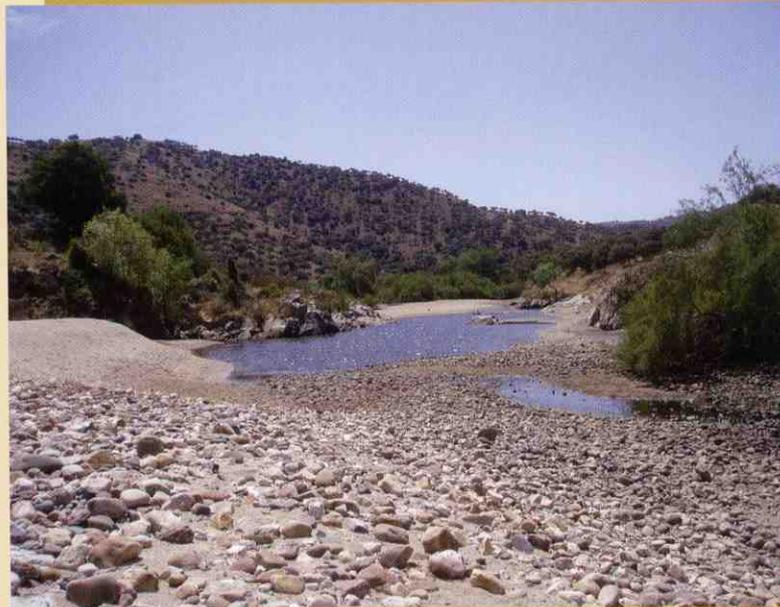


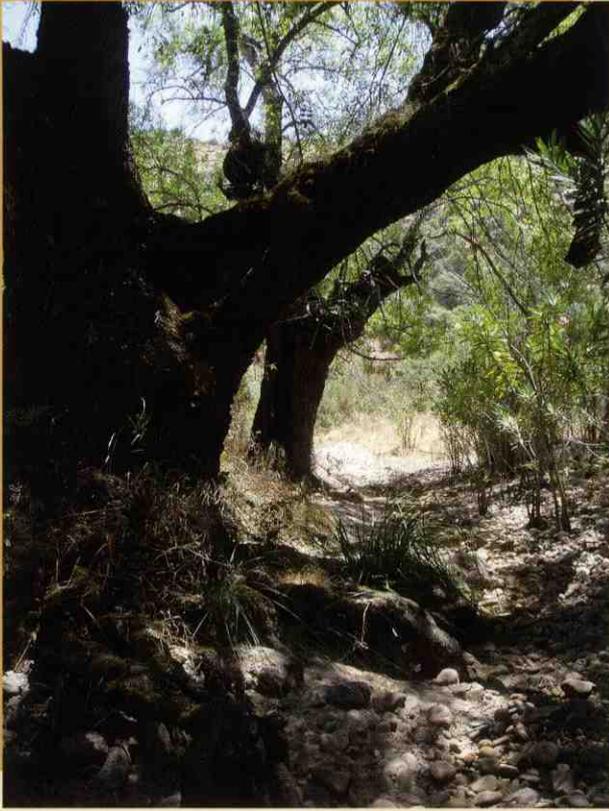
**Figura 84.** Zona 1, poza con bancos de sedimentos

**Figura 85.** Zona 2a, madre vieja



**Figura 86.** Zona 3, poza con grandes bancos de sedimentos





**Figura 87.** Zona 5, madre vieja

Este tramo muestra una gran diversidad geomorfológica, al presentar potentes bancos de arena junto a abundantes pozas y madres viejas e incluso zonas con cauces trenzados.

El sustrato aluvial está formado por una mezcla de arena, grava, cantos y guijarros, aunque en el eje principal de la corriente del cauce existe un proceso de lavado de los materiales finos, arena y grava, quedando el lecho formado sólo por cantos y guijarros. Este proceso de lavado también existe en los bancos de sedimento, donde se ha eliminado la arena en la capa superficial. No obstante, existen depósitos de arena en los bancos de sedimento situados en las inmediaciones de las



**Figura 88.** Zona 5, poza

pozas, mantenidos por la menor velocidad de la corriente y la mayor densidad de vegetación.

Según estas observaciones se trata de un tramo con acorazamiento del lecho en las zonas de rápidos y acumulaciones de sedimento en las pozas, mientras que en los bancos de sedimento localizados en la banda de inundación frecuente existe migración de arena.

La profundidad del lecho aluvial permite la existencia de pozas y una reserva de agua que asegura un flujo subsuperficial que garantiza el suministro de agua a las pozas durante gran parte de la época estival, así como de una reserva de agua para la pervivencia de la vegetación.

## A6.4 Vegetación

La distribución de la vegetación se ajusta a la zonificación geomorfológica descrita en el apartado anterior:

- La vegetación de ribera se localiza principalmente a lo largo del cauce activo; en otras ocasiones está asociado a las madres viejas, y en todo caso condi-

cionadas por las líneas de corriente subterráneas. Sin embargo, la forma del valle en "U" y la divagación de la línea de corriente dentro de la artesa, determinan que no se presenten las clásicas bandas de vegetación riparia a lo largo de un perfil transversal por su relación con el freático.

- Se distribuye primordialmente de

218

Las especies más frecuentes en este tramo son las típicas de los ríos temporales, especies que toleran bien la alternancia de periodos secos y húmedos, caso del tamujo (*Securinega tinctoria* L. Rothm.) y el fresno (*Fraxinus angustifolia* Vahl). Esta variabilidad temporal de agua influye directamente sobre las formaciones vegetales, observándose un aumento de las comunidades arbusivas en detrimento de las arbóreas, al ser éstas más exigentes en agua.

La especie arbórea de ribera más representativa, por no decir la única de este tramo, es el fresno. Se localiza en los bordes de los cursos de agua, encontrándose los ejemplares de más edad en los bordes de las madres viejas.

Acompañando a los fresnos en la orilla del cauce encontramos adelfas (*Nerium oleander* L.) asociadas a macollas de gramíneas.

Las especies arbusivas dominantes de este tramo son el taraje (*Tamarix* sp.) formando bosquetes de gran densidad en las islas de sedimento que quedan entre cauces, y el tamujo a modo de setos dominando en las orillas y márgenes del río. Ambas especies se encuentran asociadas con adelfas.

### Vegetación. Tramo tipo D



El sentido de circulación de las aguas es Norte-Sur

forma longitudinal sobre el talud del cauce activo; excepto cuando encontramos islas de sedimentos entre cauces y/o madres viejas, formándose en este caso masas de vegetación arbustiva de gran densidad.

Los tarajes jóvenes son brinzales que se desarrollan sobre un sustrato arenoso con el nivel freático en superficie. No obstante existe una capa superficial de arena de cantos que protegen el arrastre de la arena por la corriente. En los bancos de arena no existe vegetación, salvo plantas de estramonio

(*Datura stramonium*), planta alóctona de carácter anual, que se desarrolla en las márgenes fluviales con sustrato arenoso.

En los bancos de sedimento estabilizados predominan las asociaciones de adelfas y gramíneas.

En el borde exterior del terreno aluvial se localizan cornicabras (*Pistacea tenebrinthus* L.) de porte arbóreo, lentiscos (*Pistacea lentiscus* L.) y encinas (*Quercus ilex* L.).

219

**Figura 90.** Adelfa con macolla de gramíneas

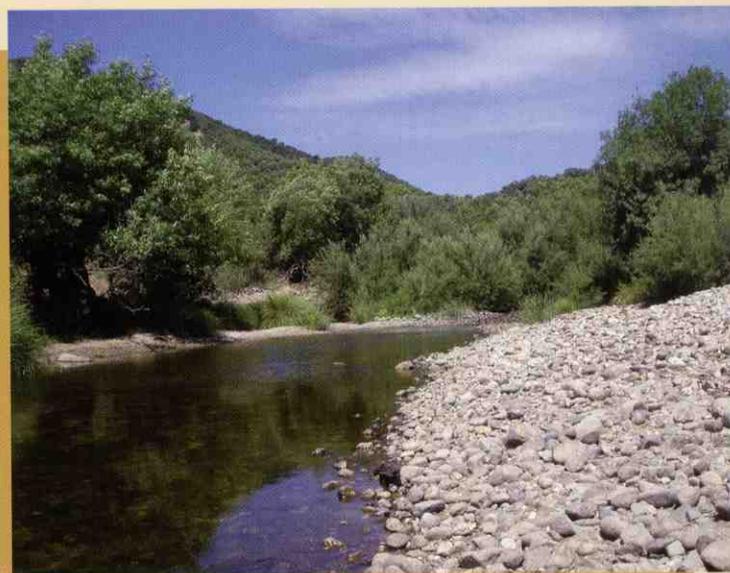
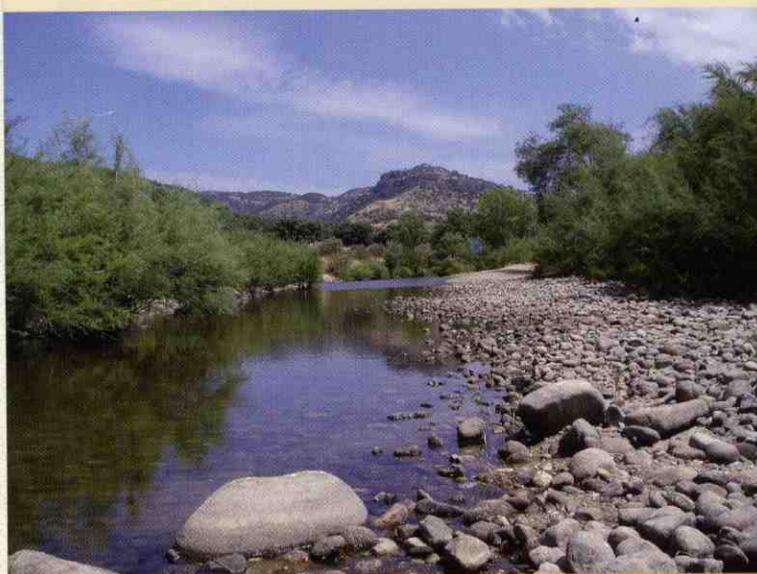


**Figura 89.** Regenerado de taraje





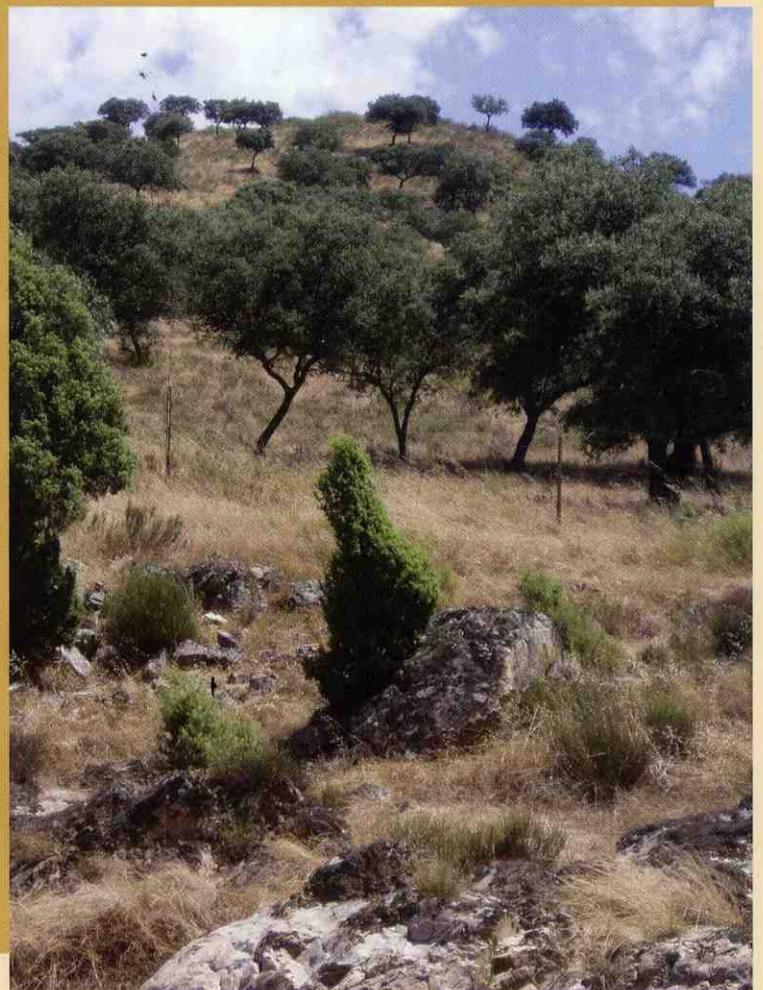
**Figura 91.** Fresnos modelados por las crecidas



