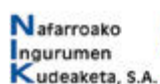




# BIOINGENIERÍA FLUVIAL

Manual técnico para el ámbito cantábrico



# BIOINGENIERÍA FLUVIAL

Manual técnico para el ámbito cantábrico

Proyecto cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)



Eskuliburua eratzen kolaboratzen duten erakundeak:





Edita: © GESTIÓN AMBIENTAL DE NAVARRA S.A. (2019)

Título: BIOINGENIERÍA FLUVIAL. Manual técnico para el ámbito cantábrico - Proyecto H2O Gurea

Autora: Paola Sangalli

Colaboradores:

GAN-NIK SA: Pedro Castillo Martínez, María Diez de Arizaleta Elduayen, Luis Sanz Azcárate, Ana Varela Álvarez

Gobierno de Navarra: Ignacio Bergara Bergera, César Pérez Martín, Miren Nekane Vizcay Urrutia

Agencia Vasca del Agua/Uraren Euskal Agentzia : Aitzpea Errasti Aizpurua, Víctor Peñas Sánchez

Diputación Foral de Gipuzkoa: Iñaki Bañares Santín, Aitor Lecuona Alzugaray, Iñigo Mendiola Gómez, Darío San Emeterio Martínez

Agradecimientos: Héctor Alonso Sanz, Paolo Cornolini, Albert Sorolla Edo, Guillermo Tardío Cerrillo

Dibujos: Sergio Sangalli

Maquetación: Nekane García Espadas

Fotos: Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje, Inés Álvarez Gómez, Paolo Cornolini, Florin Florineth, GAN-NIK SA, Bernard Lachat, SCIA SL, <http://www.h2ogurea.eu>

DEPÓSITO LEGAL: DL NA 2506-2019

#### Socios del proyecto H2O Gurea



# PRESENTACIÓN

Las técnicas del trabajo de restauración de ríos han experimentado una evolución importante en los últimos años, y ha sido la Bioingeniería del Paisaje, con su concepción integrada y dinámica del río como ente vivo que evoluciona, la clave de esa transformación.

En esa línea, tengo el gusto de presentar BIOINGENIERÍA FLUVIAL. MANUAL TÉCNICO PARA EL ÁMBITO CANTÁBRICO, una nueva publicación divulgativa que recoge las distintas técnicas que la Bioingeniería propone para la restauración fluvial y, en concreto, para estabilizar los márgenes de los ríos de esta zona.

El manual se ha elaborado a partir de los ejemplos realizados en el marco del proyecto H2O Gurea y describe las técnicas empleadas en cada caso, sirviendo de ejemplo metodológico para abordar las distintas problemáticas de la restauración fluvial desde la Bioingeniería del Paisaje. El objetivo de estas técnicas es acelerar los procesos naturales de recuperación de la vegetación de ribera, utilizando también las plantas como elementos vivos de construcción. Así, en sus páginas se explican con detalle entramados, también llamados muros Krainer, empalizadas o esteras de ramajes, presentadas como alternativas para resolver erosiones de distinto grado que tradicionalmente se han arreglado con escolleras.

BIOINGENIERÍA FLUVIAL. MANUAL TÉCNICO PARA EL ÁMBITO CANTÁBRICO, incluye además una introducción previa sobre el río como sistema, su climatología, la geología, morfología fluvial, la vegetación y fauna y la modelización hidráulica, un apartado de conclusiones y un completo glosario.

La autora es Paola Sangalli, presidenta de la Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje y una de las máximas expertas en la materia, que ha contado con la colaboración de los técnicos del Servicio de Economía Circular y Agua del Gobierno de Navarra, de la Agencia Vasca del Agua (URA) y de la Diputación Foral de Gipuzkoa; todos ellos coordinados por GAN-NIK, en el marco del proyecto H2O Gurea.

El proyecto H2O Gurea se desarrolla en cinco ríos principales -Bidasoa, Urumea, Oria, Urdazuri y Araxes- cuya gestión es compartida por las administraciones socias, y su objetivo es el trabajo con visión de conjunto de las cuencas transfronterizas, cumpliendo las directivas europeas en materia de gestión del agua. Entre sus objetivos específicos está también la mejora de la calidad de los ríos y de su conocimiento hidromorfológico, testando en ellos soluciones más naturales de regeneración fluvial como las que en este manual se proponen.

Animamos a que los gabinetes técnicos y administraciones contemplen este manual como alternativa a las defensas rígidas que se han venido aplicando en forma de escolleras, estructuras que difícilmente se integran en el ecosistema del río. La alternativa propuesta aquí, con ejemplos reales en nuestras comunidades, puede resolver las erosiones en riberas con soluciones más integradas en el medio. Ese es nuestro rumbo en el trabajo de recuperación de las masas fluviales, impulsado la conservación y la gestión de nuestros ríos de forma que éstos alcancen el mejor estado ecológico, una labor que tenemos que hacer entre todos y todas.

Itziar Gómez López  
*Consejera de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. Gobierno de Navarra*

Ernesto Martínez de Cabredo Arrieta  
*Director General de la Agencia Vasca del Agua*

José Ignacio Asensio Bazterra  
*Diputado de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas. Diputación Foral de Gipuzkoa*

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. EL RÍO COMO ECOSISTEMA.....	15
3. RESTAURACIÓN FLUVIAL. Principios y actuaciones .....	27
4. BIOINGENIERÍA FLUVIAL.....	35
5. PRINCIPALES TÉCNICAS .....	57
6. INTERVENCIONES REALIZADAS EN H2O GUREA .....	117
7. CONCLUSIONES .....	161
8. GLOSARIO.....	165
9. BIBLIOGRAFÍA .....	171

# 1. INTRODUCCIÓN



### De la planificación administrativa a la planificación transfronteriza: Los proyectos GURATRANS y H2O Gurea

Los ríos han sufrido en las últimas décadas los efectos de nuestro crecimiento económico y demográfico, perdiendo su espacio de movilidad y sus caudales sólidos y líquidos y con ello, de manera irreversible en muchos casos, una parte importante del patrimonio natural y paisajístico. Con objeto de frenar este deterioro, se ha producido en los últimos años un gran cambio en la concepción y tratamiento de nuestros ríos. El punto de inflexión lo constituyó la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA) por parte de la UE, que estableció un marco común para la protección de las distintas aguas (continentales, de transición, costeras y subterráneas) estableciendo como principal objetivo la consecución del buen estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, entendiendo el río como un sistema complejo con componentes físicas –morfología e hidráulica– químicas y ecológicas –fauna y flora– y no solo como mero cauce de agua.

Uno de los principales elementos introducidos por la DMA ha sido el cambio experimentado en la planificación hidrológica, que se propone a partir de las fronteras naturales –de las cuencas vertientes– y no de los límites administrativos de las regiones o de los estados nacionales. Esto implica necesariamente la cooperación en materia del agua, cooperación que ha cristalizado en Navarra en diversos proyectos transfronterizos, iniciándose con el proyecto transfronterizo GURATRANS, dedicado a la gestión integrada de los ríos transfronterizos. A su finalización, con la firma, el 19 de diciembre de 2014, de la Carta de gestión de las aguas compartidas, los firmantes, conscientes de la importancia y de la fragilidad de este bien común y de una falta de concertación entre los actores del agua, se ofrecieron de forma voluntaria a llevar a cabo acciones concretas para preservar los ríos transfronterizos. Una de esas acciones fue la preparación del proyecto H2O Gurea, proyecto financiado por la UE dentro de la primera convocatoria del programa POCTEFA 2014-2020 y que ha sido seleccionado entre 122 proyectos presentados dentro del eje 3: promover la protección, puesta en valor y uso sostenible de los recursos locales.

POCTEFA 2014-2020 es el acrónimo del Programa INTERREG V-A España-Francia-Andorra. Se trata de un programa europeo de cooperación territorial creado para fomentar el desarrollo sostenible del territorio fronterizo entre los tres países. POCTEFA cofinancia proyectos de cooperación transfronteriza diseñados y gestionados por actores de ambos lados de los Pirineos y de las zonas litorales que participan en el programa preservando el desarrollo inteligente, sostenible e integrador del territorio. Tal vez uno de los elementos que más requiere de este carácter integrador territorial sea el ámbito fluvial, de ahí la importancia del proyecto H2O Gurea.

El objetivo general del proyecto es tener una mejor visión de conjunto de las cuencas vertientes transfronterizas y contribuir a la aplicación de las medidas establecidas por las directivas europeas en materia de gestión del agua. Esto incluye otros objetivos específicos, como mejorar la calidad de los ríos o construir una gestión común del riesgo de inundación y, en especial, mejorar el conocimiento hidromorfológico de los cursos de agua del territorio y testar en los mismos soluciones más naturales de regeneración fluvial basadas en las técnicas de

Bioingeniería del Paisaje ya aplicadas en otros territorios. Realizar este proyecto transfronterizo es esencial para no reducir el enfoque agua a meros límites administrativos, sino tratarlo a la escala física de la cuenca vertiente.

Entre los socios del proyecto se encuentran Gestión Ambiental de Navarra, la Diputación Foral de Gipuzkoa y la Agencia Vasca del Agua que, fruto de las actuaciones que han llevado a cabo en este proyecto, así como de otras similares que realizan en la misma línea, tienen interés en promover el uso de la Bioingeniería en el ámbito fluvial como medida para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos de ámbito cantábrico, zona en la que se enmarca el proyecto. H2O Gurea cuenta igualmente con otros socios como son La Agglomération Pays Basque, el Ayuntamiento de Urdax y Servicios de Txingudi S.A., además del apoyo de socios asociados de peso como el Gobierno de Navarra, la Agencia del Agua Adour-Garona y el Departamento de los Pirineos Atlánticos.

Este proyecto, engloba tres ríos –Bidasoa, Urumea y Urdazuri– cuya gestión es compartida por las administraciones participantes en el mismo. Dentro del objetivo concreto de mejora del ámbito fluvial, se ha propuesto ensayar diferentes técnicas de Bioingeniería, para lo que se han seleccionado algunas obras realizadas por los socios del proyecto tanto en la Comunidad Foral de Navarra como en Euskadi. Estas obras se han llevado a cabo en tramos de cursos fluviales con diferentes problemas de erosión, con causas y condiciones climáticas e hidrológicas diferentes y, por tanto, utilizando diversas técnicas. Recogiendo la experiencia de estos casos, en el marco del proyecto H2O Gurea se ha planteado la realización del presente manual: Bioingeniería fluvial en el ámbito cantábrico. Manual de aplicación de técnicas de Bioingeniería del Paisaje.

Este manual pretende dar a conocer la eficacia de las diferentes técnicas de Bioingeniería del Paisaje para la estabilización de márgenes de cursos fluviales de la zona, a partir del análisis de los ejemplos realizados durante el proyecto en

Integrantes del proyecto H2O Gurea



El fin del proyecto es construir una visión de conjunto de las cuencas transfronterizas y actuar para alcanzar los objetivos de las directivas europeas en materia de gestión del agua

Los ríos han sufrido en las últimas décadas los efectos de nuestro crecimiento económico y demográfico, perdiendo su espacio de movilidad y, con ello, una parte importante de su patrimonio natural y paisajístico

## 1. INTRODUCCIÓN

Nuestro punto de partida es la comprensión del sistema fluvial como sistema complejo

los distintos ríos. Así mismo, el manual permite ahondar en el análisis necesario para la correcta selección de las técnicas más adecuadas para cada problemática y ámbito fluvial y establecer los indicadores de seguimiento eficaces y objetivamente verificables para evaluar el grado de viabilidad de las técnicas.

Partiendo de la comprensión del sistema fluvial como un sistema complejo, analizaremos brevemente las distintas componentes del ámbito fluvial, el papel de la Bioingeniería del Paisaje en la restauración fluvial y la descripción de las técnicas empleadas durante el proyecto, para terminar con el análisis concreto de casos realizados, a modo de ejemplo metodológico para dar a conocer cómo abordar un proyecto de restauración fluvial mediante estas técnicas.



## 2. EL RÍO COMO ECOSISTEMA



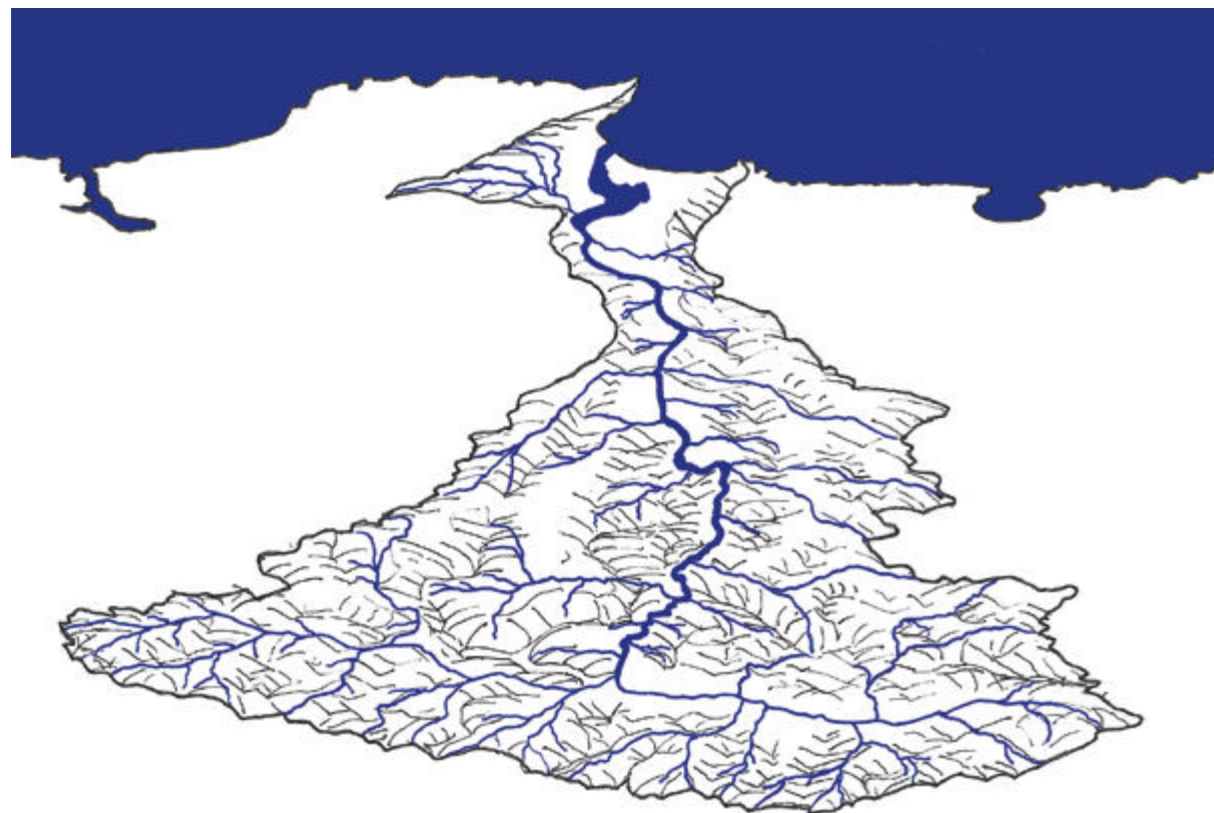
Los ríos se configuran a partir del funcionamiento hidrológico de su cuenca vertiente

### 2.1 EL RÍO, UN SISTEMA COMPLEJO

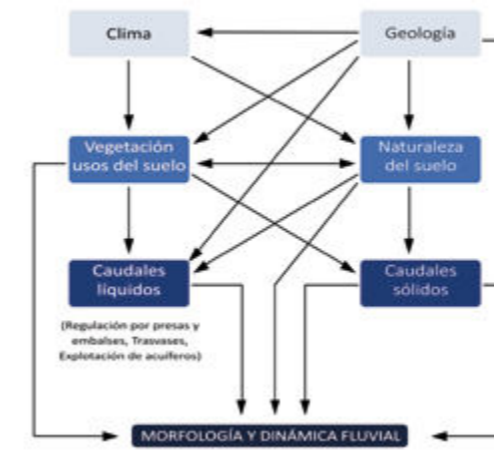
Tal y como hemos visto en la introducción, los ríos se configuran a partir del funcionamiento hidrológico de su cuenca vertiente, parte del territorio cuyas precipitaciones, en forma de nieve, lluvia o niebla, drenan por un único punto de salida o de drenaje natural cuya superficie está delimitada por la línea divisoria de aguas que la separa de las cuencas adyacentes. Dicho funcionamiento hidrológico determina el régimen de caudales y la cantidad de sedimentos que circulan por los cauces fluviales y éstos, a su vez, son los que establecen las dimensiones de su morfología longitudinal y transversal, así como su conexión con los flujos sub-superficiales. A partir de las características morfológicas de los ríos y de los flujos de agua y de los sedimentos que por ellos circulan se crean los hábitats fluviales sobre los que se asientan las diferentes comunidades acuáticas y de vegetación.

Los ríos son sistemas complejos y en evolución permanente en los que todos los componentes, tanto físicos (morfología y dinámica), como biológicos (fauna y flora) y químicos (calidad del agua) interaccionan entre sí de manera directa. Por lo tanto, una alteración en uno de estos componentes generará una modificación en los restantes, de manera que el río reajusta su funcionamiento buscando una optimización de los procesos que en él se desarrollan, en relación con las condiciones del entorno. El buen funcionamiento fluvial y, por tanto, el buen estado ecológico del río depende de optimizar el funcionamiento conjunto de tres aspectos: el aspecto químico o de calidad del agua; el aspecto físico, caudales tanto sólidos (sedimentos) como líquidos (cantidad de agua) que configuran una morfología y dinámica fluvial; así como el aspecto biológico, la fauna y la flora que se asocian con dicha dinámica.

Cuenca vertiente. El río Bidasoa. Ilustración: S. Sangalli



Los cursos fluviales tienen cuatro dimensiones: longitudinal, transversal, vertical y temporal



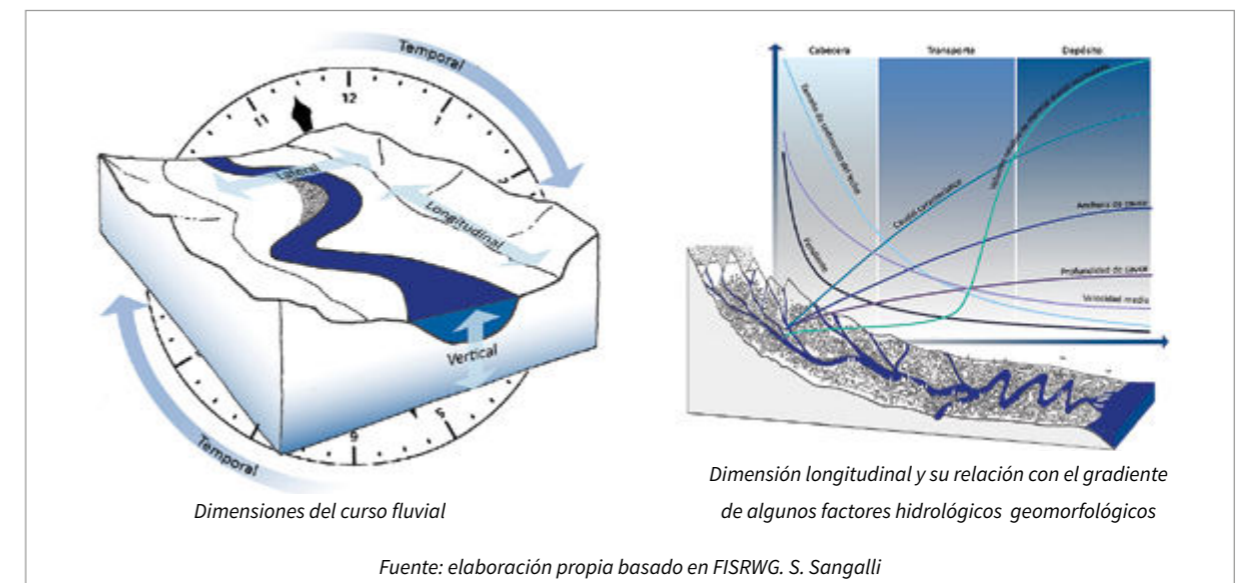
Fuente: Restauración de Ríos y Riberas. Esquema: S. Sangalli

La morfología fluvial y su dinámica dependen de las características bio-geográficas e hidromorfológicas de su cuenca vertiente (clima, vegetación, usos del suelo, régimen de caudales, geología, naturaleza del suelo, caudales sólidos).

En definitiva, un río es un ecosistema, esto es, un sistema natural formado por un conjunto de seres vivos y el medio físico donde se relacionan: la principal función hidrológica de los ríos, como se recoge en el libro *Restauración de ríos y riberas*, “es el transporte aguas abajo de las escorrentías y sedimentos excedentes de la cuenca vertiente... una característica general de los ríos en buen estado ecológico es la de presentar una continuidad de flujos de agua, sedimentos, energía, materia orgánica, organismos... desde su cabecera hasta su desembocadura”.

Para caracterizar adecuadamente este ecosistema se analizan distintos aspectos como son:

- Geomorfología y continuidad
- Régimen hidrológico e hidráulico
- Calidad del agua
- Fauna
- Vegetación



Fuente: elaboración propia basado en FISRWG. S. Sangalli

En los tramos altos de los ríos encontramos bloques de piedra y cantos rodados grandes, en los tramos medios y bajos vamos encontrando tamaños cada vez más pequeños, con gravas, arenas y sedimentos finos

Estos son los distintos elementos que se tienen en cuenta a la hora de analizar un río, su estado ecológico y las eventuales necesidades de restauración.

El funcionamiento fluvial responde al principio de continuidad de los flujos y conectividad de los hábitats en sus tres dimensiones espaciales: longitudinal, transversal y vertical, y la cuarta dimensión, la dimensión temporal.

## 2.2 EL RÍO Y SUS ELEMENTOS

### 2.2.1 Hidro y geomorfología fluvial: Dimensiones de los cursos fluviales

Los cursos fluviales tienen cuatro dimensiones: las dimensiones espacial-longitudinal, transversal y vertical, y la cuarta dimensión, la dimensión temporal.

A escala de la cuenca vertiente, la **dimensión longitudinal** hace referencia a la conexión del sistema fluvial aguas arriba o abajo y posee una función como corredor y nicho ecológico, desde la cabecera hasta la desembocadura. Esta dimensión es la de mayor importancia, dado que es el eje central que mantiene la continuidad de los flujos y por el que se transfiere materia (agua, sedimentos, nutrientes y materia orgánica) y energía de la parte alta de la cuenca a las partes más bajas. Son muchas las variables morfológicas e hidráulicas que tienen que ver con el perfil longitudinal: pendiente, velocidad, energía hidráulica; variables que condicionan la anchura del cauce o el tamaño de los sedimentos arrastrados.

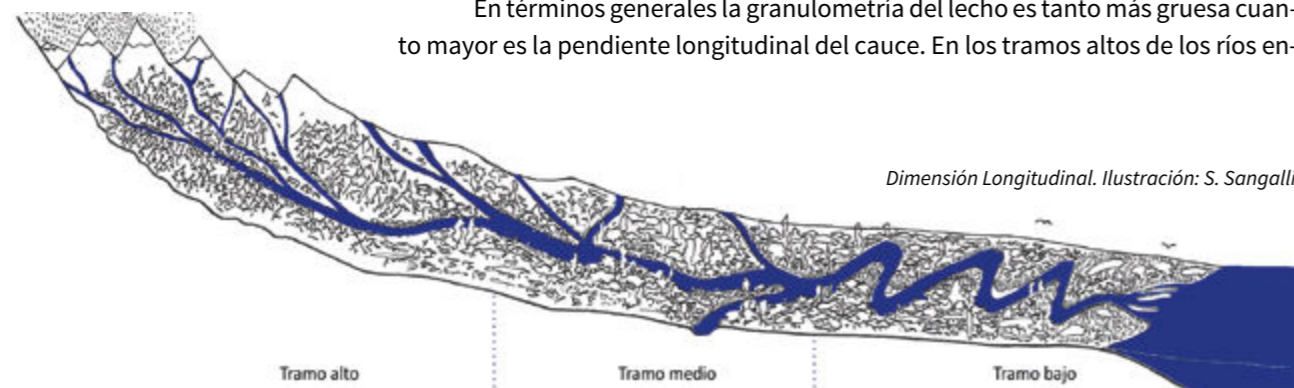
Se distinguen normalmente tres tramos del río en un perfil longitudinal:

**Tramo alto:** caracterizado por el predominio de procesos de erosión. Valles estrechos con elevadas pendientes, sin llanura de inundación, elevada velocidad y aguas bien oxigenadas, lecho de roca y bloques de piedra, ictiofauna de salmónidos y ausencia o presencia limitada de vegetación riparia o de ribera.

**Tramo medio:** caracterizado por el predominio de procesos de transporte. Son valles más amplios, aparecen zonas de inundación, pendientes menos pronunciadas y velocidades medias, aguas menos frías y de oxigenación media, gravas y cantos rodados en el lecho, ictiofauna de salmónidos y ciprínidos, presencia de vegetación riparia o de ribera.

**Tramo bajo:** caracterizado por el predominio de procesos de sedimentación, pendientes muy bajas y llanuras de inundación, velocidad del agua lenta, aguas cálidas y poco oxigenadas, cauce sinuoso (meandros), materiales finos en el lecho –arenas y limos– formando depósitos e islas, ictiofauna de ciprínidos y presencia de vegetación riparia o de ribera.

En términos generales la granulometría del lecho es tanto más gruesa cuanto mayor es la pendiente longitudinal del cauce. En los tramos altos de los ríos en-



Perfil longitudinal de un río



Tramo alto

Tramo medio

Tramo bajo

contramos bloques y cantos rodados grandes, en los tramos medios y bajos vamos encontrando tamaños cada vez más pequeños, con gravas, arenas y sedimentos finos. Dado que el sustrato varía, así como la energía del agua, existe igualmente un gradiente en la vegetación de ribera existente y en su anchura, mayor cuanto menor pendiente tenga el cauce y menor energía (velocidad y tensión) lleve el agua.

La **dimensión transversal** está delimitada por una franja que pertenece al ámbito fluvial en la cual se producen periódicamente procesos de inundación y de movilidad lateral del río. En otras palabras, la relación que el ecosistema fluvial tiene con el ecosistema forestal adyacente a través del bosque o vegetación de ribera de los ríos. La conectividad lateral permite que el río acceda a su llanura de inundación durante los eventos de crecidas, resulta crítica para el mantenimiento saludable del ecosistema. Los nutrientes y la materia orgánica son transportados desde la llanura de inundación al cauce, las especies de plantas y vida silvestre florecen en las diversas etapas en las áreas inundadas y las especies acuáticas obtienen acceso a hábitats estacionales esenciales para sus ciclos de vida.

De esta manera, en una sección transversal del valle podemos diferenciar, desde el punto de vista ambiental, lecho, cauce, ribera y margen; o bien, desde el punto de vista de normativa hidráulica del espacio fluvial, Dominio Público Hidráulico, Zona de Servidumbre, Zona de Policía.

### Correlación entre la zonificación ambiental y la zonificación hidráulica

- **Cauce:** Espacio susceptible de ser ocupado por las aguas en su caudal habitual (cauce menor o de estiaje) y sus crecidas ordinarias (cauce mayor o de crecida) formado o no por varios lechos interconectados. El cauce constituye el soporte del ecosistema acuático estricto.

- **Ribera:** Franja definida por la superficie mojada habitualmente comprendida entre el cauce de estiaje y el de **máxima** crecida ordinaria, esto es, entre las aguas bajas y las aguas altas del río. En los ríos permanentes estos taludes se ven protegidos por vegetación hidrófila, generalmente arbustiva y flexible, especialmente adaptada para resistir la fuerza del agua.

- **Margen:** Es la franja lateral de los cursos fluviales y comprende las llanuras aluviales inmediatas al cauce y sus márgenes, donde se producen las inundaciones extraordinarias, y está protegida por una franja de vegetación higrófila,

La dimensión transversal se puede representar a través del perfil transversal del río, diferenciándose entre lecho, cauce, ribera y margen

La consideración de la dimensión temporal asegura el desarrollo futuro de procesos básicos para un buen estado del río, al asociarse con la regeneración de los flujos de materia y energía en el conjunto del sistema fluvial

dependiente del nivel freático del acuífero fluvial, generalmente de porte arbóreo vigoroso y que presenta una estructura característica, conocido como el bosque de ribera o bosque de galería.

La **dimensión vertical** o conexión de los sistemas fluviales tiene lugar en el substrato situado por debajo del lecho del cauce, conocido como medio hiporréico. A través de él se producen una serie de mecanismos de filtración de agua, nutrientes y organismos, muy importantes para el funcionamiento ecológico de los cauces y sus riberas.

La **dimensión temporal** es la cuarta y la que da pie a que el funcionamiento de un río vaya modificándose con el tiempo en función del régimen hídrico y de otras variables asociadas. La consideración de la dimensión temporal asegura el desarrollo futuro de procesos básicos para un buen estado del río, al asociarse con la regeneración de los flujos de materia y energía en el conjunto del sistema fluvial.

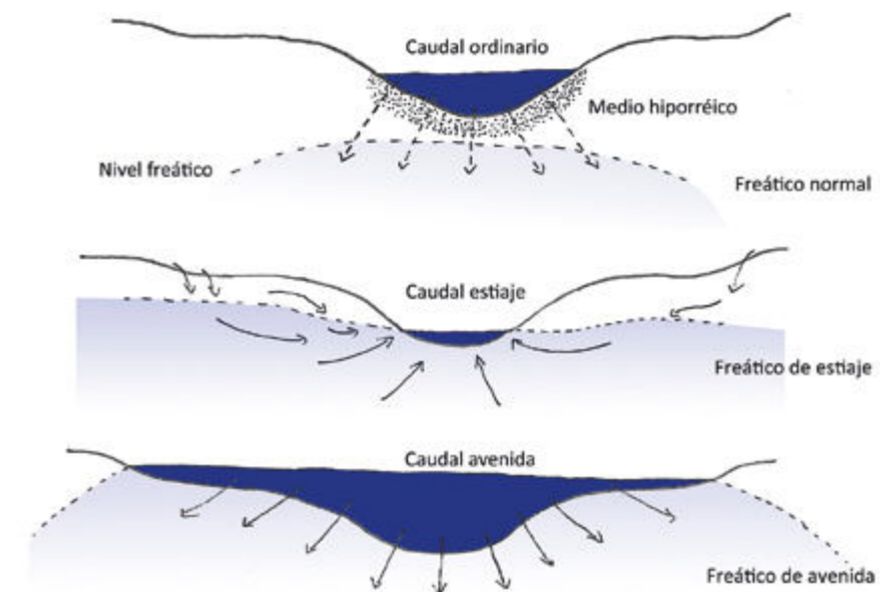
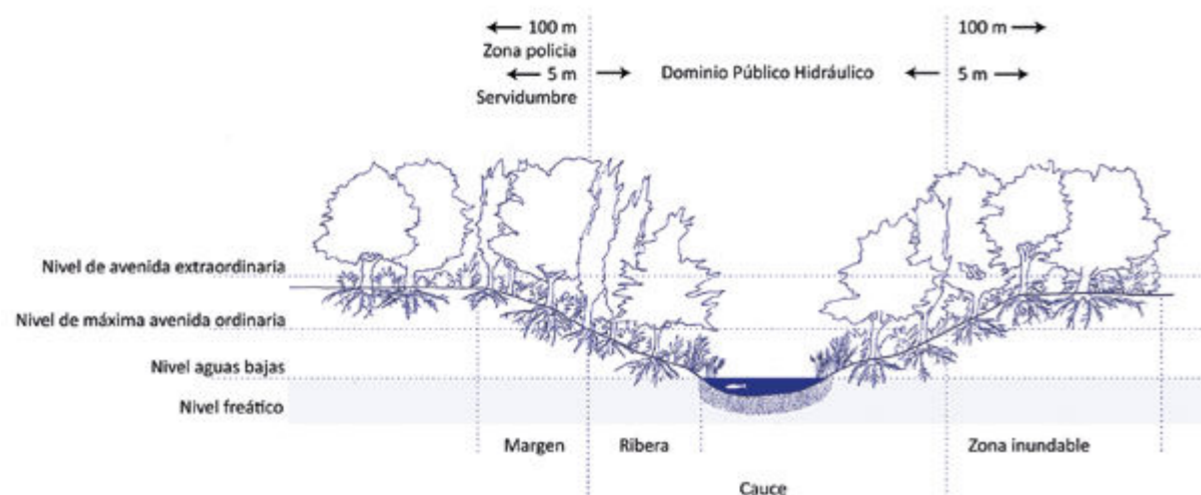
Estas dimensiones configuran el **ESPACIO FLUVIAL**: espacio del valle que, en condiciones naturales, el río necesita para un desplazamiento con el que conseguir un adecuado equilibrio hidro-sedimentológico, esto es, el espacio que el río, como ecosistema, necesita para cumplir sus funciones ecológicas en toda su dimensión y magnitud.

