

PROYECTO DE I+D+i

Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos



Resumen de las actuaciones

NIPO: 770-11-317-6



PROYECTO DE I+D+i

Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos



Resumen de las actuaciones



El presente documento ha sido elaborado en el marco del desarrollo del Proyecto de I+D+i *Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos*.

La Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino viene desarrollando el citado proyecto desde el año 2009, mediante encomienda a la empresa TRAGSA (Empresa de Transformación Agraria, S.A.), y bajo la dirección facultativa de Francisco Javier Sánchez Martínez, Consejero Técnico del citado Ministerio y Mónica Aparicio Martín, codirectora de los trabajos.

Por parte de la empresa TRAGSA, la coordinación de la ejecución y el seguimiento de actuaciones han sido llevados a cabo por Alfonso Saiz de la Hoya Zamacola, José Manuel García-Guijas Redondo, Charo Calleja Matamoras, Miguel Hernanz Sánchez y Marta González Sánchez.

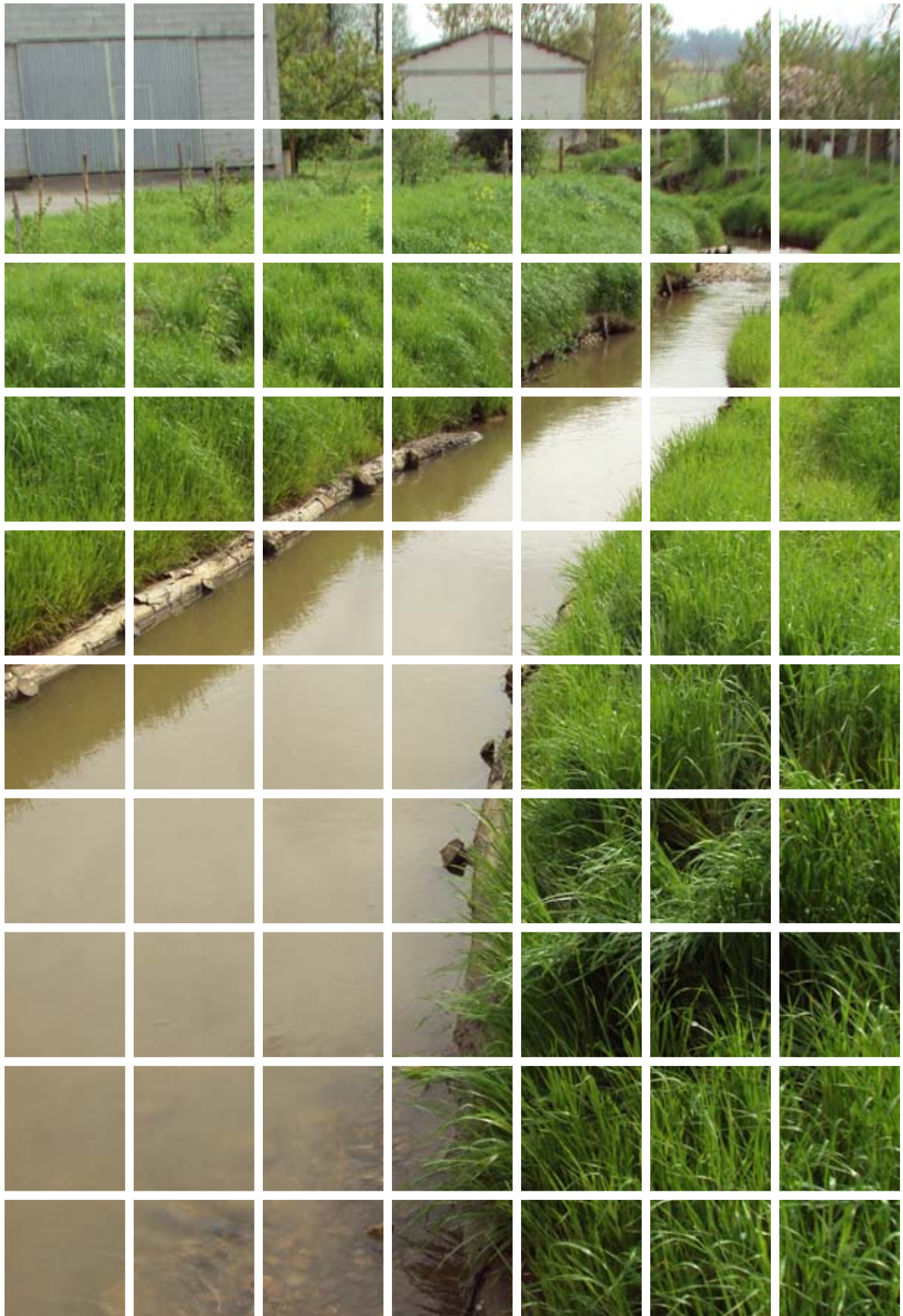
NIPO: 770-11-317-6



Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Proyecto | 7 |
| 1.1. Introducción | 7 |
| 1.2. Objetivos | 7 |
| 1.3. Desarrollo del proyecto de I + D+ i | 8 |
| 1.3.1. Recopilación de información previa | 8 |
| 1.3.2. Reuniones de presentación y coordinación con representantes de las confederaciones hidrográficas | 8 |
| 1.3.3. Selección de zonas de actuación y redacción propuestas de actuación | 8 |
| 1.3.4. Redacción y ejecución de actuaciones | 10 |
| 1.4. Técnicas de bioingeniería | 10 |
| 2. Descripción de las actuaciones | 13 |
| 2.1. Confederación Hidrográfica del Miño-Sil | 14 |
| 2.1.1. Actuación en el río Tamuxe a su paso por los términos municipales de O Rosal y Oia (Pontevedra)..... | 14 |
| 2.1.2. Actuación en el arroyo Vega del Rey a su paso por el término municipal de Cacabelos (León) | 16 |
| 2.1.3. Actuación en el río Boeza su paso por la localidad de Venta de Albares en el término municipal de Torre del Bierzo (León) | 17 |
| 2.2. Confederación Hidrográfica del Duero | 19 |
| 2.2.1. Actuación en el arroyo de la Hija de Dios a su paso por el término municipal de Hija de Dios (Ávila) | 19 |
| 2.3. Confederación Hidrográfica del Tajo | 21 |
| 2.3.1. Actuación en el río Linares a su paso por el término municipal de Riba de Saelices (Guadalajara) | 21 |
| 2.3.2. Actuación en el río Ibor a su paso por los términos municipales de Fresnedoso de Ibor y Castañar de Ibor (Cáceres)..... | 23 |
| 2.3.3. Actuación en el arroyo de Chilla a su paso por el término municipal de Candeleda (Ávila) | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4. Confederación Hidrográfica del Guadiana | 27 |
| 2.4.1. Actuación en el río Bañuelos a su paso por el término municipal de Fernán Caballero (Ciudad Real) | 27 |
| 2.4.2. Actuación en el arroyo de Piedra Lá a su paso por el término municipal de Porzuna (Ciudad Real) | 29 |
| 2.5. Confederación Hidrográfica del Segura | 31 |
| 2.5.1. Actuación en el río Segura a su paso por el término municipal de Cieza (Murcia) ... | 31 |
| 2.6. Confederación Hidrográfica del Júcar | 32 |
| 2.6.1. Actuación en el río Turia a su paso por el término municipal de Villastar (Teruel) ... | 32 |
| 2.6.2. Actuación en el río Turia a su paso por el término municipal de Libros (Teruel) | 33 |
| 2.7. Confederación Hidrográfica del Ebro | 35 |
| 2.7.1. Actuación en el río Ara a su paso por el término municipal de Fiscal (Huesca) | 35 |
| 2.7.2. Actuación en el río Jalón a su paso por el término municipal de Sabiñán (Zaragoza) | 36 |
| 2.7.3. Actuación en el río Piedra a su paso por el término municipal de Cimballa y por la localidad de Llumes en el término municipal de Monterde (Zaragoza) | 37 |
| 3. Seguimiento y resultados | 41 |



1. Proyecto

1.1. Introducción

Los ríos forman uno de los ecosistemas más valiosos por la diversidad de los procesos naturales a los que dan cabida, así como la variedad de especies de flora y fauna que albergan.