**Figura 92.** Bosquetes de taraje



**Figura 93.** Tamujo a la orilla del cauce



**Figura 94.**  
Efecto de la presión  
cinegética sobre el enebro

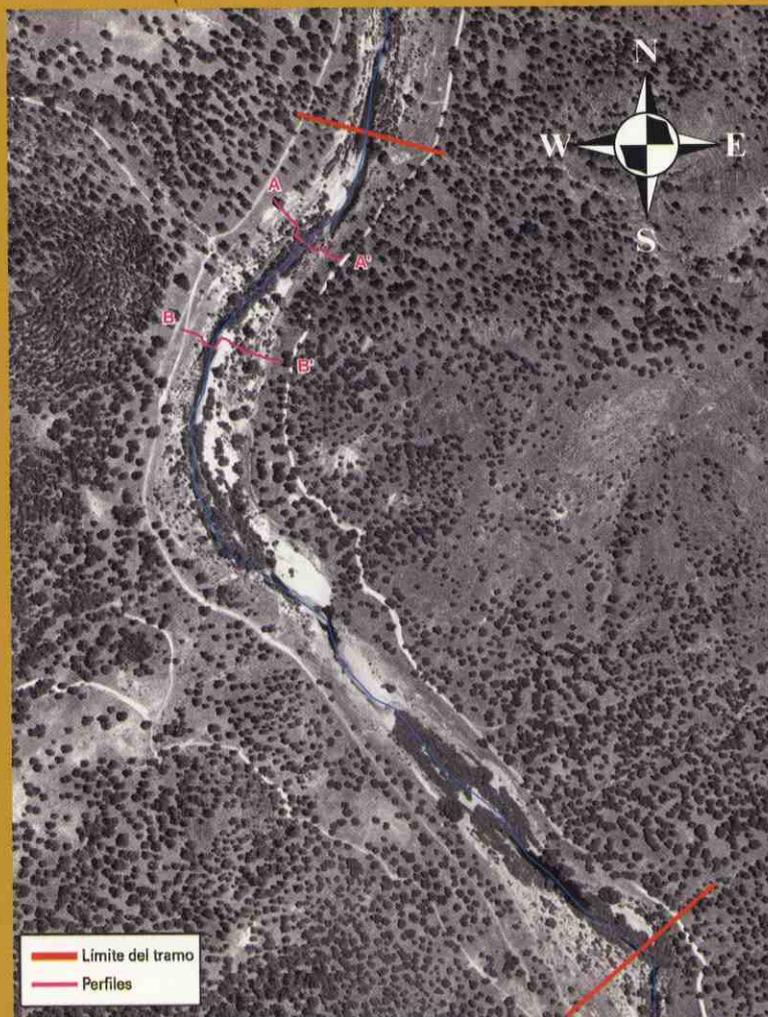
Las fincas colindantes al río tienen un uso forestal con aprovechamiento cinegético y se encuentran valladas. La malla cinegética sólo permite el acceso a la ribera a ciervos jóvenes por lo que

la vegetación riparia apenas tiene afectaciones, aunque se han detectado daños sobre otras especies, caso de pies de enebro ramoneados.

222

Perfil		AA'	BB'
Longitud (m)		105	125
Localización.	X	397800	397705
Punto de inicio del transecto.			
Coord. UTM	Y	4225314	4225182

Localización de los perfiles. Tramo tipo D



## A6.5 Perfil transversal / longitudinal

Dentro de cada uno de los tramos se han elegido puntos de muestreo representativos de la geomorfología, estructura y composición de la vegetación. Los puntos de muestreo están constituidos por perfiles transversales a lo largo de los cuales se ha llevado a cabo el inventario. La localización de los perfiles transversales correspondientes al tramo D puede verse a continuación, situados uno al principio de la curva y otro en plena curvatura:

En los gráficos adjuntos se puede ver la relación de vegetación y geomorfología recogida para cada uno de los perfiles.

### Perfil AA'

Este perfil se localiza en el inicio de la curva que hay en el tramo. En el punto donde se realiza el perfil no hay gran distinción entre la zona de sedimentación, que se correspondería con la margen izquierda (A'), y la zona de ataque, que se corresponderían con la margen derecha (A). El cauce es bas-

223

TRAMO D PERFIL A-A'

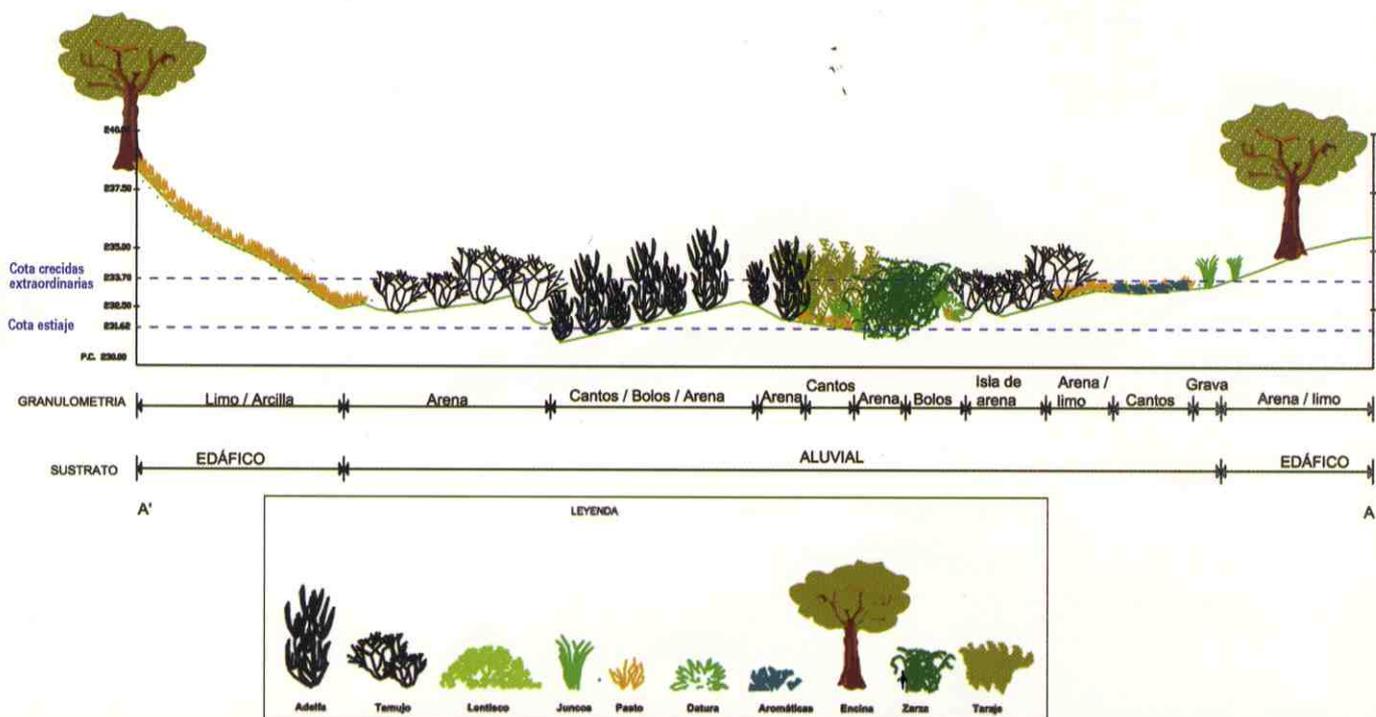


Figura 95. Tramo tipo D estudiado. Perfil transversal A-A'

tante amplio, o al menos mayor que en los tramos anteriores, en este caso no aparecen barreras de sedimento, ni de otro tipo de procedencia que no sea aluvial.

En todo el perfil se desarrolla la vegetación con gran profusión, dominando el estrato arbustivo sobre el arbóreo. Se pueden encontrar especies arbustivas como tamujo, adelfa, taraje, y zarza que se distribuyen de forma similar a la que se ha ido viendo en los tramos anteriores. En las zonas más próximas al cauce crecen zarzas y tamujos, en zonas donde la granulometría es más gruesa predominan las adelfas y cuando el lecho se compone básicamente de arena predomina el tamujo.

### Perfil BB'

El perfil se localiza en medio de la curva del inicio del tramo. La margen derecha del perfil (B) se corresponde con la zona de ataque y la izquierda (B') con la de sedimentación. Las especies que encontramos en este perfil son similares a los del anterior con la peculiaridad de la existencia de árboles (fresno) en las márgenes de una madre vieja.

Cabe destacar que las especies arbustivas que adquieren porte de gran tamaño se desarrollan a lo largo de todo el perfil, predominando los tamujos sobre los depósitos aluviales, y en las zonas próximas al cauce activo se desarrollan adelfas, zarzas y tarajes.