### 2.2.2 Régimen hídrico e hidráulica fluvial

El régimen hídrico hace referencia a la cantidad de agua que circula por un río a lo largo de un periodo de tiempo y que es función de la frecuencia de las precipitaciones. Se denomina caudal a la cantidad de agua que circula por una sección determinada en una unidad de tiempo.

El caudal o cantidad de agua que circula por un río varía a lo largo del año y, generalmente, en el año se produce un mínimo de caudal en periodo de bajas precipitaciones, el caudal de estiaje, mientras que los máximos dan lugar a los caudales de crecida, distinguiéndose entre crecida ordinaria o máxima crecida ordinaria. Junto con esta variación anual, se produce una variación interanual de las precipitaciones que viene determinada por las crecidas extraordinarias.

Dimensión transversal de un río. Ilustración: S. Sangalli



Dimensión vertical del río. Ilustración: S. Sangalli

Esta variación de las precipitaciones sigue un patrón de frecuencias y, en función del periodo de tiempo considerado o periodo de retorno, podremos tener distintos caudales extraordinarios. Es lo que se conoce como  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$  o  $Q_{500}$ . Por ejemplo, el  $Q_{10}$  sería el caudal que se genera con una precipitación cuya magnitud tiene una probabilidad de que se produzca con una frecuencia de unos 10 años.

“El régimen de crecidas genera la forma y los procesos fluviales, confiere funcionalidad a las dimensiones del cauce y de las márgenes y determina la estructura de la comunidad biológica” (González del Tánago, García de Jalón, 2007).

Alteraciones al régimen hídrico debido a captaciones, presas, etc. pueden disminuir la cantidad de agua y también de sedimentos, provocando fuertes alteraciones en los hábitats acuáticos. Resulta por tanto fundamental para la supervivencia de las comunidades vegetales y animales garantizar el caudal ecológico, o lo que es lo mismo, el caudal mínimo que garantiza dicha supervivencia.

### Parámetros hidráulicos

Como hemos visto, el río transporta, además de agua y sedimentos, materia orgánica y energía. Energía que establece su dinámica fluvial, de erosión, transporte y sedimentación. Así mismo, hemos visto que en la dimensión longitudinal se produce un gradiente de pendiente y cantidad de agua que va a determinar un gradiente de energía o capacidad de dinámica fluvial y que de manera muy simplificada podemos resumir en dos parámetros o indicadores esenciales: la velocidad del agua y la tensión tangencial o de arrastre.

La primera magnitud, velocidad, es dependiente del caudal o cantidad del agua, de la sección o geometría del cauce mojado, de su pendiente y de un parámetro, la rugosidad, que de alguna manera incorpora la resistencia al paso del agua. Se mide en m/s.

La segunda, la tensión de arrastre o tensión tangencial es la fuerza que el agua ejerce sobre la superficie del lecho y de las márgenes y que es función del

Las dimensiones transversal, vertical y temporal configuran el espacio fluvial, esto es, el espacio que el río como ecosistema necesita para cumplir sus funciones ecológicas

En las riberas de los ríos existe de forma natural una banda importante de vegetación denominada vegetación riparia o de ribera que requiere de un contenido de humedad del suelo elevado y tolera las inundaciones periódicas provocadas por las avenidas, siendo dichas inundaciones necesarias para su regeneración natural

peso específico del agua, de la pendiente y de la geometría del cauce mojado. De alguna manera indica la fuerza que ejerce el agua, cuya consecuencia es la erosión y el arrastre del material se mide en  $N/m^2$ .

### 2.2.3 Fauna y flora en el medio acuático

“En los ríos viven y se mantienen numerosas comunidades biológicas pertenecientes al medio acuático, al medio hiporréico y a los espacios riparios, ocupando los hábitat que surgen como consecuencia del régimen de caudales y de las interrelaciones de las tres dimensiones descritas del sistema fluvial” (Manual de Restauración Fluvial).

#### Fauna

Los ríos del proyecto H2O Gurea presentan comunidades faunísticas singulares y que se encuentran en situación de amenaza. Entre las especies ligadas al agua, es remarcable la presencia de especies que pasan parte de su ciclo vital en el mar, tales como el salmón (*Salmo salar*), el sábalo (*Alosa alosa*), la lamprea marina (*Petromyzon marinus*). Además de estas especies, entre los peces no migradores destaca el coto o burtaina (*Cottus aduri*), presente en las pequeñas regatas tributarias del Bidasoa.

Otras especies ligadas a los medios acuáticos con presencia en esta cuenca y de interés comunitario, dentro del grupo de los mamíferos, son la nutria (*Lutra lutra*), el visón europeo (*Mustela lutreola*) y el desmán ibérico (*Galemys pyrenaicus*). Entre los invertebrados, el caracol *Elona quimperiana*, la mariposa *Euplagia quadripunctaria* y la libélula *Oxygastra curtisii*. Entre las aves acuáticas presentes destacan el mirlo acuático (*Cinclus cinclus*) y el martín pescador (*Alcedo atthis*).

La conexión ecológica existente con las marismas, por ejemplo, en la desembocadura del río Bidasoa en el mar Cantábrico, repercute en la frecuente presencia de especies de aves invernantes.

*Espacio fluvial. Photographie aérienne. Toulon sur Alliere. IGN Paris 1998. Autorisation n° 50-8153*



Salmón en el Bidasoa. Fuente: GAN-NIK SA

#### Vegetación de Ribera

En las riberas de los ríos existe de forma natural una banda importante de vegetación denominada vegetación riparia o de ribera que requiere de un contenido de humedad del suelo elevado y tolera las inundaciones periódicas provocadas por las avenidas, siendo dichas inundaciones necesarias para su regeneración natural.

La vegetación de ribera se distribuye a lo largo del eje transversal del río, principalmente en función del nivel alcanzado por el agua y, por tanto, del nivel de humedad existente, pero también siguiendo las variaciones de granulometría, temperatura y concentración de sales.

Junto con el gradiente transversal, en la distribución de la vegetación en las riberas influyen otros factores que varían en función del eje longitudinal, como son la altitud, el régimen de precipitaciones, los procesos geomorfológicos, la pendiente y sus variables hidráulicas.

#### Características de la vegetación de ribera

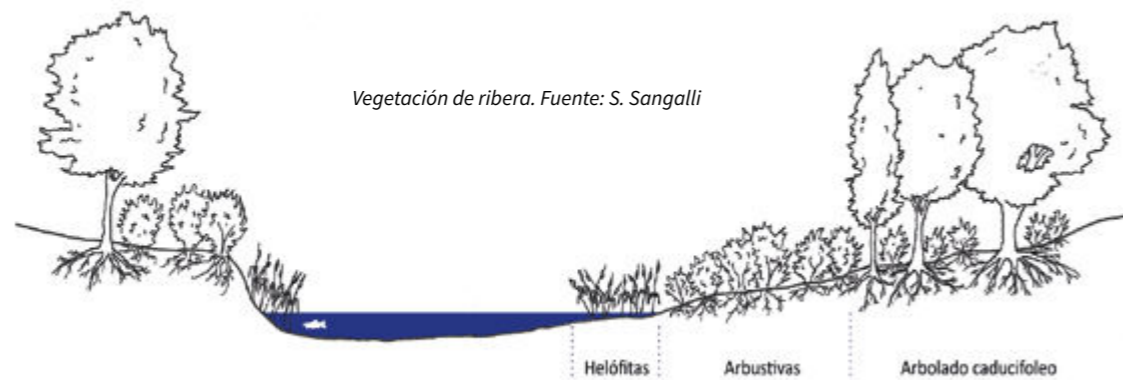
Las zonas de ribera son zonas de transición entre el agua y la tierra, ecotonos ricos en elementos ligados a ambos ambientes. La vegetación tiene un papel clave en estas zonas y tiene, entre otras, funciones como:

- Regular el microclima de los cursos de agua
- Asegurar la estabilidad de las orillas
- Ofrecer hábitat terrestre
- Ser fuente de alimento para la vida acuática y terrestre
- Influye en los parámetros hidráulicos e hidromorfológicos

La vegetación, y particularmente sus raíces, son un medio filtrante y metabólico que garantiza una mejor calidad de la escorrentía subsuperficial afluente al cauce. Además de actuar como filtro frente a la entrada de sedimentos y sustancias químicas en el cauce, cumplen un papel de acumuladores de agua y sedimentos y poseen un gran valor paisajístico, recreativo y cultural.

A continuación, describimos algunas de estas funciones.

La vegetación ralentiza el efecto del flujo de agua sobre las orillas y promueve la sedimentación. Si la vegetación de la orilla es flexible y a la vez forma una espesura uniforme, puede actuar como una barrera flexible contra las avenidas de agua, protegiendo las márgenes de la erosión



### La vegetación regula el microclima de los cursos de agua

Los árboles y arbustos dan sombra a los ríos, reduciendo así la temperatura del agua. A lo largo de todo un año, la temperatura del agua que fluye es muy diferente en función de la cubierta vegetal. En arroyos pequeños, el dosel de las copas de los árboles puede reducir la luz solar incidente hasta un 80% en verano.

El hecho de que la vegetación proyecte su sombra sobre los cursos de agua determina una disminución de la temperatura del agua que incide en una mayor capacidad de disolución de oxígeno y, en consecuencia, una mayor capacidad biodegradable del sistema fluvial.

Árboles y arbustos no sólo tienen un impacto en el microclima de los cursos de agua, sino también en las zonas adyacentes. La formación de rocío, las precipitaciones y humedad del suelo, se incrementan en sus alrededores, mientras que la evapotranspiración y la velocidad del viento disminuyen. Así, la cubierta vegetal puede regular el clima del suelo, estimular la actividad del suelo mediante el incremento de la producción de biomasa y actuar como un tampón frente a los aerosoles de fertilizantes y pesticidas.

### La vegetación incrementa la estabilidad de las orillas

La vegetación ralentiza el efecto del flujo de agua sobre las orillas y promueve la sedimentación. Si la vegetación de la orilla es flexible y a la vez forma una espesura uniforme, puede actuar como una barrera flexible contra las avenidas de agua, protegiendo las márgenes de la erosión. Las raíces, tallos y troncos flexibles de las plantas leñosas, como son las plantas jóvenes de sauces y alisos, incrementan la estabilización de las orillas. La vegetación densa y rígida actúa como palanca y tiene una acción de retención y de retraso en caso de una avenida.

La vegetación rígida y aislada actúa como agente de formación de remolinos y vórtices hidráulicos que ocasionan la erosión de sus raíces y el posible derribo de la planta con importantes daños en la orilla y aguas abajo.

Las propiedades de estabilización de las orillas dependerán de diversos aspectos tales como la especie de planta, la edad, la morfología del curso de agua, el suelo, etc.

Desde el punto de vista de la aplicación de las técnicas de Bioingeniería, la renaturalización mediante la utilización e introducción de especies autóctonas, adaptadas al medio, resulta ser muy ventajosa, también desde el punto de vista ecológico, debido a su adaptado ciclo vegetativo, crecimiento, desarrollo y óptima repoblación, por lo que se considera un material básico y fundamental en todas las propuestas de mejora del entorno fluvial

### La vegetación de ribera ofrece hábitat terrestre

La vegetación de ribera proporciona hábitats y puede ser una fuente de alimento para la fauna, tanto para las especies acuáticas como las terrestres. Esto es particularmente cierto para los paisajes con uso intensivo del suelo, donde los cursos de agua y pequeñas franjas de vegetación actúan a menudo como “refugios ecológicos”.

### La vegetación es una fuente de alimento para la vida acuática y terrestre

En los tramos superiores de un curso de agua la fuente principal de alimento no surge de la producción primaria del mismo, ya que las hojas y otros materiales orgánicos proceden de fuera de la corriente. En cursos más anchos y más

La vegetación de ribera ejerce, tras el caudal dominante, un papel morfológico secundario

Vegetación riparia elástica. Influye poco en la velocidad y se dobla durante la crecida



Vegetación riparia rígida y densa. Aumenta mucho la rugosidad. Disminuye mucho la velocidad



Árboles aislados e individuales provocan turbulencias



lentos la producción primaria dentro del curso va siendo cada vez más importante a medida que aumenta el tamaño del río, sustituyéndose eventualmente la aportación externa de materia orgánica en los cursos más anchos.

### **Utilización de la vegetación en la restauración fluvial y su papel en los parámetros hidráulicos**

La utilización de la vegetación como material vivo en la restauración fluvial tiene implicaciones que van más allá de los simples aspectos hidráulicos, en relación con su influencia sobre el flujo. Desde el punto de vista de la aplicación de las técnicas de Bioingeniería, la renaturalización mediante la utilización e introducción de especies autóctonas, adaptadas al medio, resulta ser muy ventajosa, también desde el punto de vista económico, debido a ciclo vegetativo, crecimiento, desarrollo y óptima cobertura, por lo que se considera un material básico y fundamental en todas las propuestas de mejora del entorno fluvial.

La vegetación ejerce, tras el caudal dominante, un papel morfológico secundario al aumentar la resistencia al flujo o circulación del agua, incrementando así la resistencia a la incisión y a la erosión generalizada de los cauces (por efecto del armado de las raíces) y favoreciendo finalmente la reducción de la velocidad del flujo por el incremento de las tensiones, el aumento de niveles del flujo y los fenómenos sedimentarios, factores estos también condicionantes e influyentes en la forma y dimensiones del cauce principal.

La climatología, el régimen hidrológico, la escorrentía, la frecuencia de desbordamientos, la regulación de caudales, el nivel freático, el transporte de sedimentos, la turbulencia del flujo y la calidad de las aguas, entre otros, son factores que, desde el punto de vista hidrológico, hidráulico y ambiental, en menor o mayor medida condicionan el desarrollo, e incluso el cambio de especies, en los sistemas vegetales, tanto acuáticos como de riberas y orillas.

Como puede desprenderse de los párrafos anteriores, la interrelación entre los factores ambientales en los sistemas vegetales y la influencia de éstos sobre el medio fluvial es compleja, teniendo implicaciones muy directas sobre la dinámica fluvial.

Con la intención de simplificar los parámetros de diseño y eventualmente cuantificar los efectos en el medio fluvial (escorrentía y/o morfología), parece oportuno, al menos hasta que la técnica avance lo suficiente e introduzca otros tipos de descripciones, la consideración de que la vegetación ejerce una resistencia al paso de los caudales circulantes. Uno de los factores frecuentemente utilizados en hidráulica es el coeficiente de Manning, que da idea de esa resistencia y pérdida de energía. Márgenes muy arbolados ofrecen resistencias elevadas al paso del agua y esto se refleja en coeficientes de Manning elevados.

La climatología, el régimen hidrológico, la escorrentía, la frecuencia de desbordamientos, la regulación de caudales, el nivel freático, el transporte de sedimentos, la turbulencia del flujo y la calidad de las aguas, entre otros, son factores que, desde el punto de vista hidrológico, hidráulico y ambiental, en menor o mayor medida condicionan el desarrollo, e incluso el cambio de especies, en los sistemas vegetales, tanto acuáticos como de riberas y orillas

## 3. RESTAURACIÓN FLUVIAL

Los ecosistemas están fuertemente perturbados como consecuencia de la actividad humana, variando los caudales sólidos y líquidos, modificando la morfología y dinámica fluviales

### 3.1 NECESIDAD DE RESTAURAR LOS SISTEMAS FLUVIALES

Los ecosistemas fluviales están fuertemente perturbados como consecuencia de la actividad humana, variando los caudales sólidos y líquidos, modificando la morfología y dinámica fluviales, alterando y ocupando su espacio fluvial, reduciendo la calidad de sus aguas y alterando la composición de la comunidad de seres vivos.

- **Variación del régimen de caudales.** Los ríos nos abastecen de agua y se extrae un gran volumen para la agricultura de regadío, en torno al 70% total. Así mismo, los embalses regulan aproximadamente el 50% del agua generada en las cuencas. Los ríos españoles han sido modificados por construcciones hidráulicas que regulan sus caudales y estos son desviados hacia las zonas de aprovechamiento, alterando la cantidad de agua que fluye por ellos.

- **Reducción de la calidad de las aguas.** Recogen gran cantidad de vertidos, pluviales contaminadas y aguas residuales, especialmente en los tramos urbanos. Nuestros ríos han sido utilizados como colectores de los residuos urbanos e industriales, alterando la composición química de las aguas e incrementando la carga contaminante hasta dificultar la vida en muchos tramos.

- **Alteración de la morfología fluvial** tanto con barreras longitudinales, con azudes y presas, como transversales, como motas, diques, canalizaciones en hormigón o escollera. Existen otras obras que se han ejecutado en sus cauces que han modificado la estructura morfológica, impidiendo en muchos casos la conectividad de los cauces con las llanuras de inundación o modificando los hábitats naturales de los pobladores de los ríos. Otras obras que se hacen directamente en los cauces o sus riberas, como la extracción de áridos, también imponen fuertes modificaciones tanto en la forma del cauce, como en el tipo y cantidad de sedimentos que llegan a los ríos.

- **Intervenciones en la cuenca vertiente,** es decir, los usos del suelo y el territorio. El deterioro que observamos en la estructura y funcionamiento de nuestros ríos puede deberse también a actuaciones en áreas de su cuenca alejadas del propio cauce. Estos problemas pueden originarse por cambios en los usos del suelo, construcciones en las llanuras de inundación o la invasión de las riberas por agricultura, ganadería y plantaciones arbóreas. En muchas ocasiones la zona inundable se encuentra ocupada, lo que dificulta la recuperación de la dinámica fluvial.

- **Cambios en la composición de la comunidad de seres vivos.** Los obstáculos que encontramos en los ríos, para almacenar o elevar el nivel de agua, o para defensa de las poblaciones ribereñas, impiden el tránsito de especies y materiales y fragmentan hábitat y poblaciones.

Otro grupo importante de alteraciones en nuestros ecosistemas fluviales está provocado por la introducción y difusión de las especies invasoras que contribuyen a los cambios en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales, especies que se adaptan mejor cuando se altera la morfología y la dinámica fluvial, especies adaptadas a las condiciones alteradas.

La degradación de los ecosistemas fluviales ha supuesto la pérdida de muchos servicios que nos prestaban de manera natural: la regulación de las avenidas, de las sequías o la erosión, la recarga de los acuíferos como almacenes naturales de agua, el control de la contaminación difusa, la mejora en la fertilidad de los suelos de las llanuras de inundación o vegas... Estos servicios son el resultado de la acción de los ecosistemas asociados al agua cuando el río funciona de manera óptima. Dado el estado de nuestros ríos, se plantea la necesidad de intervenir para restaurar en la medida de lo posible el buen funcionamiento ecológico.

### 3.2 RESTAURACIÓN FLUVIAL. PRINCIPIOS Y ACTUACIONES

Uno de los principales objetivos de la gestión fluvial es el del mantenimiento del buen estado ecológico de nuestros ríos, esto es, la conservación en buen estado de las características físicas, químicas y morfológicas del ecosistema fluvial. Dada la situación actual de nuestros ríos, es necesario implementar medidas de restauración ecológica con objeto de recuperar este buen estado.

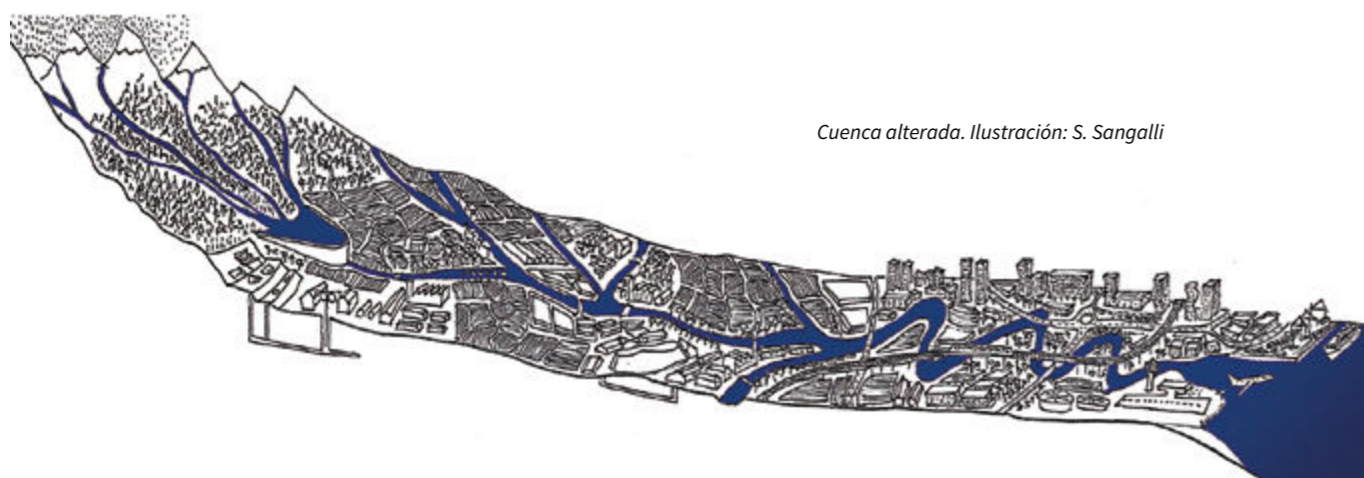
La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) define como restauración ecológica el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. La restauración ecológica de los ríos y sus riberas se refiere, por tanto, al conjunto de actividades enfocadas a devolver a los ríos su estructura y funcionamiento como ecosistemas.

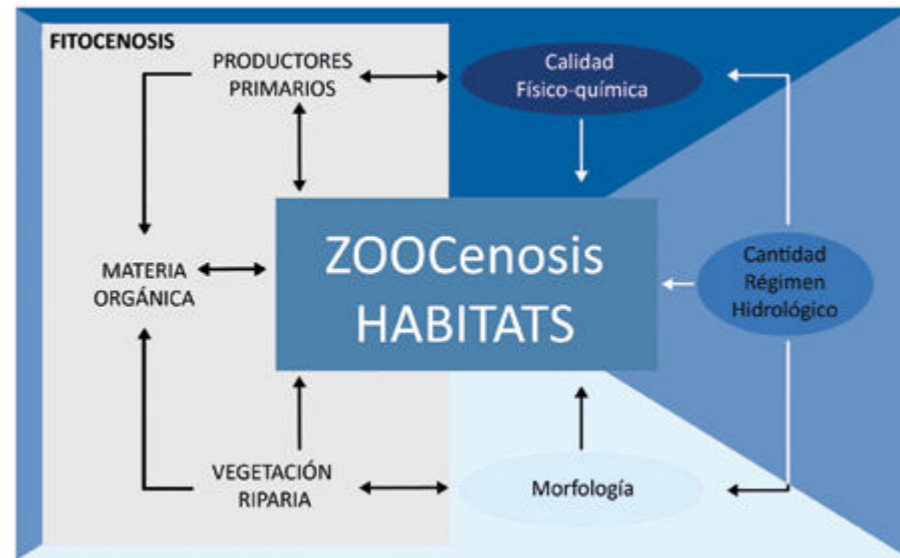
El objetivo general de la RESTAURACIÓN ECOLÓGICA, con mayúsculas, es lograr el retorno del funcionamiento de estos ecosistemas a un estado natural o equivalente al que tenían antes de su deterioro. En muchos casos, lamentablemente, esto no es posible, por lo que se persigue un proceso intermedio encaminado a la recuperación de la integridad ecológica del medio en términos de biodiversidad y procesos y funciones ecológicas, en un contexto regional histórico, en el que se tengan en cuenta también los usos tradicionales sostenibles. La restauración es, por tanto, un proceso complejo que debe iniciarse con el reconocimiento de los factores de alteración naturales o de origen humano, responsables de la degradación de la estructura y funciones del ecosistema fluvial, o del deterioro en su capacidad de recuperación (Pacific Rivers Council, 1996). Requiere de un buen conocimiento y comprensión de dichas funciones y de los procesos físicos, químicos y biológicos que les dan forma (Dunster & Dunster, 1996) e incluye un amplio conjunto de medidas diseñadas para permitir la recuperación natural del equilibrio dinámico y las funciones de los ecosistemas de ribera.

La restauración difiere de otras actuaciones en incluir un proceso holístico, que no se alcanza mediante el manejo individual de los distintos elementos que

La restauración ecológica de los ríos y sus riberas se refiere, por tanto, al conjunto de actividades enfocadas a devolver a los ríos su estructura y funcionamiento como ecosistemas

Cuenca alterada. Ilustración: S. Sangalli





Factores generales de influencia en la biocenosis acuática y en la calidad ecológica general del curso fluvial. Fuente: Bernard Lachat

componen el sistema, sino conduciendo el proceso hacia la obtención de condiciones naturales.

#### Objetivos y escala de la restauración

Los cursos de agua constituyen ecosistemas complejos y los factores que los regulan son todos también complejos y variados. De forma general, para que la calidad y valor de un curso fluvial sean buenos hace falta que el funcionamiento conjunto de los tres parámetros siguientes sea óptimo:

- Calidad del agua
- Cantidad de agua
- Morfología

En el momento en que se decida abordar la restauración de un río se deberá examinar el río en su conjunto, con la cuenca como referencia, aunque se vaya a actuar a nivel local. Si resulta necesario intervenir, se aplicarán procedimientos lo más próximos posibles a los que rigen el funcionamiento natural del río.

Como **objetivos** de la restauración fluvial podemos señalar:

1. La recuperación de los procesos fluviales con los que el río puede recuperar su dinámica y un funcionamiento más próximo al natural o de referencia.
2. Lograr que un río aumente su resiliencia frente a las perturbaciones naturales o antrópicas. La resiliencia es la capacidad que tiene un ecosistema para recuperar su estado de referencia dinámico después de una perturbación temporal.
3. Fomentar la creación de una estructura sostenible y compatible con los usos del territorio y los recursos fluviales acordados por la sociedad.
4. Recuperar, desde el punto de vista paisajístico, la belleza y capacidad de evocación de los ríos y sus riberas.
5. Cumplir con los requisitos de la Directiva Marco del Agua, alcanzando por tanto el buen estado ecológico de las masas de agua.

#### Estrategias para la restauración

La restauración puede tener tres niveles de intervención:

**1- La no intervención o restauración pasiva.** En muchas ocasiones la simple eliminación de las causas de degradación es suficiente para conseguir una rápida recuperación de las condiciones originales del medio fluvial, o bien en aquellas en las que una mayor intervención en el cauce puede ser incluso negativa para la evolución del sistema.

Dentro de las posibles actuaciones encaminadas hacia la restauración, la primera de ellas, y posiblemente la más importante, es la eliminación de las actividades causantes de la degradación. En algunas ocasiones, será suficiente con detener estas actividades para recuperar la situación original, por ejemplo, la eliminación de motas con objeto de recuperar el espacio fluvial. Este enfoque pasivo tiene cada vez un mayor número de defensores, aunque es, a menudo, el más difícil de aceptar social y políticamente, porque supone prácticamente no hacer. Es tarea de los técnicos el plantear sus ventajas e inconvenientes, desde un punto de vista, social, económico y ambiental.

La opción cero o de no intervención es siempre una opción a tener en cuenta.

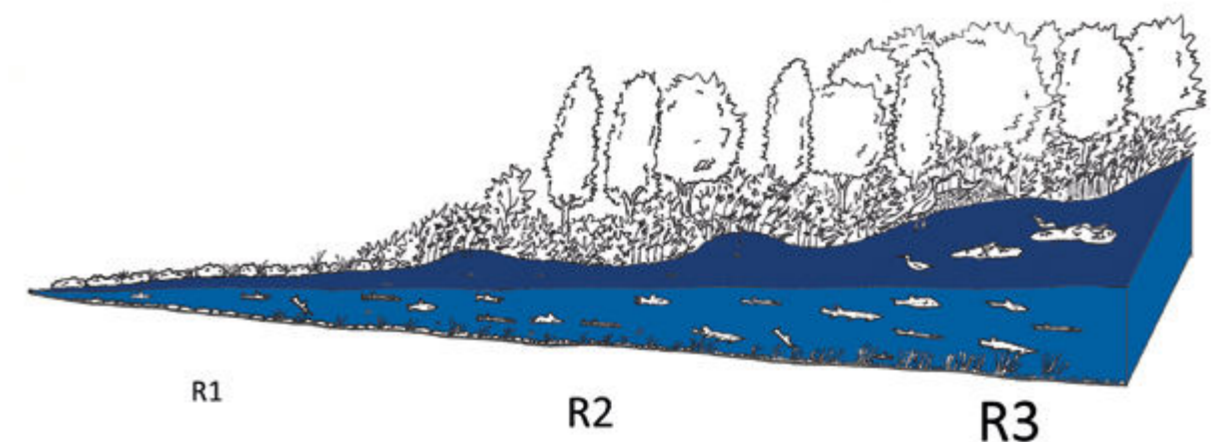
**2- Intervención activa.** En muchas situaciones es necesario llevar a cabo una restauración activa, que incluye la aplicación de medidas capaces de reparar los daños generados sobre la estructura y dinámica de los cursos fluviales.

Dentro de la intervención activa hay dos niveles:

**2.1 La intervención parcial,** como asistencia a la recuperación de las funciones y estructura del ecosistema. Este enfoque es especialmente oportuno en aquellos casos en que el corredor fluvial muestre signos de recuperación, pero que lo haga de forma tan lenta o incierta que un cierto grado de intervención pueda servir para mejorar o acelerar este proceso.

Finalmente, la última opción es **2.2 la intervención total o el manejo completo del sistema,** actuando de forma sustancial, en los casos en los que la capacidad de autorrecuperación del ecosistema no es suficiente para alcanzar la estructura y dinámica naturales.