El desarrollo económico de la sociedad y la actividad humana de las últimas décadas ha sometido a los ecosistemas fluviales a presiones e impactos que generan un gran deterioro ecológico y ambiental, olvidando en muchos casos su carácter de fuente de recursos, de acercamiento y disfrute del medio ambiente.

Por este motivo el **Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino**, por medio de la **Dirección General del Agua**, está desarrollando una serie de proyectos y actuaciones en el marco de la **Estrategia Nacional de Restauración de Ríos**, cuya finalidad fundamental es la recuperación de las masas fluviales impulsando la gestión actual de nuestros ríos de forma que éstos alcancen un buen estado ecológico, de acuerdo también a los criterios de la Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

En la línea de mejorar las condiciones hidromorfológicas de nuestros cauces se ha desarrollado el **Proyecto de I+D+i de Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos**, que persigue aportar información contrastada sobre la aplicación de este tipo de técnicas (con el fin de recuperar la dinámica y resiliencia de los sistemas fluviales) para alcanzar los objetivos definidos por la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE, DOCE 2000).

Con anterioridad a este proyecto, si bien ya se podía observar el empleo de técnicas de bioingeniería aplicadas a la mejora del estado ecológico de los cauces, en general no se disponía de datos de seguimiento y evaluación de resultados a medio y largo plazo. También era escasa la información contrastada sobre técnicas y materiales idóneos para cada ámbito de aplicación en las cuencas hidrográficas españolas, así como las características hidráulicas de los cauces donde implantar estas actuaciones.

El proyecto de I+D+i se ha ejecutado en el marco del desarrollo del Real Decreto - Ley 9/2008, de 28 noviembre por el que se crea un Fondo Estatal de Inversión Local y un Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo.

El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino ha encomendado a la Empresa de Transformación Agraria, S.A. (Tragsa) la ejecución y realización del seguimiento para evaluar la eficacia de diferentes técnicas de bioingeniería, considerando el ámbito geográfico de aplicación.

El presente documento recoge la descripción detallada de las distintas actuaciones llevadas a cabo en diferentes cauces de siete Confederaciones Hidrográficas Intercomunitarias.

1.2. Objetivos

El Proyecto de I+D+i tiene como objetivo general evaluar la eficacia de una serie de técnicas de bioingeniería que persiguen la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de ríos y cuyos resultados se podrán incorporar en los proyectos de restauración o rehabilitación fluvial que se lleven a cabo para dar cumplimiento a la Directiva Marco del Agua.

Además del grado de consecución de los resultados obtenidos se ha considerado el ámbito geográfico de aplicación, su coste y su integración en el paisaje.

Entre los objetivos específicos que se persiguen se pueden destacar los siguientes:

- Diseñar las bases de los ensayos de investigación y seleccionar el ámbito de aplicación, de forma que los resultados puedan contribuir a definir qué técnicas son más eficaces en cada región para cubrir diferentes objetivos de restauración o rehabilitación (evitar desestabilización de márgenes, revegetación de taludes, recuperación del bosque de ribera, etc.).
- Ensayar las técnicas de bioingeniería mediante la ejecución de las obras necesarias en las diferentes regiones de la geografía nacional y en ríos con diferentes características.
- Establecer indicadores de seguimiento eficaces y objetivamente verificables para evaluar el grado de viabilidad de las técnicas, así como de las especies vegetales empleadas para cada región.
- Ejecutar el seguimiento de las actuaciones, abordar el análisis, evaluar los resultados y promover su divulgación.

1.3. Desarrollo del proyecto de I + D + i

El Proyecto de I+D+i contempla varias fases en su desarrollo, desde una serie de actuaciones previas o preparatorias y la ejecución de actuaciones en los cauces, hasta el mantenimiento de las mismas, las labores de seguimiento y la elaboración de conclusiones.

A continuación se resume cada una de ellas:

1.3.1. Recopilación de información previa

Se ha llevado a cabo un estudio del origen y aplicación de las técnicas de bioingeniería empleadas con anterioridad a este proyecto. De esta forma, se ha generado un inventario de las actuaciones de bioingeniería que se han ejecutado por distintas Administraciones y centros de investigación, tanto a nivel nacional como internacional.

1.3.2. Reuniones de presentación y coordinación con representantes de las confederaciones hidrográficas

A lo largo del año 2009 se ha mantenido una serie de reuniones de presentación y coordinación entre representantes de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Confederaciones Hidrográficas Intercomunitarias y personal técnico de la empresa Tragsa, con el fin de concretar las distintas actuaciones a desarrollar, sentar las bases de la ejecución de las mismas, establecer pautas de relación con los diferentes órganos de la Administración implicados y, en general, encauzar desde el inicio el proceso de decisión, ejecución y seguimiento.

1.3.3. Selección de zonas de actuación y redacción propuestas de actuación

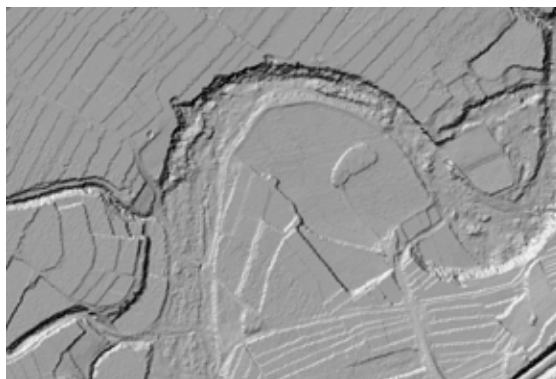
Fruto de estas reuniones, y a propuesta de los representantes de las Confederaciones Hidrográficas, se ha estudiado una serie de localizaciones en las que se ha considerado adecuado el desarrollo de las técnicas de bioingeniería a ensayar, bien por los problemas de estabilidad de taludes existentes, por necesidades específicas (pérdidas de suelo, presencia escasa o nula de vegetación de ribera, alteraciones sustanciales de la morfología del cauce) valorando en cualquier caso la idoneidad de aplicación en función de las características de cada tramo.

Para ello se han llevado a cabo en cada caso diversos estudios particulares con el fin de determinar el comportamiento y evolución en el tiempo de las técnicas a emplear, tal como se recoge a continuación:

- **Caracterización topográfica**

Se han llevado a cabo levantamientos topográficos de cada zona de actuación y se ha completado la información con cartografía preexistente de las márgenes inundables o bien con datos obtenidos mediante tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

Por otra parte, se han recopilado y digitalizado, en su caso, fondos fotográficos correspondientes al Vuelo General de España de 1956 ("vuelo americano" realizado entre los años 1956 y 1957), del S.I.G. Oleícola Español (años 1997 y 1998), de los últimos vuelos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y fotografías aéreas actuales del SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas).



Modelo digital del terreno elaborado a partir de tecnología LiDAR.