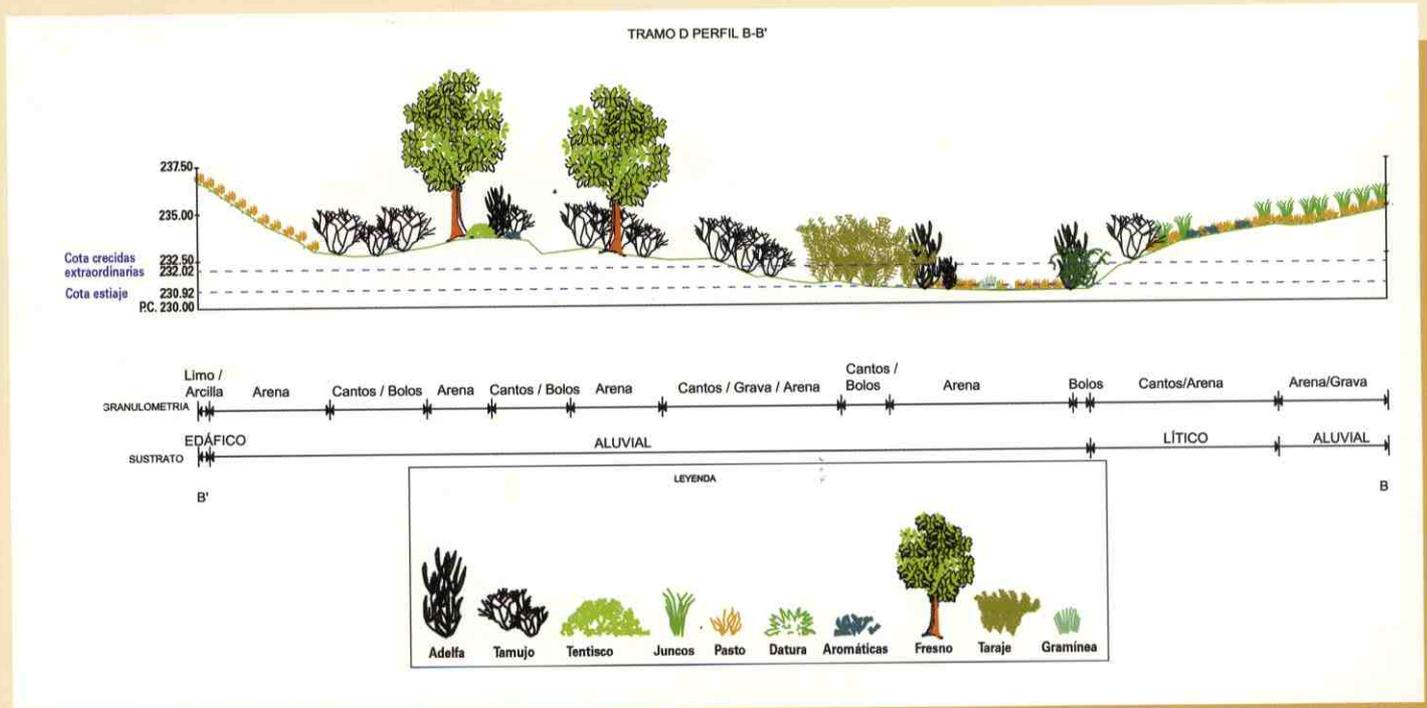
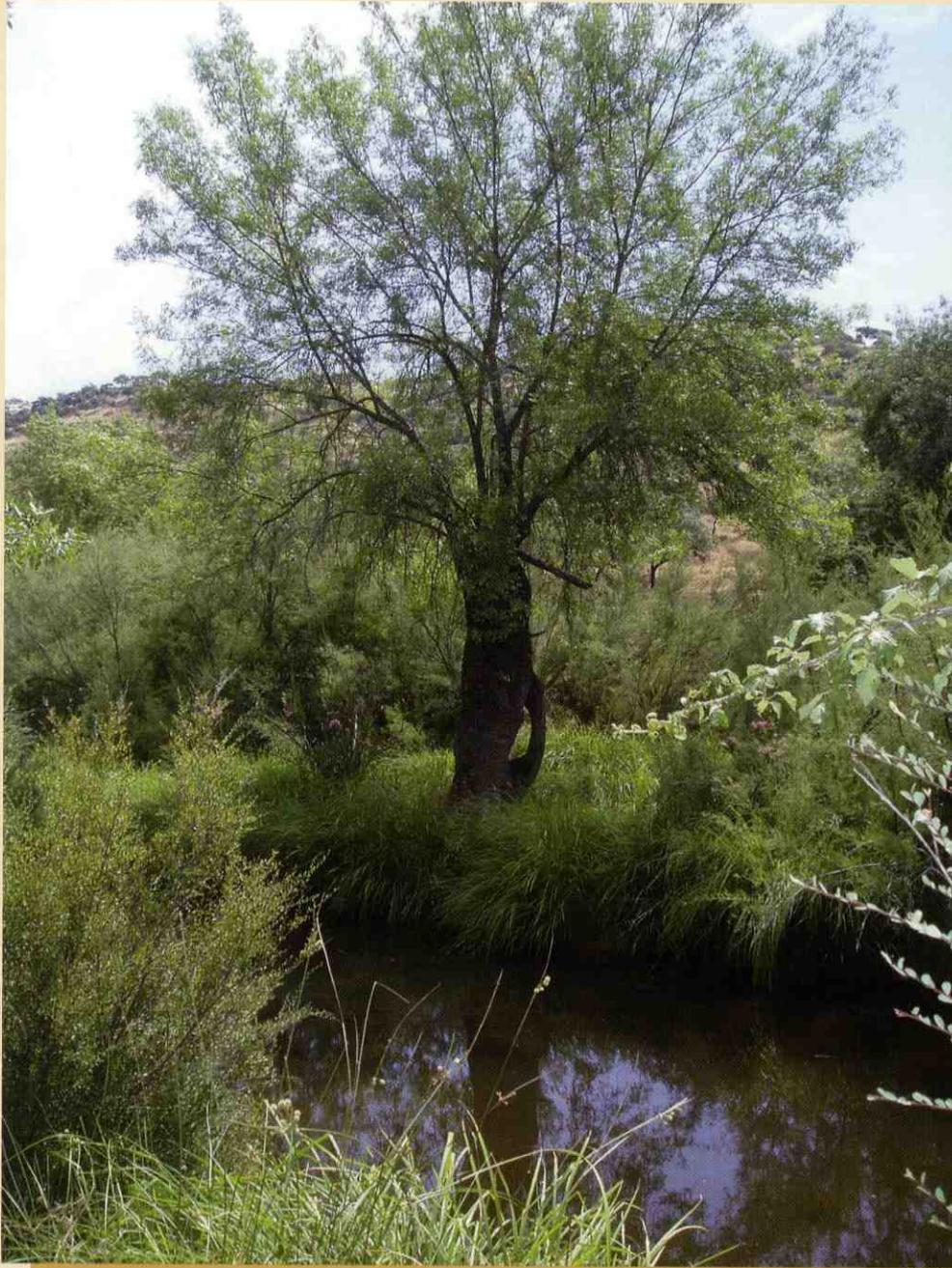


Figura 96. Tramo tipo D estudiado. Perfil transversal B-B'



**Figura 97.** Vegetación en el margen del cauce

# Determinación de la climatología en la serie histórica

A7



# A7. Determinación de la climatología en la serie histórica

El estudio tiene como objetivo clasificar los años climatológicos, del 1 septiembre al 31 de agosto, de la serie histórica según el régimen de precipitaciones, concretamente la precipitación anual y las precipitaciones máximas en 24 horas. La finalidad de dicho estudio es servir de base para relacionar la regeneración de las especies riparias con los eventos extremos de los ríos mediterráneos; sequías y crecidas.

Para obtener la máxima serie histórica de datos pluviométricos representativos se seleccionaron las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca. Los datos recopilados fueron la precipitación mensual y la precipitación máxima en 24 horas del año, con el objeto de caracterizar: por una parte el régimen de precipitaciones, y por

otra el periodo de retorno de las lluvias extremas en la serie histórica de años climatológicos.

## A7.1 Determinación del año climatológico

Este trabajo tiene el objetivo de establecer el régimen de precipitaciones en cada año de la serie histórica, diferenciándose tres tipos: húmedo, medio y seco. Su finalidad es determinar la variación en el régimen de precipitaciones para correlacionarlo con la disponibilidad hídrica de la vegetación freatófila del río Yeguas.

Para caracterizar el año climatológico en la serie histórica se han realizado las siguientes fases:

227

PROVINCIA	DENOMINACIÓN	INDICATIVO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	SERIE
Ciudad Real	El Horcajo	4283	042842W	382848	730	1962/1986
Ciudad Real	Mestanza, E	5317	035517W	382430	493	1951/1981
Ciudad Real	Fuencaliente	5341	041817W	382415	696	1952/2005
Jaén	Higuera de Arjona	5334	035927W	375820	380	1918/2004
Jaén	Arjonilla	5337	040627W	375820	348	1955/1986
Jaén	Arjona	5349	040917W	375800	340	1956/2005
Córdoba	Montoro 'VE	5361	041948W	380050	160	1952/2005
Córdoba	Montoro 'C.	5366	042252W	380140	195	1952/2004
Córdoba	Montoro	5369	042427W	380620	300	1965/2005
Córdoba	Villanueva	5391	043737W	381930	725	1952/2002
Córdoba	Villanueva	5391A	043657W	381950	740	1974/2005

Tabla 17. Estaciones meteorológicas

1. Establecer la serie de precipitaciones del año climatológico, del 1 septiembre al 31 de agosto. Se realizó, de forma independiente para cada estación, a partir de la serie anual de precipitaciones. La precipitación del año climatológico se estableció sólo si existían registros pluviométricos durante todos los meses del año, descartándose cumplimentar los datos ausentes para no acumular errores.
2. Seleccionar las estaciones con una serie climatológica mayor de 20 años. Se contabilizaron los años climatológicos completos que presenta la estación, seleccionándose aquellas estaciones que presentan una serie igual o superior a 20 años.
3. Clasificar el año climatológico en cada estación según el régimen de precipitaciones registradas. Se determinó el percentil 25 y 75 de las precipitaciones del año climatológico para cada estación. Con estos indicadores se establecieron los rangos del régimen de precipitaciones, diferenciando tres grupos: seco, medio y húmedo. En el extremo inferior de la serie se encuentran los años secos, siendo aquellos que registran precipitaciones iguales o inferiores al percentil 25. En el extremo opuesto se localizan los años húmedos, pues presentan precipitaciones iguales o superiores al percentil 75, por diferencia los años de precipitación media son los que la precipitación queda comprendida entre el percentil 25 y el 75.
4. Establecer el régimen de precipitaciones de la cuenca para cada año climatológico. Se ha realizado una clasificación del año climatológico para la cuenca del río Yeguas mediante la media aritmética de los datos de cada año y estación.

## A7.2 Caracterización de la lluvia extrema

Caracterizar el periodo de retorno acaecido en la lluvia extrema de cada año de la serie permite determinar de una forma indirecta cuándo se han producido las crecidas extremas. Su establecimiento muestra si existe una relación entre las crecidas y la estructura de la comunidad riparia.

Las fases realizadas para caracterizar la lluvia extrema de la serie climatológica han sido las siguientes:

1. Establecer la serie de precipitaciones máximas en 24 horas del año climatológico, del 1 septiembre al 31 de agosto. Se realizó de forma similar al apartado anterior a partir de la serie anual de precipitaciones máximas en 24 horas.
2. Seleccionar las estaciones con una serie climatológica igual o mayor de 20 años.
3. Ubicar una estación sintética en el centroide de la cuenca. Se estableció una estación meteorológica ficticia en el centro de gravedad de la cuenca.

4. Crear una serie histórica de datos en la estación sintética. Se creó una serie histórica de precipitaciones máximas en 24 horas del año climatológico para la estación sintética. Para ello se utilizaron los datos de las estaciones con una serie climatológica mayor de 20 años. La serie se generó anualmente, mediante una media ponderada de las estaciones que presentaban datos. El factor de ponderación fue la inversa de la distancia existente entre la estación y la estación sintética.
5. Caracterizar la lluvia extrema anual de la estación sintética. Se calcularon los periodos de retorno de las precipitaciones de la serie histórica de la estación sintética mediante una función Gumbel. Con estos datos se caracterizó el periodo de retorno acaecido en cada año de la serie, concretamente se establecieron 4 grupos:

- a) Precipitación ordinaria: son las precipitaciones que corresponden a un periodo de retorno inferior o igual al  $T_{10}$ .
- b) Precipitación pequeña: la precipitación del año queda comprendida entre los periodos de retorno  $T_{10}$  y  $T_{25}$ .
- c) Precipitación mediana: la precipitación del año se encuentra entre los periodos de retorno  $T_{25}$  y  $T_{50}$ .
- d) Precipitación grande: la precipitación del año se encuentra entre los periodos de retorno  $T_{50}$  y  $T_{75}$ .
- e) Precipitación extrema: la precipitación es mayor que la correspondiente al periodo de retorno  $T_{75}$ .