Factores generales de influencia en la biocenosis acuática y en la calidad ecológica general del curso fluvial. Fuente: Bernard Lachat



En el momento en que se decida abordar la restauración de un río se deberá examinar el río en su conjunto, con la cuenca como referencia, aunque se vaya a actuar a nivel local. Si resulta necesario intervenir, se aplicarán procedimientos lo más próximos posibles a los que rigen el funcionamiento natural del río

La opción cero o de no intervención es siempre una opción a tener en cuenta



En este caso, el del manejo del sistema, y dada la situación en la que se encuentran nuestros ríos, se plantea dentro de la restauración fluvial una visión posibilista estableciendo un gradiente continuo en base a **tres niveles de ambición** (A. Debiais Malavoi; *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*).

Los niveles de ambición se describen en función del nivel de intervenciones que se pueden llevar a cabo:

En el nivel R1, los condicionantes son tan elevados que nuestras intervenciones solo pueden influir en una parte pequeña del sistema (por ejemplo, la fauna íctica). En el nivel R2 se dan más posibilidades y la acción resultante contemplará ya algunas cuestiones del ecosistema, fauna y vegetación, por ejemplo, mientras que el R3 se establece como el nivel máximo posible, en el que se recupera tanto la funcionalidad como la biodiversidad del ecosistema.

En cualquier caso, es preciso definir con claridad los objetivos específicos de toda restauración y no tratar de establecer, en un escenario estático, las condiciones originales del ecosistema. **Es preciso dotar al medio fluvial de las condiciones necesarias para que él mismo alcance y mantenga las condiciones dinámicas naturales.** Resulta particularmente interesante conseguir, en este sentido, que el ecosistema restaurado tenga una resiliencia suficiente para soportar las alteraciones periódicas naturales, que sirven en último término para mantener la integridad del mismo.

La primera regla de gestión es la necesidad de una perspectiva integrada de la totalidad de la cuenca fluvial, visto que los caudales y su régimen dependen directamente de la naturaleza de los usos de toda la superficie drenante.

La segunda regla es la de que cuanto más cerca del natural sean los sistemas constructivos utilizados, mayor será la viabilidad y longevidad del sistema o de la estructura construida. De ahí que la Bioingeniería resulte ser una herramienta adecuada para la restauración fluvial.

La tercera regla es la de que se deben adecuar las intensidades de uso a la naturaleza y condicionantes del ecosistema. De este modo, por ejemplo, en las riberas y llanuras de inundación, aun siendo zonas que tiene una potencialidad de uso muy elevada, debe limitarse ésta atendiendo a las condiciones de inundación, escorrentía, nivel freático... Esto determina la necesidad de una zonación de usos no solamente legal, sino establecida también por los niveles de riesgo de inundación y por principios ecológicos y de funcionalidad hidráulica e hidrológica.

La cuarta regla es la de la red ecológica. Los ecosistemas de ribera y de llanuras de inundación constituyen una red que recorre de un modo muy diversificado toda la cuenca, articulando los ecosistemas terrestres y fluviales en un continuo ecológico indispensable para la preservación y promoción de la biodiversidad.

### 3.3 RESTAURACIÓN FLUVIAL Y BIOINGENIERÍA

Las técnicas de Bioingeniería son herramientas muy útiles en la restauración fluvial, tanto para recuperar la vegetación de ribera, como para permitir construcciones basadas en la naturaleza, en la regeneración de humedales, la descanalización de ríos en ámbitos urbanos, la recuperación de meandros abandonados o la reconstrucción de hábitats diversificados para la fauna y flora. Cuanto más

cerca del natural sean los sistemas constructivos utilizados en ámbitos fluviales mayor será la viabilidad y longevidad del sistema o de la estructura construida.

En concreto, las técnicas de Bioingeniería permiten consolidar las orillas fluviales con vegetación de ribera adecuada que corresponda a las condiciones ecológicas locales e implantada de modo tal que se reproduzcan las condiciones originales del río. En condiciones donde no haya riesgo de daños por inundaciones hay que garantizar que la vegetación:

- Disminuya la energía del agua.
- Consolide y estructure el suelo a través de un correcto desarrollo radical.
- Sombree la masa de agua, asegurando una temperatura más baja y un control del desarrollo de vegetación invasora.
- Asegure una disminución del riesgo de erosión o de ruptura de las orillas, favoreciendo al mismo tiempo un nivel adecuado de sedimentación.

En el ámbito fluvial, el ecosistema complejo que nos ocupa y que se encuentra tan alterado por su convivencia con el hombre, la Bioingeniería puede intervenir desde una visión integrada sin renunciar a la dinámica fluvial, devolviendo la sinergia al sistema y convirtiéndose en un motor que facilita y acelera los procesos naturales de recuperación de la vegetación riparia, la estabilización de los márgenes y la regeneración de los hábitats fluviales.



Las técnicas de Bioingeniería permiten consolidar las orillas fluviales y recuperar la vegetación de ribera

Es preciso dotar al medio fluvial de las condiciones necesarias para que él mismo alcance y mantenga las condiciones dinámicas naturales. La primera regla de gestión es la necesidad de una perspectiva integrada de la totalidad de la cuenca fluvial, visto que los caudales y su régimen dependen directamente de la naturaleza de los usos de toda la superficie drenante

A photograph of a riverbank. In the foreground, a wide, flat area is covered with smooth, grey and brown river stones. To the left, there is a dense thicket of tall, green, leafy plants, possibly willows or reeds. In the background, a dense forest of green trees lines the riverbank. The water of the river is visible on the right side of the frame. A semi-transparent blue banner is overlaid on the middle of the image, containing the text '4. BIOINGENIERÍA FLUVIAL' in white, bold, sans-serif font.

## 4. BIOINGENIERÍA FLUVIAL

La Bioingeniería propone soluciones puntuales a problemas de estabilidad o de control de erosión, pero su aplicación se realiza tras un estudio multidisciplinar de las características del territorio de referencia, sea una cuenca, una ladera o un medio urbano

#### 4.1 INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

De acuerdo con la Federación Europea de Bioingeniería (EFIB), la Bioingeniería es una disciplina específica de la Ingeniería orientada por la Biología, en la que plantas autóctonas y fragmentos vegetales se emplean como materiales de construcción vivos, de tal forma que al desarrollarse con el suelo contribuyen de manera esencial a su seguridad y a evitar toda forma de erosión. En otras palabras, la Bioingeniería es una disciplina que utiliza las plantas como elementos vivos de construcción, solos o combinados con materiales inertes, dentro del campo de la restauración ambiental.

La filosofía de intervención de la Bioingeniería se basa, como la Ecología, en pensar globalmente para actuar localmente. Propone soluciones puntuales a problemas de estabilidad o de control de erosión, pero su aplicación se realiza tras un estudio multidisciplinar de las características del territorio de referencia, sea una cuenca, una ladera o un medio urbano. Es por tanto en la dimensión territorial en la que las técnicas de Bioingeniería adquieren su verdadera aplicación ecológica, técnica, social y paisajística.

La Bioingeniería se utiliza en todos los ámbitos de obra civil, especialmente en el ámbito de consolidación de taludes, riberas y para el control de la erosión. El nombre proviene del término alemán 'Ingenieurbiologie' y en castellano se traduce como 'Bioingeniería del Paisaje'.

El término '**ingeniería**' hace referencia a que se utilizan datos técnicos y científicos con fines constructivos, de estabilización y de control de erosión, y '**biológica**' en cuanto a que las funciones están relacionadas con organismos vivos, fundamentalmente plantas **de especies autóctonas**, con **características biotécnicas** y con finalidad de **reconstrucción de ecosistemas** y **aumento de la biodiversidad**.

En la fase inicial es necesario, en muchas ocasiones, una combinación con otros materiales que asuman la función de estabilidad hasta que la componente vegetal pueda desarrollar plenamente su función de desarrollo.

*La raíz y el suelo, bases de la Bioingeniería*



*Restos de trenzado de mimbre-Siglo VII. Fuente: B. Lachat*

El resultado de estas construcciones realizadas con técnicas de Bioingeniería del Paisaje son sistemas vivos que se desarrollan con una dinámica de regulación propia, sin necesidad de aportes energéticos artificiales, hasta alcanzar un equilibrio dinámico. Con la selección correcta de los materiales vivos e inertes, así como la técnica adecuada, se consigue un sorprendente rendimiento con un mantenimiento lo más reducido posible. No obstante, hay que resaltar que en áreas fuertemente alteradas y en entornos urbanos, estos objetivos exigen un mantenimiento y cuidados muy especializados para garantizar los objetivos.

La Ingeniería Biológica tiene su origen en la conjunción de técnicas forestales con técnicas de ingeniería tradicional. Ha sido desarrollada principalmente en Centro Europa: Austria, Suiza, Alemania, y en menor medida Italia y Francia, países que, formando parte del Arco Alpino, tienen una tradicional sensibilidad por el mantenimiento del entorno natural y tratan de regenerar los impactos producidos por sus grandes obras mediante técnicas que activen o potencien la regeneración natural. No se trata de una disciplina que sustituya a la ingeniería clásica, pero, sin embargo, hay que entenderlo como un elemento necesario y complementario en las obras de ingeniería convencional.

#### Orígenes de estas técnicas

Las técnicas de Bioingeniería tienen un origen muy antiguo. Los seres humanos, antes de la utilización del hormigón, empleaban la madera, las piedras, las plantas... en sus obras de construcción.

Durante muchos años las técnicas constructivas eran de tipo empírico, basado en la experiencia y en la observación de los resultados y en donde los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas.

A partir de los años 60, en Europa Central, las técnicas de Bioingeniería son descubiertas por la ingeniería civil y comienzan a estructurarse como una disciplina técnica.

Las técnicas de Bioingeniería tienen un origen muy antiguo. Los seres humanos, antes de la utilización del hormigón, empleaban la madera, las piedras, las plantas... en sus obras de construcción



Regeneración de las márgenes mediante una estera de ramaje -Bolzano. Fuente: F. Florineth (1985-1995)

Las investigaciones científicas de los últimos cuarenta años, la incorporación de nuevos materiales industriales, la evolución de los criterios y de las capacidades técnicas han llevado a la consolidación científica de esta disciplina que en base a nuevas exigencias sociales y culturales y a un cambio en la escala de valores, sobre todo con la emergente conciencia ambiental, se ha convertido en un instrumento operativo, no solo para el control de la erosión, sino también para la protección del ambiente natural.

Se ha pasado de la actuación empírica en las zonas de alta montaña, centrada exclusivamente en la defensa del suelo, a la potencialidad de estas técnicas en el campo general de la defensa del paisaje y del medio ambiente, y más concretamente en el ámbito de la restauración fluvial.

#### 4.2 ÁMBITOS DE ACTUACIÓN

Las técnicas de Bioingeniería se pueden aplicar en todos aquellos lugares donde las plantas que se utilizan como material vivo constructivo puedan crecer bien, en las zonas templadas, subtropicales y tropicales. Los límites claros son las zonas climáticas frías, áridas y semiáridas.

En Europa, los umbrales de aridez pueden aparecer ocasionalmente en el este de la región mediterránea, así como en las áreas nivales alpinas interiores y de Europa del Este. Mucho más frecuentes son los umbrales de frío alpinos y árticos, reconocibles en la zona límite de la vegetación arbórea y en los límites latitudinales de las praderas densas. Cuanto más pobre en especies es una región tanto más limitada es la aplicación en estas zonas de las técnicas de Bioingeniería.

Estas técnicas hoy en día tienen más utilidad que en el pasado, cuando solo se empleaban en las zonas de montaña. En la actualidad, con los cambios en los modelos económicos y con una mayor sensibilidad hacia los temas ambientales y, en términos generales, de calidad de vida, la Bioingeniería tiene un gran campo de intervención en el paisaje y en la defensa del medio ambiente.

Estos ámbitos de aplicación son:

- Reconstrucción de ambientes húmedos, zonas costeras, márgenes fluviales y embalses.

En la actualidad, con la necesaria adaptación al cambio climático, y una mayor sensibilidad hacia los temas ambientales, la Bioingeniería tiene un gran campo de intervención en el paisaje y en la defensa de nuestro medio ambiente

- Intervenciones en áreas montañosas, principalmente en la recuperación de desprendimientos, estabilidad de laderas y pistas de esquí.
- Recuperación de obras públicas, autopistas, gaseoductos y vías férreas.
- Renaturalización de minas, canteras, escombreras y vertederos.
- Ámbito urbano y periurbano, formando parte de la Infraestructura Verde y de otras soluciones basadas en la naturaleza.

#### 4.3 CONDICIONANTES PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA

Aunque estas técnicas ofrecen un amplio abanico de posibilidades, tienen asimismo una serie de limitaciones que condicionan su ejecución:

- **Estacionalidad:** Los trabajos deben realizarse cuando el material vegetal se encuentra en un estadio vegetativo adecuado y cuando las características climáticas locales son favorables al adecuado enraizamiento de la vegetación. La mayor parte de las técnicas que utilizan fragmentos de planta no enraizada (estacas, varas, ramas) o plantas a raíz desnuda deben aplicarse en periodo de reposo vegetativo que, dependiendo de las zonas, puede ir de octubre-noviembre a marzo-abril. Fuera de esta época, el resultado de la brotación es muy inferior, lo que condiciona el éxito y la función de la vegetación en la estabilización. Existen métodos, como la conservación en frío y la utilización de hormonas de enraizamiento, que permiten alargar el periodo de utilización de las técnicas, o prolongar el periodo sólo unas pocas semanas más, y se recomienda su uso sólo en casos puntuales. Para otras técnicas, como las siembras y las hidrosiembras, el periodo más favorable es la primavera y otoño.

- **Mantenimiento:** Al no ser las intervenciones de efecto inmediato, se deben realizar controles y un mantenimiento tras la realización: entresacas, resiembras, sustitución de plantas, podas para mantener la elasticidad del material en ámbito fluvial.

- **Personal capacitado:** Dado que son técnicas que requieren conocimiento tanto del medio biológico como del medio de la obra civil, y dada la carencia de cursos formativos, una limitación importante la constituye la falta de personal formado, lo que redundará en los costes de ejecución. La mano de obra incide de manera notable en el coste de las obras y en el éxito de las mismas, por lo que resulta necesario tener personal formado para la ejecución de las mismas.

- **La obtención del material vegetal** a utilizar. Muchas veces en el mercado no se encuentran las semillas de las especies y variedades más adecuadas a la intervención, por lo que se emplean mezclas de semillas estándar y no siempre las más idóneas. En cuanto a la obtención de las especies para las estructuras, en muchos casos se requieren el permiso de las autoridades competentes para su obtención y se requiere una gran cantidad de material vegetal para la realización de las obras, que no siempre está disponible en la zona de intervención o en su proximidad.

- **Condiciones de seguridad y límites:** Estas técnicas pueden sustituir a las técnicas tradicionales solo cuando las condiciones ambientales y de seguridad garanticen su buen funcionamiento. En otros casos, por razones de seguridad, será preferible recurrir a actuaciones de la ingeniería clásica. No se trata tanto de sustituir unas técnicas por otras, cuanto de utilizar las más idóneas en cada caso.

Los trabajos deben realizarse cuando el material vegetal se encuentra en un estadio vegetativo adecuado y cuando las características climáticas locales son favorables al adecuado enraizamiento de la vegetación

Las técnicas de Bioingeniería tienen limitaciones desde el punto de vista hidráulico en cuanto a la resistencia a ciertos parámetros como la velocidad de la corriente y la tensión tangencial o resistencia al corte

- **Maquinaria y su manejo:** Especialmente la maquinaria que se utiliza en el movimiento de tierras y en el ámbito fluvial. Las retroexcavadoras deben ser de cadenas y no de ruedas y su tamaño se adecuará a las dimensiones de la obra, evitando movimientos y daños innecesarios.

- **Condicionantes hidráulicos:** Las técnicas de Bioingeniería tienen limitaciones desde el punto de vista hidráulico en cuanto a la resistencia a ciertos parámetros, como el desarrollado en el apartado 4.3: Aspectos de hidráulica fluvial en la restauración de ríos y de sus riberas. En concreto, los parámetros a tener en cuenta son:

- Velocidad de la corriente en m/s
- Tensión o resistencia al corte ( $N/m^2$ )

- **Condicionantes morfológicos:** Principalmente la pendiente del curso de agua, el espacio disponible y la granulometría. Dado que el empleo de vegetación disminuye la sección y aumenta la rugosidad, por lo que disminuye la velocidad, es importante poder disponer de espacio de manera que el caudal de desagüe no disminuya y no cree problemas.

Por otra parte, las técnicas de Bioingeniería de estabilización y de recubrimiento se emplean en los tramos en los que la pendiente del lecho es inferior al 3%, mientras que las técnicas mixtas se aplican en pendientes hasta el 5%. Por tanto, las técnicas de Bioingeniería de estabilización, recubrimiento y mixtas tie-

*Funciones de control de erosión y estabilización. Ejemplo en imágenes: Lechos de ramaje durante la obra y obra recién terminada. Debajo, lecho de ramaje transcurrido un año de la obra y tras diez años.*



*Pequeñas intervenciones con estas técnicas contribuyen a mejorar las condiciones para la fauna*

nen aplicación principalmente en los tramos medios y bajos de los ríos, mientras que en las zonas altas se emplean otro tipo de técnicas que se engloban dentro de las técnicas complementarias.

#### 4.4 OBJETIVOS DE LAS TÉCNICAS

Tal y como recogen las directrices de la Federación Europea de Bioingeniería, las técnicas cumplen diversas funciones: técnicas, ecológicas, paisajísticas y económicas.

**FUNCIONES TÉCNICAS.** Dentro de las funciones técnicas de la Bioingeniería del Paisaje, con particular relevancia en las acciones de protección y consolidación garantizadas por las plantas, se pueden destacar las siguientes:

- Cobertura del suelo con especies vegetales, protegiéndolo contra los efectos causados por la precipitación, la erosión hídrica y eólica, aludes y desprendimiento de rocas.
- Acción de anclaje mecánico y efecto de contrafuerte de las raíces.
- Cohesión y consolidación del suelo gracias a la agregación de partículas del suelo con ayuda del sistema radical.
- Agregación bioquímica de partículas de suelo a través de sustancias húmicas, micorrizas y microfauna.
- Anclaje de la capa superior del suelo con la inferior.
- Prevención del lavado de materiales finos por el efecto de filtrado.
- Aumento de la rugosidad del terreno por efecto de los brotes, ramas y hojas, así como retención de escombros, cantos rodados y masas de nieve.
- Frenado y desvío de corrientes de aire y agua.
- Acciones a nivel del espacio enraizado: compresión de las partículas del suelo por el crecimiento de raíces voluminosas, aumento de la porosidad del suelo a través del movimiento del aparato radical y aumento de la densidad del suelo debido al peso de la vegetación.

Las técnicas de estabilización, recubrimiento y mixtas tienen aplicación principalmente en los tramos medios y bajos de los ríos, mientras que en las zonas altas se emplean otro tipo de técnicas que se engloban dentro de las técnicas complementarias

Los efectos de las intervenciones de la Bioingeniería, al favorecer la introducción de la vegetación, modifican las características ecológicas de la zona de intervención

- Aumento de la cohesión y la estabilidad interna del suelo a través del drenaje y la extracción del agua por evapotranspiración.
- Influencia positiva en el régimen hídrico gracias a la evapotranspiración, la retención de agua de lluvia, la retención de agua subterránea y la regulación de la infiltración del agua en el suelo.

**FUNCIONES ECOLÓGICAS.** Los efectos de las intervenciones de la Bioingeniería, al favorecer la introducción de la vegetación, modifican las características ecológicas de la zona de intervención. Uno de los objetivos de estas técnicas es el de agilizar los procesos de sucesión ecológica natural, potenciando las asociaciones vegetales más estables pertenecientes a las series de vegetación potencial de la zona, acelerando la recuperación del ecosistema original. Junto con la introducción de la vegetación autóctona, se dan otros factores como la mejora del balance hídrico por un aumento de la interceptación, la mejora en la capacidad de retención de agua del suelo y la mejora del consumo de agua por las plantas.

A través del empleo de la Bioingeniería del Paisaje se obtienen las siguientes mejoras a nivel de calidad ambiental:

- Efectos positivos en las características del suelo tales como aumento del volumen de los poros y mejoras en las condiciones vitales para los microorganismos y la formación de humus y nutrientes.
- Desarrollo de comunidades vegetales coherentes con la vegetación potencial (sucesión ecológica) y mejora en las estructuras de los biotopos.
- Creación de hábitats para la fauna.
- Absorción y fijación de sustancias eutrofizantes o parcialmente venenosas y protección ante las inmisiones.
- Cambios beneficiosos sobre las condiciones microclimáticas.
- Absorción de ruido, reduciendo su intensidad.
- Filtración y retención de polvo y partículas, así como de emisiones contaminantes a través de la deposición sobre las hojas y otras partes de las plantas.
- Protección contra el viento.

*Trenzados de mimbre empleados en la integración de la boca de un túnel en una infraestructura lineal. Fuente: Paolo Cornolini*



*Cursos de Bioingeniería. Fuente AEIP*

- Mejora de la cantidad de nutrientes en el suelo y, por consiguiente, aumento de la fertilidad de suelos pobres.

**FUNCIONES ESTÉTICAS.** Encaminadas a la mejora del paisaje, siendo algunos de sus objetivos los siguientes:

- Restauración de cicatrices en el paisaje causadas por episodios catastróficos o por las actividades humanas (minería, obra pública, escombreras de inertes, escombreras mineras, vertederos de residuos industriales y urbanos).
- Integración de obras y construcciones en el paisaje.
- Pantalla visual para la ocultación de diferentes infraestructuras de fuerte impacto visual.

La utilización de la Bioingeniería del Paisaje contribuye a disminuir los impactos visuales y paisajísticos y se posibilita que las grandes construcciones tengan un menor impacto paisajístico.

**FUNCIONES SOCIOECONÓMICAS.** La utilización de la Bioingeniería del Paisaje garantiza, a través del conocimiento y de la utilización de los procesos naturales, la posibilidad de garantizar la regeneración de áreas degradadas con una mínima utilización de materiales y energía. De esta manera, la Bioingeniería del Paisaje juega un papel importante para garantizar la sostenibilidad de las construcciones y obras.

En las técnicas de Bioingeniería, el coste de la mano de obra tiene un porcentaje elevado sobre el coste total, mientras que los materiales tienen un porcentaje menor, al contrario que con las técnicas de la construcción civil.

- Con la utilización de materiales constructivos vivos se consigue una reducción de la cantidad de material requerido, a pesar de que represente un mayor coste en mano de obra.
- Dada la utilización de material local, se reduce el volumen y el coste de transportar y los costes del transporte son más bajos. También a través de una apropiada reutilización de material vegetal, tierra y piedras.
- Los costes de mantenimiento son reducidos en las obras de Bioingeniería.

Al contrario que en la obra civil tradicional, el coste de la mano de obra tiene un porcentaje elevado sobre el coste total, mientras que los materiales tienen un porcentaje menor

- En el caso de aparecer daños en las obras de Bioingeniería, los costes de renovación son habitualmente menores debido a la capacidad de regeneración de la vegetación.

- Las técnicas de Bioingeniería, al ser muy manuales, son una fuente de trabajo especializado.

El resultado de las obras de Bioingeniería son sistemas vivos, basados en la sucesión natural, es decir, que permanecen en equilibrio mediante una autorregulación dinámica sin necesidad de aporte de energía artificial. Eligiendo bien las técnicas, así como los materiales vivos e inertes, se obtiene una persistencia extraordinaria, con gastos de mantenimiento de poca consideración.

#### 4.5 MATERIALES UTILIZADOS EN BIOINGENIERÍA

Como hemos visto anteriormente, lo que caracteriza la Bioingeniería del Paisaje es la utilización de plantas o partes de ellas como material de construcción vivo. En la fase inicial es a menudo necesaria una combinación con otros materiales que inicialmente se hacen cargo de las funciones de sostén o de estabilización hasta que la planta se desarrolla. Los sistemas resultantes y sus componentes tienen ventajas y limitaciones que necesitan ser consideradas antes de seleccionarlos para su uso.

De acuerdo con la NTJ 12-5 (Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo) los materiales en Bioingeniería se clasifican en cuatro grupos:

- Materiales vegetales vivos.
- Materiales vegetales muertos.
- Materiales naturales inertes.
- Materiales artificiales manufacturados.

##### 4.5.1 Materiales vegetales vivos

Constituyen los componentes característicos y distintivos de las técnicas de Bioingeniería. Este grupo de materiales está formado por plantas leñosas y herbáceas o partes de ellas con buenas características biotécnicas. **Una correcta elección del material vegetal vivo a utilizar en el ámbito de las obras de Bioingeniería constituye la premisa fundamental para el éxito de las intervenciones.** En este contexto, se indican los siguientes criterios básicos:

- El material vegetal se elegirá después de una evaluación específica del ambiente en el cual se opera, identificando y prefigurando, siempre que sea posible, las características vegetales de las diferentes sucesiones ecológicas que puedan ser interesantes para el área de intervención.

- La elección, además, deberá estar dirigida a la protección de las especies más idóneas no sólo desde el punto de vista ecológico, sino también funcional, sobre todo donde se trata de intervenciones de reorganización y reequilibrio hidrogeológico.

- Debe subrayarse que la elección del material vegetal deberá privilegiar, en el ámbito de las especies consideradas, las que sean autóctonas de la zona, es decir, aquellas que ofrezcan la máxima adaptabilidad ecológica a las características edáficas y climáticas de la zona.



*Iris pseudoacorus*



*Phragmites australis*



*Scirpus holoschoenus*

- El conjunto vegetal, en lo posible, deberá ser suficientemente diversificado entre especies arbóreas y arbustivas de diferente especie y tamaño, a fin de constituir unas poblaciones de suficiente variabilidad y estructura. Según los caracteres morfológicos y dimensionales en los grupos diferentes:

- Fragmentos de planta no enraizados con capacidad de reproducción vegetativa
- Plantas jóvenes y estacas enraizadas
- Semillas
- Tepes y herbazales
- Rizomas

Dentro de estos grupos, en Bioingeniería cabe distinguir las especies leñosas, arbustivas y arbóreas de las especies herbáceas.

**Especies herbáceas.** La vegetación herbácea ofrece una protección duradera contra la erosión superficial (lluvia y viento). Las especies herbáceas casi siempre son usadas juntamente con las técnicas de estabilización y con otras técnicas de recubrimiento en Bioingeniería. La vegetación herbácea ayuda a prevenir la erosión superficial mediante:

- La retención de las partículas del suelo.
- La reducción del desplazamiento de los sedimentos.
- La interceptación de las gotas de lluvia.
- El retardo de la velocidad de dispersión del agua.
- El aumento y mantenimiento de la capacidad de infiltración.

Dentro de las especies herbáceas se emplea una mezcla de especies gramíneas, con función de sujeción y de especies leguminosas, capaces de fijar el nitrógeno y enriquecer por tanto el suelo. Existen en la península especies herbáceas con propiedades que las hacen idóneas para su aplicación en la Bioingeniería fluvial, como son el lirio amarillo (*Iris pseudoacorus*), el carrizo (*Phragmites australis*), el junco boval o castañuela (*Scirpus holoschoenus*), el junco (*Juncus acutus*), los carex (*Carex pendula*, *Carex vulpina*), la espadaña (*Typha sp.*).

**Especies leñosas.** La vegetación leñosa, en comparación con la vegetación herbácea, enraíza generalmente más profundamente, puede estabilizar hasta 2-2,5 m de profundidad, y proporciona una protección mayor contra los deslizamientos de tierra mediante:

- el refuerzo mecánico del suelo con el ramaje enterrado y el sistema radical más profundo,

La vegetación leñosa, en comparación con la vegetación herbácea, enraíza generalmente más profundamente, puede estabilizar hasta 2-2,5 m de profundidad, y proporciona una protección mayor contra los deslizamientos de tierra

El resultado de las obras de Bioingeniería son sistemas vivos, basados en la sucesión natural, es decir, que permanecen en equilibrio mediante una autorregulación dinámica sin necesidad de aporte de energía artificial. Eligiendo bien las técnicas, así como los materiales vivos e inertes, se obtiene una extraordinaria durabilidad con bajas necesidades de mantenimiento



Estacas

Varas

Ramas

- el drenaje de las aguas superficiales por medio de la transpiración y de la interceptación.

Dentro de las especies leñosas se distinguen: fragmentos no enraizados de especies leñosas y plantas enteras enraizadas.

#### A- Fragmentos no enraizados de especies leñosas con capacidad de multiplicación vegetativa y características biotécnicas

Son la parte más importante de los materiales de construcción vivos para las técnicas de estabilización. Se deben preparar durante el reposo vegetativo del vegetal y se recolectan de la vegetación existente en las proximidades. En función de su morfología y tamaño distinguimos:

- Estacas: brotes no ramificados y leñosos, de 2 a 7 centímetros de diámetro y de 50 a 150 cm de longitud.
- Ramas: son brotes ramificados y flexibles, con una longitud mínima de 60 cm y de diferente espesor.
- Varas: brotes rectos, poco ramificados, con una longitud de 150 a 300 cm, de 3 a 10 centímetros de diámetro.

La época idónea para la preparación del material, como norma general, es el periodo de parada vegetativa, de noviembre a febrero.

Las estacas, en función de la parte de la planta de la que procedan, pueden ser: estacas apicales, estacas radiculares, estacas de rizomas, estacas de fragmento de caña y estacas de yema.

El género de plantas más utilizadas para las actuaciones de Bioingeniería en ámbito fluvial son los sauces.

La vegetación leñosa, en comparación con la vegetación herbácea, enraíza más profundamente y proporciona una protección mayor contra los deslizamientos de tierra mediante:

- El refuerzo mecánico del suelo con el sistema radical.
- El drenaje de las aguas superficiales por medio de la transpiración y la interceptación.
- El refuerzo mecánico del suelo producido por el ramaje enterrado.

Las especies de las familias de las salicáceas y tamaricáceas, entre otras, han sido seleccionadas y evaluadas en las obras de Bioingeniería. Distinguimos diferentes tipos de material.

#### B- Material vegetal vivo de viveros especializados

Se emplearán cuando las obras de Bioingeniería se ejecuten fuera del periodo de reposo vegetativo y en terrenos de difícil revegetación o como complemento para favorecer la diversidad y la sucesión vegetal. El material vegetal procede de viveros especializados y es necesario contemplar un adecuado periodo de cultivo para su suministro correcto.

El suministro puede ser de planta joven a raíz desnuda o planta en envase, priorizándose la utilización de planta autóctona forestal, joven (1-2 savias) o planta de 3 o más savias en envase, que ofrecen un buen enraizamiento y por tanto un menor índice de marras.

Las especies herbáceas cultivadas en envase deberán haber sido cultivadas en éste el tiempo suficiente para que las nuevas raíces se desarrollen de tal manera que, en el suministro, el cepellón mantenga su forma, esté suficientemente cohesionado y se aguante de manera compacta cuando se extraiga. Los tipos de envases utilizables son el contenedor, la maceta y la bandeja alveolar.

#### 4.5.2 Materiales vegetales muertos

Este grupo de materiales está formado por diferentes formas vegetales muertas, como son troncos, ramas y árboles enteros y geoproductos orgánicos de fibras naturales que actúan de elementos estructurantes o de protección superficial del suelo. Los materiales vegetales muertos que se utilizan en las técnicas de bioingeniería en ámbito fluvial son materiales de origen orgánico.

Los materiales vegetales muertos son materiales como:

- Maderas
- Geoproductos orgánicos de fibras naturales
- Estructuras de geoproductos revegetadas

#### Residuos de origen vegetal

Todos los residuos orgánicos producidos en la obra deberán ser reincorporados para mejorar la fertilidad del suelo.