- **Caracterización ecológica**

Para evaluar la mejora ambiental pretendida sobre el medio fluvial se han llevado a cabo caracterizaciones ecológicas antes y después de la ejecución de las técnicas de bioingeniería en los tramos seleccionados. Los parámetros valorados para realizar la caracterización ecológica han sido:

- **Caracterización físico-química:** temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, nitritos, nitratos, etc.
- **Valoración del hábitat fluvial** mediante el índice IHF.
- **Calidad de la ribera** mediante los índices QBR y RQI.
- **Estado ecológico de las aguas** mediante el índice IBMWP.
- **Estudio de macrófitos** mediante el índice de vegetación acuática macroscópica.
- **Presencia o ausencia de nutria.**

- **Modelización hidráulica unidimensional y bidimensional**

Se han utilizado programas informáticos de modelización hidráulica unidimensional y bidimensional (HEC-RAS, IBER, etc.) para analizar el comportamiento hidráulico de los cauces en aquellos tramos donde se han ejecutado las técnicas de bioingeniería.

A partir de valores de caudal, calado, velocidad y tipo de régimen esperado, se han calculado la tensión tangencial en el contorno del cauce y la potencia hidráulica; con ello se pretende

proyectar las actuaciones atendiendo a las características del flujo y sus solicitaciones sobre las márgenes del río.



Modelo bidimensional de la velocidad para un caudal de 35 m³/s previo a la ejecución. Arroyo de Chilla, t.m. de Candeleda. Elaboración: SERS.



Modelo bidimensional de la velocidad para un caudal de 200 m³/s posterior a la ejecución. Arroyo de Chilla, t.m. de Candeleda. Elaboración: SERS.

1.3.4. Redacción y ejecución de actuaciones

Una vez realizados los diferentes estudios previos se han redactado las propuestas de intervención en los cauces, empleando aquellas técnicas de bioingeniería que se consideraron más idóneas para conseguir los objetivos propuestos.

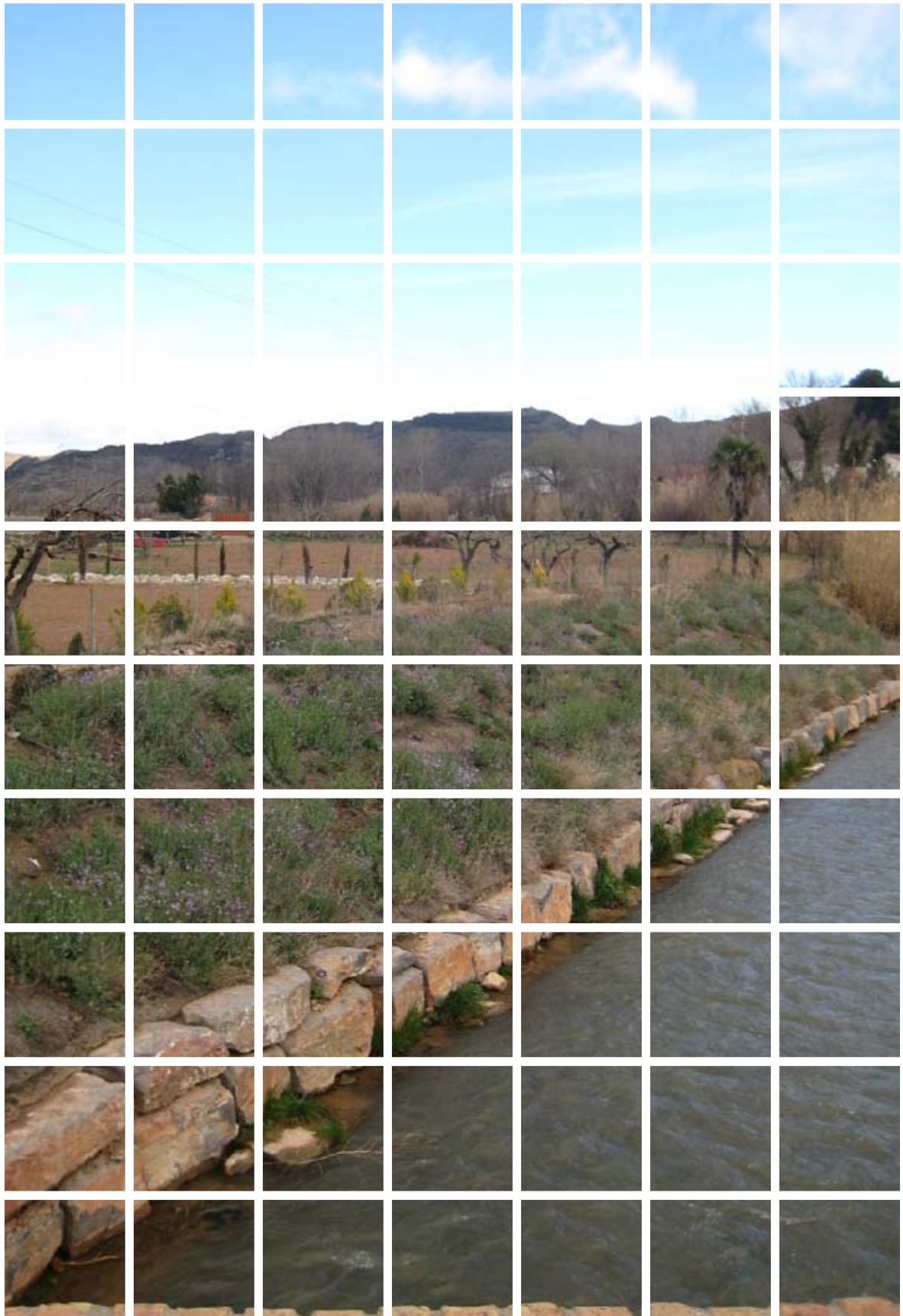
Posteriormente se han ejecutado las actuaciones a la vista de los resultados de estos estudios. Se ha intentado, en la medida de lo posible, que los diversos materiales inertes y vegetales necesarios fuesen recolectados dentro del entorno de los cauces.

1.4. Técnicas de bioingeniería

A continuación se describen las técnicas empleadas en las actuaciones de este proyecto.

- **Fajinas.** Estructura a base de ramas de material vegetal con capacidad de regeneración vegetativa que, según su disposición espacial en el talud, se pueden agrupar en diversas tipologías:
 - **Fajina de haces de ramas.** Estructura longitudinal para la estabilización del pie del talud mediante la revegetación de la ribera.
 - **Fajina de matorral escalonado.** Estructura longitudinal de estabilización compuesta por ramas, colocadas en pequeñas zanjas y cubierta con tierra.
 - **Fajina de cobertura de ramas.** Recubrimiento superficial del talud con ramas de salicáceas u otras especies con similar capacidad para brotar.