# Estructura de la población arbórea

# A8



# A8. Estructura de la población arbórea

## A8.1 Muestreo de la población

Se ha estudiado la incidencia de las perturbaciones sobre la ribera centándose en la estructura de la población de las dos especies arbóreas existentes en el río: fresno, *Fraxinus angustifolia*, y aliso, *Alnus glutinosa*.

Para determinar la estructura de la población se realizó un muestreo de la población arbórea y se determinó la tasa de crecimiento de las dos especies estudiadas.

## A8.2 Determinación tasa de crecimiento del arbolado

La tasa de crecimiento de las especies arbóreas se estableció mediante la relación entre los anillos de crecimiento y el radio del tronco. Estos datos permiten hacer una recta de regresión entre el radio y la edad de la planta.

La relación edad-radio se calculó con los datos procedentes de los inventarios realizados para la elaboración de "Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles" (monografías INIA: serie forestal nº 13- 2005).



A8.2.1 Datos de partida

**Fresno, crecimiento anual de 18 ejemplares muestreados (mmx100)**

Año	FrCA-01	FrCA-02	FrCA-03	FrCA-04	FrCA-05	FrCA-06	FrCA-07	FrCA-08	FrCA-09	FrCA-10	FrCA-11	FrCA-12	FrCA-13	FrCA-14	FrCA-15*	FrCA-16	FrCA-17	FrCA-18
2003	1171	354	564	729	654	1234	880	713	769	711	635	566	781	1159	995	186	2080	521
2002	1255	567	520	700	753	1080	981	855	642	861	899	645	820	1561	1109	286	1079	760
2001	1086	376	584	359	1313	1088	993	638	399	1032	894	822	774	1153	636	264	1393	823
2000	1142	386	859	576	779	643	964	351	350	301	611	576	1021	956	357	326	680	566
1999	719	350	532	964	603	612	602	310	284	209	347	760	658	324	289	339	464	483
1998	628	541	488	1119	1234	1435	804	1170	456	324	600	701	760	693	799	1005	713	705
1997	490	468	650	1003	1034	1485	769	1046	80	259	116	881	548	519	1503	1024	884	624
1996	1024	554	634	470	610	1063	433	492		90		593	707	79	519	990	791	885
1995	282	504	475	579	567	778	575	474				411	137		320	167	252	513
1994	927	1124	767	1118	750	1419	1257	1018				1255			1490	676	792	1356
1993	871	1495	432	456	543	1611	744	559				539			1255	749	1001	1837
1992	838	2147	429	369	369	1456	1961	1042				113			1194	602	1198	1444
1991	1790	1666	462	228	196	1088	1688	1003				204			1628	802	1052	822
1990	549	639	298	239	207	1186	834	765							1540	316	346	434
1989	922	865	383	178	132	483	623	411							1291	594	823	668
1988	224	423	583	126		259	735	441							490	431	708	591
1987	129	1075	408	127		245	260	114								174	343	111
1986		113	406	92		115	58										58	
1985			416	93		82												
1984			162	60														
1983			108															

232

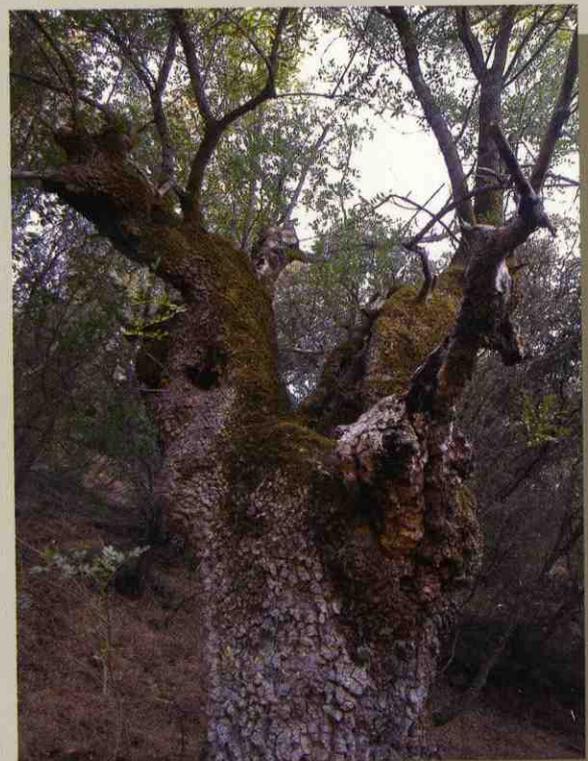
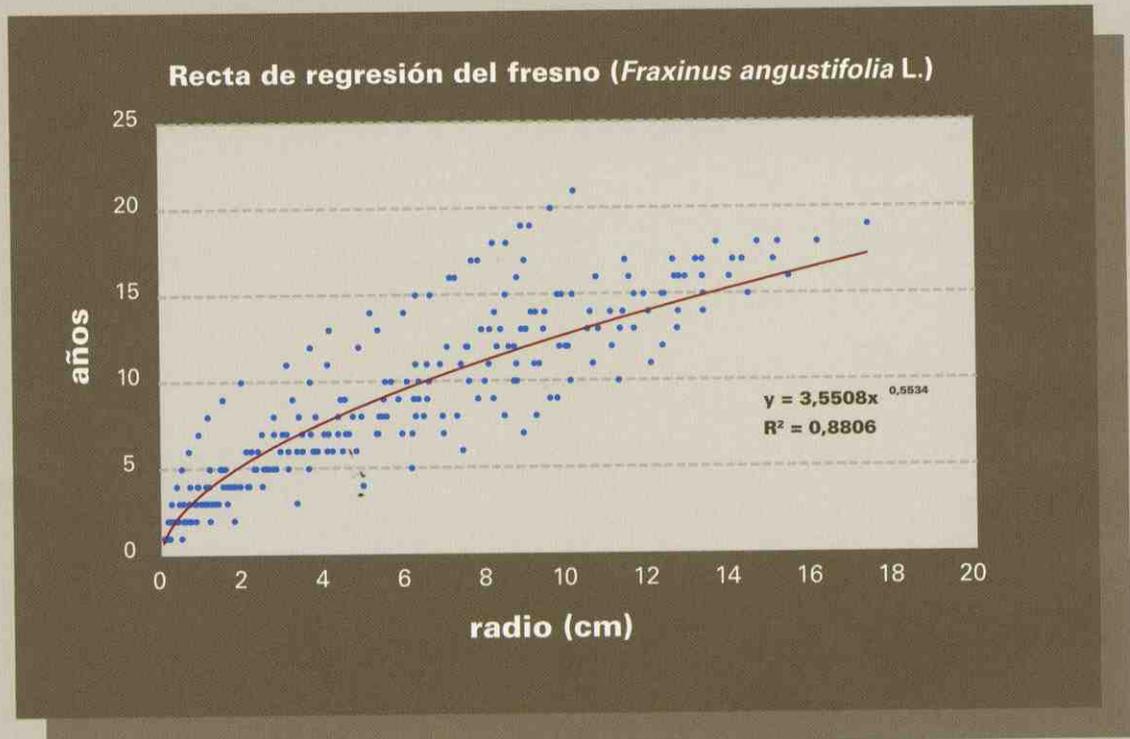
Fuente: "Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles"  
(monografías INIA: serie forestal nº 13- 2005)

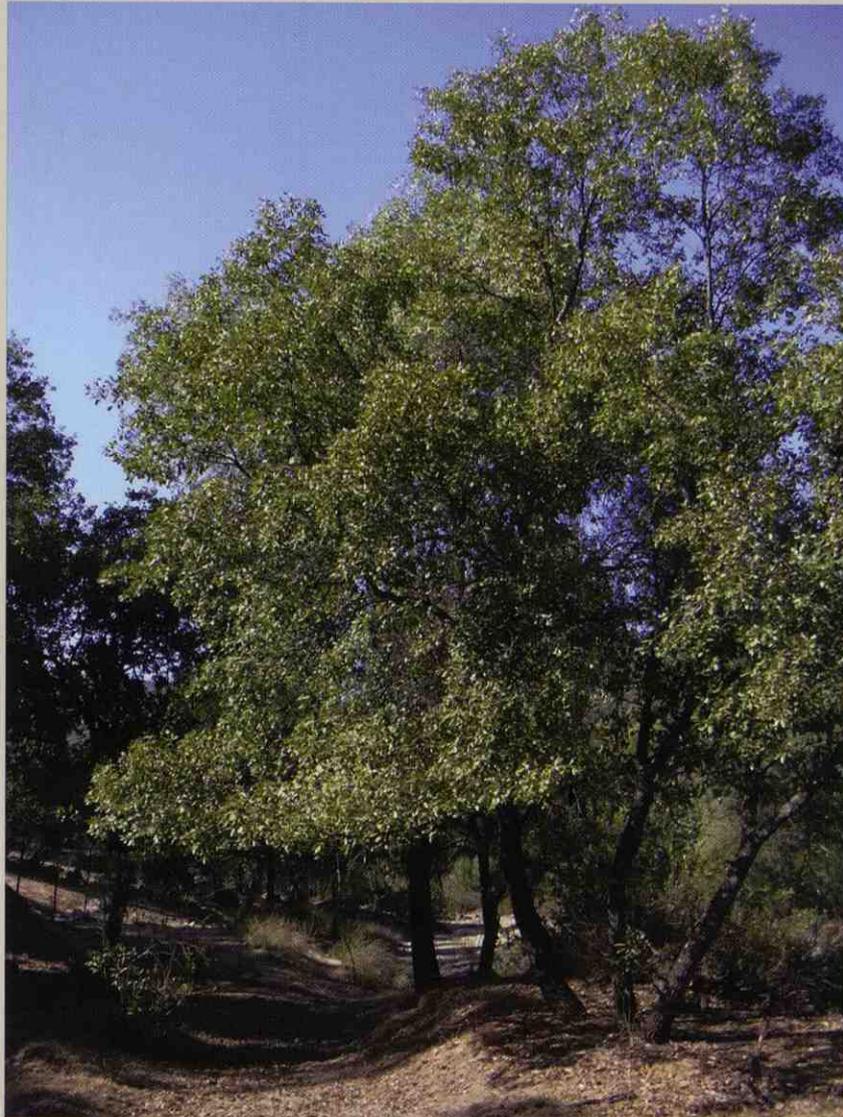
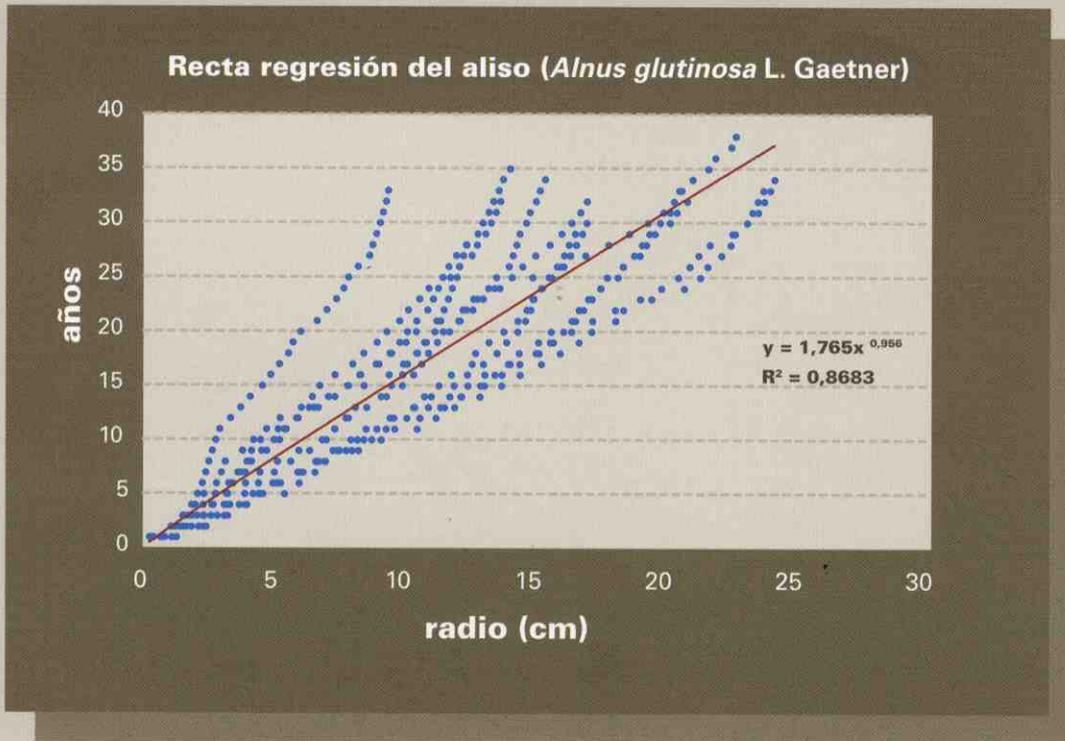