Troncos de madera descortezados para estructuras como entramados y empalizadas



Los materiales vegetales muertos que se utilizan en las técnicas de Bioingeniería en ámbito fluvial son materiales de origen orgánico como maderas, geoproductos orgánicos de fibras naturales, y estructuras de geoproductos revegetadas

Los fragmentos de especies leñosas con capacidad de multiplicación vegetativa y con determinadas características biotécnicas son la parte más importante de los materiales de construcción vivos en las técnicas de estabilización





Malla orgánica y manta orgánica. Fuente: P. Sangalli

#### Maderas

La madera es un componente complementario que se utiliza con la función temporal para la consolidación de las estructuras que faciliten el asentamiento de las plantas vivas hasta que éstas se hagan cargo de la función estructural y, en ocasiones, se usa de forma combinada con piedras y áridos.

Se emplean troncos de madera de diámetros variables, ramas e incluso árboles enteros y tocones.

Se utilizan como madera para las estructuras las más comunes en el lugar de actuación: pino, alerce... Para aumentar su durabilidad se recomienda descortezar los troncos, especialmente en las maderas de crecimiento rápido, para evitar que se pudra la madera antes de que la planta la sustituya en su función estructural. El tamaño, longitud y diámetro varían dependiendo de las técnicas aplicadas y de la disponibilidad en la obra.

#### Geoproductos orgánicos de fibras naturales

Los materiales orgánicos de fibras naturales, mantas orgánicas y geomallas de fibras naturales proporcionan una protección temporal contra la erosión superficial y ayuda en el establecimiento de la vegetación. Los materiales de fibras naturales más utilizados en las técnicas mixtas de revestimiento son de origen vegetal: coco, esparto, yute, paja, celulosa, residuos forestales, etc. A veces están compuestos por más de un componente: coco y paja, por ejemplo.

En función de cómo se ensamblen los materiales encontramos:

- Mantas orgánicas: las fibras están tejidas.
- Mallas orgánicas: Las fibras, además de tejidas, se encuentran entrelazadas formando una red.

Las mantas orgánicas y mallas de fibras naturales son productos degradables que se utilizan para el control temporal de la erosión hasta que la vegetación ha enraizado y estabilizado el terreno. En estructuras en ámbito fluvial también pueden tener la función de contener los finos y evitar el lavado de la tierra en época de crecida.

Las mantas orgánicas y mallas de fibras naturales son productos degradables que se utilizan para el control temporal de la erosión hasta que la vegetación ha enraizado y estabilizado el terreno

Las fibras de esparto o coco tienen una mayor longevidad y resistencia a la tracción y son más adecuadas para las labores fluviales. Dependiendo del tipo de actuación a realizar, bien sea soporte o cubierta protectora de hidrosiembras y/o plantaciones, y en función de la granulometría del terreno, la velocidad y tensión hidráulica, la pendiente, etc., se determinarán el tipo de fibra a utilizar, el tipo de gramaje ( $\text{gr/m}^2$ ) y el tipo de material, manta o red.

En general, en ámbito fluvial se emplea manta orgánica de coco en las estructuras y malla de coco en los taludes.

Existen diversos productos manufacturados que junto con las fibras vegetales incorporan semillas o tierra vegetal, productos absorbentes e incluso vegetales precultivados, como en el caso de los herbazales estructurados o de las mantas vegetadas.

#### Abonos, enmiendas orgánicas y coberturas protectoras

Los productos fertilizantes, abonos, enmiendas orgánicas y coberturas protectoras se incorporan en los suelos degradados para la mejora de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

#### 4.5.3 Materiales naturales inertes

Este grupo de materiales está formado por materiales naturales como tierra vegetal, rocas, piedras, material de excavación... Se trata de materiales terrosos y pétreos de diferentes tamaños que actúan como material de relleno, de drenaje y para la consolidación y protección de la base en las estructuras.

Estos materiales naturales normalmente cuestan menos, son ecológicamente más compatibles y son más apropiados para las revegetaciones o para absorber ligeras modificaciones que los materiales manufacturados. Los materiales naturales también pueden ser obtenidos sobre el terreno en el transcurso de la obra sin coste alguno.

**Materiales de origen pétreo:** Estos áridos de diversos tamaños se encuentran en el mismo lecho de los ríos. Se emplean en la creación de pequeñas escolleras, relleno de gaviones o relleno de las estructuras.

Biorrollos vegetados y sin vegetar y herbazales vegetados. Fuente: GAN-NIK SA



Existen diversos productos manufacturados que junto con las fibras vegetales incorporan semillas, tierra vegetal o incluso vegetales precultivados, como en el caso de los herbazales estructurados o las mantas vegetadas

Las técnicas de recubrimiento tienen por objeto evitar la erosión superficial de un talud o de una margen fluvial

**Materiales terrosos:** Se emplea tanto tierra vegetal como tierra procedente de la excavación.

#### 4.5.4 Materiales artificiales manufacturados

Este grupo de materiales está formado por un conjunto diverso de materiales metálicos o sintéticos que se emplean como material de fijación (grapas, clavos), como material de refuerzo o sujeción (redes, mallas sintéticas...). Aunque no siempre es posible, se recomienda utilizar elementos biodegradables y naturales frente a los artificiales y manufacturados.

**Elementos de fijación.** Pueden ser flexibles, como el alambre, o rígidos como las barras de acero corrugado, las grapas, los clavos o los tornillos y los bulones. Los clavos para fijar las estructuras de madera pueden ser barras de acero corrugado de diámetro 10-12 mm con punta o bien tornillería metálica para madera.

**Elementos de refuerzo.** Son mallas sintéticas, geoceldas, redes metálicas de doble o triple torsión o estructuras como los gaviones.

Piedra de escollera y tierra vegetal. Fuente: P. Sangalli



Elementos de fijación



Elementos de refuerzo



#### 4.6 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS

Las técnicas de Bioingeniería del Paisaje se clasifican de acuerdo con distintos criterios:

*A- En función del ámbito de intervención:*

- Bioingeniería del Suelo: Técnicas cuyo principal ámbito es la tierra.
- Bioingeniería del Agua: Técnicas empleadas en medios acuáticos, ya sean costeros, lacustres o fluviales.

*B- En función del papel que el material vegetal juega en la técnica.* Independientemente de que se trate de técnicas de suelo o de agua, podemos distinguir cuatro grupos:

- 1.- Técnicas de recubrimiento
- 2.- Técnicas de estabilización
- 3.- Técnicas mixtas
- 4.- Técnicas complementarias

##### 1- Técnicas de recubrimiento

Son aquellas técnicas que tienen por objeto evitar la erosión superficial de un talud o de una margen fluvial.

Dentro de este grupo se distinguen:

- Siembras de diversos tipos, con o sin acolchados.
- Hidrosiembras, tanto de especies herbáceas como especies leñosas.
- Empleo de mantas orgánicas en las siembras.
- Traslado de tepes o de fragmentos de plantas: rizomas y estolones...

En las obras realizadas en H2O Gurea se han llevado a cabo dos trabajos principalmente: las siembras y la utilización de mantas orgánicas de coco.

##### 2- Técnicas de estabilización

Cada una de las técnicas de Bioingeniería en las que el material vegetal consigue estabilizar un talud o un margen fluvial hasta una profundidad de 2 a 2,5 m.

Las plantas o fragmentos de planta utilizados tienen que tener la capacidad de emitir raíces adventicias, de manera que formen un mallazo de raíces que permita la sujeción del terreno.

Dentro de estas técnicas se encuentran:

- Estaquillados de sauces
- Lechos de ramaje
- Sucesión de estacas y fajinas
- Trenzados de mimbre
- Fajinas de ribera
- Esteras de ramaje
- Empalizadas
- Peines
- Estratos vegetales

Dentro del Proyecto H2O Gurea se han utilizado diversas de estas técnicas.

Las técnicas de estabilización son aquellas en las que el material vegetal consigue estabilizar un talud o un margen fluvial hasta una profundidad de 2 a 2,5 m

En los proyectos de restauración fluvial es necesario, además de describir el medio físico y el ambiente circundante, una valoración sobre la calidad ambiental con objeto de orientar mejor las elecciones de proyecto

### 3- Técnicas mixtas

Comprenden aquellas técnicas de Bioingeniería basadas en el uso conjunto de componentes vegetales vivos y otros materiales que actúan como elementos de estabilización o de recubrimiento hasta que el material vegetal pueda realizar esta función. Dentro de las técnicas mixtas se distinguen las técnicas mixtas de revestimiento y las técnicas mixtas de estabilización. Dentro de estas técnicas se encuentran:

- Entramados de madera
- Peldaños de leña
- Enrejados vivos
- Tierras reforzadas o muros verdes
- Mallas tridimensionales, geoceldas, etc.
- Gaviones revegetados
- Escolleras revegetadas
- Muros verdes...

### 4- Técnicas complementarias

Junto con las técnicas constructivas propiamente dichas, se deben utilizar otras técnicas que completan y complementan las anteriores, pero que no cumplen una finalidad de protección superficial o estabilización del terreno, sino que contribuyen a alcanzar los objetivos ecológicos o paisajísticos de la obra. En nuestro caso, la plantación de especies leñosas con el fin de acelerar el desarrollo de la vegetación.

La combinación de varias técnicas permite la obtención de resultados que combinan los aspectos técnicos de estabilización con los paisajísticos y ecológicos.

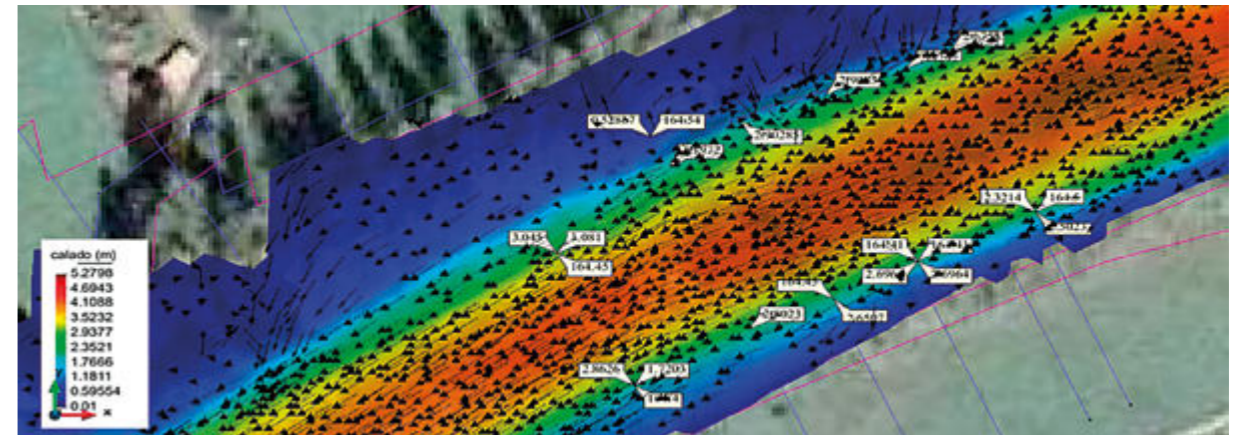
#### 4.7 ANÁLISIS PRELIMINAR Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS

La Bioingeniería no es un fin en sí misma, sino una herramienta útil cuya utilización surge de un correcto análisis del sistema fluvial y de sus componentes con objeto de conocer su problemática y, por tanto, establecer la necesidad o no de intervenir. Las técnicas de Bioingeniería, además de ser útiles para solucionar problemas puntuales de erosión o de estabilización de las márgenes en aquellas zonas que requieren una protección, también se pueden utilizar para la diversificación morfológica en el trazado o en la sección del cauce con objeto de aumentar la biodiversidad, incrementando las superficies del río y rechazando la rectificación o la excesiva intervención.

En los proyectos de restauración fluvial es necesario, además de describir el medio físico y el ambiente circundante, realizar una valoración sobre la calidad ambiental con objeto de orientar mejor las elecciones de proyecto.

La aplicación de las técnicas de Bioingeniería tiene unos condicionantes que se deberán conocer y valorar a la hora de proyectar y decidir su aplicación. Estos condicionantes son generales de las técnicas de Bioingeniería y particulares o específicos de los ámbitos fluviales.

A la hora de llevar a cabo un proyecto en ámbito fluvial con técnicas de Bioingeniería se debe realizar una buena valoración ambiental de la zona de intervención, esto es, un buen análisis del medio físico, tanto biótico como abiótico, y del medio antrópico.



Ejemplo de simulación bidimensional realizada en el proyecto Arraioz. Fuente: SCIA SL

Tal y como recoge la guía metodológica de restauración fluvial, para realizar un diagnóstico de la problemática y priorizar las actuaciones a realizar se requiere analizar las características del cauce y de sus riberas, atendiendo al estado actual y a la diferencia o similitud de dicho estado con el correspondiente a unas condiciones naturales o poco intervenidas. Se debe:

1- Establecer el tramo a estudiar en relación con su cuenca vertiente: región biogeográfica, geología, tamaño, cubierta vegetal, usos del suelo.

2- Valorar las condiciones hidromorfológicas relativas al régimen de caudales, a la morfología del cauce y a las condiciones riparias. Esto es, conocer la magnitud de los caudales máximos y mínimos anuales, de las avenidas ordinarias y extraordinarias actuales y las condiciones naturales.

3- Estudiar así mismo las características geomorfológicas a través de la evolución del trazado del río, los cambios de pendiente longitudinal, así como del estudio de la continuidad fluvial en el ámbito de actuación.

4- Analizar los componentes hidráulicos, en especial la velocidad, el calado y las tensiones en distintos periodos de retorno, realizando una modelización hidráulica que permita determinarlos. En algunos de los casos estudiados, como en los de Sumbilla o Leitzarán, se han realizado modelizaciones hidráulicas bidimensionales. En función de estas variables hidráulicas se eligen las técnicas más adecuadas para cada situación.

5- En relación con el estado de las riberas, es conveniente analizar la composición y estructura de la vegetación riparia, así como otros aspectos relacionados con sus funciones hidrológicas y ecológicas, estableciendo la diversidad de hábitats físicos y comunidades biológicas presentes, tanto de flora como de fauna.

6- En relación con las márgenes, es importante conocer los usos del suelo, el grado de ocupación del espacio fluvial y las posibles presiones en la zona de intervención.

7- Es también conveniente conocer el contexto social, la historia del lugar, y dar a conocer a los propietarios las intervenciones a realizar.

En las experiencias reales que se desarrollan en el capítulo 6 se ha incluido un resumen de los aspectos a analizar, que son los componentes del sistema fluvial que hay que caracterizar, además de establecer las causas del problema.

Para realizar un diagnóstico de la problemática y priorizar las actuaciones a realizar se requiere analizar las características del curso de agua a restaurar

**LEYENDA DE LA FICHA RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN del tramo fluvial**

• **Superficie de la cuenca:** dato en km<sup>2</sup>

• **Altitud sobre el nivel del mar:** en m

• **Rango del curso de agua: (1,2,3...):** el 1 corresponde al primer sistema de drenaje de la cuenca siendo afluente del 2, el 2 afluente del 3... y así sucesivamente. Los ríos de la vertiente cantábrica son ríos de cuencas pequeñas y normalmente son ríos de rango 2 o 3.

**1- Datos climáticos**

Necesarios para determinar los caudales y el tipo de vegetación

- **Tipo de clima:** templado-atlántico
- **Precipitación máxima anual:** en mm y mes
- **Precipitación mínima anual:** en mm y mes
- **Precipitación media anual:** en mm
- **Temperatura media mínima:** en °C y mes
- **Temperatura media máxima:** en °C y mes
- **Temperatura media anual:** en °C
- **Evapotranspiración potencial:** en mm

**2- Geología**

Estos datos determinan la problemática, la dinámica fluvial en el tramo de intervención y el tipo de estructura que puede utilizarse.

**Litología dominante:**

- En el tramo.
- En la base de las laderas.
- En la llanura de inundación.

Indicador de dinamismo hidromorfológico: pérdidas de suelo en orilla (pérdidas de suelos riparios), acumulación de gravas a lo largo del tramo de estudio (playas e islas de gravas) etc.

**3- Edafología y geotecnia**

- **Tipo de suelos.**
- **Angulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes:** (°).
- **Cohesión del suelo de las márgenes:** (kPa)

Estos datos son necesarios para establecer los empujes y dimensionar las estructuras desde el punto de vista geotécnico.

**4- Breve caracterización hidromorfológica del cauce**

• **Tipo de tramo longitudinal:**

- Alto  Medio  Bajo

• **Configuración del lecho:**

R= Roca, C= Coluvial, A= Aluvial

• **Anchura cauce / Longitud tramo intervención:**

Ejemplo 18 m / 920 m

**Tipo de río:**

• **A** cauce simple en ámbito colina - monte.

Unidad morfológica: E= Escalonada, LP= Lecho plano, RP= Rápidos y Pozas, A=Artificial

• **B** cauce simple en llanura.

Tipología: R=rectilíneo Si=sinuoso M=meandriforme

• **C** cauce múltiple en todos los ámbitos fisiográficos

Tipología: D= Divagante, CT= Cauce trenzado, A= Cauce anastomosado

**Sedimento dominante:**

- Arcilla < 0.002 mm  
 Limo: 0.002÷0.0625 mm  
 Arena: 0.0625÷2 mm  
 Grava/canto : 2÷64 mm  
 Bolos: 64÷256 mm  
 Rocas: > 256 mm

**Dimensión sección flujo dominante (bankfull):** longitud X m, altura Z m

**Continuidad longitudinal en la zona de la obra**

- Total  Buena  Limitada  Ausencia

**Continuidad transversal en la zona de la obra**

- Total  Buena  Limitada  Ausencia

**Geometría de la sección**

Pendiente de los márgenes (°):

- 0-15  15-25  25-35  35-50  50-75

**Tiempo de concentración:** en horas

**Geometría de la sección:**

• **Pendiente de los márgenes (°):**

• **Pendiente longitudinal del cauce en el tramo: %**

**Caudales**

• **Q medio anual en m<sup>3</sup>/s**

• **Q de proyecto: Q<sub>2</sub>, m<sup>3</sup>/s, Q<sub>10</sub>, m<sup>3</sup>/s, Q<sub>100</sub> m<sup>3</sup>/s, Q<sub>500</sub> m<sup>3</sup>/s**

Todos estos datos indican el funcionamiento fluvial, así como los caudales sólidos y líquidos.

**5- Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)**

**Tensión tangencial en las márgenes:** en N/m<sup>2</sup>

**Velocidad media:** en m/s

**Calados:** en m

Estos datos surgen del estudio hidráulico y son necesarios para la correcta adecuación de las técnicas.

**6- Breve caracterización botánica de la zona de intervención**

Importante para establecer el estado de la vegetación riparia, así como para seleccionar las especies a emplear en las técnicas.

**Vegetación ribera:**

Indicar la dominante en el tramo de intervención

Formación arbórea de ribera autóctona

Formaciones arbustivas o herbáceas de ribera autóctonas

Formaciones herbáceas, arbóreas o arbustivas no de ribera

Ausencia de vegetación

**Anchura de la franja de ribera**

Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona superior a 10 m

Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona de 5-10 m

Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona de 2.5-5 m

Ausencia de vegetación de ribera autóctona

**Continuidad de la vegetación de ribera**

Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona > 90% de la longitud

Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona 30-90% de la longitud

Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona extendida < 30% de la longitud

Ausencia de vegetación de ribera autóctona

**7- Breve caracterización de la fauna de la zona de intervención**

Por si hay que tomar medidas adicionales para la recuperación de la fauna.

**8- Observaciones:**

Todos estos datos son necesarios para determinar la problemática y las necesidades de cara a la restauración fluvial y una correcta utilización de las técnicas.

4.7.1 Parámetros hidráulicos para la selección de las técnicas

En el cuadro siguiente se muestra la relación entre las distintas técnicas y las tensiones y velocidades que soportan, recomendándose que se respeten estos límites en el diseño de las intervenciones de Bioingeniería.

Técnica de Bioingeniería para el margen fluvial	Velocidad	Tensión o resistencia al corte vegetación no desarrollada	Tensión o resistencia al corte vegetación desarrollada
Siembra	< 3 m/s	0	150 N/m <sup>2</sup>
Manta orgánica	< 3 m/s	< 100 N/m <sup>2</sup>	150 N/m <sup>2</sup>
Estaquillado	< 3 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	150 N/m <sup>2</sup>
Plantación de árboles y arbustos	< 3 m/s	< 100 N/m <sup>2</sup>	100 N/m <sup>2</sup>
Fajina de ribera	< 3 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	150-200 N/m <sup>2</sup>
Trenzado de ribera	3-6 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	150-200 N/m <sup>2</sup>
Lechos de ramaje	3-6 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	150-200 N/m <sup>2</sup>
Cepillo vivo	3-6 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	100-150 N/m <sup>2</sup>
Estrato vivo	3-6 m/s	100 N/m <sup>2</sup>	100-150 N/m <sup>2</sup>
Esteras de ramaje	< 3 m/s	150 N/m <sup>2</sup>	> 200 N/m <sup>2</sup>
Enrejado	3-6 m/s	200 N/m <sup>2</sup>	300 N/m <sup>2</sup>
Entramados	3-6 m/s	200 N/m <sup>2</sup>	300 N/m <sup>2</sup>
Empalizada viva	> 6 m/s	200 N/m <sup>2</sup>	300 N/m <sup>2</sup>



## 5. PRINCIPALES TÉCNICAS



## FICHA 1: SIEMBRAS



## DEFINICIÓN

Técnica de recubrimiento que consiste en colocar y esparcir una mezcla de semillas herbáceas sobre el terreno. Tiene por objeto proteger el suelo frente a la erosión provocada principalmente por el agua o el viento.

Las siembras en ámbitos fluviales generalmente corresponden a siembras directas, realizadas sobre el terreno que se va a revegetar, pudiéndose llevar a cabo con medios manuales principalmente (siembra a voleo) o mecánicamente (hidrosiembra).

La siembra a voleo consiste en depositar las semillas sobre la superficie del suelo manualmente esparciendo las semillas mediante un movimiento del brazo de derecha a izquierda recorriendo franjas de terreno contiguas.

Posteriormente se incorporan al suelo, siempre que sea posible, con un rastrillado superficial.

## MATERIALES EMPLEADOS

- La mezcla de semillas estará constituida por especies gramíneas y leguminosas (entre el 2 y 7% de la mezcla), con una densidad de 25 a 30 g/m<sup>2</sup>, y debe realizarse tras un análisis de las características tanto de las condiciones edáficas y climáticas como de la composición florística de la zona.
- La mezcla de semillas debe acompañarse de una certificación que indique como mínimo la composición de la mezcla, el grado de pureza, el porcentaje de germinación. Así mismo, sería conveniente tener una certificación del origen de las distintas semillas. Son preferibles mezclas con gran diversidad de especies, de 10-15 especies distintas.

Ejemplo para área atlántica utilizado en los proyectos realizados en el Bidasoa:

Mezcla tipo H1	%	g/m <sup>2</sup>
<i>Lolium perenne</i>	20	5
<i>Dactylis glomerata</i>	20	5
<i>Festuca rubra</i>	20	5
<i>Festuca ovina</i>	15	3,75
<i>Festuca arundinacea</i>	10	2,5
<i>Poa pratense</i>	5	1,25
<i>Lolium multiflorum</i>	5	1,25
<i>Trifolium repens</i>	2	0,5
<i>Medicago lupulina</i>	2	0,5
<i>Lotus corniculatus</i>	1	0,25
TOTAL	100	25

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

- La técnica de recubrimiento de siembra es adecuada para la protección superficial del terreno. Puede emplearse como técnica única para revegetar los terrenos afectados por las obras y los taludes que conforman las márgenes, siempre y cuando estén sometidas a tensiones débiles y tengan pendientes inferiores a 30°. Esta técnica se utiliza sistemáticamente con el resto de las técnicas de Bioingeniería con objeto de crear un tapiz protector frente a la erosión superficial y la escorrentía, así como para evitar la proliferación de especies invasoras.
- La semilla debe ponerse en contacto directo con la capa superficial del suelo y, si es posible, incorporarla a la mayor profundidad que permita su germinación correcta. Se recomienda distribuir más cantidad de semillas en la parte alta del talud y en los bordes.



## DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN

1. Preparación del lecho de siembra con eliminación, si fuera necesario, de piedras y gravas que aparezcan en el terreno.
2. En el caso de la siembra manual a voleo se distribuye con la mano la mezcla de semillas de especies herbáceas seleccionadas (25 a 30 gr/m<sup>2</sup>). Si ésta se realiza junto con una malla de geotextil, se aplicará en dos pasadas, una de 10 g/m<sup>2</sup> antes de la colocación de la malla y el resto tras la colocación de la misma.
3. Si la topografía lo permite y si el suelo no está muy húmedo, se puede pasar un rodillo o un rastrillo sobre la superficie sembrada para mejorar la adhesión de la semilla al terreno y su posterior germinación.
4. El periodo de siembra idóneo es el de la primavera de marzo a junio o bien en otoño, septiembre a octubre, pero puede variar según las condiciones de temperatura del suelo.
5. Cuando se utilicen semillas muy ligeras o de pequeña granulometría, es aconsejable añadir arena o arcilla a la mezcla de siembra.

**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	0	0
Después del desarrollo del material vivo	150	< 3 m/s

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

La protección del suelo se da tras la germinación, unos quince días después de la siembra. No tiene efecto sin el desarrollo del material vivo.

La efectividad de los distintos sistemas de siembra en taludes depende principalmente de los componentes y las dosis usados (semillas, abonos, coberturas protectoras, aglutinantes, aditivos) y, en general, de los factores siguientes:

- Calidad de la semilla
- Cantidad de semilla por unidad de superficie
- Especies empleadas
- Cubierta vegetal existente
- Condiciones de la capa superficial del suelo
- Peligro de roedores y pájaros que se alimentan de semillas
- Época de siembra

**UNIDAD DE OBRA**

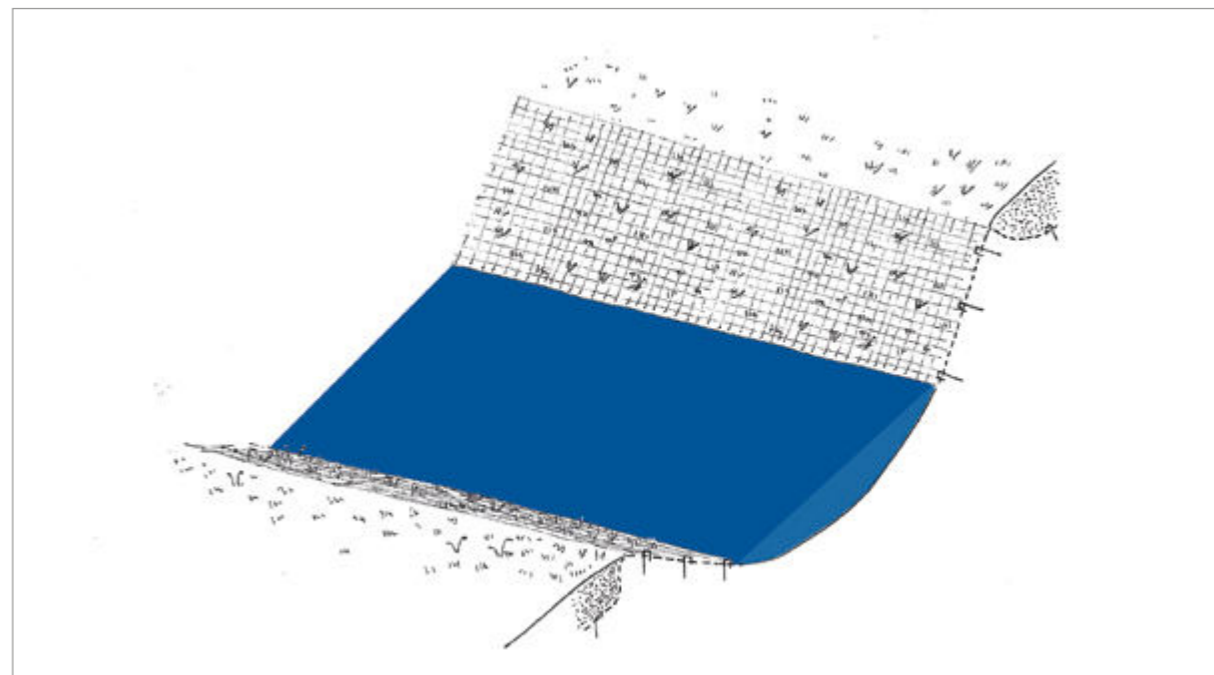
M<sup>2</sup> de siembra a voleo de acuerdo con mezcla indicada en proyecto, en superficies <1.000 m<sup>2</sup>.

Mano de obra 67%

Materiales y resto obra 23%

**Coste año 2018 1,80-2,00 €/m<sup>2</sup>**

PRECIO ORIENTATIVO: DOS EUROS.

**FICHA 2: GEOTEXTILES ORGÁNICOS BIODEGRADABLES****DEFINICIÓN**

Técnica de recubrimiento que consiste en colocar sobre el terreno un geotextil orgánico biodegradable para preservar el suelo frente a la erosión provocada principalmente por el agua o el viento. El geotextil biodegradable es un geoproducto de estructura tridimensional, permeable, fabricado mediante el entrecosido de fibras naturales como el coco, la paja o el yute. En general hay de dos tipos: geotextil tejido, tipo red o malla, y geotextil no tejido, tipo manta.

Se clasifican en función de la densidad del material en g/m<sup>2</sup>.

La técnica de recubrimiento mediante un geotextil biodegradable tiene diversos efectos:

- Permite una protección superficial inmediata de los taludes que conforman las márgenes, evitando la erosión mientras la vegetación germina o enraíza.
- Sirve de protección a las semillas, evitando que el agua en crecida las arrastre.
- Representa una fuente de materia orgánica, útil al desarrollo de la vegetación, al descomponerse y fertilizar de esta manera el suelo.
- Favorece el desarrollo de la vegetación al crear un micro-efecto invernadero local, así como al mantener la humedad del suelo.

**ÁMBITO DE APLICACIÓN**

- El geotextil biodegradable se emplea prácticamente en todas las actuaciones en márgenes y orillas en medio acuático, con una doble función: la de proteger la superficie en obra hasta el desarrollo completo de la vegetación y la de acelerar el desarrollo de la vegetación instalada.
- En general, en las márgenes se prefieren los geotextiles tejidos, de coco o yute, debido a su mayor resistencia al desgarro y a la tracción.
- Para que ejerzan su función protectora, los geotextiles deben estar en contacto directo con el suelo.

**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN****Colocación**

1. Los geotextiles deben colocarse sobre superficies lisas y limpias, lo que implica necesariamente realizar previamente un desbroce y eliminación de todos los restos vegetales, así como un reperfilado del terreno, eliminando aristas y elementos gruesos sueltos que impidan que el geotextil se adhiera al terreno.



2. Desenrollado de los geotextiles y colocación sobre la superficie en bandas paralelas al sentido de la corriente, comenzando desde la base de la margen. Las bandas deben solaparse: la banda superior se solapa sobre la inferior y los extremos de los rollos se superponen en el sentido de la corriente. El solape debe ser como mínimo de 20 cm entre bandas horizontales y 50 cm en los solapes verticales.