- **Fajina de empalizada trenzada.** Trenzado de ramas flexibles, normalmente de salicáceas, formando una estructura lineal y vertical para estabilizar el pie del talud.
- **Pantalla Wolf.** Estructura en la base del talud construída con estacas separadas un metro, entre las cuales se atan en diagonal fajinas vivas de 30 centímetros de diametro.
- **Entramado vivo.** Protección de los taludes mediante de una estructura plana vertical, construida a base de troncos cuyo trasdós se rellena con tierra vegetal.
- **Empalizada de defensa reforzada.** Estructura de estabilización construida con troncos de madera colocados longitudinal y transversalmente al talud, en varios planos horizontales y que se rellenan con tierra vegetal y material vegetal vivo.
- **Geomalla.** Estructura reticular de composición orgánica o inorgánica utilizada para la protección del suelo frente a la erosión superficial.
- **Gavionado cilíndrico.** Estructura cilíndrica y flexible que consiste en una malla, normalmente de polipropileno, rellena con gravas del propio cauce. Con este método se consigue un drenaje natural del talud evitando una posible erosión.
- **Matriz orgánica.** Estructura que, utilizada para evitar el impacto directo de la lluvia contra el talud, facilita la agregación del suelo, mejora la rugosidad y aumenta la sedimentación de sólidos en suspensión. Son también una fuente inmediata de aporte de materia orgánica, ayudando al rápido establecimiento vegetal, constituyendo un elemento integrador. Existe una gran variedad de matrices dependiendo de su composición y estructura.
- **Rollo estructurado.** Estructura cilíndrica de diámetro variable conformada en fibra de coco y sujeta mediante una malla. En dicha estructura se puede insertar vegetación ripícola para revegetar y asegurar la regeneración de la ribera una vez degradado el rollo.
- **Elementos inertes.** Protección de los taludes mediante la colocación de elementos pétreos sin ligante y, a ser posible, procedentes de la propia actuación. Su función principal es evitar la destrucción del talud por la acción de la corriente.
- **Protección con material vegetal.** Estabilización de taludes utilizando partes vivas o muertas de material vegetal (tocones, raíces, fustes, árboles enteros, etc.) de especies autóctonas y procedentes de la propia actuación. Se colocan de tal manera que los elementos vegetales se encuentran fijados al terreno y unidos entre sí formando barreras o elementos estructurales de diferente índole. Se pueden utilizar estacas, piquetas, alambre, cordel, clavos, grapas, etc.
- **Plantación con especies leñosas arbóreas y arbustivas** de especies autóctonas para generar un estrato vegetal, proteger la ribera del flujo del río y frente a posibles avenidas.
- **Estaquillado** empleando material vivo, habitualmente salicáceas, recolectado en las proximidades del lugar de actuación.



2. Descripción de las actuaciones

Se ha llevado a cabo un total de quince actuaciones agrupadas en ocho zonas de actuación en el ámbito de las cuencas hidrográficas intercomunitarias. En concreto se han realizado tres en la demarcación geográfica de la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, una en la de la Confederación Hidrográfica del Duero, tres en la Confederación Hidrográfica del Tajo, dos en la Confederación Hidrográfica del Guadiana, una en la Confederación Hidrográfica del Segura, dos en la Confederación Hidrográfica del Júcar y tres en la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La ubicación de dichas actuaciones se pueden observar en el siguiente mapa:



Distribución geográfica de las actuaciones de bioingeniería por Confederación Hidrográfica.

2.1. Confederación Hidrográfica del Miño-Sil

En la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil se han seleccionado tres cursos fluviales que presentaban signos evidentes de erosión.

El primero es el **río Tamuxe** a su paso por los términos municipales de O Rosal y Oia (Pontevedra). Presentaba numerosos daños en la vegetación de ribera, en las propiedades que circundaban este cauce y en los puentes que lo cruzaban, como consecuencia las riadas del año 2006.

En la provincia de León, concretamente en la comarca del Bierzo, se han desarrollado dos actuaciones. Una de ellas se ha ejecutado en un tramo del **río Boeza** a su paso por el término municipal de Torre del Bierzo, en el que se habían acumulado restos de árboles, debido a vendavales que tuvieron lugar en los últimos años, con presencia de residuos antrópicos y vegetación helófito e invasora. La otra actuación consistió en la restauración del **arroyo Vega del Rey** a su paso por el la localidad de Cacabelos. Dicho arroyo se encuentra encajonado entre edificaciones, muros y parcelas, por lo cual su ribera se encontraba desprovista de vegetación y desnaturalizada.

2.1.1. Actuación en el río Tamuxe a su paso por los términos municipales de O Rosal y Oia (Pontevedra)

La actuación ha tratado de solucionar la problemática de erosión y los daños que causaron las riadas mencionadas anteriormente, así como la elevada escorrentía y erosionabilidad del suelo debido a la falta de vegetación producto de los incendios estivales de ese mismo año.

Se ha actuado en dos tramos del **río Tamuxe** a su paso la parroquia de Loureza y por el lugar denominado Barrio Novo, en el término municipal de Oia, y otro tramo a su paso por el lugar denominado Urgal, en el término municipal de O Rosal.

Técnicas ensayadas:

- Empalizada de defensa reforzada.
- Colocación de rollo estructurado.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Colocación de geomalla.
- Estaquillado y plantación con especies arbóreas y arbustivas autóctonas.
- Elementos inertes para protección de talud.



Tramo de Loureza, situación previa a la restauración.



Tramo de Loureza, restauración a base de varias técnicas de bioingeniería: geomalla orgánica, empalizada de defensa reforzada y estaquillado.



Tramo de Loureza, situación posterior a la restauración.



Tramo de Barrio Novo, estado inicial.



Tramo de Barrio Novo, después de la restauración del talud mediante empalizada trenzada reforzada, geomalla orgánica, estaquillado y plantación.



Restauración de tramo de Urgal mediante geomalla y estaquillado.



Tramo de Urgal, restauración del talud mediante empalizada de defensa reforzada, geomalla orgánica y estaquillado.



Tramo de Urgal, estado del talud después de la restauración.

2.1.2. Actuación en el arroyo Vega del Rey a su paso por el término municipal de Cacabelos (León)

El arroyo de Vega del Rey se encontraba en un evidente estado de degradación antrópica palpable, a su paso por el casco urbano de la localidad de Cacabelos. Así mismo, la cercanía al cauce de las casas colindantes, la falta de vegetación en los taludes del arroyo, el exceso de vegetación arbustiva en otros puntos y el encajonamiento del cauce por los muros hizo necesaria la intervención.

Se han llevado a cabo labores para el acondicionamiento de la zona de actuación previas a la aplicación de las técnicas de bioingeniería. Además, para naturalizar el cauce, se han generado tramos meandri-formes que mantienen un canal de aguas bajas que favorece la diversidad de hábitats.

Técnicas ensayadas:

- Empalizada de defensa reforzada.
- Colocación de rollo estructurado.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Colocación de geomalla.
- Protección del talud mediante elementos vegetales.



Tramo del cauce antes de la intervención de restauración.



Tramo del cauce después de la restauración.



Situación de los taludes antes de la restauración.



Situación de los taludes después de la restauración.

2.1.3. Actuación en el río Boeza su paso por la localidad de Venta de Albares en el término municipal de Torre del Bierzo (León)

En el tramo del cauce del río Boeza sobre el que se ha actuado, se detectó vegetación acumulada en ambas márgenes. La vegetación arbustiva de la margen derecha era densa y con presencia de árboles de escaso porte y dominados debido a su estado de abandono, mientras que en la margen izquierda abundaba vegetación helófito e invasora cubriendo el talud. En la parte baja de la actuación existían numerosos árboles caídos en el cauce.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de tipo entramado vivo.
- Fajina de tipo cobertura de ramas.
- Fajina de tipo lechos de ramaje.
- Fajina con piedras.
- Fajina de tipo Pantalla Wolf.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Colocación de geomalla.
- Gavionado.
- Entramado vivo.
- Protección del talud mediante elementos vegetales.
- Elementos inertes.



Estado previo a las actuaciones de restauración.



Estado final una vez ejecutadas las técnicas de bioingeniería.



Taludes durante la ejecución de los trabajos.



Taludes tras la finalización de los trabajos.



Situación del tramo antes de aplicar las técnicas de bioingeniería.



Situación final tras ejecutar las fajinas de tipo Pantalla Wolf.

2.2. Confederación Hidrográfica del Duero

Se ha ejecutado una única actuación, ubicada en el término municipal de Hija de Dios, en la provincia de Ávila. Se ha actuado sobre el arroyo del mismo nombre a su paso por las inmediaciones del casco urbano.