## Aliso, crecimiento anual de 18 ejemplares muestreados (mmx100)

Año	CD15-01	CD20-01	CD25-01	CD25-02	CD30-01	CD35-01	CD35-02	CD35-03	CD35-04	CD35-05	CD40-01	CD45-01	CD45-02
2004	73	107	170	272	173	407	237	204	288	247	160	160	220
2003	113	145	193	162	219	254	185	150	401	350	226	613	203
2002	118	98	210	201	229	587	269	229	606	377	236	270	213
2001	141	184	321	181	357	318	311	147	713	451	422	608	457
2000	143	151	200	234	368	258	264	249	793	546	563	507	167
1999	123	166	496	196	400	638	355	119	884	499	866	207	353
1998	436	126	332	417	285	203	239	141	838	413	432	156	531
1997	372	230	467	397	116	666	346	147	1195	658	343	373	284
1996	187	384	188	292	203	328	539	485	1263	443	432	409	611
1995	272	306	218	226	294	320	560	301	841	404	647	283	1259
1994	376	508	424	542	435	456	518	572	576	479	813	300	1073
1993	373	551	353	359	365	790	135	281	1001	649	967	439	309
1992	630	964	298	430	516	481	797	293	796	658	870	606	912
1991	293	1365	313	333	619	749	472	356	382	327	814	241	490
1990	173	1033	487	494	502	408	549	460	620	390	805	475	725
1989	347	806	700	371	883	909	387	342	531	184	553	358	721
1988	333	523	490	513	680	651	794	260	625	429	997	145	829
1987	316	497	726	421	894	687	654	313	436	393	581	455	699
1986	464	423	562	684	915	821	745	432	515	998	547	386	837
1985	367	662	622	575	586	833	683	608	633	349	766	550	965
1984	391	142	456	282	682	797	782	759	836	440	770	752	714
1983	401	186	244	121	641	854	807	696	699	465	794	678	730
1982	154	475	485	474	659	1021	794	517	674	894	971	674	1379
1981	131	483	643	482	1002	815	706	326	348	821	870	873	1340
1980	128	302	182	383	377	479	745	645	170	667	760	659	1080
1979	126	288	470	477	619	869	834	719	342	554	1012	947	773
1978	128	539	225	388	867	815	720	624	352	686	958	967	737
1977	184	736	518	387	691	1333	1019	605	495	602	934	501	682
1976	130		384	375	1133	512	1119	521	486	569	882	880	557
1975	233		755	627	1295	943		576	439	650	993	1281	694
1974	298		883	764		853		995	774	673	886	378	947
1973	584		685	473		817		473	837	754	1133	605	1478
1972	848			435				757	263		812	550	833
1971				726				1113			399	1520	
1970				375								1609	
1969												1234	
1968												697	
1967												381	

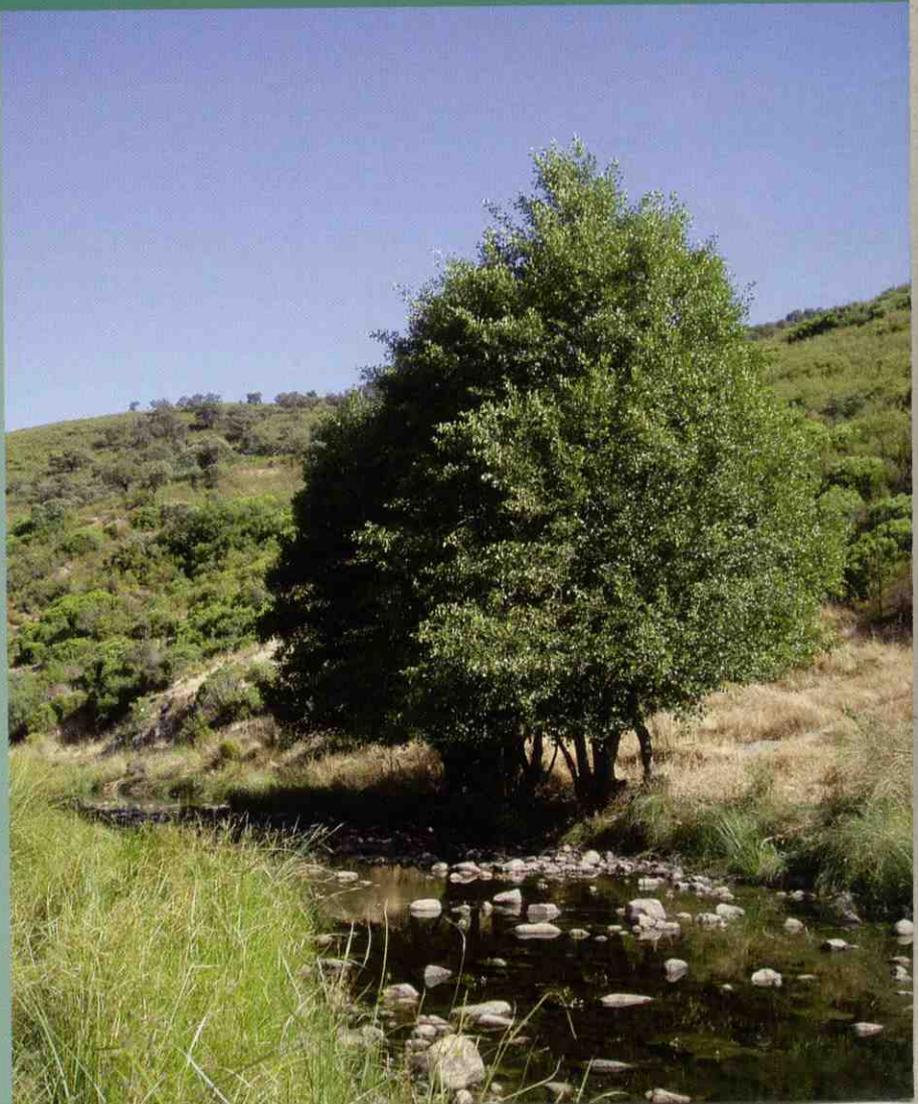
A partir del crecimiento anual en mmx100, se ha realizado la curva de regresión del crecimiento. La línea de tendencia se ajusta a un crecimiento potencial en ambas especies.





# Herramientas para zonificar las disponibilidades hídricas

# A9



# A9. Herramientas para zonificar las disponibilidades hídricas

**Curva de régimen de caudales.** Representa los caudales medios que conduce el río a lo largo del año meteorológico (octubre-septiembre). En eje de abscisa se representan los meses del año, comenzando por octubre y en el de ordenadas los caudales. Establece las variaciones del caudal, pudiéndola relacionar con la climatología y con la ecología de la ribera (época de disseminación del material vegetal, de daños por crecidas, etc.).

**Curva de frecuencia de caudales.** Recta de regresión de una nube de puntos, donde se representa en el eje de abscisa el intervalo de recurrencia y su probabilidad de ser excedido (periodo de retorno) y en el de ordenadas los caudales máximos anuales. Se utiliza para la zonificación del riesgo de inundaciones y consecuentemente en los diseños hidráulicos. También tiene utilidad para determinar el Dominio Público Hidráulico y el caudal generador del lecho.

**Curva de duración de caudales o de caudales clasificados.** Se obtiene ordenando de mayor a menor la curva de caudales medios diarios y calculando los distintos percentiles y representándolos en un gráfico. El eje de abscisa representa el porcentaje de días que el caudal se iguala o excede al indicado y el de ordenadas los caudales. Se utiliza como base para la determinación de los caudales ecológicos y en nuestro caso para la zonificación de la ribera.

Zonificar la ribera según las disponibilidades hídricas consiste en identificar las distintas zonas fluviales (inundada, encharcada y emergida) en función de la permanencia de la lámina de agua durante el periodo húmedo y la profundidad a la que se encuentra el freático, especialmente durante el periodo seco.

Este trabajo requiere determinar las variaciones del calado a lo largo

del año mediante observaciones en campo. Durante el periodo húmedo se media el calado del río en el periodo de aguas bajas y medias, mientras que en el periodo seco se establece la evolución del nivel freático o en su defecto la variación de la altura de la lámina de agua de las pozas.

La época de muestreo se determina a través de la conjugación de dos cur-

vas: la de duración de caudales y la del régimen de caudales. Éstas se realizan, respectivamente, con los datos de caudales medios diarios y medios mensuales de la estación de aforos de la cuenca. Si no se dispone de datos de caudales se pueden utilizar los de una cuenca similar en climatología, cobertura, litología, y edafología. Otra forma de proceder sería determinar la evolución mensual de la escorrentía superficial, pero no se tendrían en cuenta los aportes por drenaje del suelo. Para incluir este factor se debería determinar el balance hídrico del suelo.

La zonificación de la ribera requiere las siguientes pautas de trabajo:

1. Obtener los caudales de aguas altas, medias y bajas de la curva de caudales clasificados. Cuando se utilizan métodos indirectos, como la escorrentía superficial o el balance hídrico, se obtiene una curva de características similares a la del régimen de caudales. Estos datos deben expresarse en el mismo formato de los caudales clasificados con la finalidad de obtener la curva de escorrentía superficial clasificada o la curva de drenaje clasificada.
2. Determinar las épocas de muestreo. Éstas corresponden a los meses en los que se producen los niveles de aguas bajas, medias y altas y los meses del periodo seco. Se determinan en la curva del régimen de caudales introduciendo los valores de caudal bajo, medio y alto, del

periodo húmedo y los percentiles 25, 50 y 75, del periodo seco. Los datos de trabajo son la curva de caudales clasificados u otra metodología auxiliar. Cuando un caudal se produzca en dos momentos del año climatológico se debe muestrear en el periodo de descenso de caudales (primavera-verano). Si se utilizan los caudales medios mensuales para realizar la curva de caudales clasificados, los niveles hídricos son aproximados. Esto se debe a que no se incluyen los caudales máximos diarios en el estudio de porcentajes de excedencia. No obstante, los datos obtenidos son aptos para determinar las épocas de muestreo.