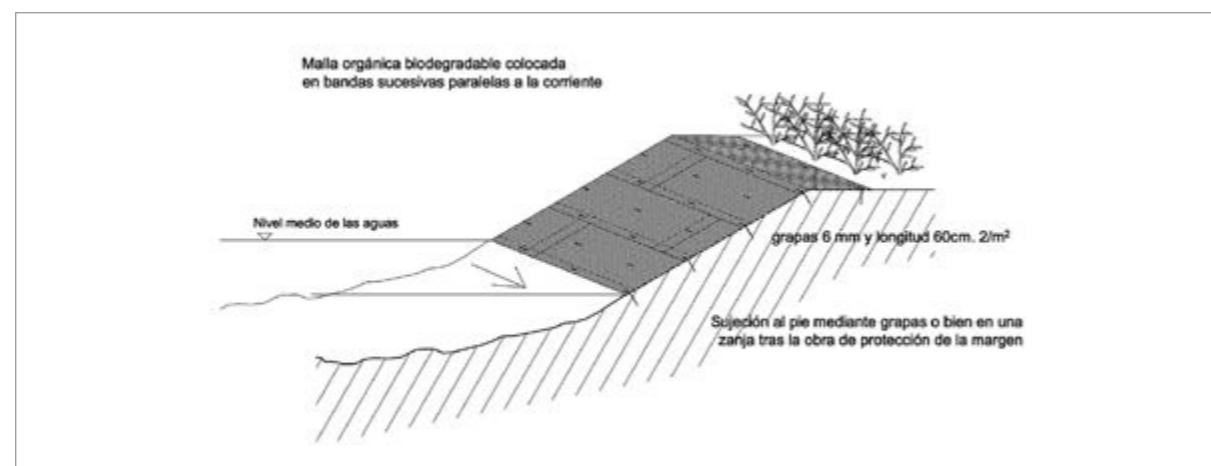
3. Sujeción mediante grapas metálicas de acero corrugado con una longitud total de 60 cm (10/10/40 cm) y con un diámetro de 6 a 8 mm. Se colocan dos por m<sup>2</sup>.

4. La capa superior se ancla en cabecera bien con una zanja 15 x 15 o 20 x 20 cm fijada con una hilera de grapas separadas. La parte inferior se puede también grapar en la base o bien se ancla tras los elementos de protección del pie de la margen.

5. La siembra se aplicará en dos pasadas, una de 10 g/m<sup>2</sup> antes de la colocación de la malla y el resto tras la colocación de la misma. El estaquillado se realiza siempre tras la colocación de la malla.

**MATERIALES EMPLEADOS**

- Malla de coco 700 g/m<sup>2</sup> Luz 10 x 10 mm.
- Grapas de acero corrugado 6-8 mm Ø y 60 cm longitud (10/10/40).

**DETALLES CONSTRUCTIVOS****LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	≤100	< 3
Después del desarrollo del material vivo	150	< 3

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Estos geotextiles presentan la ventaja de que son biodegradables, así como que protegen de manera inmediata la obra frente a posibles crecidas.
- La elección de las características técnicas del geotextil biodegradable debe realizarse en función del estudio de los condicionantes planificados y de los factores de erosión que se desean evitar.
- Los criterios a tener en cuenta son la resistencia a la tracción, la resistencia al desgarro, la durabilidad frente a procesos de inmersión y de desecación y el grado de permeabilidad.
- La desventaja es que tienen un límite en cuanto a grado de inclinación del talud o de la margen, no siendo recomendables para márgenes superiores a 38°. Así mismo, tiene una duración limitada de pocos meses.
- Dentro de los geotextiles a utilizar en la margen, los más recomendables son las mallas orgánicas de coco iguales o superiores a 700 g/m<sup>2</sup> con una malla con luz de 10 x 10 mm.

**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>2</sup> de suministro y colocación de malla orgánica biodegradable de fibras de coco, de 700 gr/m<sup>2</sup>. Incluye preparación del terreno, replanteo, suministro y extendido de la red y anclaje.

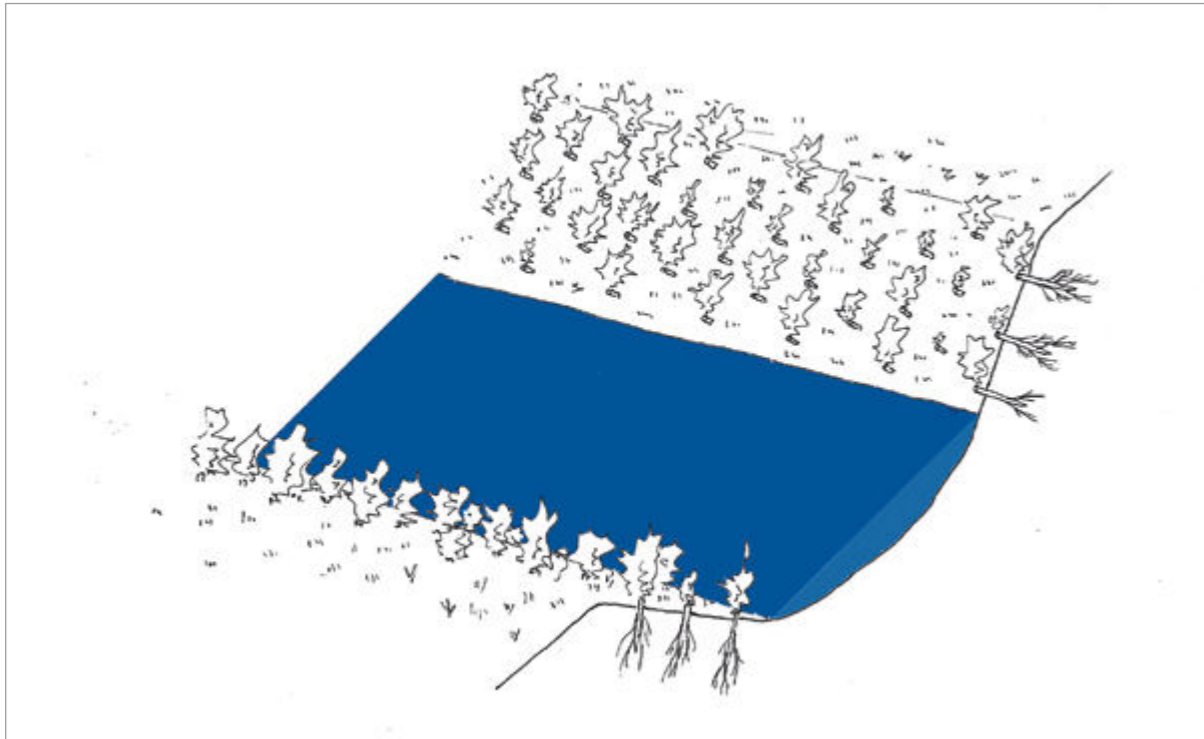
Mano de obra	70%
Materiales y resto obra	30%
<b>Coste año 2018</b>	<b>6- 8 €/m<sup>2</sup></b>

PRECIO ORIENTATIVO: OCHO EUROS.





## FICHA 3: ESTAQUILLADO



## DEFINICIÓN

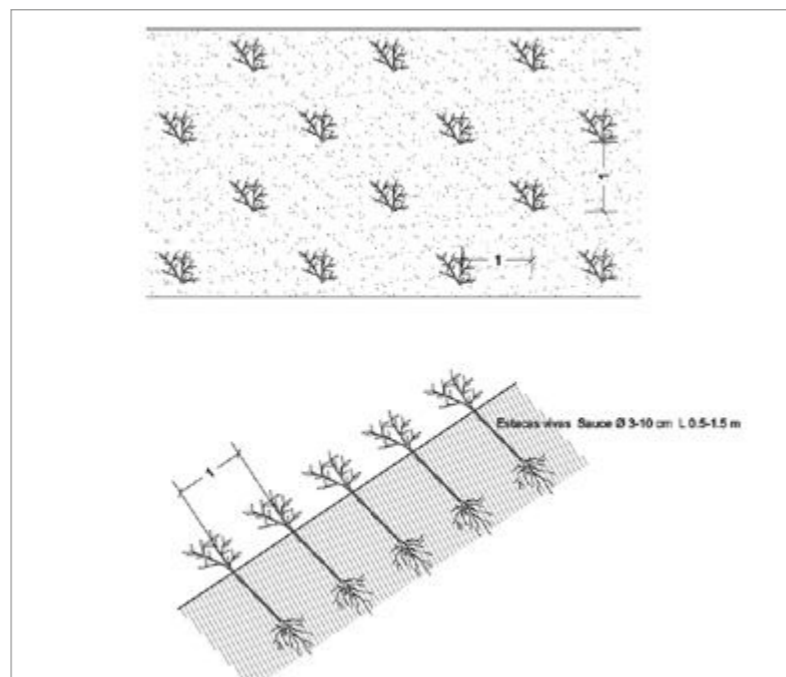
Técnica de estabilización consistente en la implantación de estacas vivas que se insertan perpendicularmente a la margen con objeto de que al brotar y desarrollar el aparato radical la estabilice y la proteja frente a la erosión. La estaca viva es un fragmento no ramificado de especies leñosas autóctonas con capacidad de reproducción vegetativa y de emitir raíces adventicias, generalmente de 2 a 7 cm de diámetro y de 50 a 150 cm de longitud. Se utiliza como técnica de estabilización en sí misma o como complemento a otras técnicas de Bioingeniería.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Estacas vivas con un diámetro mínimo de 3 cm. Es importante asegurar un mínimo de dos yemas en la parte enterrada y una en la parte aérea.

- En el caso particular del estaquillado sobre geotextil biodegradable, mallas orgánicas de coco con una densidad  $\geq 700 \text{ g/m}^2$  y grapas de acero corrugado.

## DETALLES CONSTRUCTIVOS



## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta técnica se emplea con efectividad en los casos siguientes:

- En taludes de pendiente limitada, márgenes de ríos y lagos como elemento de revegetación.
- En ámbito fluvial se emplea para reconstruir la primera línea de plantas flexibles como salicáceas o similares.
- Para sujetar los materiales de recubrimiento utilizados para el control de la erosión superficial.
- Para estabilizar áreas intermedias, entre otras técnicas de estabilización.
- Para reparar pequeñas depresiones, que frecuentemente se encuentran encharcadas.
- En intersticios y grietas de escollera, muros, gaviones, como piquetas vivas en la colocación de geosintéticos, mantas orgánicas, fajinas y trenzados de ramas entre otras.



## DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN

1. Se deben preparar preferiblemente las estacas el mismo día de su ejecución. Se corta el extremo basal en bisel y el extremo distal recto, de manera que pueda distinguirse la polaridad de las yemas.
2. Es fundamental elegir bien la cota de orilla en la que se instalan las estacas para garantizar su completo enraizamiento y crecimiento posterior, debiendo estar por encima del nivel del caudal medio.
3. Si es necesario se desbroza y limpia la superficie del terreno. En nueva obra se ataluzo el terreno con una inclinación de  $35^\circ$ .



4. En el caso de emplear geotextil, se coloca primero la malla de coco de densidad 700 gr/m<sup>2</sup> sobre el terreno previamente ataluzado, se extiende, se ancla en cabecera y pie de talud. (Ver técnica 2). En la parte inferior se colocan piedra de escollera o bolos con objeto de disipar la energía y proteger la manta. Otra opción es colocar en la base fajinas clavadas al lecho con barras de acero corrugado.



5. Para insertar las estacas se abre un hueco previo con la ayuda de una barra de acero corrugado y se clavan con la ayuda de una maza de madera. Se clavarán las estacas vivas de manera perpendicular al terreno. Las yemas deberán orientarse hacia arriba, insertando la parte en bisel en el mismo.



6. Se introducen dentro del suelo 3/4 de su longitud, de manera que queden comprimidas en el hueco y ofrezcan cierta resistencia en su inserción. Si es necesario, se rellena el hueco con la tierra compactando el suelo circundante.

7. A continuación, se cortan al bisel dejando un mínimo de dos yemas en el exterior con un corte neto.



8. La densidad de plantación deberá ser de 2 a 3 estacas por m<sup>2</sup>, dependiendo de la necesidad de estabilización, siendo mayor en la parte inferior de la margen y disminuyendo a medida que va subiendo. Normalmente se colocan en las 2/3 partes inferiores del talud.

9. Si fuera necesario, realizar un riego de apoyo tras la implantación.

**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	1
Después del desarrollo del material vivo	150	< 3

La colocación de una malla orgánica permite que los valores de resistencia al arrastre sean mayores desde el primer momento. En este caso, los valores límite son 2,5 m/s y 250 N/m<sup>2</sup>.

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Se trata de una técnica que requiere pequeños movimientos de tierra (básicamente un reperfilado de la ladera fluvial). La respuesta de la técnica frente a la erosión no es inmediata, por lo que es necesario sembrar las superficies después del estaquillado o bien emplear un geotextil biodegradable como una malla orgánica.
- El desarrollo de la vegetación es rápido (en 1-2 años los efectos de refuerzo de la vegetación son completos). Necesita de un abundante material vegetal.
- La estabilización del suelo ripario es superficial, ya que principalmente se trata de una técnica que busca la protección frente a las fuerzas de arrastre de las avenidas extraordinarias. En cualquier caso, los sistemas radicales aumentan la resistencia a cortante del suelo en profundidades de hasta 0,5 m, dependiendo de las especies utilizadas.

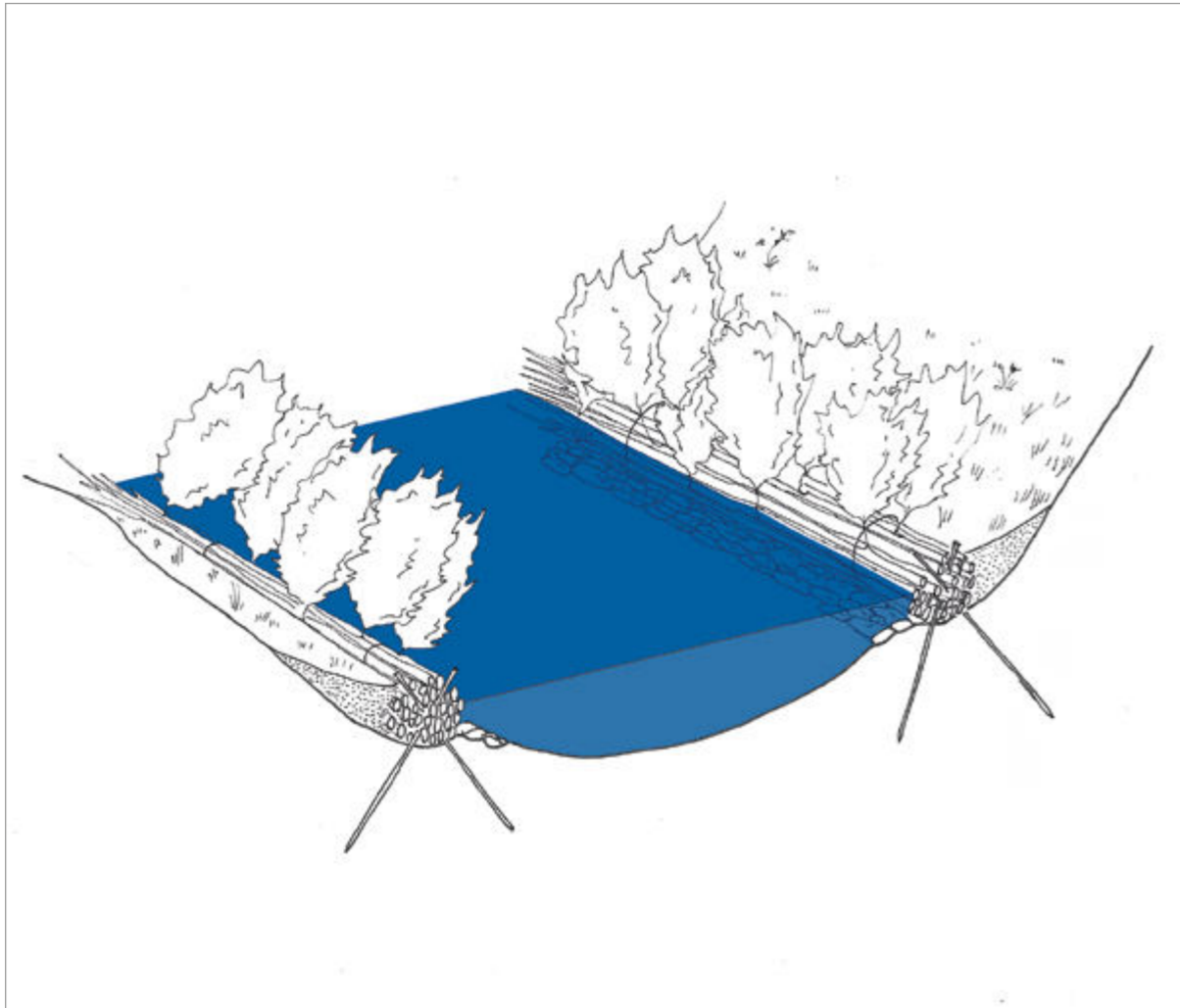
**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>2</sup> de estabilización del talud mediante estacas leñosas de especies autóctonas de > = 2años  
D = 2-5cm, Longitud = 50-100 cm UD

Mano de obra	51%
Materiales y resto obra	49%
<b>Coste año 2018</b>	<b>2 €-2,40 €/m<sup>2</sup></b>

PRECIO ORIENTATIVO: DOS EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS DE EURO.

## FICHA 4: FAJINA



## DEFINICIÓN

La fajina viva de ribera es una técnica de estabilización viva de margen consistente en la confección de un haz de ramaje de especies leñosas autóctonas con capacidad de reproducción vegetativa y que se utiliza para la protección del pie de la margen o como elemento de relleno de las estructuras de madera, como el entramado o la empalizada, o como base de la estera de ramaje.

En ámbito fluvial se emplea para reconstruir la primera línea de plantas flexibles como salicáceas o similares.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Ramas flexibles, largas, rectas y con yemas de crecimiento activas y con una longitud en torno a 150-200 cm y con un diámetro comprendido entre 2 y 4 cm. La anchura de la fajina será de unos 30 a 50 cm, en función de su empleo.
- Piquetas de madera seca o muerta de longitud  $\geq 100$  cm y un diámetro de 7-10 cm.
- Alambre recocado de 2 mm de diámetro para atar entre sí las piquetas de madera.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

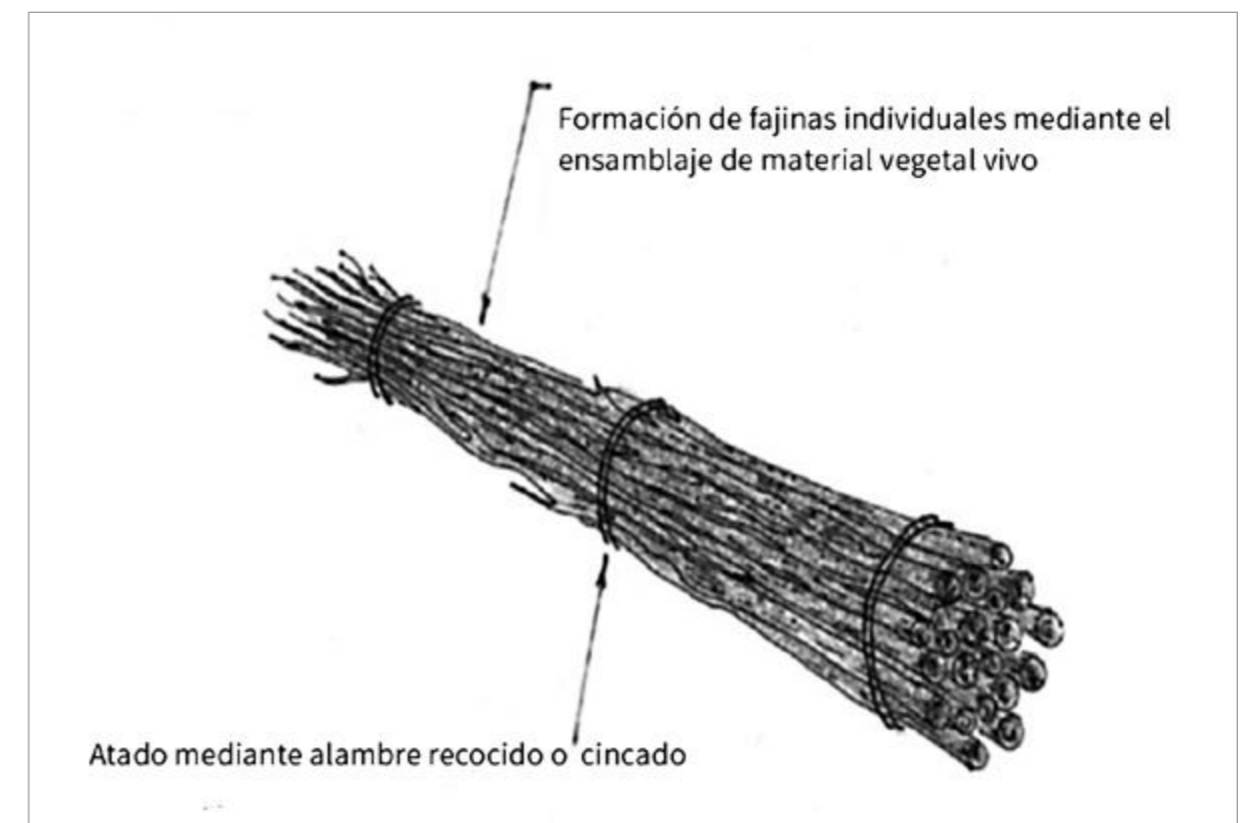
Esta técnica resulta indicada en los casos siguientes:

- Estabilización de pie de margen fluvial en ríos con energía media y con caudales medios. Ofrece una protección relativamente rápida desde el momento de su ejecución, incluso antes de que brote.
- Protección contra deslizamientos superficiales.
- Reducción de una pendiente larga a una serie de pendientes cortas.
- Relleno de estructuras como entramados o empalizadas fluviales.

Es una técnica fácil de adaptar a las irregularidades del lugar.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

1. La fajina se confecciona ensartando las ramas unas con otras, desde la base, de manera que se formen haces de ramas de unos 30-50 cm de diámetro y de unos 3-5 m de longitud y atados con alambre de acero galvanizado de 3 mm cada metro. Los ápices de las ramas deben quedar siempre en la misma dirección.



2. Se abre al pie una pequeña zanja de 30 cm de profundidad y se coloca la fajina de manera que 2/3 de la misma se encuentre enterrada en contacto con el terreno, a nivel medio de las aguas. El sentido de la fajina es con los ápices orientados aguas arriba.



3. Se fija la fajina al terreno atravesándola mediante piquetas de madera o con barras de acero corrugado, colocándolas a una distancia entre sí de 0,8-1 m y orientadas alternativamente con objeto de que la estructura sea más elástica. Las piquetas tendrán una longitud de 100-150 cm y un diámetro de 7-10 cm.

4. En la base de la fajina pueden colocarse piedras de distinto tamaño como elemento de protección.

**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	1
Después del desarrollo del material vivo	150-200	< 3

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Se trata de una técnica que se utiliza tanto como elemento de estabilización de la base de la margen como elemento de relleno de las estructuras vivas de madera como entramados o empalizadas de ribera.
- El desarrollo de la vegetación es rápido (en 1-2 años los efectos de refuerzo de la vegetación son completos). Como desventaja, es una técnica que necesita de un abundante material vegetal.

**UNIDAD DE OBRA**

M de fajina para estructura.

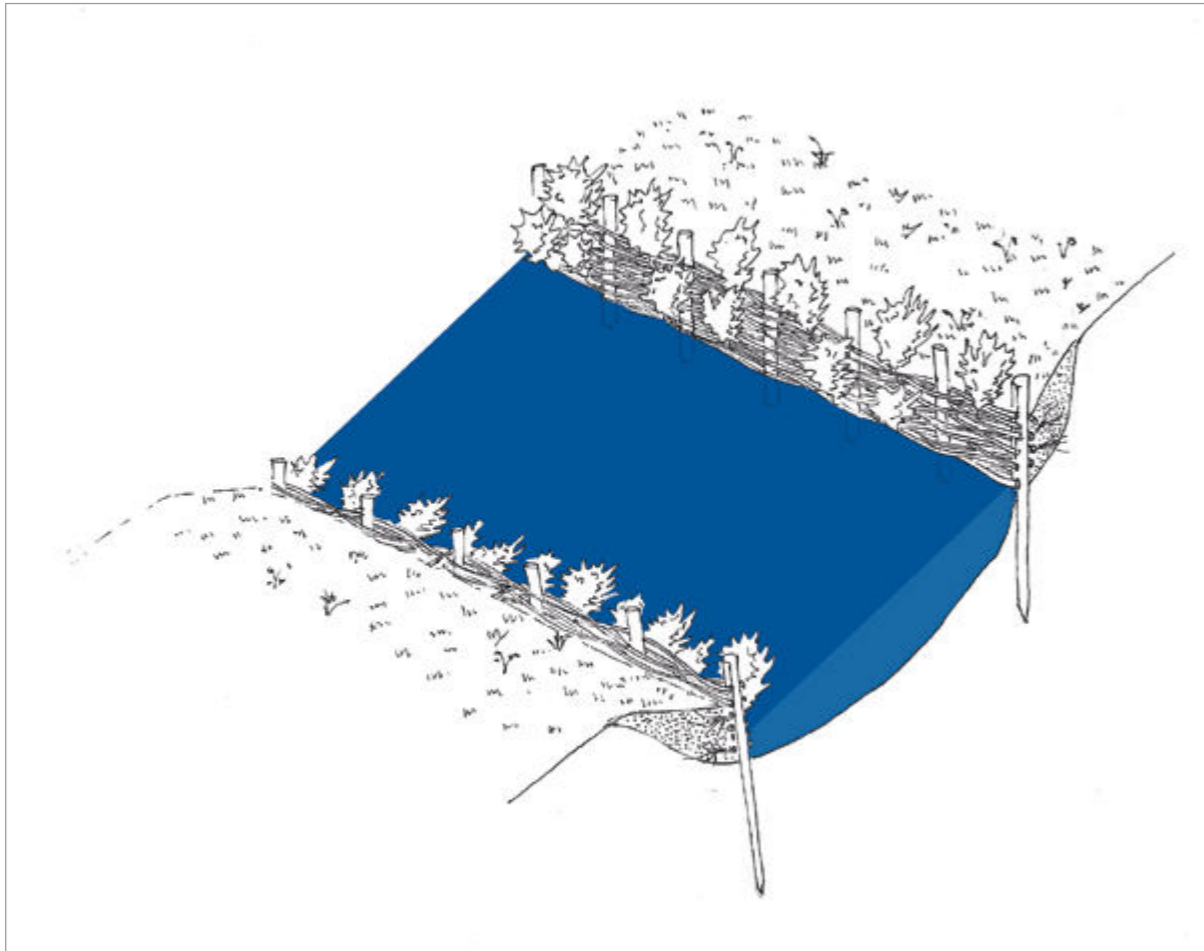
Mano de obra 51%

Materiales y resto obra 49%

**Coste año 2018 22 €/m**

PRECIO ORIENTATIVO: VEINTIDÓS EUROS.

## FICHA 5: TRENZADO DE MIMBRE



## DEFINICIÓN

Técnica de estabilización del pie de margen consistente en el entrelazado de ramas flexibles de arbustos de ribera con capacidad de reproducción vegetativa alrededor de estacas de madera o acero. Se coloca siguiendo el contorno del margen fluvial.

Permite una rápida retención del material superficial de la pendiente y su estabilización, al trenzarse en varias capas. La disposición de los trenzados de ramas puede ser en filas horizontales o cruzadas entre sí de manera que formen rombos o cuadrados. Con el fin de obtener una mayor eficacia, es necesario realizar la técnica con material vivo que tenga capacidad de emitir raíces adventicias.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Ramaje de sauce de longitud superior a 1,5 metros, flexibles y con diámetros de 1 a 3 cm.
- Piquetes o estacas: longitud  $\geq 150$  cm y diámetro= 6-10 cm.
- Alambre recocado de diámetro 2 mm.
- Opcional: Ramas muy finas para realizar las barreras anti-erosión.

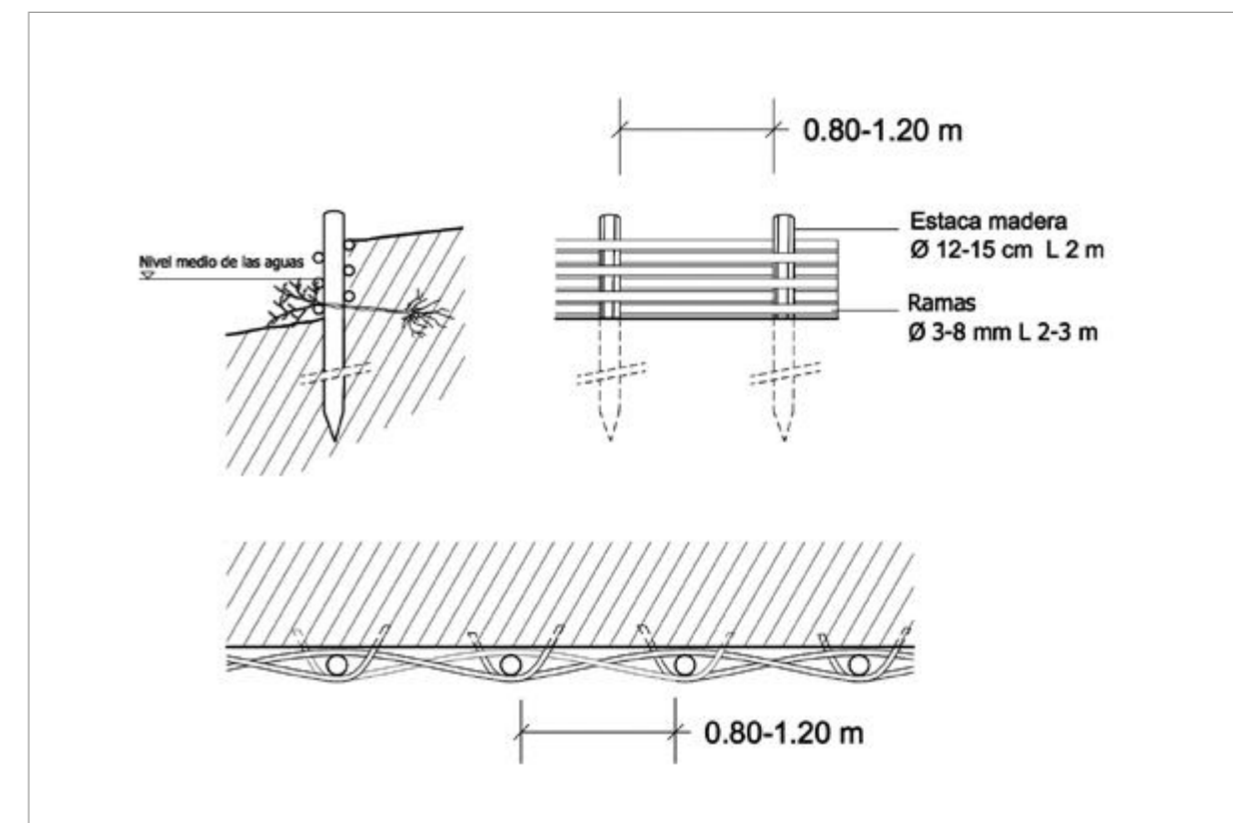
## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta técnica puede llevarse a cabo con efectividad en los casos siguientes:

- Para la protección del pie del margen fluvial, adaptada a tramos de cursos de agua con velocidades de la corriente medias-bajas y transporte de sólidos reducido.
- Permite la estabilización de capas superficiales de suelo poco estables, estabilizando el terreno una vez formadas las raíces.
- En márgenes fluviales con irregularidades del lugar: presencia de cepas, desagües de canalizaciones, etc.
- En zonas donde de manera natural no se restituya o donde se desee adelantar la colonización de los *salix*.
- Para estabilizar áreas intermedias, entre otras técnicas de estabilización.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

1. Tras haber preparado una base estable para la obra, hundir mediante medios mecánicos una hilera de piquetas de madera de longitud  $\geq 150$  cm y de 7-10 cm de diámetro, espaciadas longitudinalmente entre sí a unos 50-100 cm, de manera que sobresalgan unos 50 cm.