2.2.1. Actuación en el arroyo de la Hija de Dios a su paso por el término municipal de Hija de Dios (Ávila)

Este arroyo presentaba graves problemas erosivos en varios puntos de su cauce a lo largo del tramo de actuación. En las inmediaciones de la localidad el **arroyo de la Hija de Dios**, los problemas de erosión habían provocado riesgo de caída de los apoyos de sujeción de la línea eléctrica y derrumbes en los taludes de las fincas colindantes.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de empalizada trenzada.
- Estaquillado con salicáceas.
- Plantación de *Fraxinus angustifolia*.



Situación previa al comienzo de las obras.



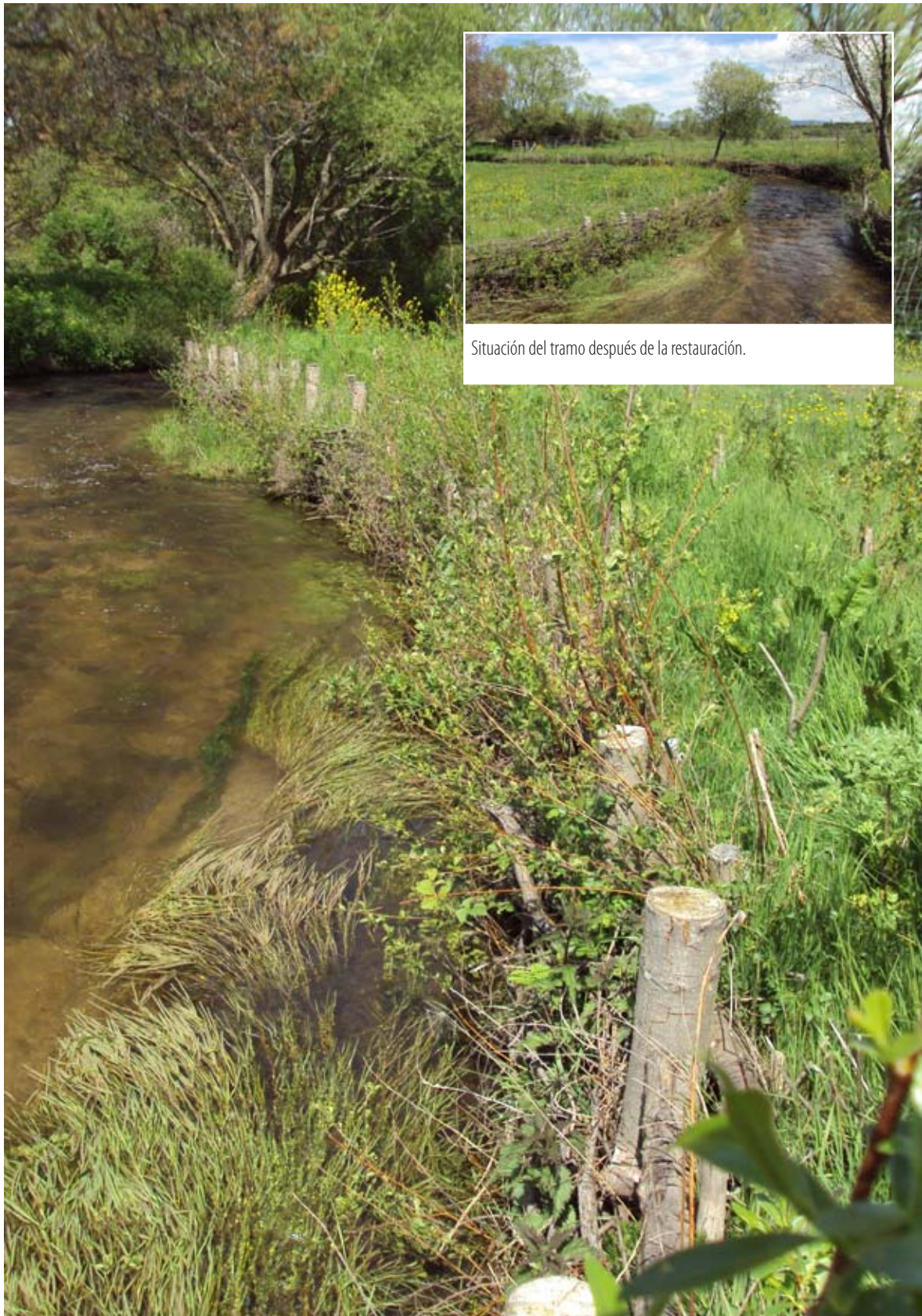
Situación tras la ejecución de la fajina de empalizada trenzada.



Situación de la actuación con rebrote del material vegetal.



Estado de las plantaciones en parada vegetativa.



Situación del tramo después de la restauración.

Estado de las plantas después de la restauración.

2.3. Confederación Hidrográfica del Tajo

Se han realizado tres actuaciones dentro de esta demarcación Hidrográfica. La primera de ellas se ha ejecutado sobre un tramo del cauce del **río Ibor**, a su paso por los términos municipales de Fresnedoso de Ibor y Castañar de Ibor, en la provincia de Cáceres. La segunda se localiza en el término municipal de Riba de Saelices, en la provincia de Guadalajara en un tramo del cauce del **río Linares**. La tercera se ha realizado en el término municipal de Candeleda, en la provincia de Ávila, sobre un tramo del cauce del **arroyo de Chilla**.

2.3.1. Actuación en el río Linares a su paso por el término municipal de Riba de Saelices (Guadalajara)

En el año 2006, la Confederación Hidrográfica ejecutó un proyecto de restauración de cauces y riberas en este tramo del **río Linares**. Consistió en naturalizar el cauce, de trazado, lineal, fruto de la unificación de parcelas de labor por los trabajos de concentración parcelaria, generando meandros que imitasen la sinuosidad natural del río.

Una vez hubo evolucionado esta corrección hidrológica en el tiempo se apreció que en determinados puntos de los meandros se habían generado procesos erosivos, que constituyeron el banco de pruebas para la utilización de las técnicas de bioingeniería.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de empalizada trenzada.
- Empalizada de defensa reforzada.
- Gavionado.
- Protección del talud mediante elementos vegetales.
- Estaquillado y plantación con especies arbóreas y arbustivas autóctonas.



Estado inicial de un talud en tramo a restaurar.