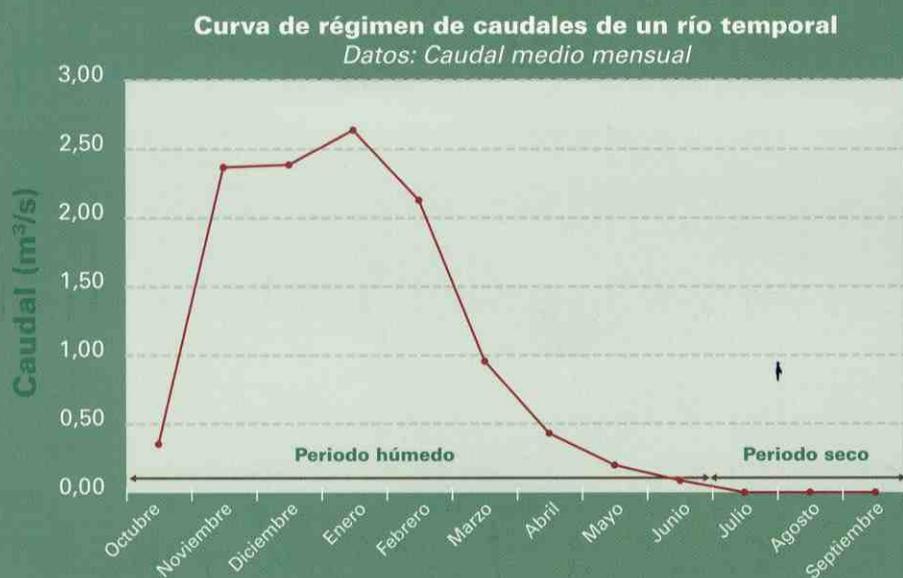
3. Realizar el muestreo. Se realizan mediciones de calado y del nivel freático en las zonas de estudio y en la época adecuada de muestreo, evitando muestrear los días siguientes a las precipitaciones.
4. Zonificar la ribera según los datos obtenidos, teniendo en cuenta la bondad climatológica del año de muestreo. Esta se realiza según la profundidad del freático en cada una de las fechas muestreadas.

En este anejo se definen las distintas metodologías para determinar la época de muestreo, la forma de determinar la oscilación del freático y el "año tipo": método estadístico para conocer el grado de desvío del muestreo respecto de los datos medios.

## A9.1 Determinación de las fechas de muestreo con los caudales medios diarios

Las fases del trabajo más significativas son:

1. Calcular los caudales medios mensuales del año climatológico medio y representar la curva de caudal medio mensual del año climatológico medio.
2. Determinar la duración del periodo seco y establecer las fechas correspondientes a los percentiles 25, 50 y 75.
3. Calcular y representar la curva de caudales clasificados del año medio. Para su cálculo se ordenan los 365 datos según la magnitud decreciente de los caudales.
4. Realizar la curva de caudales clasificados del periodo húmedo y calcular los periodos de excedencia más significativos:  $Qa_{10}$ ,  $Qa_{30}$ ,  $Qa_{50}$ ,  $Qa_{90}$  y  $Qa_{95}$  de dicho periodo. La razón de estudiar el periodo húmedo es eliminar la influencia del periodo seco que existe en los ríos temporales.
5. Determinar las fechas de muestreo. Éstas corresponden a los meses que transportan los caudales de aguas bajas, medias y altas del periodo húmedo y los correspondientes a los percentiles 25, 50 y 75, del periodo seco. Estos se determinan en la curva de caudales medios mensuales del año climatológico medio mediante la lectura directa de los caudales.



## A9.2 Determinación de las fechas de muestreo a partir de los caudales medios mensuales

Se utiliza la misma metodología que con los caudales medios diarios, pero utilizando los caudales medios mensuales de la estación de aforos. Los pasos son los siguientes:

1. Representar la curva de caudal medio mensual del año climatológico medio.
2. Calcular y representar la curva de caudales clasificados del año medio. Para ello, se ordenan los caudales mensuales en orden decreciente y se calcula el periodo de excedencia de los caudales para cada mes.
3. Al tratarse de un río temporal los caudales durante el periodo estival

son nulos o muy bajos si la estación de aforo se encuentra en una zona de afloramiento del caudal subsuperficial. Esta característica obliga a realizar una curva de caudales clasificados para el periodo húmedo. Con estos datos se calculan los caudales de aguas altas, medias y bajas y la duración del periodo seco.

4. Determinar las fechas de muestreo. Éstas corresponden a los meses en que se transportan los caudales de aguas medias y bajas y los correspondientes a los percentiles 25, 50 y 75 del periodo seco. Estos se determinan en la curva de caudales medios mensuales del año climatológico medio por lectura directa de los caudales y los percentiles correspondientes.

Mes	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Nº días	Año climatológico		Periodo húmedo	
			Nº días acumulado	Excedencia (%)	Nº días acumulado	Excedencia (%)
Enero	2.64	31	31	8%	31	11%
Diciembre	2.39	31	62	17%	62	23%
Noviembre	2.37	30	92	25%	92	34%
Febrero	2.13	28	120	33%	120	44%
Marzo	0.96	31	151	41%	151	55%
Abril	0.43	30	181	50%	181	66%
Octubre	0.35	31	212	58%	212	78%
Mayo	0.19	31	243	67%	243	89%
Junio	0.09	30	273	75%	273	100%
Julio	0.00	31	304	83%	273	100%
Agosto	0.00	31	335	92%	273	100%
Septiembre	0.00	30	365	100%	273	100%

### Fechas de muestreo (para los datos y gráficos del ejemplo):

- Caudal de aguas altas: desde finales de noviembre a febrero.
  - Caudal de aguas medias: noviembre o marzo. Preferible en marzo.
  - Caudal de aguas bajas: octubre o mayo. Preferible en mayo.
- (\*) Por la pendiente de la curva de caudales en otoño es preferible hacer las mediciones en la primavera.
- Percentil 25 del periodo seco: finales de julio.
  - Percentil 50 del periodo seco: mediados de agosto.
  - Percentil 75 del periodo seco: mediados de septiembre.



### A9.3 Metodología de cálculo de la escorrentía superficial

El cálculo de la escorrentía mensual se realiza para los distintos tipos de año meteorológico. Los datos a utilizar son los siguientes:

- $P_m$ : precipitación mensual.
- $M_m$ : precipitación máxima en 24 horas del mes.
- $D_m$ : días total de lluvia del mes.

A efectos de cálculo de la escorrentía se deben considerar:

La producida el día de lluvia máxima,  $M_m$  (milímetros).

La producida por las lluvias restantes del mes, es decir, por  $(P_m - M_m)$  milímetros en  $(D_m - 1)$  días.

↓

Siendo desconocida la distribución del resto de lluvias se establecen tres hipótesis:

**Hipótesis 1:**

La más desfavorable a efectos de escorrentía: se dará cuando todos los días, excepto el de máxima lluvia, cayese la misma precipitación. El total de la lluvia caída sería  $P_m - M_m$ , y siendo  $D_m$  el número de días de lluvia en el mes considerado, la lluvia caída en los  $D_m - 1$  días sería:

$$P_{V1} = \frac{P_m - M_m}{D_m - 1} \quad \text{Precipitación diaria virtual}$$

**Hipótesis 2:**

La más favorable a efectos de escorrentía: se dará cuando apenas hubiera precipitación en varios días y en los restantes lloviera casi igual que el día de lluvia máxima. El límite daría un número de días.

$$n_2 = \frac{P_m - M_m}{M_m} \quad \text{Número virtual de días de lluvia}$$

**Hipótesis 3:**

Representa un caso intermedio entre los dos anteriores. Para ello tenemos como datos de partida la lluvia media distribuida en los  $D_m - 1$  días y que tiene por valor, según vimos:

$$P_{V1} = \frac{P_m - M_m}{D_m - 1}$$

Por otro lado, el número de días de máxima lluvia es:

$$n_2 = \frac{P_m - M_m}{M_m}$$

Para este caso intermedio tomamos como precipitación virtual intermedia  $P_{V2}$  la semisuma de la lluvia máxima en un día  $M_m$  y la precipitación media en el resto de los días, o sea:

$$P_{V2} = \frac{1}{2} \left( M_m + \frac{P_m - M_m}{D_m - 1} \right)$$

Análogamente, tomamos como número virtual de días  $n_1$  de precipitación media, la media de los  $D_m - 1$  días menos los días de lluvia máxima, es decir:

$$n_1 = \frac{1}{2} \left( D_m - 1 - \frac{P_m - M_m}{M_m} \right)$$

Obteniéndose las siguientes fórmulas:

$$n_1 = \frac{1}{2} \left( D_m - 1 - \frac{P_m - M_m}{M_m} \right)$$

$$P_{V1} = \frac{P_m - M_m}{D_m - 1}$$

$$n_2 = \frac{P_m - M_m}{M_m}$$

$$P_{V2} = \frac{1}{2} \left( M_m + \frac{P_m - M_m}{D_m - 1} \right)$$

En donde:

$$n_1 \times P_{V1} + n_2 \times P_{V2} = P_m - M_m$$

Cuando los valores  $M_m$ ,  $P_{V1}$  y  $P_{V2}$  no superen el valor 0.2S de la fórmula (a), no se tendrán en cuenta a efectos de escorrentía, por lo que el cálculo anual suele simplificarse.

$$I_a = 0.2 \times S \quad (a)$$

$$S = 254 \left( \frac{100}{Nb} - 1 \right)$$

Donde:

$I_a$  = Precipitación.

S = Parámetro que determina la cantidad de agua infiltrada junto a la almacenada y retenida por el suelo en función del número de curva.

El método del número de curva, NC, determina tres condiciones precedentes de humedad del suelo (A, B y C) en función de la lluvia total caída durante los cinco días anteriores. Veamos como puede darse un valor utilizable.

Si la lluvia mensual  $P_m$  la consideramos uniformemente distribuida a lo largo del mes (30 días), la cantidad caída en 5 días sería:

$$\frac{5}{30} P_m = \frac{P_m}{6}, \text{ que sería un valor medio}$$

No obstante, el valor mínimo sería 0, pero como valor máximo se podrá considerar, según que el número de días de lluvia sea mayor de 5 o menor de 5.

$$\text{para } D_m > 5 \quad M_m + 4 \frac{P_m - M_m}{D_m - 1} = M_m + 4 \cdot PV_1$$

$$\text{para } D_m \leq 5 \quad P_m$$

Por lo que, otros valores medios, serían en tales supuestos:

$$\frac{1}{2}(M_m + 4P_{v1}) \quad \text{y} \quad \frac{P_m}{2}$$

Por lo anterior tomando la semisuma de los valores medios como cifra representativa media de la cantidad de lluvia caída durante cinco días del mes, se obtienen los valores:

$$\text{para } D_m > 5 \quad P_5 = \frac{1}{2} \left( \frac{P_m}{6} + \frac{M_m}{2} + 2P_{v1} \right) = \frac{P_m}{12} + \frac{M_m}{4} + PV_1$$

$$\text{para } D_m \leq 5 \quad P_5 = \frac{1}{2} \left( \frac{P_m}{6} + \frac{P_m}{2} \right) = \frac{P_m}{3}$$

## A9.4 Elaboración de un modelo de balance hídrico de la cuenca vertiente

El modelo del balance hídrico considera el drenaje del suelo como el responsable del transporte de agua por la red fluvial al tener en cuenta sólo la hidrología superficial, pues la red fluvial se comporta como red de drenaje de los excedentes de la cuenca. Según esta hipótesis, los ríos transportan agua de forma continua cuando los suelos de la cuenca han superado la capacidad de campo, correspondiendo los flujos súbitos (avenidas), a una respuesta inmediata generada por la escorrentía directa que conlleva a una tormenta.