2. Con objeto de evitar erosiones por debajo de la estructura, se pueden colocar de manera opcional ramas sin capacidad de reproducción vegetativa de 70 cm longitud y de 0,5-1,5 cm diámetro, con una densidad mínima de 40 u/ml y colocadas perpendicularmente al margen fluvial. Actúan disipando la energía de manera local y evitando la erosión de la margen.



3. Se trenzan las ramas de sauce vivo flexibles, de longitud  $\geq 150$  cm y de 1,5-4 cm de diámetro, de manera que las extremidades de las ramas se encuentren orientadas aguas abajo, partiendo siempre desde la parte interior de la estaca.

4. Se trenzan a razón de 10-12 ramas por metro lineal y teniendo cuidado de compactar las hileras al máximo hacia el fondo, para conseguir una estructura densa y compacta. El extremo inicial de cada rama debe estar bien hundido y en contacto en el material del lecho con objeto de que llegue a vegetar.



5. Se completa la compresión de las ramas, se atan con alambre de acero galvanizado de 3 mm de diámetro a las piquetas de madera verticales y se afianzan de nuevo con medios mecánicos para dar solidez a la estructura.



6. Se rellena con tierra vegetal el trasdós de la obra con tierra vegetal de obra, de manera que las ramas queden en contacto directo con la tierra para así favorecer su enraizamiento y brotación.

7. La estructura del trenzado vivo de ribera debe colocarse de tal manera que los extremos aguas arriba y aguas abajo estén bien anclados en la orilla para impedir su descalce.

**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	3
Después del desarrollo del material vivo	150-200	3-6

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Se trata de una técnica que requiere pequeños movimientos de tierra (básicamente un reperfilado de la ladera fluvial). El uso de la mano de obra es intenso. El desarrollo de la vegetación es rápido (en 1-2 años los efectos de refuerzo de la vegetación son completos). Necesita de un abundante material vegetal.
- La estabilización del suelo ripario es superficial, ya que principalmente se trata de una técnica que busca la protección frente a las fuerzas de arrastre de las avenidas extraordinarias. En cualquier caso, los sistemas radicales aumentan la resistencia a cortante del suelo en profundidades de hasta 0,5 m, dependiendo de las especies utilizadas.

**UNIDAD DE OBRA**

M lineal de trenzado de mimbre enterrado.

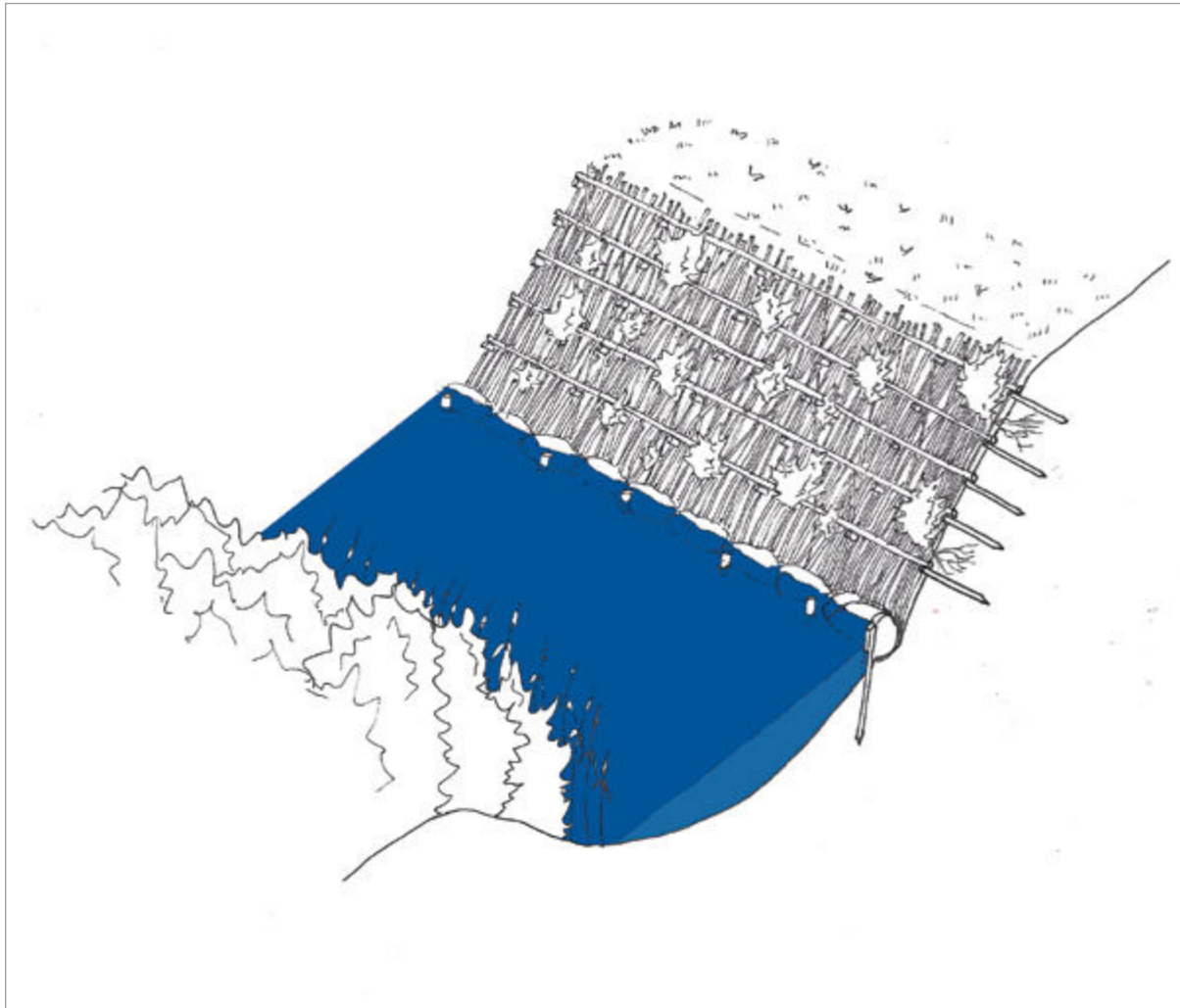
Mano de obra 65%

Materiales y resto obra 35%

**Coste año 2018** **29 €/m**

PRECIO ORIENTATIVO: VEINTINUEVE EUROS.

## FICHA 6: ESTERA DE RAMAJE



## DEFINICIÓN

La técnica de estera de ramaje es una técnica de estabilización que consiste en el recubrimiento de la superficie del talud del margen fluvial con varas vivas de especies de ribera con capacidad de reproducción vegetativa. Permite la obtención de una vegetación densa.

Técnica empleada como protección eficaz de la superficie de las márgenes del río frente a la erosión. Constituye una protección continua y elástica de la orilla y mejora el balance hídrico y térmico, favoreciendo el desarrollo de la vegetación en el terreno y en estrato arbóreo.

## MATERIALES EMPLEADOS

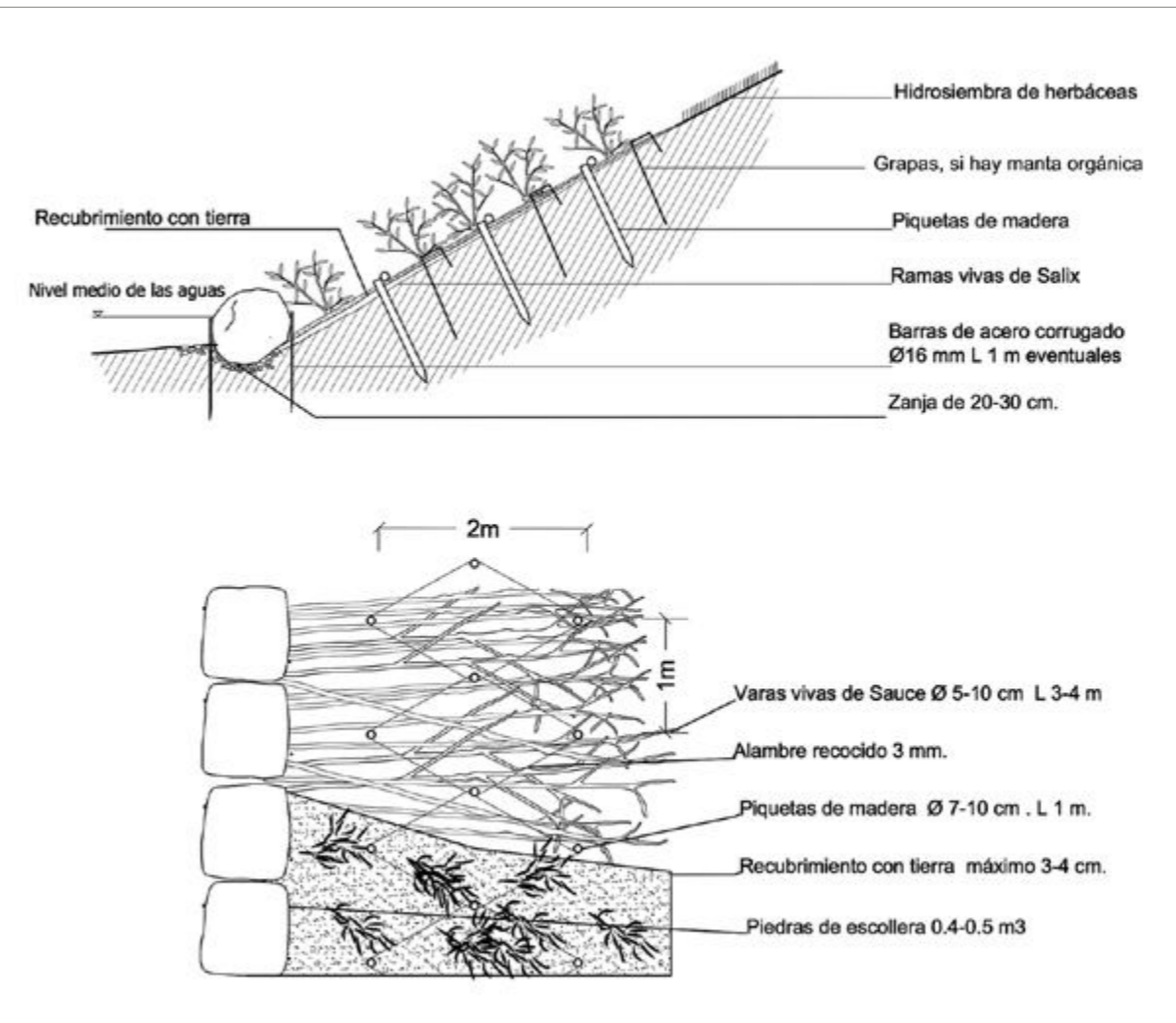
- Varas de 3 a 4 metros de longitud y 5-10 cm de diámetro.
- Piquetas de madera de 7-10 cm de diámetro y 1 m de longitud.
- Alambre recocido de 2 o 3 mm.
- Opcional: Malla orgánica de coco de 700 g/m<sup>2</sup> de densidad y luz 10 x 10 mm y grapas de acero corrugado de 6 mm de diámetro.
- Piedra de escollera, fajina, entramado simple de ribera como sujeción de la base.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

- Se trata de un recubrimiento del margen del río mediante la instalación de varas arbustivas y la colocación de una malla orgánica. La pendiente de la orilla no debe ser superior a 38°.
- Las especies, al brotar y enraizar, estabilizan toda la superficie construida, protegiéndola contra la erosión y los efectos de las crecidas, siempre y cuando el material se mantenga elástico y flexible.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

Para las esteras de ramaje en ámbito fluvial se considerarán las operaciones siguientes:

1. Remodelado del talud del margen fluvial y reperfilado de su superficie hasta dejar un talud de una pendiente máxima de 35°, de manera que el material vegetal a colocar se asiente bien sobre el suelo.

Si fuera necesario, se desbroza el talud.

2. Se recubre la superficie con las varas, colocándolas una junto a la otra, con una densidad de entre 30 a 40 varas por metro lineal, paralelamente a la pendiente del talud. Si la longitud de las varas no fuera suficiente para cubrir la totalidad del margen fluvial, se puede realizar el recubrimiento con dos capas, de manera que la capa que está encima sea la que esté en contacto con el agua y se superponga por lo menos 30 cm sobre la capa inferior.

Las varas deben estar con la correcta polaridad y deben quedar en contacto con el terreno y la base dentro del agua.



3. Se recubren las varas con una capa de tierra vegetal de obra de unos 4-5 cm de espesor.



4. Es recomendable la protección con una malla orgánica de coco de densidad superior a 700 g/m<sup>2</sup>, con luz de 2 x 2 cm, colocándola en el sentido paralelo a la corriente del agua.

5. Para evitar que la obra se descalce, en la base de la orilla se refuerza bien con una técnica de protección de la base mediante un pie de escollera, un entramado simple o una fajina.

6. Se clavan piquetas de madera sobre la superficie del talud, hundiéndolas por lo menos 50 cm con ayuda de la retro (preferiblemente con una clava estacas, pero también se puede hacer empleando el cazo). Las piquetas se disponen en líneas paralelas al agua con una distancia entre piquetas de 1 m en la parte inferior. Conforme se sube en altura estas hileras se van espaciando. Las piquetas se colocan al tresbolillo, esto es, desfasando una hilera respecto a la paralela en 50 cm.

7. Se ata la estructura pasando un alambre de acero de 2 o 3 mm de espesor, primero atando las que se encuentran en la misma alineación y después en cruz, uniendo todas las piquetas.

8. Por último, se clavan una segunda vez las piquetas para tensar la estructura y que esté en contacto con el suelo. Finalmente, se cortan las piquetas, enrasándolas.

**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	150	< 3
Después del desarrollo del material vivo	200	< 3

La colocación de la manta orgánica aumenta la resistencia de esta técnica durante su primera fase de instalación. La resistencia con la manta orgánica es de 2,5 m/s y 250 N/m<sup>2</sup>.

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Se trata de una técnica que permite una revegetación densa y muy rápida de la superficie de la margen. Es recomendable la utilización de una malla orgánica para conseguir una protección más inmediata. El desarrollo de la vegetación es rápido (en 1-2 años los efectos de refuerzo de la vegetación son completos). Necesita de un abundante material vegetal, las varas deben ser lo más rectas posibles para que estén en contacto con el suelo.
- Es necesario realizarlo en periodo de parada vegetativa.
- No se emplea en cursos de agua con velocidades de flujo y de transporte sólido elevado.

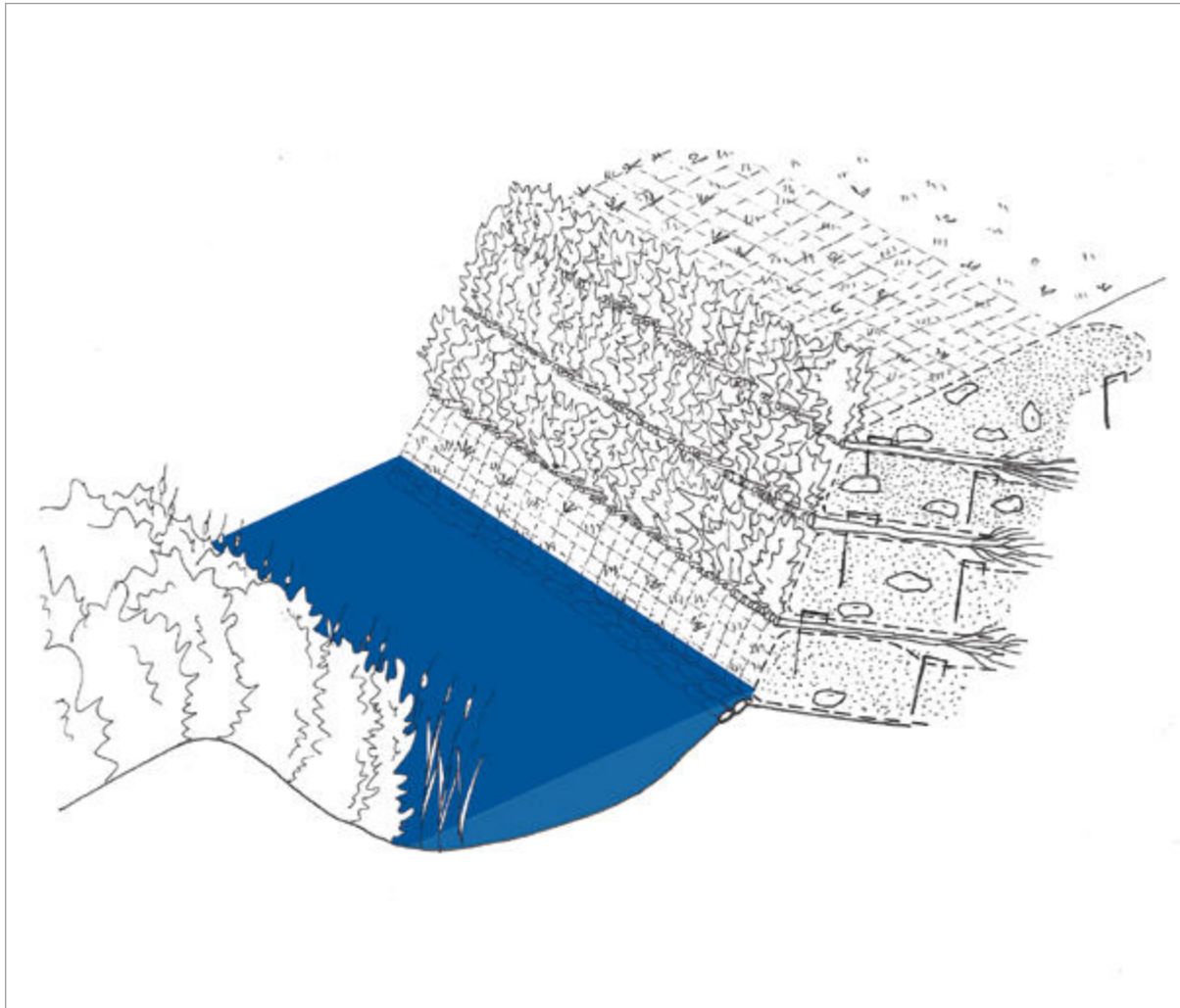
**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>2</sup> estera de ramaje conformada por varas de sauce de 3 a 4 m de longitud y 5-10 cm de diámetro, recubierta con malla orgánica de coco de 740 g/m<sup>2</sup> y base con escollera.

Mano de obra	62%	<b>Coste año 2018</b>	<b>87 €</b>
Maquinaria	10%	PRECIO ORIENTATIVO PARTIDA DE ESTERA DE RAMAJE CON MALLA ORGÁNICA: OCHENTA Y SIETE EUROS.	
Materiales y resto obra	28%	SIN MALLA ORGÁNICA: SETENTA Y NUEVE EUROS.	



## FICHA 7: LECHOS DE RAMAJE CON MALLA ORGÁNICA



## DEFINICIÓN

Es una técnica de estabilización de taludes y márgenes consistente en la implantación en terrenos en pendiente de hileras de estacas vivas y/o plantas enraizadas de especies capaces de emitir raíces adventicias, colocadas en zanjas rellenas de tierra. En la técnica de lechos de ramaje, el material vegetal se orienta de forma más o menos perpendicular al contorno del talud. Los lechos de ramaje y plantas se realizan en varios niveles, pudiendo armarse creando tongadas con una malla orgánica, inspirándose en el sistema de construcción de las tierras reforzadas.

Se distinguen en función del material vivo empleado: lechos de ramaje, cuando se utiliza ramaje; lechos de estacas, cuando se utilizan estacas; y lechos de plantas enraizadas, cuando se utilizan plantas enraizadas. La técnica de lechos de ramaje y plantas combina las dos técnicas.

## MATERIALES EMPLEADOS

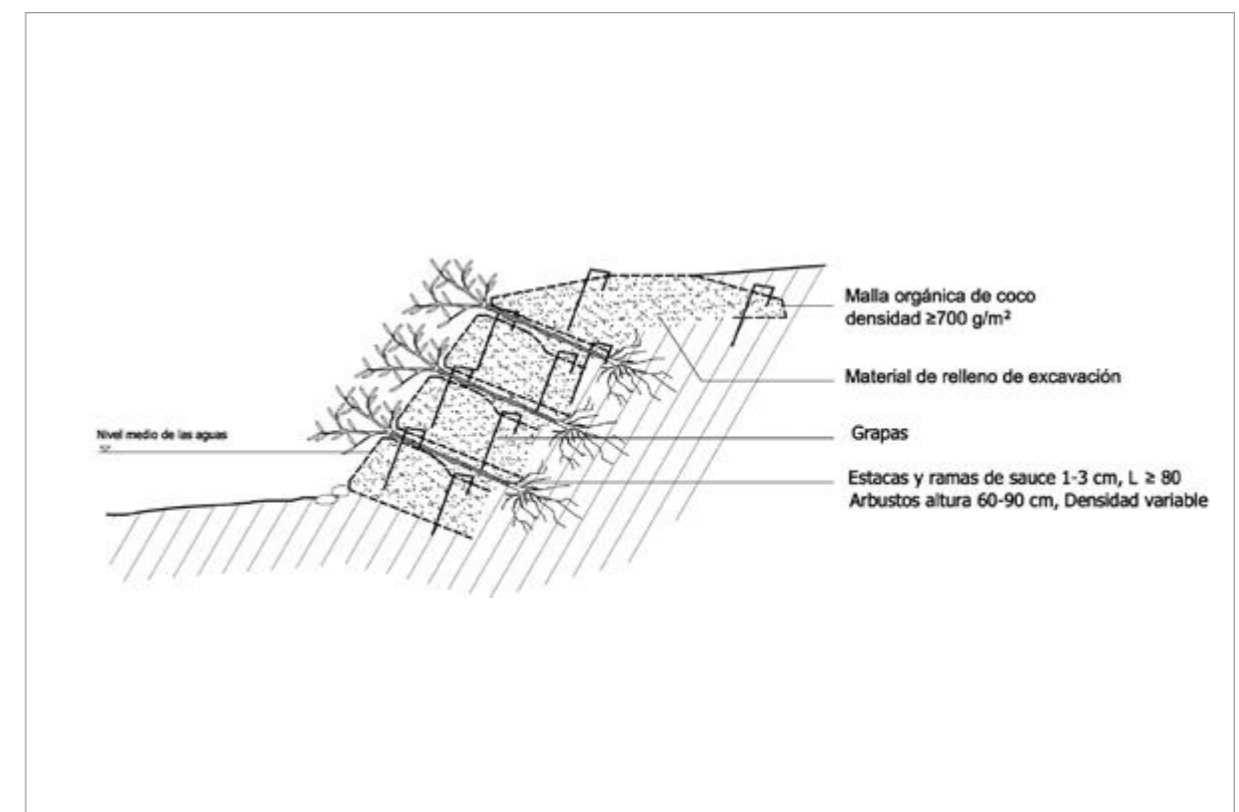
- Estacas vivas.
- Plantas a raíz desnuda. Deben ser plantas de dos o más savias, con una longitud superior a 80 cm.
- Mallas orgánicas de coco con una densidad  $\geq 700 \text{ g/m}^2$  en las zonas por encima del nivel medio de las aguas y geoproductos de fibras sintéticas por debajo del nivel medio de las aguas.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

- Es una técnica adaptada para la estabilización de taludes cuya pendiente es elevada y que presenten riesgo de desprendimiento. Cuando los lechos de ramaje y plantas se construyen con tongadas de malla orgánica constituyen una técnica de refuerzo mecánico del talud particularmente resistente. Dada la elevada cantidad de material vegetal empleado, éste funciona también como drenaje natural de la margen, aumentando de esta manera la cohesión del suelo.
- El uso de la malla orgánica permite pendientes mayores, aunque la pendiente de la orilla no debe ser superior a  $40^\circ$ . Las especies, al brotar y enraizar, estabilizan toda la superficie construida, protegiéndola contra la erosión y los efectos de las crecidas, siempre y cuando el material se mantenga elástico y flexible.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

1. En el pie del margen fluvial o por encima de una obra de protección de margen existente, tipo entrado vivo, por ejemplo, formar una merma perpendicular al perfil del talud con inclinación hacia el talud de unos 10°.



2. Estacas de especies con capacidad de reproducción vegetativa se colocan adosadas y en hilera, respetando la polaridad, y con una densidad, dependiendo del diámetro de las estacas, variable entre 15 y 25 u/ml. Estas estacas se mezclan con plantas enraizadas a raíz desnuda de dos savias, de 60-80 cm de longitud y con una densidad de 2 a 5 unidades por metro. Tanto las estacas como las plantas no deben superar el perfil del margen fluvial más de 25-30 cm.



3. Una vez colocada la primera hilera de plantas y estacas, desenrollar la malla orgánica y rellenarla de tierras vegetales de obra y gravilla, teniendo cuidado de que la capa de geoproducto no doble las plantas hacia abajo.

4. Cerrar la malla formando una tongada, con cuidado de que no forme bolsas. Sobre esta capa se colocan de nuevo las hileras de estacas y plantas como descritas anteriormente. Montar sucesivamente las diferentes tongadas de malla y de lechos de manera que la pendiente formada sea la del proyecto.



5. Fijar la malla mediante un mínimo de tres grapas de acero corrugado por metro lineal, de longitud total  $\geq 80$  cm y 6 mm de diámetro. En la última tongada, la malla se colocará sobre el talud recuperando el perfil original, fijándolo con dos grapas por  $m^2$ .

6. En caso necesario, se puede colocar una capa de material drenante (gravilla o grava) en el trasdós para drenar la obra.

7. Si hubiera capas por debajo del nivel medio de las aguas, se realizan con técnicas no vivas tipo escollera, gavión, o bien tongadas con geoproductos sintéticos, como si fuera una tierra armada.



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	3
Después del desarrollo del material vivo	150-200	3-6

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

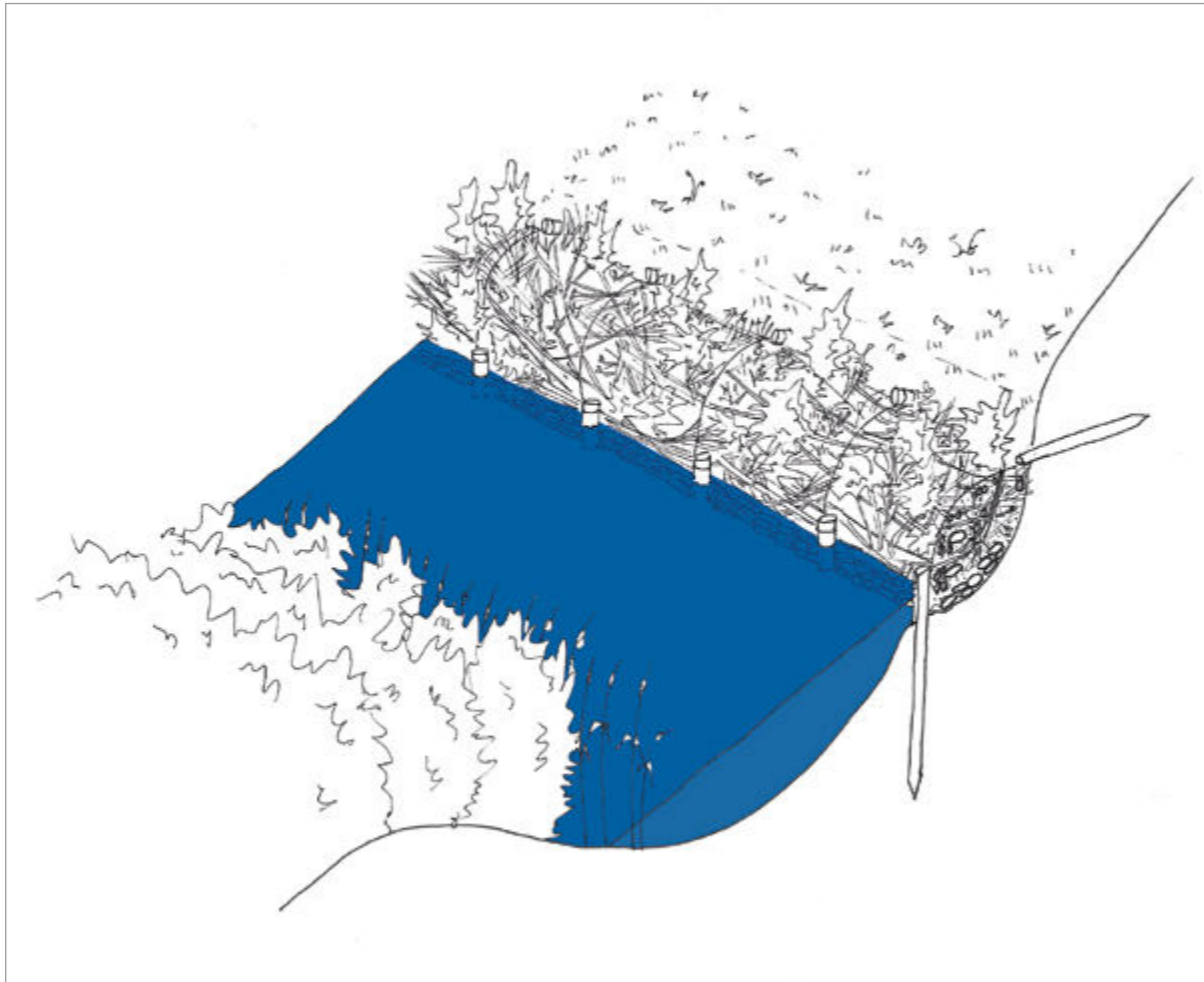
- La respuesta de la técnica frente la erosión es inmediata gracias a los elementos de refuerzo (malla orgánica). El desarrollo de la vegetación es rápido (en 1-2 años los efectos de refuerzo de la vegetación son completos).
- Necesita de un abundante material vegetal y su límite de aplicación son los 40°.

**UNIDAD DE OBRA**

M realización de lechos de ramaje armados con malla orgánica.

Mano de obra	35%	EL PRECIO ORIENTATIVO DE LA PARTIDA DE LECHOS DE RAMAJE ARMADOS CON MALLA ES DE CUARENTA Y CUATRO EUROS.
Maquinaria	33%	
Materiales y resto obra	32%	
<b>Coste año 2018</b>	<b>44 €/m</b>	EL PRECIO ORIENTATIVO SIN LA MALLA ORGÁNICA ES DE TREINTA Y SEIS EUROS.

## FICHA 8: CEPILLO VIVO



## DEFINICIÓN

Obra viva formada por un conjunto de ramas y varas que se entrelazan y se mezclan con tierra y grava formando una estructura vegetal capaz de filtrar los elementos en suspensión del agua. La densidad de las ramas reduce la velocidad de la corriente de agua que la atraviesa, favoreciendo que se depositen los sólidos en suspensión y la recuperación de la orilla.

## MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales necesarios para la técnica del cepillo vivo son:

- Ramas y varas vivas.
- Ramas y varas muertas.
- Estacas de madera de 5-15 cm de diámetro.
- Piquetas de madera de 15-20 cm de diámetro.
- Tierra y grava.
- Cables de acero o de alambre galvanizado de 3 mm de diámetro.
- Barras de acero corrugado de 14 mm en sustitución de las piquetas de madera.

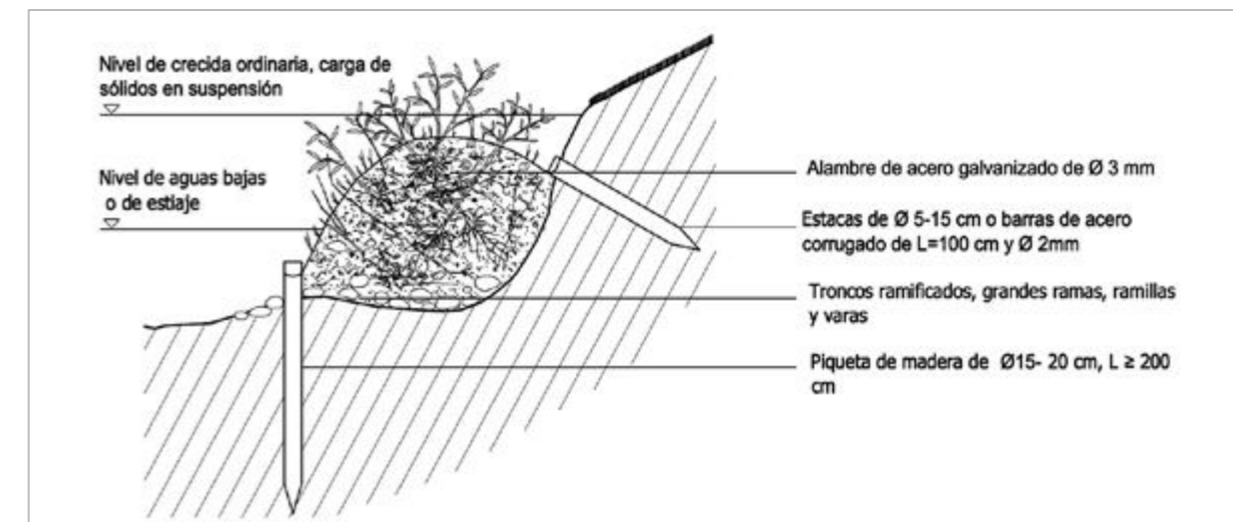
## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta técnica puede llevarse a cabo con efectividad en los casos siguientes:

- Se utiliza para la regeneración de la orilla en ríos que tienen crecidas regulares con aportes de sólidos limosos y arenosos en suspensión incluso en las crecidas menores, dado que esta técnica está basada en la dinámica entre la obra y la carga de sólidos en suspensión de la corriente de agua.
- Para colmar pequeños derrubios localizados en el margen fluvial originados por accidentes morfológicos como, por ejemplo, la presencia de un árbol descalzado en el límite de la orilla que haya favorecido, en las crecidas, la aparición de un principio de erosión.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

El cepillo vivo se realiza amontonando ramas y varas entrelazadas mezcladas con materiales del lecho, tierra y gravas. El conjunto de la estructura se compacta y se ata fuertemente mediante cables de acero o de alambre sujetos a estacas de sujeción. La obra debe ser capaz de filtrar los sólidos transportados por el agua durante las crecidas ordinarias y favorecer que se depositen en su interior. El entrelazado de las ramas debe permitir disipar en parte la energía de la corriente y facilitar la sedimentación. La brotación puede darse en las ramas vivas de la estructura o bien de manera indirecta, tras el aporte de semillas, partes de raíces o de ramas por la corriente de agua tras las crecidas.

Para la construcción de cepillos vivos en ámbito fluvial se considerarán las operaciones siguientes:

1. Colocar las ramas muertas y vivas en el fondo entrelazadas entre sí y paralelas a la dirección longitudinal del cauce y mezcladas con materiales naturales inertes, tierra y áridos (aproximadamente el 50% del volumen), terraplenando las ramas de forma regular, reconstruyendo el perfil de la orilla y compactando el material. El material vegetal se coloca paralelo a la dirección de la corriente, orientando las ramas de manera que la zona apical se encuentre aguas arriba de la corriente.



2. Hundir mediante medios mecánicos a través de la estructura o bien el borde de ésta, una serie de estacas o piquetas de madera de 5-15 cm de diámetro y longitud 200 cm, distanciándolas lateralmente de 100-200 cm y longitudinalmente 200 cm, sin apoyarse sobre el lecho del río, esto es, sin estrecharlo. Las estacas o piquetas no deberán sobresalir más de 80 cm sobre el fondo.



3. Hundir en la orilla, de manera casi horizontal, las estacas de 4-7 cm de diámetro o bien barras de acero corrugado de 100 cm de longitud y de 2 cm de diámetro.



4. Atar sólidamente la estructura mediante alambre recocado uniendo las estacas o barras del margen con las piquetas colocadas en el lecho.

5. Una vez atado el alambre a las piquetas del lecho, se hunden de nuevo mediante medios mecánicos de manera que tensan y compactan la estructura vegetal de los cepillos.



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	3
Después del desarrollo del material vivo	100-150	3-6

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

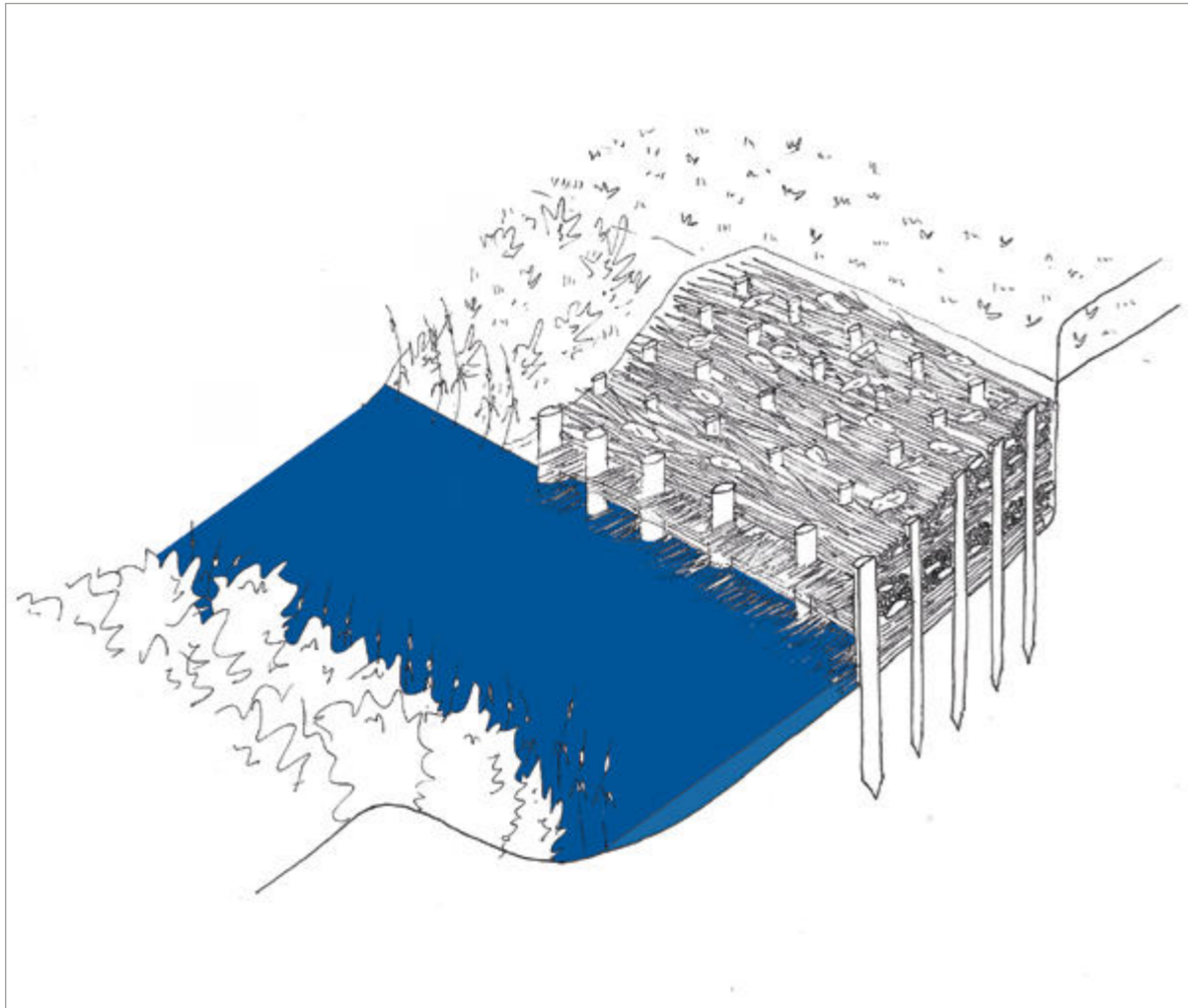
- Permite la recuperación de pequeñas incisiones y pérdidas de orilla siempre y cuando el río sea un río con crecidas frecuentes y transporte sedimentos en el tramo.
- Permite el empleo de elevado material muerto, no necesariamente de especies de ribera.
- Se debe evitar invadir el lecho, por lo que hay que analizar bien el tramo del río en el que se va a aplicar la técnica.

**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>3</sup> cepillo vivo de ribera. Construcción y colocación de cepillos vivos conformados con material arbustivo y arbóreo autóctono con capacidad de reproducción vegetativa.

Mano de obra	48%	<b>Coste año 2018</b>	<b>47 €/m<sup>3</sup></b>
Maquinaria	22%	EL PRECIO ORIENTATIVO DEL M <sup>3</sup> DE CEPILLO VIVO ES DE CUARENTA Y SIETE EUROS.	
Materiales y resto obra	30%		

## FICHA 9: ESTRATO VIVO



## DEFINICIÓN

El estrato vegetal vivo es una técnica de estabilización viva que se emplea para la reconstrucción lineal de un margen fluvial sometido a erosión.

Consiste en la reconstrucción, mediante una hilera de piquetas de madera, de la línea de la orilla original. Se coloca detrás material de relleno constituido por ramas muertas o troncos muertos y piedras y áridos sobre los que se entrelazan estacas y ramas vivas de especies con capacidad de reproducción vegetativa.

## MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales necesarios para la técnica del estrato de ramaje vivo son:

- Estacas y ramas vivas de especies leñosas con capacidad de reproducción vegetativa.
- Ramas o troncos muertos.
- Piquetas de madera: Externos 15-18 cm e internos de 8-10 cm y 2 m de longitud.
- Piedras, cantos y bolos, áridos y tierra.
- Alambre recocido de 3 mm de diámetro.

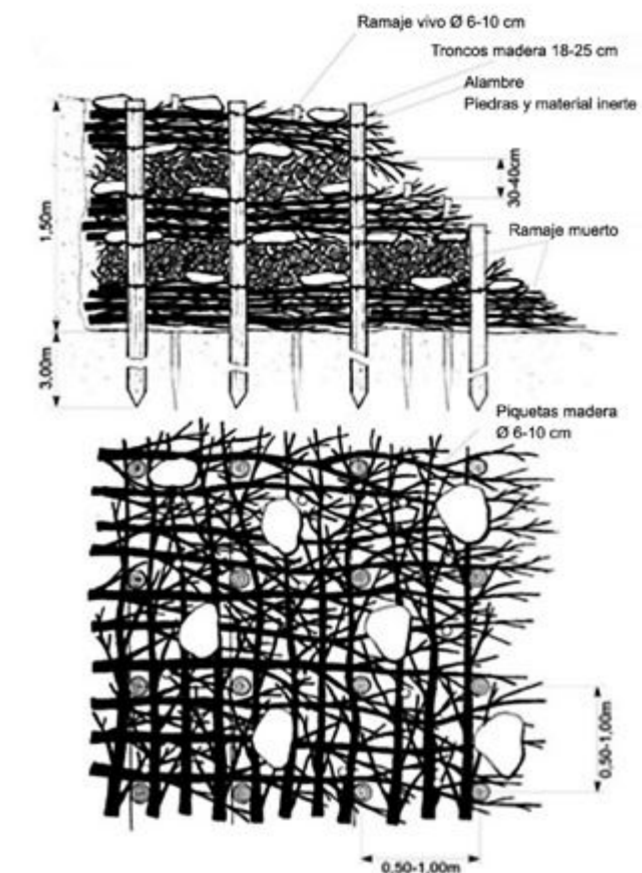
## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta técnica puede llevarse a cabo con efectividad en los casos siguientes:

- Recuperación de meandros en erosión, márgenes descalzados, en ríos con velocidad media o alta y transporte sólido medio.
- Se pueden recuperar tramos de 0,5-1 m de profundidad e incluso se puede trabajar hasta una profundidad de 3 m.
- El agua, al pasar a través de la estructura, ralentiza su velocidad permitiendo la sedimentación de los materiales transportados en los espacios intersticiales. Por otra parte, las estacas, al brotar, aseguran la estabilización y la consolidación de la orilla reconstruida.



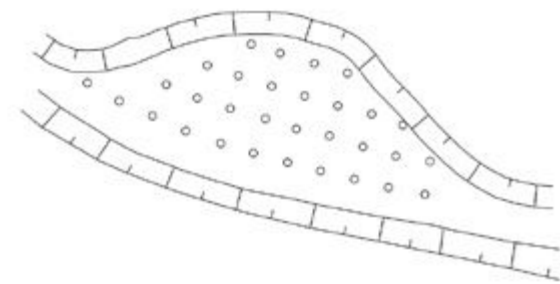
## DETALLES CONSTRUCTIVOS



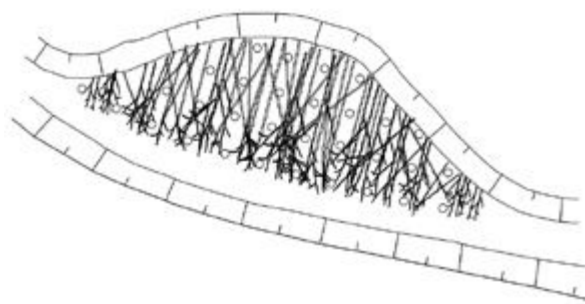
**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

Para la implantación del estrato vivo de ramaje se considerarán las operaciones siguientes:

1. Se coloca una hilera de piquetas reconstruyendo la línea original de la orilla y se colocan formando una cuadrícula el resto de las piquetas hasta completar la zona erosionada de la orilla. Las piquetas se colocan a una distancia de 1 m x 1 m y tendrán una longitud variable en función de la profundidad de la zona erosionada. En principio se hundirán 2/3 partes en el terreno.



2. Se colocan capas sucesivas de ramas muertas de manera transversal, hasta llegar al nivel medio de las aguas, recubriendo toda la superficie afectada. La primera capa se coloca perpendicularmente a la dirección de la corriente y las capas sucesivas se colocan alternadas formando un ángulo de 90° con la capa anterior. Con objeto de que la estructura no flote, se colocan piedras y gravas para darle peso entre capa y capa.

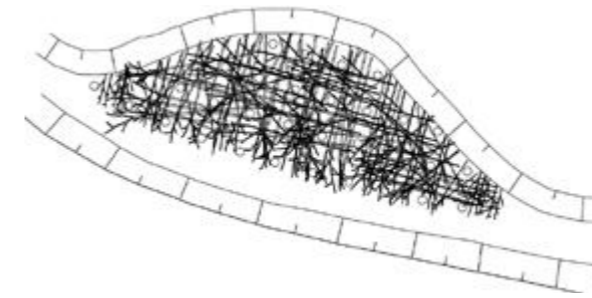


3. La última capa está formada por material vivo, ramillas o fajinas, colocadas longitudinalmente y con los ápices en la dirección contraria a la corriente, esto es, en dirección aguas arriba. El espesor total del ramaje vivo y muerto debe ser igual a la profundidad del área erosionada. Se recubre finalmente con una capa de tierra vegetal para favorecer el arraigo del material vivo.

4. Se fija el emparrillado mediante alambre de acero galvanizado y atado a las piquetas de madera.

5. Se vuelven a clavar las piquetas con medios mecánicos, con lo que se tensa la estructura.

6. Se atraviesa la estructura con estacas de sauce vivas hasta llegar al lecho. En caso de que se tumben con el peso de la estructura, se utilizan las piquetas internas como tutor.



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	100	< 3m/s
Después del desarrollo del material vivo	100-150	3-6 m/s

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

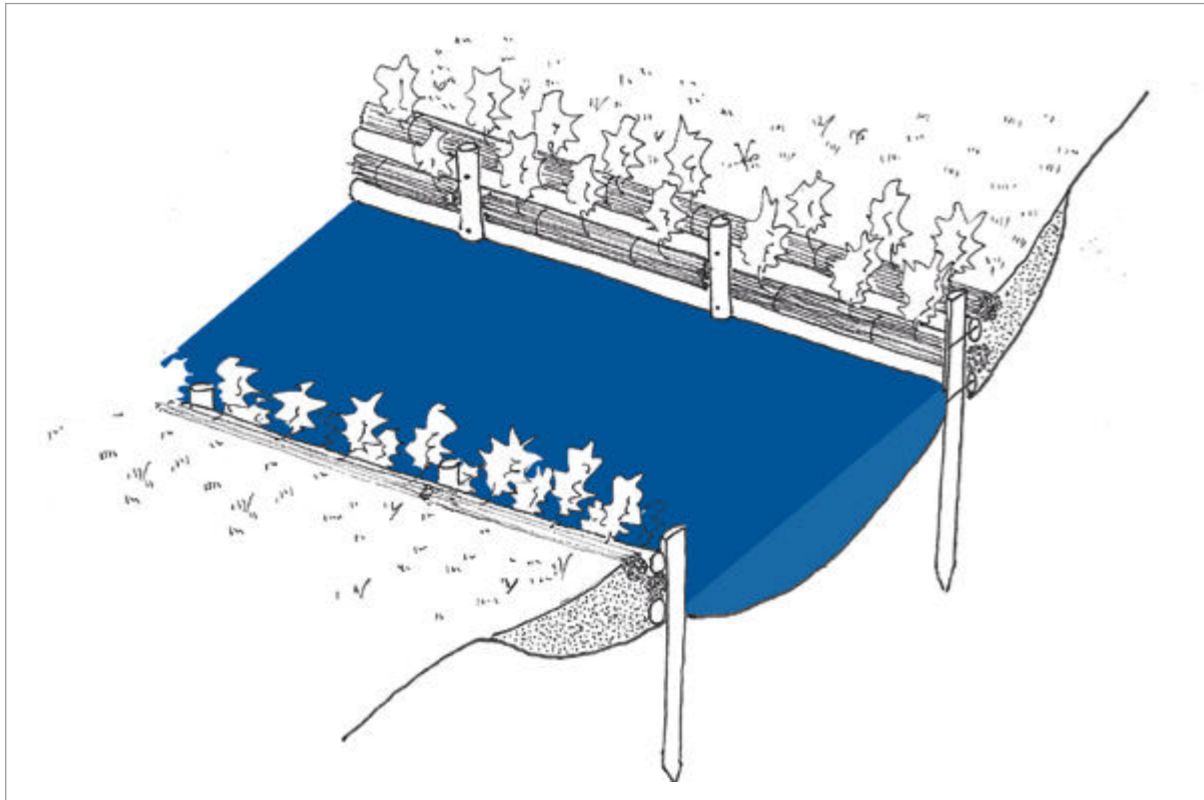
- Permite la recuperación de pequeñas incisiones en la orilla con material de la zona.
- Es una técnica que se puede emplear solo en ríos que sufren cambios importantes de caudal y que transportan sedimentos en su interior.

**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>2</sup> de estrato vivo de ribera.

Mano de obra	34%	<b>Coste año 2018</b>	<b>67 €/m<sup>2</sup></b>
Maquinaria	30%	EL PRECIO ORIENTATIVO DE LA PARTIDA DE ESTRATO VIVO ES DE SESENTA Y SIETE EUROS.	
Materiales y resto obra	36%		

## FICHA 10: EMPALIZADA VIVA DE MADERA



## DEFINICIÓN

La empalizada viva es una técnica mixta de estabilización de taludes y márgenes válida para la contención de las capas superficiales de suelos inestables.

La estructura de las empalizadas vivas comprende una serie de troncos dispuestos horizontalmente unidos a troncos verticales clavados en el terreno con una profundidad de 1,5 a 2 m y colocados a una distancia aproximada de 80 a 100 cm. Esta estructura se rellena con fajas vivas y estacas vivas en los niveles superiores al nivel del caudal medio y con piedra en los estratos inferiores.

## MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales necesarios para la técnica mixta de la empalizada viva son:

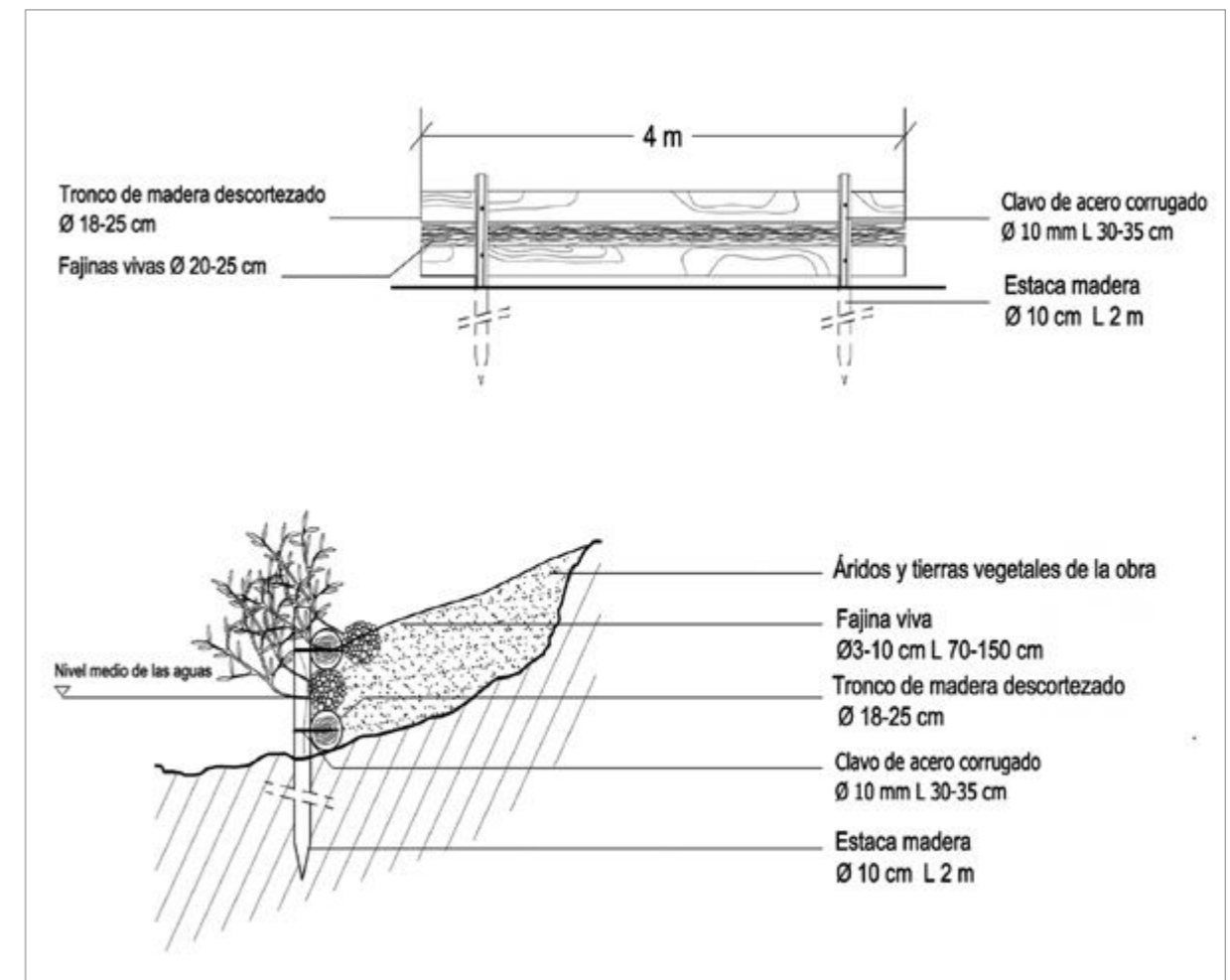
- Troncos descortezados de castaño o de coníferas de 14 a 20 cm de diámetro y de 2 a 5 m de longitud.
- Clavos de acero corrugado de 10 mm de diámetro.
- Materiales rígidos de fijación (clavos, bulones o piquetas de acero galvanizado o corrugado), de 14 a 20 cm de diámetro y de 150 a 200 cm de longitud.
- Alambre recocido de 2 o 3 mm de diámetro.
- Áridos y tierra de excavación de obra.
- Bolos de 150 a 200 mm de diámetro para rellenar las zonas por debajo del nivel del caudal medio.
- Fajas vivas, estacas.
- Manta orgánica, a utilizar cuando se emplean estacas en lugar de fajas.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

La técnica mixta de las empalizadas vivas es adecuada para la protección de márgenes erosionados sometidos a tensiones y velocidades medias. Esta técnica puede llevarse a cabo con efectividad para el control de la erosión y la consolidación de los terrenos inestables en el tramo de los ríos donde el lecho es blando y profundo, donde es viable clavar los troncos verticales.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

1. Reperfilado del talud. Se procede al reperfilado mecánico del talud o ladera y puntualmente se completa con intervenciones manuales.
2. Se clavan los postes verticales, de diámetro entre 18-25 cm y 2 m de longitud, en el lecho a una distancia de 1 m a 1,5 m, y hundiéndolo de 1/2 a 2/3 del total de su longitud. Se realiza el clavado con la retroexcavadora, mediante el accesorio clava estacas o mediante el cazo.



3. Una vez colocadas las piquetas verticales, se coloca detrás la primera hilera de troncos horizontales, que se unen con clavos a los troncos verticales, y se rellena la base de la estructura con cantos rodados, tierras y gravas.
4. Los troncos contiguos de cada fila se fijan uno al otro mediante un machimbrado con clavos a base de barras de acero corrugado de 10 mm y de 40 cm de longitud.



5. Se coloca la fajina y se rellena con tierra. Así mismo, se pueden colocar estacas transversales.



6. Se repiten las operaciones 2) , 3) y 5) al menos una vez más, llegando hasta una altura total de 1 m. En el caso de que sea necesario, la estructura puede reforzarse colocando un tronco horizontal de 3 m, igual que en el entramado simple. Cada 3 troncos verticales, se coloca 1 horizontal (tirante) que va clavado al talud con el cazo de una retro. Como alternativa a la fajina, en río con cambios bruscos de nivel se pueden utilizar manta orgánica en los distintos niveles, lo que evita la salida de la tierra, y estacas.

7. La parte superior de la estructura se taluza hasta llegar a la cota del terreno natural y se compacta para evitar huecos de aire.

En la mayoría de los casos donde el uso de la parcela es ganadero es necesario colocar un cierre para evitar el pisoteo y/o ramoneo de la vegetación (sauces).



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	200	2-3
Después del desarrollo del material vivo	300	3-6

En zonas con escaso suelo o base rocosa muy superficial esta técnica no se puede aplicar, ya que las profundidades necesarias de hincado de los elementos verticales no son posibles y la estabilidad del entramado no se puede conseguir. Medidas para compensar esto: se tendría que recurrir a anclajes de la cabeza de los elementos verticales y/o apoyos en trasdós del elemento de contención.

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- Esta técnica tiene fácil ejecución en aquellas zonas que no requieran una gran excavación.
- Su capacidad de contención es menor que la de los entramados.
- Requiere que los troncos verticales puedan hincarse en el terreno.

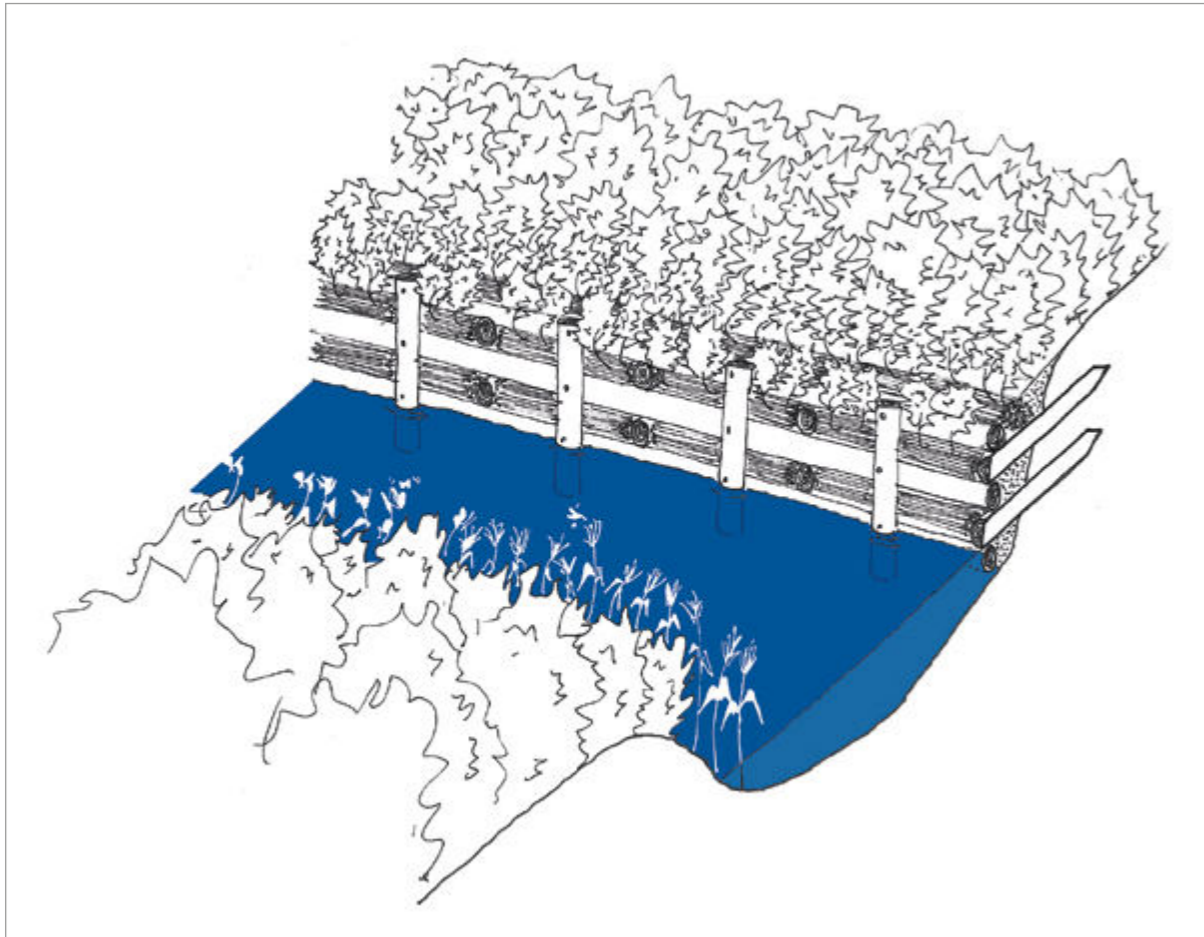
**UNIDAD DE OBRA**

Metro de empalizada viva.