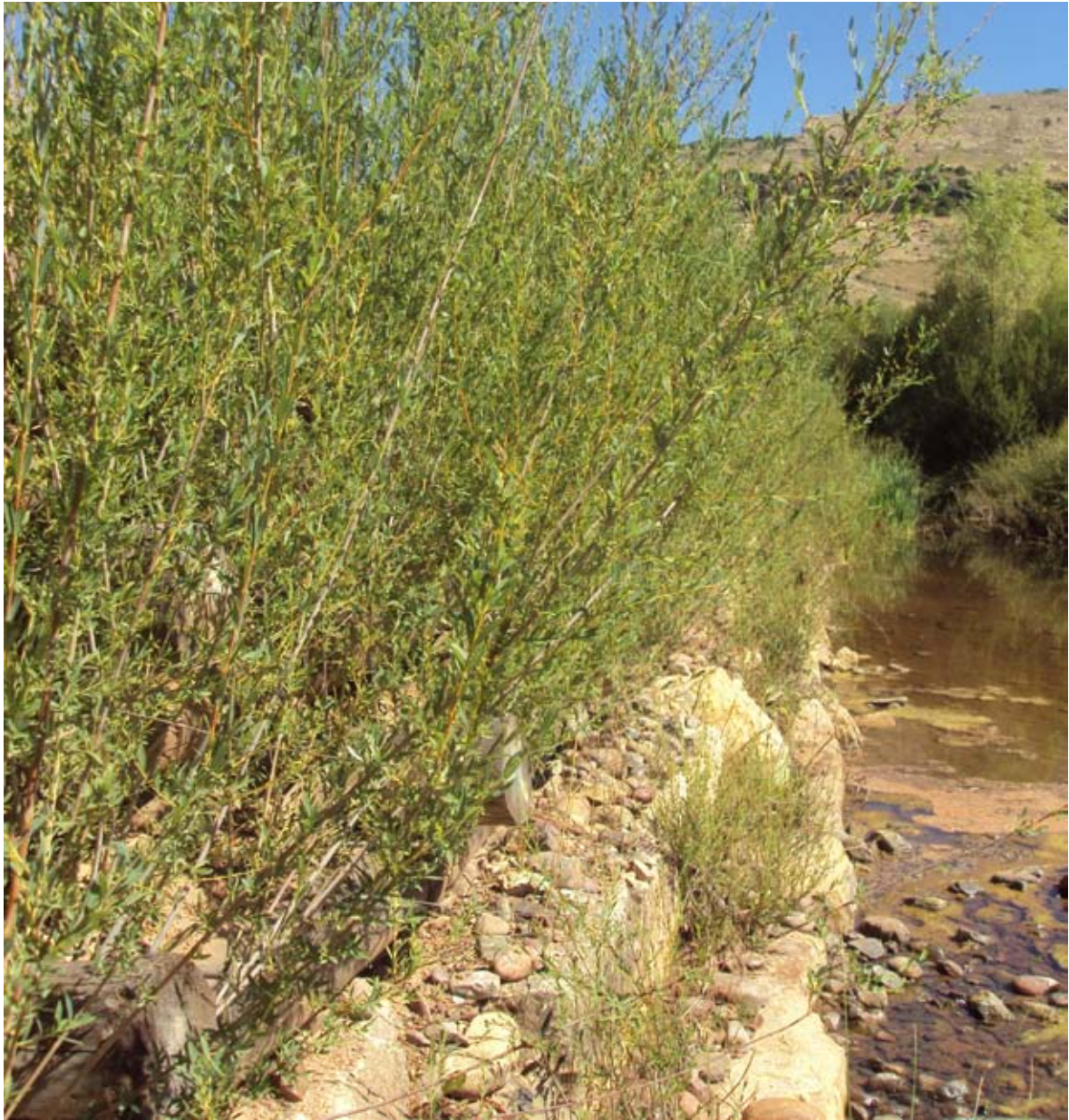
Estado del talud con dinámica erosiva.



Talud restaurado mediante empalizada de defensa reforzada.



Construcción de una fajina de empalizada trenzada.



Situación de la empalizada de defensa reforzada tras la ejecución de la restauración.



Estado inicial de un meandro del tramo a restaurar.



Muro de gaviones construido para contener talud.

2.3.2. Actuación en el río Ibor a su paso por los términos municipales de Fresnedoso de Ibor y Castañar de Ibor (Cáceres)

El tramo del **río Ibor** sobre el que ha actuado se veía influenciado hidráulicamente por un azud localizado unos 400 metros aguas abajo del puente denominado de la Herrería. La principal problemática era la discontinuidad longitudinal creada por el desvío del azud y la erosión progresiva en el talud de la margen derecha. Además, el proceso erosivo había provocado el lavado de sedimentos del suelo, con la consecuente pérdida de la vegetación en la margen derecha. Se encontraban, también, restos de material vegetal alóctono proveniente de una restauración previa sin capacidad de recuperación natural.

Técnicas ensayadas:

- Colocación de geomalla.
- Gavionado vegetado.
- Protección del talud mediante elementos vegetales.
- Plantación con especies arbóreas y arbustivas autóctonas.



Situación previa.



Plantaciones de diferentes especies.



Trabajos para la colocación de cubrimiento orgánico y protección vegetal para controlar la erosión.



Cubrimiento orgánico y protección vegetal.



Gavión flexible con rollo estructurado y cubrimiento orgánico.

2.3.3. Actuación en el arroyo de Chilla a su paso por el término municipal de Candeleda (Ávila)

El arroyo de Chilla tiene las características típicas del arroyo de alta montaña que transcurre, algo más de la mitad de su recorrido, por roca. Con el paso de los años en el tramo de actuación se había reducido la sección hidráulica del cauce, tanto de forma natural como antrópica, de manera que aumentaba la velocidad del agua. En consecuencia, se habían producido arrastres de sedimentos y bolos que habían erosionado las márgenes, afectando a fincas colindantes.

Para definir la nueva morfología del cauce se ha recurrido al estudio desarrollado por el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Geología de la Universidad Complutense de Madrid sobre fotografías aéreas de 1956 y de 1984. Mediante cartografía basada en fotointerpretación, se identificaron las geometrías de las barras más estables en el tiempo.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de lecho de ramas.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Estaquillado con salicáceas.
- Plantación con especies arbóreas y arbustivas autóctonas.



Estado inicial del cauce.



Estado posterior a la restauración del cauce.



Estado posterior a la restauración del cauce.



Estado posterior de la vegetación implantada.



Vegetación en la actuación del arroyo de Chilla.

2.4. Confederación Hidrográfica del Guadiana

Se ha actuado sobre dos tramos de los cauces del río Bañuelos y del arroyo de Piedra Lá, ambas actuaciones en la provincia de Ciudad Real. En ambos casos, los trabajos han consistido en la recuperación de varios puntos del talud con erosión pronunciada mediante el uso de técnicas de bioingeniería.

2.4.1. Actuación en el río Bañuelos a su paso por el término municipal de Fernán Caballero (Ciudad Real)

La erosión que se había producido en los taludes del cauce del río Bañuelos tenía su origen en la presión de la actividad ganadera, cuya presencia favorecía la compactación del terreno y la desaparición de la vegetación ripícola. Una vez que los taludes se hallaban desprovistos de vegetación los efectos erosivos de las avenidas ordinarias se veían incrementados.

Por otro lado, determinados puntos menos accesibles del tramo sobre el que se ha actuado presentaban una mayor cantidad de vegetación en el cauce, que disminuían su sección, aumentaban su rugosidad y, por tanto, producían una menor eficiencia en el desagüe de caudales. Todo ello había favorecido la erosión y el riesgo de inundación en las zonas aledañas.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de haces de ramas.
- Fajina de matorral escalonado.
- Fajina de cobertura de ramas.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Colocación de geomalla.
- Gavionado vegetado.
- Cubrición con matriz orgánica.
- Colocación de rollo estructurado.
- Protección del talud con elementos inertes.
- Estaquillado con salicáceas.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas autóctonas.



Situación inicial de los taludes.



Talud restaurado con la colocación de una geomalla fijada con estaquillas de sauce y protegido con una fajina de empalizada trenzada con escollera.



Talud restaurado mediante la utilización de una geomalla y plantación.



Talud restaurado mediante diversas técnicas.

2.4.2. Actuación en el arroyo de Piedra Lá a su paso por el término municipal de Porzuna (Ciudad Real)

Los problemas del arroyo de Piedra Lá eran producidos por la existencia de gaviones transversales en el cauce que modificaban el flujo generando problemas de erosión y afectando incluso a los caminos paralelos al arroyo. También había presiones por la presencia de ganado que afectaba a la vegetación existente en los taludes del arroyo, desprotegiéndolos frente a la erosión.

Técnicas ensayadas:

- Empalizada de defensa reforzada.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Cubrición con matriz orgánica.
- Colocación de rolo estructurado.
- Protección del talud con elementos inertes.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas autóctonas.