El balance hídrico se establece en función de los factores: precipitación, evapotranspiración, capacidad de almacenamiento (capacidad de campo) y escorrentías directa y positiva. Este modelo determina el balance de agua en celda mediante el cómputo mensual de las entradas (precipitación y escorrentía positiva), salidas (evapotranspiración y escorrentía directa), reserva y capacidad de almacenamiento (capacidad de campo).

El modelo se ha diseñado para un análisis digital de la cuenca mediante un sistema de información geográfica. La unidad de trabajo es el píxel o celda de 20x20 (200 m<sup>2</sup>), representando los factores en mapas temáticos (Grids),

donde cada celda presenta un valor expresado en litros por píxel (l/píxel). Estos factores de análisis son:

**Precipitación efectiva (Pe):** litros/píxel de precipitación media del mes menos la escorrentía directa, más la escorrentía positiva correspondiente a las celdas que vierten a la celda de estudio.

**Evapotranspiración (ETP):** litros/píxel de pérdidas del sistema mensualmente.

La caracterización del suelo se puede realizar con el Mapa de Suelos de Andalucía 1:400.000.

**Escorrentía directa (Ed):** cuantía de agua que no entra en el sistema (píxel) por formar parte de la escorrentía rápida, escorrentía generada en el momento de la tormenta. Se calcula en función de la clasificación de Prevert, donde interviene el uso del suelo, su textura y la pendiente.

**Escorrentía positiva (Ep):** comprende la escorrentía directa que llega a las celdas situadas a menor cota, considerándose una entrada extra al sistema y por lo tanto se suma a la precipitación efectiva.

**Capacidad de almacenamiento (Ca):** contabilización del volumen de agua que puede almacenar el píxel según la clasificación de Thornwaite y Mater (1957), determinada en función de la profundidad edáfica y textura (ver tabla 19).

**Reserva (Re):** nivel de agua que contiene la celda, no pudiendo sobrepasar la capacidad de almacenamiento.

**Drenaje (Dr):** volumen de agua que no puede retener el suelo al haberse sobrepasado la capacidad de almacenamiento, traspasándose al siguiente píxel (píxel acumulador contiguo).

Drenaje = Entradas (Pe+ Ep) –  
Pérdidas(ETP) – Almacenamiento (Re)

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,40	0,60
	> 30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0-5	0,15	0,35	0,45
	5-10	0,30	0,40	0,55
	10-30	0,35	0,45	0,65
	> 30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,66	0,70
	10-30	0,50	0,70	0,80
	> 30	0,53	0,74	0,84

Tabla 18. Escorrentía directa calculada según Prevert.

Tipo	Profundidad (cm)	Textura	Capacidad de Almacenamiento			Text. Coef. Esc.	Tipo	Profundidad (cm)	Textura	Capacidad de Almacenamiento			Text. Coef. Esc.
			%	l/m <sup>2</sup>	l/pixel					%	l/m <sup>2</sup>	l/pixel	
1	100	FR	15	150	60000	B	33	60	FA	25	150	60000	B
2	80	FL	20	160	64000	B	34	35	FL	20	70	28000	B
3	90	FL	20	180	72000	B	35	70	A	30	210	84000	C
4	80	R	10	80	32000	A	36	30	FL	20	60	24000	B
5	35	FL	20	70	28000	B	37	100	FA	25	250	1.00000	B
6	50	FR	15	75	30000	B	38	50	FR	15	75	30000	B
7	40	FA	25	100	40000	B	39	40	FR	15	60	24000	B
8	80	A	30	240	96000	C	40	20	FL	20	40	16000	B
9	25	R	10	25	1.0000	A	41	50	FL	20	100	40000	B
10	30	FL	20	60	24000	B	42	70	FL	20	140	56000	B
11	40	FL	20	80	32000	B	43	55	A	30	165	66000	C
12	25	R	10	25	1.0000	A	44	60	FA	25	150	60000	B
13	50	FA	25	125	50000	B	45	60	FR	15	90	36000	B
14	20	FL	20	40	16000	B	46	50	FA	25	125	50000	B
15	30	FA	25	75	30000	B	47	70	FL	20	140	56000	B
16	40	FR	15	60	24000	B	48	85	A	30	255	102000	C
17	20	FR	15	30	12000	B	49	60	A	30	180	72000	C
18	20	FA	25	50	20000	B	50	50	FR	15	75	30000	B
19	35	FA	25	87,5	35000	B	51	100	FA	25	250	1.00000	B
20	50	A	30	150	60000	C	52	80	A	30	240	96000	C
21	50	A	30	150	60000	C	53	60	A	30	180	72000	C
22	90	A	30	270	108000	C	54	60	A	30	180	72000	C
23	90	A	30	270	108000	C	55	85	FA	25	212,5	85000	B
24	50	A	30	150	60000	C	56	85	FL	20	170	68000	B
25	50	A	30	150	60000	C	57	100	A	30	300	120000	C
26	40	FL	20	80	32000	B	58	90	FL	20	180	72000	B
27	50	A	30	150	60000	C	59	90	A	30	270	108000	C
28	40	A	30	120	48000	C	60	70	FA	25	175	70000	B
29	40	FL	20	80	32000	B	61	100	A	30	300	120000	C
30	40	FL	20	80	32000	B	62	100	A	30	300	120000	C
31	35	FL	20	70	28000	B	63	50	A	30	150	60000	C
32	30	FL	20	60	24000	B	64	100	R	10	100	40000	A

A = Arcilloso

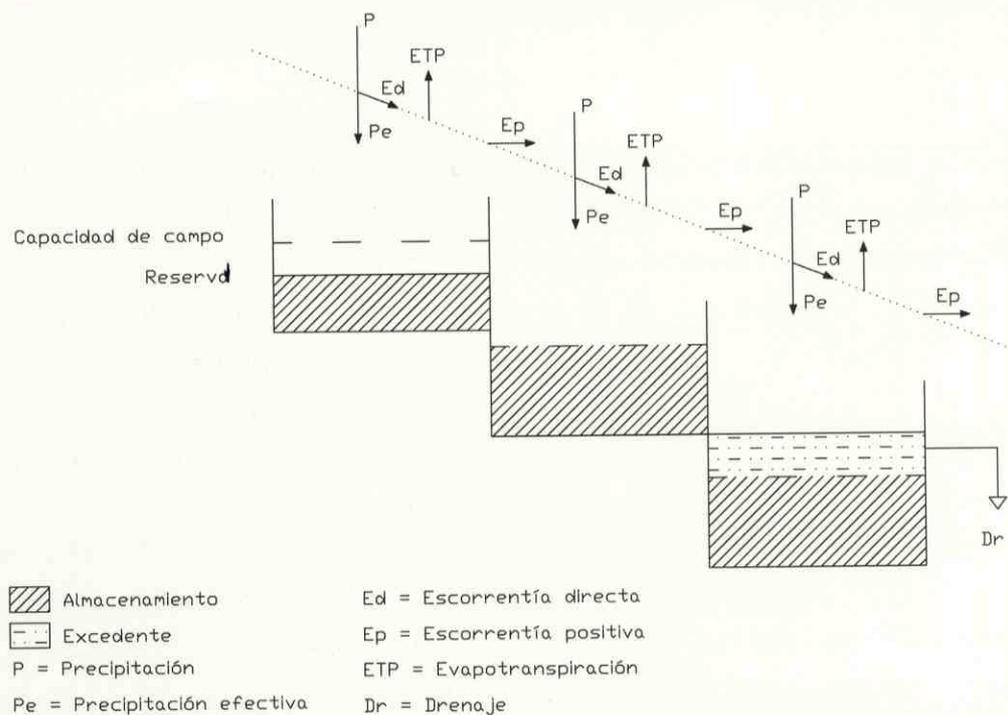
R = Arenoso

FA = Franco- arcilloso

FR = Franco arcilloso

FL = Franco- limoso

Tabla 19. Capacidad de almacenamiento del píxel según la clasificación de Thornwaite y Mater (1957).



Este modelo determina en una secuencia mensual la recarga de agua en el píxel, así como el drenaje del exceso de agua del sistema, permitiendo contabilizar, a través de doce coberturas, el periodo de transporte de agua sobre las celdas de acumulación de flujo establecidas como red fluvial.

### A9.5 Determinación de la oscilación del nivel freático

La evolución del nivel freático se puede observar mediante medición directa de la lámina de agua de las pozas. En las zonas donde no existan pozas se pueden instalar piezómetros siguiendo los siguientes pasos:

1. Se precisa de una tubería porosa con longitud igual o superior a la profun-

dididad del perfil objeto del estudio. La tubería puede ser de drenaje o de PVC. En este caso, se le dará porosidad perforándola con un diámetro de orificio menor que el material granular del terreno o del filtro que se instale.

2. Instalar la tubería en posición vertical dentro del perfil edáfico con ayuda de una barrena si el suelo es de textura fina. En caso contrario, se tendrá que realizar una fosa o utilizar un grupo de sondeo. Una vez instalada se tapaná el orificio superior para que no caigan partículas en el interior de la tubería y se rellenará el espacio circundante con un filtro de arena.

3. Para medir la profundidad de la capa freática se introducirá por la tubería una sonda construida con una cuerda provista, en su extremo inferior, de una boya lastrada con un pequeño plomo. La medición se

realizará cuando la sonda no pueda continuar descendiendo, momento en el que se habrá alcanzado la capa freática.

## A9.6 Metodología de cálculo de los "años tipo"

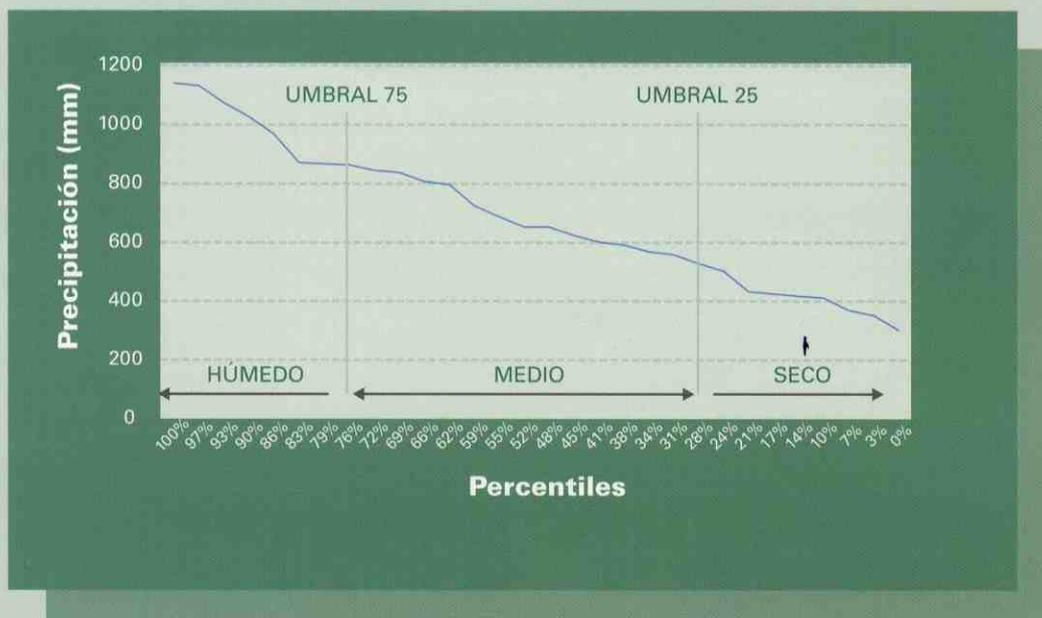
La determinación de la variabilidad climática se puede realizar para las precipitaciones y los caudales. Ésta se presenta en dos niveles: variabilidad interanual e intranual. La primera corresponde a la variación de la precipitación entre los distintos años, mientras que la segunda determina la variabilidad dentro del año.

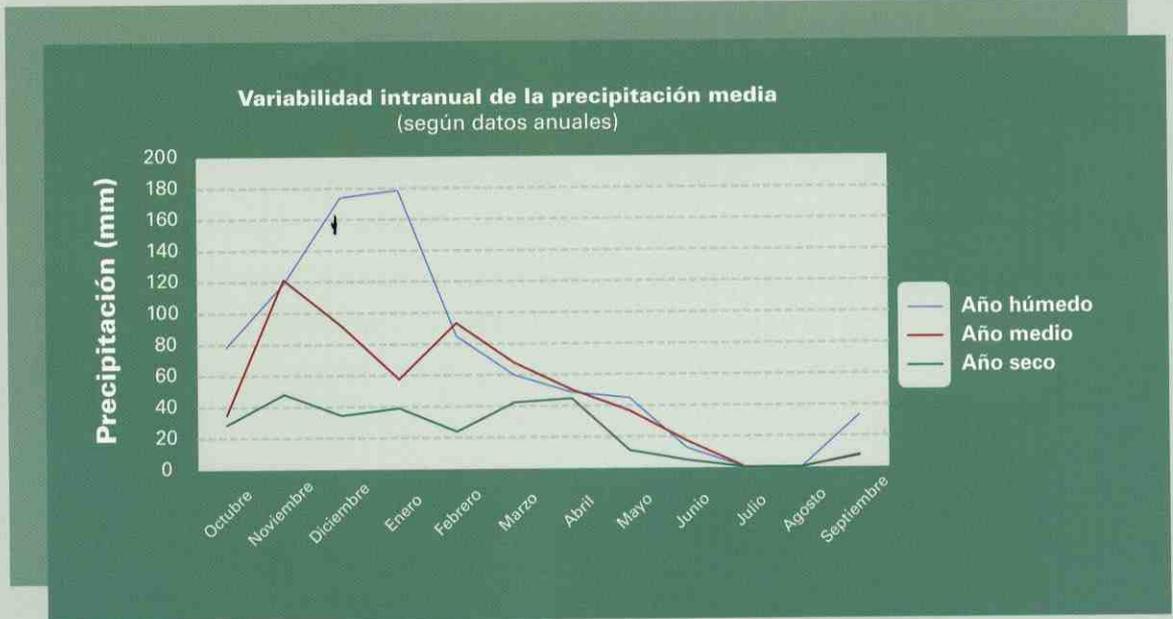
La variabilidad interanual se determina a partir de los datos correspondientes a la serie de precipitaciones o caudales

anuales, mediante la construcción de la curva de percentiles con el objeto de determinar los años húmedos, medios y secos y sus valores umbrales, según las siguientes premisas:

- Los años húmedos se definen como aquellos años que presentan un valor igual o superior al 75% del conjunto de datos (percentil 75). Definiéndose el año húmedo como la mediana de esta subserie de datos.
- Los años medios quedan comprendidos entre los percentiles 25 y 50, determinándose el año medio como la mediana de esta subserie.
- Los años secos son aquellos que presentan valores anuales con percentil igual o menor a 25, definiéndose por la mediana el año seco.

Este análisis permite definir los tres tipos de precipitaciones anuales, pero cuando se observan detalladamente



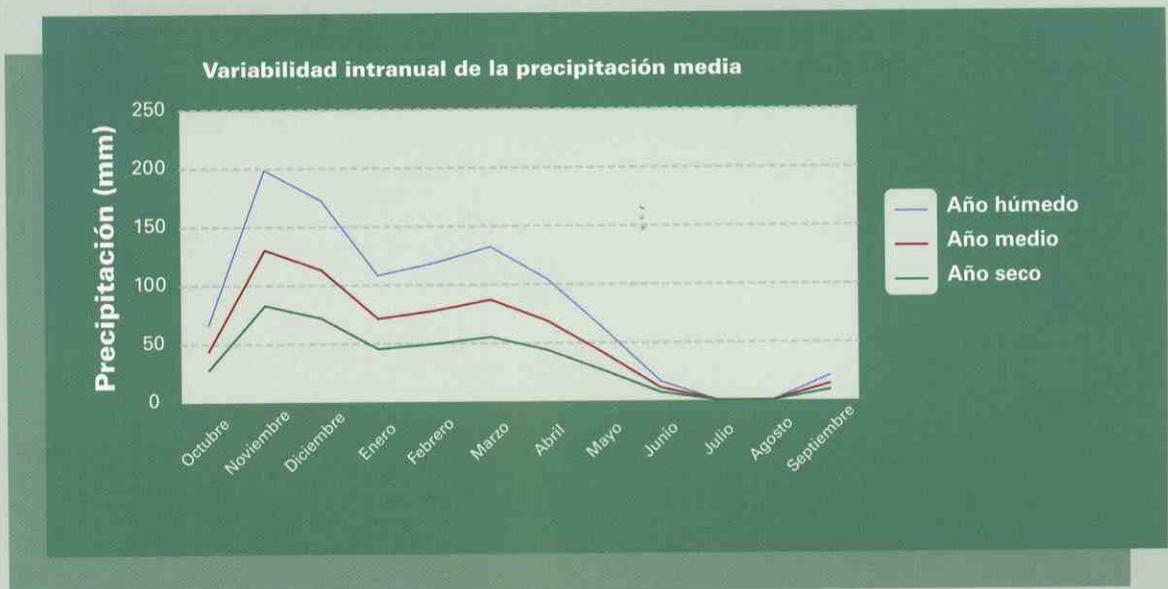


los resultados se aprecian diferencias no significativas, a escala mensual debidos a la variabilidad intranual, como puede observarse en la gráfica correspondiente.

Debido a la peculiaridad mencionada es preferible realizar el análisis mensualmente. Con ello, se obtiene una curva de percentiles para cada mes del año, determinándose los datos mensuales para los tres tipos de años.

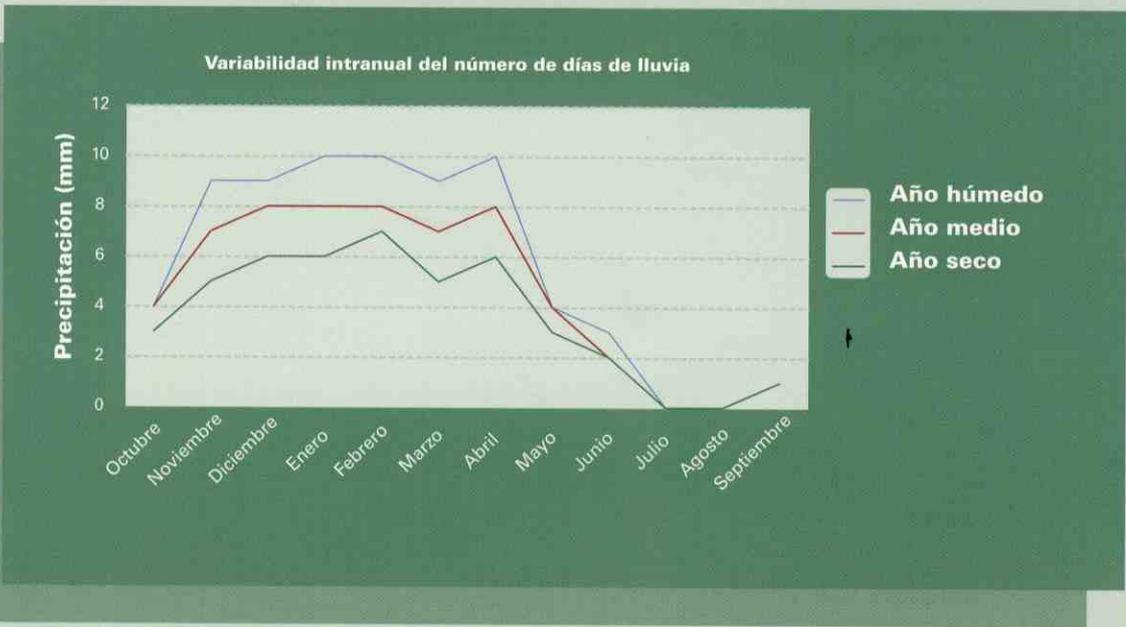
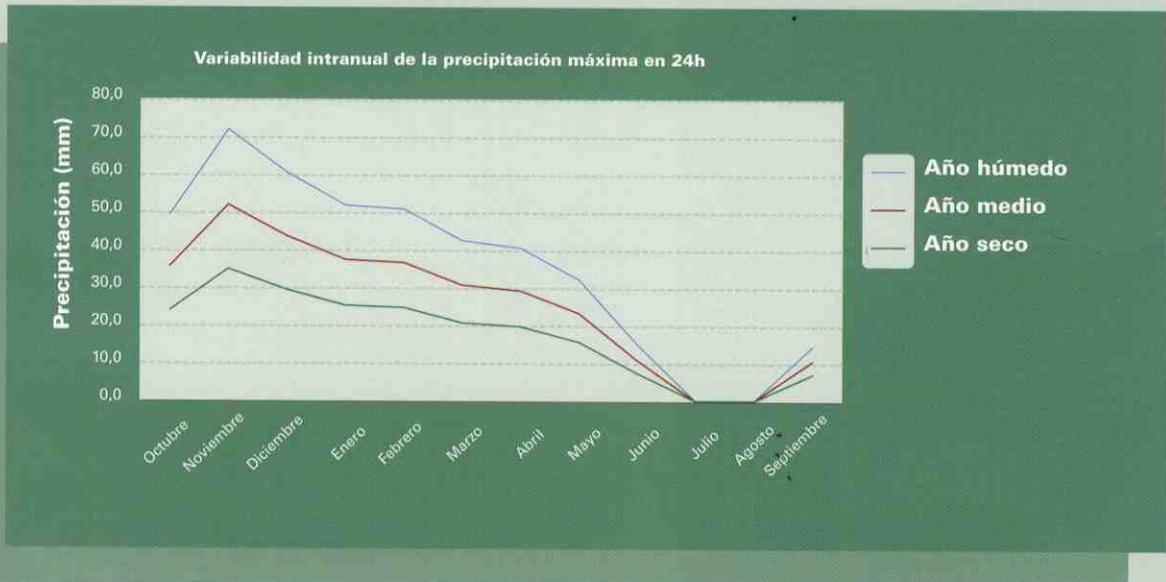
Los parámetros a caracterizar son: precipitación media, precipitación máxima en 24 horas y número de días de lluvia para el cálculo de la escorrentía, y los caudales medios para el cálculo de caudales. En ellos se caracterizan los umbrales y el valor central (mediana) de los tres tipos de años climáticos (húmedo, medio y seco).

El inconveniente de hacer el análisis a escala mensual es que se realiza una



cuantificación global extrema en los tres "tipos de año", dándose cálculos anuales por exceso o defecto respecto a la agrupación realizada, según el estudio de la variabilidad interanual. Esto se debe a que la valoración mensual asume que en los doce meses del año se producen valores extremos.

Para normalizar los datos se debe aplicar un coeficiente corrector resultado de la relación existente entre los valores anuales obtenidos: la variabilidad interanual e intranual (suma de los valores mensuales).





Este libro ha sido editado con criterios de ecoedición, cumpliendo con ello con el compromiso de la Consejería de Medio Ambiente de participar activamente en la mitigación de uno de los problemas que más afecta al sector editorial: el impacto medioambiental.





Unión Europea



JUNTA DE ANDALUCÍA