Situación inicial del cauce con los taludes erosionados.



Empalizada de defensa reforzada.



Detalle de empalizada de defensa reforzada.



Detalle de la combinación de elementos inertes con estaquillado.



Talud con protección de fajina de empalizada trenzada.

2.5. Confederación Hidrográfica del Segura

En esta confederación se ha ejecutado una única actuación localizada en el río Segura a su paso por la localidad de Cieza, en la provincia de Murcia, actuando sobre la margen derecha de dicho cauce a lo largo de un tramo de 1.750 metros.

2.5.1. Actuación en el río Segura a su paso por el término municipal de Cieza (Murcia)

En este tramo del río Segura la existencia de caña común, especie exótica invasora, suponía un grave problema en ambas márgenes y, especialmente, en la margen derecha por su proximidad y afección a una carretera de acceso a fincas. Además, la gran acumulación de residuos y el crecimiento de este tipo de vegetación favorecerían la proliferación de insectos en época estival y el desbordamiento por las crecidas en la época de gota fría.

Técnicas ensayadas:

- Cubrición con matriz orgánica.
- Colocación de rollo estructurado.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas autóctonas.



Invasión en el talud de la caña común.



Colocación en el talud de las cubriciones orgánicas de forma alterna y plantaciones.



Colocación de cubriciones orgánicas de forma continua y plantaciones.



Plantación sobre cubrición orgánica y biorrollos en el pie de talud.

2.6. Confederación Hidrográfica del Júcar

Se han ejecutado actuaciones en dos tramos del cauce del río Turia, una a su paso por el término municipal de Libros y otra en el término municipal de Villastar, ambas en la provincia de Teruel.

El río presenta varios puntos en los que el cauce está flanqueado por caminos de servicio a fincas agrícolas. En numerosas ocasiones, los caminos y otras infraestructuras próximas al cauce, se han visto afectados por la erosión que produce el agua en las márgenes del río.

2.6.1. Actuación en el río Turia a su paso por el término municipal de Villastar (Teruel)

El río Turia, en parte de su recorrido por el término municipal de Villastar, discurre paralelo a un camino de acceso a fincas agrícolas. En este tramo se ha observado la existencia de taludes erosionados, y cuyo desprendimiento puntual reducía la anchura de paso de los vehículos, con el consiguiente peligro.

Técnicas ensayadas:

- Entramado vivo.
- Estaquillado con salicáceas.



Situación inicial de los taludes.



Entramado vivo realizado.



Detalle del estaquillado.



Situación tras la finalización de los trabajos.

2.6.2. Actuación en el río Turia a su paso por el término municipal de Libros (Teruel)

En esta zona del río Turia se trató de solventar dos problemáticas existentes en el término municipal de Libros y relacionadas con las vías próximas al cauce.

Un primer tramo que discurre paralelo a un camino de acceso instalaciones locales, a través del casco urbano. Los problemas de erosión que soportaba el tramo entrañaban un serio peligro de deslizamiento del talud.

En el segundo tramo, a causa de la acción conjunta de la corriente principal y la salida de una obra de drenaje transversal al cauce, se estaba erosionando un talud sobre el cual se asentaba la carretera N-330 que une Cuenca y Teruel.

Técnicas ensayadas:

- Entramado vivo.
- Colocación geomalla.
- Empalizada de defensa reforzada.
- Colocación de rollo estructurado.
- Estaquillado con salicáceas.



Situación inicial del talud en el casco urbano de Libros.



Entramado vivo con la finalidad paliar los problemas erosivos.



Situación previa en el talud del área de descanso.



Talud restaurado mediante empalizada de defensa reforzada, cubrimiento orgánico, rollo estructurado y estaquillado del talud.



Detalle del talud restaurado, empalizada de rollos estructurados.

2.7. Confederación Hidrográfica del Ebro

En esta confederación se han llevado a cabo tres actuaciones diferentes entre sí. La primera es una actuación puntual que se ha ejecutado en el **río Ara** a su paso por la localidad de Fiscal, en la provincia de Huesca. En la segunda se ha restaurando un talud con graves problemas de erosión en el **río Jalón** a su paso por la localidad de Sabiñán, provincia de Zaragoza. La tercera se ha ejecutado en dos zonas del **río Piedra**, una de ellas, en el término municipal de Cimballa y la otra en el término municipal de Monterde, situadas ambas en la provincia de Zaragoza.

2.7.1. Actuación en el río Ara a su paso por el término municipal de Fiscal (Huesca)

El **río Ara** a su paso por la localidad de Fiscal en la provincia de Huesca presentaba, en el talud de la margen izquierda, una situación de riesgo de estabilidad, ya que vierten sobre él algunos desagües de pluviales. En dicho talud estaba asentada una cabañera que daba paso el ganado y que quedó inutilizada al haber sido arrastrada por las aguas. Además, se había creado un depósito de acarreo situado en el centro del cauce, que provocaba la desviación del río hacia la margen izquierda impactando así contra el talud mencionado.

Técnicas ensayadas:

- Colocación geomalla.
- Protección del talud mediante elementos inertes.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas.



Situación inicial de la zona de actuación.



Vista de la zona de actuación una vez ejecutada la misma.



Detalle de la zona restaurada con la construcción de una escollera vegetada y la colocación de una geomalla.



Zona restaurada del río Ara con el paso del tiempo.

2.7.2. Actuación en el río Jalón a su paso por el término municipal de Sabiñán (Zaragoza)

El río Jalón discurre por el casco urbano de la localidad de Sabiñán. En este trazado hay un talud en el cual se producen graves problemas de erosión debido a la incidencia de la corriente sobre el mismo y la proximidad de un barranco por el cual discurren las avenidas.

Técnicas ensayadas:

- Colocación geomalla.
- Protección del talud mediante elementos inertes.
- Estaquillado con salicáceas.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas.



Situación inicial del talud.



Plantaciones realizadas en los márgenes del río Jalón.



Situación tras la ejecución de la actuación.



Situación del talud con la vegetación implantada.

2.7.3. Actuación en el río Piedra a su paso por el término municipal de Cimballa y por la localidad de Llumes en el término municipal de Monterde (Zaragoza)

Se ha actuado en dos amplios tramos del río Piedra en dos ubicaciones. El primero en el casco urbano de la localidad de Cimballa. Se ha actuado tanto en el río Piedra como en el canal, procedente del antiguo molino del pueblo y que termina uniéndose al Piedra. Debido a los azudes del cauce, este tramo presentaba una elevada fragmentación longitudinal, deposición de limos y sedimentos y una capa de espesor variable de fango con alto contenido en materia orgánica. Esto unido a la intensidad agraria en la parte alta de la cuenca, provocan el crecimiento y desarrollo de una densa masa de vegetación palustre.

El río presentaba una escasa conectividad lateral con su ribera y la llanura de inundación y se encontraba encajonado debido, posiblemente, a trabajos de limpieza realizados años atrás que profundizaron el lecho del cauce.

Para la restauración, los propietarios de las fincas colindantes al río cedieron en torno a unos cinco metros de terreno, lo que ha permitido disminuir la pendiente de los taludes y desarrollar las técnicas de bioingeniería en los mismos.

En el otro tramo sobre el que se ha actuado, se encuentra en la localidad de Llumes, en el término municipal de Monterde. La problemática en este tramo era similar a la de Cimballa, por lo que también se cedió terreno para tender los taludes y ejecutar las técnicas de bioingeniería.

Técnicas ensayadas:

- Fajina de matorral escalonado.
- Fajina de empalizada trenzada.
- Entramado vivo.
- Instalación de matrices orgánicas.
- Colocación de rollo estructurado.
- Protección del talud mediante elementos vegetales.
- Estaquillado con salicáceas.
- Plantación con especies arbóreas y/o arbustivas.



Situación inicial del cauce en Cimballa.



Situación inicial en el cauce del canal del molino.



Estado del río Piedra tras la restauración.



Estado del río Piedra tras la finalización de las obra de restauración.



Estado inicial del río Piedra en Llumes.



Restauración de taludes mediante la construcción de entramados vivos.



Taludes revegetados.



Estado del canal del molino tras la restauración.



3. Seguimiento y resultados

Una vez finalizadas las obras se han llevado a cabo diversos estudios y seguimientos cuyo objetivo principal es evaluar la idoneidad en la elección y ejecución de las técnicas de bioingeniería. En el caso de no haber obtenido el resultado adecuado, determinar cuales han sido las causas.

Se ha efectuado un diagnóstico del estado ecológico, geomorfológico y de la vegetación de los tramos en los que se ha intervenido. Los resultados obtenidos en estas caracterizaciones han indicado que, hasta el momento, las actuaciones llevadas a cabo todavía son muy recientes y no suponen cambios significativos en el estado ecológico de estos ríos. Es decir, se debe valorar la posibilidad de repetir dichos diagnósticos en los próximos años.

Se ha realizado un seguimiento de la morfología fluvial, para el que se han llevado a cabo levantamientos topográficos y modelos hidráulicos de aquellos tramos donde se han presentado crecidas extraordinarias que puedan haber afectado a alguna de las técnicas desarrolladas.

Igualmente se ha efectuado un seguimiento medioambiental para el que se ha diseñado un protocolo que establece un control ordinario en cada periodo estacional y otro extraordinario, en el caso de que existiera algún fenómeno particular que tuviese incidencia significativa sobre la actuación.

En dicho seguimiento se miden multitud de parámetros como la **brotación**, indicador visual de la adaptación y por tanto viabilidad biológica de la restauración, la **temperatura** del suelo y el grado de **humedad del suelo**, ya que afectan a la velocidad de brotación y existen relaciones de dependencia significativas entre las tasas de humedad del suelo, la posición fisiográfica y los cambios en el paisaje.

Así mismo, se ha de tener en cuenta que las **especies** utilizadas en las restauraciones disponen de diferentes necesidades hídricas. Este hecho ha sido uno de los condicionantes a la hora de la elección de la composición florística en la restauración de ribera y su distancia/proximidad al cauce.

En la actualidad se están recopilando datos para su posterior análisis y valoración aunque de manera preliminar podemos observar que la viabilidad de las plantaciones está relacionada con la humedad edáfica y la presión ganadera, además de la idoneidad de la planta seleccionada en cada actuación.

Los muestreos realizados en los tramos de los ríos en los que se ha actuado se ha observado que las plantas o estaquillas del género *Salix* han tenido mayor porcentaje de marras a medida que se alejan de la lámina de agua. Las varas de salicáceas empleadas en la construcción de fajinas y dispuestas en la base del talud se han desarrollado con normalidad salvo en algunos tramos en los que la época de ejecución no fue la adecuada.

Las especies empleadas en las plantaciones han tenido diferente respuesta según su localización, se puede destacar la buena respuesta del *Alnus glutinosa* en la actuación del río Tamuxe (Pontevedra), del *Fraxinus angustifolia* en las actuaciones de las Confederaciones Hidrográficas del Duero y Tajo, de las salicáceas empleadas en el río Segura (Murcia) y de *Sambucus nigra* y *Crataegus monogyna* en la actuación del río Piedra (Zaragoza).

En algunas actuaciones la presencia de ganado y fauna silvestre han producido graves daños en las plantaciones. Este es el caso de las actuaciones ejecutadas en el arroyo Piedra Lá y río Bañuelos, ambas en la provincia de Ciudad Real.

Las empalizadas de defensa reforzada no han tenido problemas estructurales salvo en la actuación del río Tamuxe. En una de las estructuras ejecutadas se han detectado deslizamientos por efecto de la socavación del lecho bajo el pie de escollera. Este se ha ejecutado con bloque de piedra de cantera cuya forma prismática rectangular y en lecho algo inestable han favorecido a su desplazamiento y con ello el colapso de la estructura. Asimismo se ha observado lavado del material tanto de relleno como de coronación, todo ello debido al aumento de la cota de la lámina de agua.

En el resto de empalizadas de defensa reforzada se observa el lavado de tierra vegetal entre planos de troncos siendo más importante en aquellas en las que las estaquillas de salicáceas no han brotado.

Los entramados vivos ejecutados evolucionan correctamente cumpliendo los objetivos para los que se han empleado, a excepción de uno de ellos, en la actuación en el río Turia en Villastar. Debido a la acción de las crecidas primaverales, se han observado desperfectos en la estructura y pérdida de material de relleno en el trasdós. Para su análisis se han realizado diferentes estudios, hidrológico e hidráulico por medio de modelo HEC-RAS, concluyéndose que la estructura está bien dimensionada y los daños se han debido a la dirección con que incide el agua y a la separación entre troncos horizontales.

En una primera evaluación, el resultado obtenido de las geomallas se puede relacionar con la pendiente del talud en el que se han instalado, la siembra o hidrosiembra y la sujeción. Siendo la pendiente del talud el motivo principal de los desperfectos ocasionados en la actuación del río Bañuelos que en su mayor parte superan los 45°.

En el caso del rollo estructurado, ha funcionado correctamente salvo algunos casos puntuales como en el arroyo Vega de Rey en el que la velocidad del agua ha superado los 3 m/s y ha arrastrado la mayor parte de los rollos estructurados sobre los que no había dado tiempo a instalarse la vegetación y en el río Segura, donde los rollos estructurados han sufrido graves daños al haber estado sumergidos varias semanas por la regulación que tiene el río en la época de riego.

La protección del talud mediante material vegetal, a pesar de ser muy variado en cuanto a sus componentes y disposición, está dando gran estabilidad a los taludes en los que se ha utilizado aunque sería conveniente supervisar la evolución de estas estructuras cuando comiencen a degradarse los troncos, tocones, raíces y demás partes vegetales empleadas.

La bioingeniería requiere tiempo para desarrollar la vegetación implantada y sus raíces, que ayuden a estabilizar las márgenes de los ríos y mejorar su estado ecológico, por lo que se estima necesario prolongar los seguimientos para observar la evolución de cada técnica ensayada en el tiempo y con la información obtenida se pueda contribuir en futuros proyectos de restauración o rehabilitación fluvial.



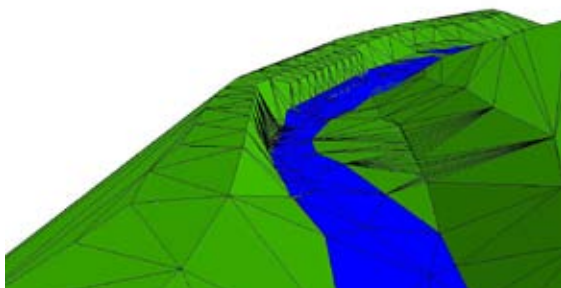
Toma de datos con higrómetro.



Toma de datos con higrómetro.



Medición de variables con higrómetro y termómetro junto a fajina.



Modelo hidráulico de la actuación del río Turia en Villastar (Teruel).



Realización de levantamiento topográfico.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

SECRETARÍA DE
ESTADO DE MEDIO
RURAL Y AGUA

DIRECCIÓN
GENERAL
DEL AGUA