Mano de obra	64%	<b>Coste año 2018</b>	<b>90,13 €/m</b>
Maquinaria	34%	EL PRECIO ORIENTATIVO ES DE NOVENTA EUROS CON TRECE CÉNTIMOS DE EURO.	
Materiales y resto obra	2%		



## FICHA 11: ENTRAMADO SIMPLE DE MADERA con PALO FRONTAL



## DEFINICIÓN

El entramado de madera simple es una técnica mixta de Bioingeniería compuesta por una estructura de troncos de madera longitudinales en una sola hilera unidos a un palo frontal vertical y con troncos transversales que funcionan como anclaje. Esta estructura se rellena con tierra, fajas y estacas vivas con el objetivo de que el futuro desarrollo de la planta suplante la estructura de troncos. Se utiliza como muro de contención y como obra longitudinal para la defensa de riberas sujetas a erosión. Se puede utilizar en cursos de agua con elevada energía y transporte de sólidos, incluso de grandes dimensiones.

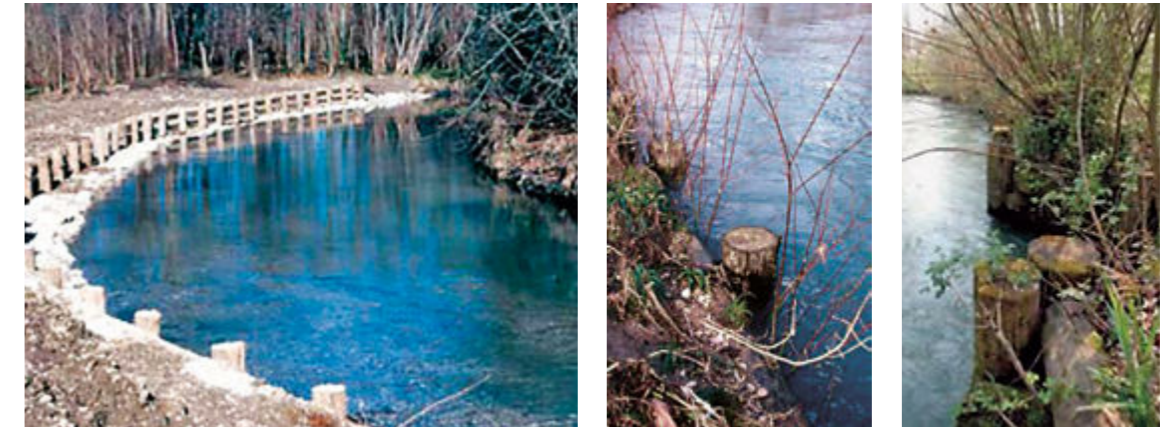
## MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales necesarios para los entramados vivos con palo vertical frontal de ámbito fluvial son:

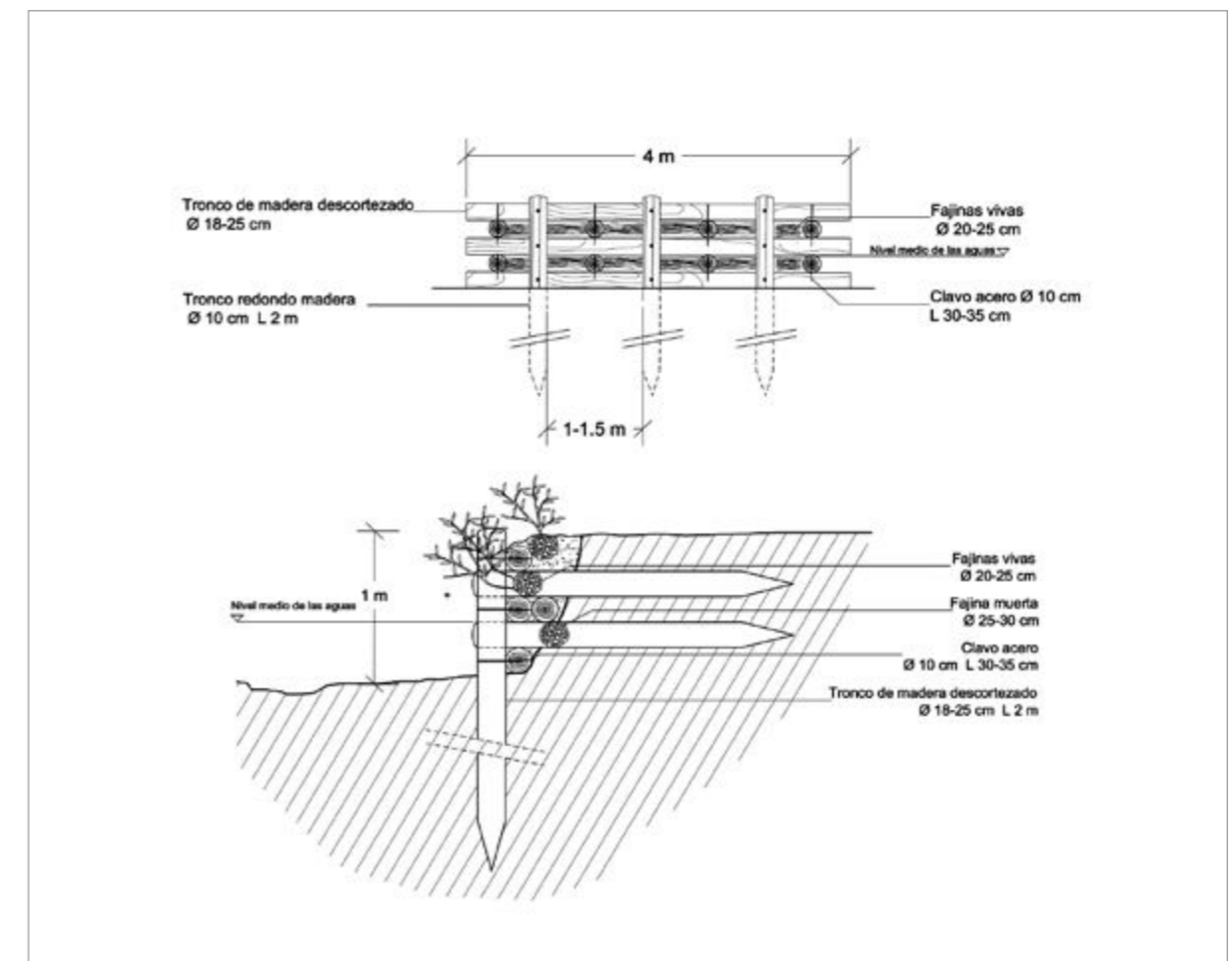
- Troncos y palos de madera descortezados de 18 a 25 cm de diámetro.
- Piquetas de acero galvanizado o corrugado de 12 a 14 mm de diámetro.
- Fajinas vivas de ribera de 20 a 30 cm de diámetro.
- Bolos de piedra para los niveles situados por debajo del calado medio.
- En caso de que sea necesario, bloques de piedra para la cimentación.
- Áridos y tierras de obra.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Se utiliza en los casos en los que la contención y protección de los terrenos son los objetivos principales. Esta técnica del entramado vivo con palo vertical frontal propio del ámbito fluvial puede llevarse a cabo con efectividad para el control de la erosión y la consolidación de los terrenos inestables en secciones de ríos con lechos no rocosos, donde se puedan clavar los troncos frontales.



## DETALLES CONSTRUCTIVOS



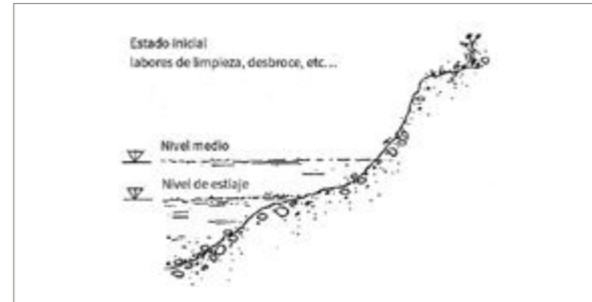
**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN****Fase constructiva**

Para la implantación del entramado vivo con pared simple de ámbito fluvial se considerarán las operaciones siguientes:

**1. Limpieza,** desbroce y eventual reperfilado del talud.

**2. Clavado de troncos verticales** en el lecho, de diámetro entre 18-25 cm y 3 m de longitud, paralelamente a la línea de la orilla y a una distancia de ésta de entre 1,5-2 metros, dejando que sobresalgan 1/3 de la longitud. Se lleva a cabo mediante el cazo de la retro o bien mediante una retro con clava estacas o clava postes. La distancia de los troncos verticales es de 2 metros.

**3. Relleno del hoyo de cimentación con piedras.** Se rellenan los estratos bajos con bolos de piedra, gaviones cilíndricos o fajinas de material muerto.



**4. Colocación del primer nivel de troncos horizontales.** Se coloca la primera serie de troncos horizontales y se unen a los troncos verticales mediante clavos de acero corrugado.

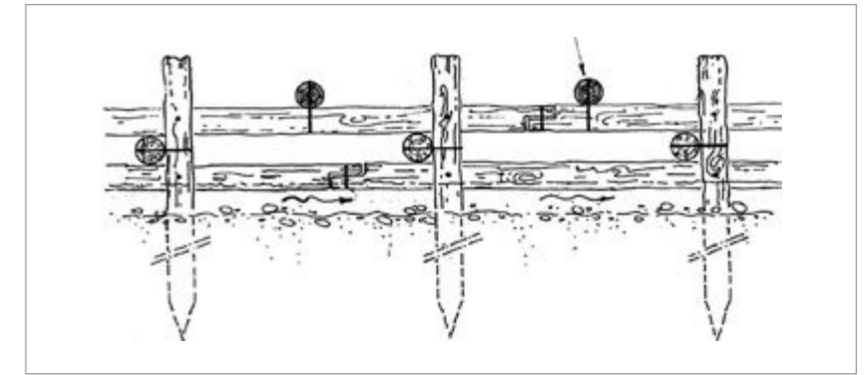
**5. Colocación de troncos transversales.** Sobre el tronco horizontal se coloca y clava la primera serie transversal de troncos en posición perpendicular a la pendiente. Estos troncos con punta se insertan en el suelo del trasdós de la terraza presionando mecánicamente con la excavadora, a una distancia entre ejes de hasta 2 m. Estos troncos se unen lateralmente a los troncos frontales.

**6.** Deben repetirse las operaciones 4 y 5 hasta alcanzarse el nivel de proyecto. El segundo nivel de troncos transversales se desfasa con respecto a la hilera anterior. El último nivel siempre se lleva a cabo con troncos longitudinales.

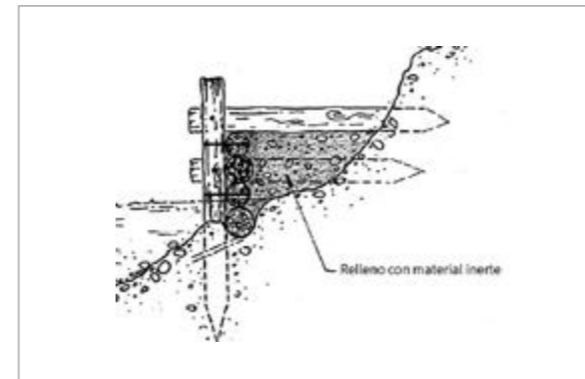


**7.** Se procede al llenado de la estructura, insertando fajinas una junto a otra internamente en la estructura entre dos filas consecutivas de troncos longitudinales.

**8.** Se rellena la estructura con material inerte de excavación o de aporte mediante medios mecánicos, eliminando posibles huecos.



**9.** La parte superior se protege con malla orgánica con objeto de evitar el lavado del material.



**10.** Se remodelan y afianzan los perfiles de la cabecera del talud, los bordes laterales y uniones con otras estructuras o técnicas. La transición de la obra con el talud se realiza continuando la estructura en forma de chaflán con dos filas de troncos horizontales, quedando tapado por la malla en la parte superior.

**11.** Es conveniente la colocación de piedra de escollera o de bolos grandes en el comienzo de la estructura, así como, en zonas con tensiones elevadas, una protección del frente de la obra con bolos del propio cauce para disipar la energía.

En alternativa a las fajinas, puede utilizarse manta orgánica para contener la tierra y colocarse estacas.



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	200	3,0
Después del desarrollo del material vivo	300	3-6

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

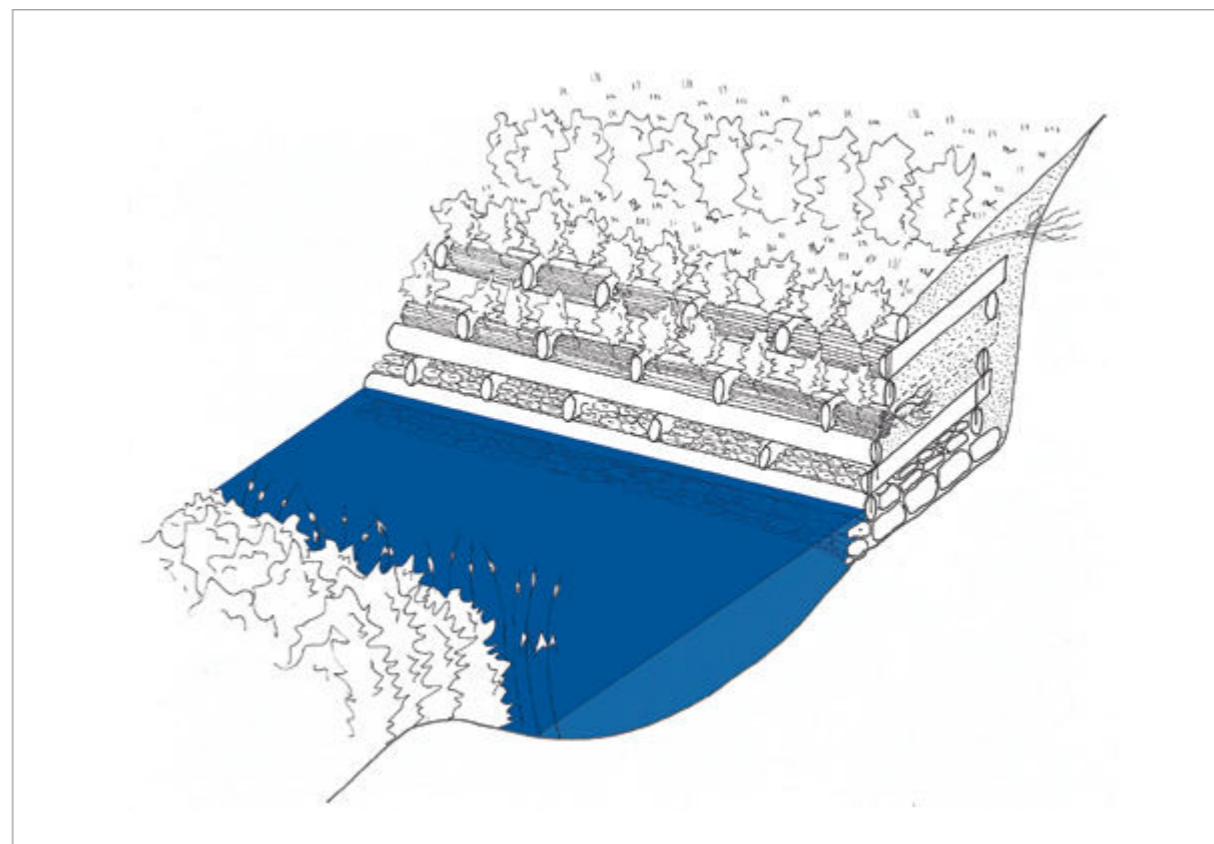
- La sujeción del suelo y su protección frente a la erosión es inmediata. Se utiliza en ríos con energía y velocidades medias a altas. Es una estructura con elevada elasticidad. Permite la recreación de hábitats naturales y tiene una buena inserción paisajística.
- Por otra parte, es una estructura con límites importantes en cuanto a la altura y requiere de suelos profundos que permitan un buen hincado.
- En zonas con escaso suelo o de lecho rocoso, esta técnica no se puede aplicar, ya que las profundidades necesarias de hincado de los elementos verticales no son posibles y la estabilidad del entramado no se puede conseguir.
- Su capacidad de contención es menor que la del entramado doble, por lo que los terrenos a sostener son de menor pendiente.

**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>3</sup> de entramado vivo de madera con palo frontal.

Mano de obra	25%
Maquinaria	28%
Materiales y resto obra	47%
<b>Coste año 2018</b>	<b>140 €/m<sup>3</sup></b>

EL PRECIO ORIENTATIVO DEL M<sup>3</sup> DE ENTRAMADO SIMPLE ES DE CIENTO CUARENTA EUROS.

**FICHA 12: ENTRAMADO DOBLE DE MADERA VIVO****DEFINICIÓN**

El entramado de madera doble es una técnica mixta de Bioingeniería que se comporta como un muro de gravedad formado por una estructura de dos hileras paralelas de troncos horizontales sobre las que se fijan los troncos transversales, formando un prisma. Esta estructura se rellena con fajas vivas, estacas vivas y tierra con el objetivo de que el futuro desarrollo de la planta suplante la estructura de troncos. Se utiliza en la estabilización de pendientes de hasta 50°, como muro de contención.

**MATERIALES EMPLEADOS**

Los materiales necesarios para los entramados dobles de madera vivos de ámbito fluvial son:

- Troncos de madera descortezados de 18 a 30 cm de diámetro y de 2 a 4 m de longitud.
- Clavos de acero galvanizado de 10 mm de diámetro y de longitud igual a dos veces el diámetro de los troncos de madera usados.
- Piquetas de acero galvanizado o corrugado, de 12 a 14 mm de diámetro y de 1,50 a 2,50 m de longitud, que se ponen en frente de la primera línea de la estructura para contrarrestar un posible deslizamiento de esta hacia adelante.
- Fajas vivas de ribera de 20 a 30 cm de diámetro y estacas vivas.
- Áridos y tierras de obra.
- Bloques de piedra para la cimentación, si fuera necesario.
- Bolos y piedra para los niveles inferiores al nivel de calado medio.

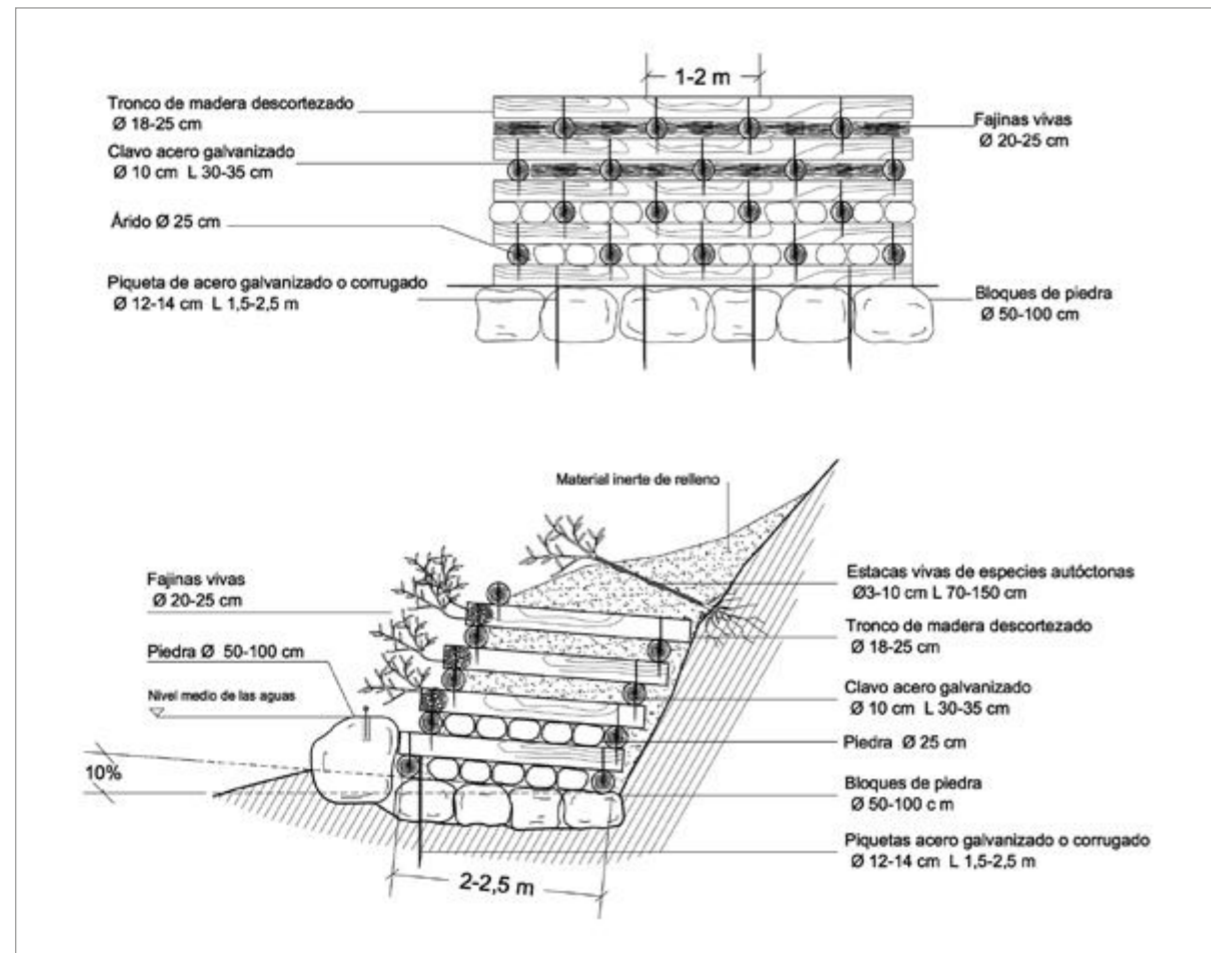
**ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Se utiliza en la base de las márgenes en los que la contención y protección de los terrenos son los objetivos principales. Actúa como un muro de gravedad, esto es, su masa contrarresta los movimientos desestabilizadores, favoreciendo el drenaje. En función de la ubicación y la carga que soporta, puede requerir una cimentación adicional a base de piedra. Los niveles inferiores, hasta el nivel del caudal medio del agua, se rellenan con bolos de piedra. En cauces fluviales también es conveniente proteger la base con roca o cimentar sobre piedra de escollera.

Canal Artia -Irún -Gobierno Vasco. Año 2004. Foto. P. Sangalli



**DETALLES CONSTRUCTIVOS**



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

**1. Excavación de la zona de cimentación.** Se procede a la excavación de una terraza en la base del talud, en contrapendiente del 10%. La anchura de la excavación se corresponde con la de la estructura.

**2. Relleno del hoyo de cimentación con piedras.** Se rellena con bloques de piedra  $\leq 0,5m^3$  a modo de cimentación de la estructura.

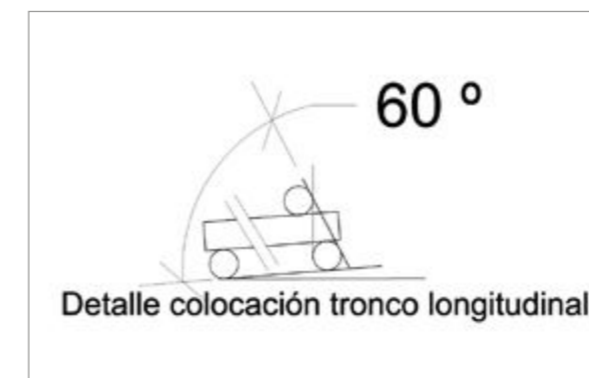
**3. Colocación del primer nivel de troncos.** Se coloca el primer nivel de troncos horizontales formado por dos hileras de troncos paralelos con una distancia de hasta dos metros. Se rellena con bloques de piedra y se compacta (por ejemplo, balasto de 40 a 150 mm) por toda la longitud de la obra. Los troncos horizontales se ensamblan mediante machimbrado y clavos de acero corrugado.



**4.** Sobre los troncos horizontales se coloca y clava la primera serie transversal de troncos a una distancia entre ejes de hasta 2 m, siendo preferible una menor distancia en los primeros niveles. Estos troncos se unen a los horizontales mediante barras de acero corrugado de 10-12 mm y 35 cm de longitud.



**5.** Se clava una nueva hilera de troncos horizontales, colocándola tras la línea vertical imaginaria que se alza desde el nivel de troncos inferior.



**6.** Relleno de la estructura con material vegetal, normalmente fajas, y con tierra de excavación. Otra variante es la colocación de una manta orgánica de coco para evitar el lavado de la tierra, y el posterior relleno con tierra de excavación de obra y estacas. La tierra se compacta para evitar huecos.



**7.** Repetición de las operaciones 4, 5 y 6 hasta conseguir la altura proyectada de la estructura de contención.

**8.** Se remodelan y afianzan los perfiles de la cabecera. El empleo de geoproductos de ingeniería (mantas de coco, yute...) puede ser útil para proteger los remates laterales y bordes de la estructura aguas arriba, que son los puntos más débiles de cara a la erosión o entrada de agua. También se usan bloques de piedra mayores para disipar la energía en el inicio de las estructuras, a modo de deflector.

**9.** Para una mayor protección de la base del entramado en ríos con condicionantes hidráulicos a considerar (velocidad de la corriente > 6 m/s), por lo general se coloca por debajo del nivel medio del agua, excavada a 3/4 partes del fondo del cauce, una hilera de grandes bloques de piedra que, en caso necesario, pueden ir encadenados con cable de acero de 16 mm de diámetro y barras de acero.



**10.** En zonas con una alta pluviometría y elevado empuje, también es importante colocar material drenante en el trasdós, en la parte más interna e inferior de la estructura del entramado.

#### LÍMITES DE APLICACIÓN

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	200	3
Después del desarrollo del material vivo	300	3-6

#### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA

- La sujeción del suelo y su protección frente a la erosión es inmediata. El uso de la mano de obra es intenso y la instalación compleja.
- Los entramados vivos dobles tienen un límite de altura, no recomendándose que tengan más de 2,5-3 metros de altura.
- Actúa como un muro de gravedad, consiguiéndose un refuerzo a una profundidad de 2 a 3 metros.

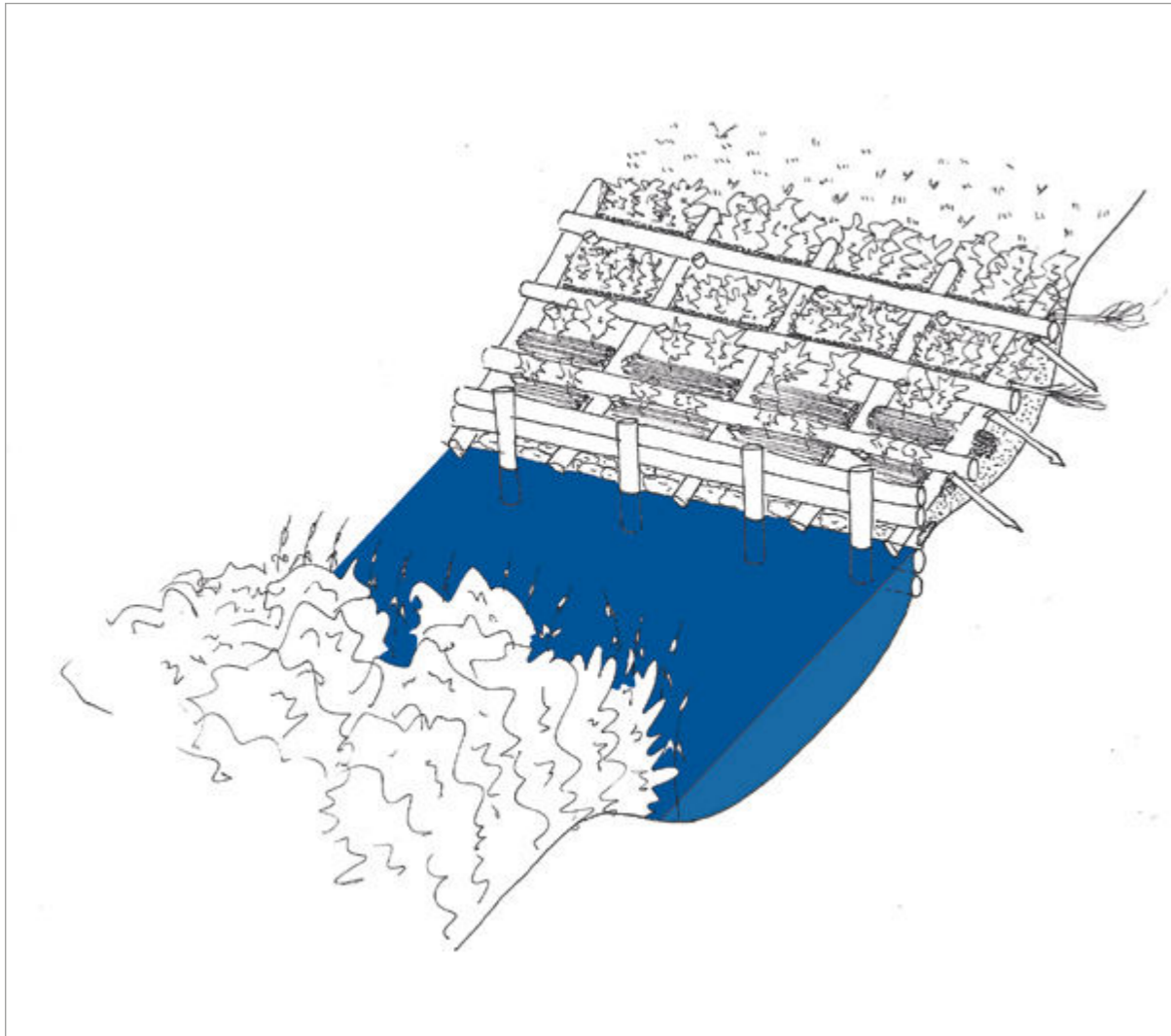
#### UNIDAD DE OBRA

M<sup>3</sup> de entramado vivo doble de madera.

Mano de obra	27%
Maquinaria	37%
Materiales y resto obra	37%
<b>Coste año 2018</b>	<b>185 €/m<sup>3</sup></b>

EL PRECIO ORIENTATIVO ES DE CIENTO OCHENTA Y CINCO EUROS.

## FICHA 13: ENREJADO VIVO



## DEFINICIÓN

El enrejado vivo es una estructura formada por la unión de troncos dispuestos vertical y horizontalmente, formando una estructura reticular con malla cuadrada o rectangular que contiene el aporte de tierra de excavación y material vegetal vivo que al enraizar estabiliza la margen. Esta estructura cubre la superficie del talud siguiendo la propia topografía. Es una técnica más empleada en taludes que en márgenes fluviales.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Troncos de madera descortezada de 4-5 m de largo y 18-25 cm  $\varnothing$ , para la realización de la estructura principal.
- Clavos realizados con acero corrugado de 10 mm  $\varnothing$  y 0,35 m de longitud.
- Varillas de acero corrugado de 1,5 m de largo y 12 mm  $\varnothing$ .
- Opcional: Manta de coco (manta orgánica y coco con red de polipropileno). Opcional para el relleno.
- Tierra de excavación o tierra vegetal.
- Fajinas vivas y estacas vivas de sauce y otras especies con capacidad de reproducción vegetativa.

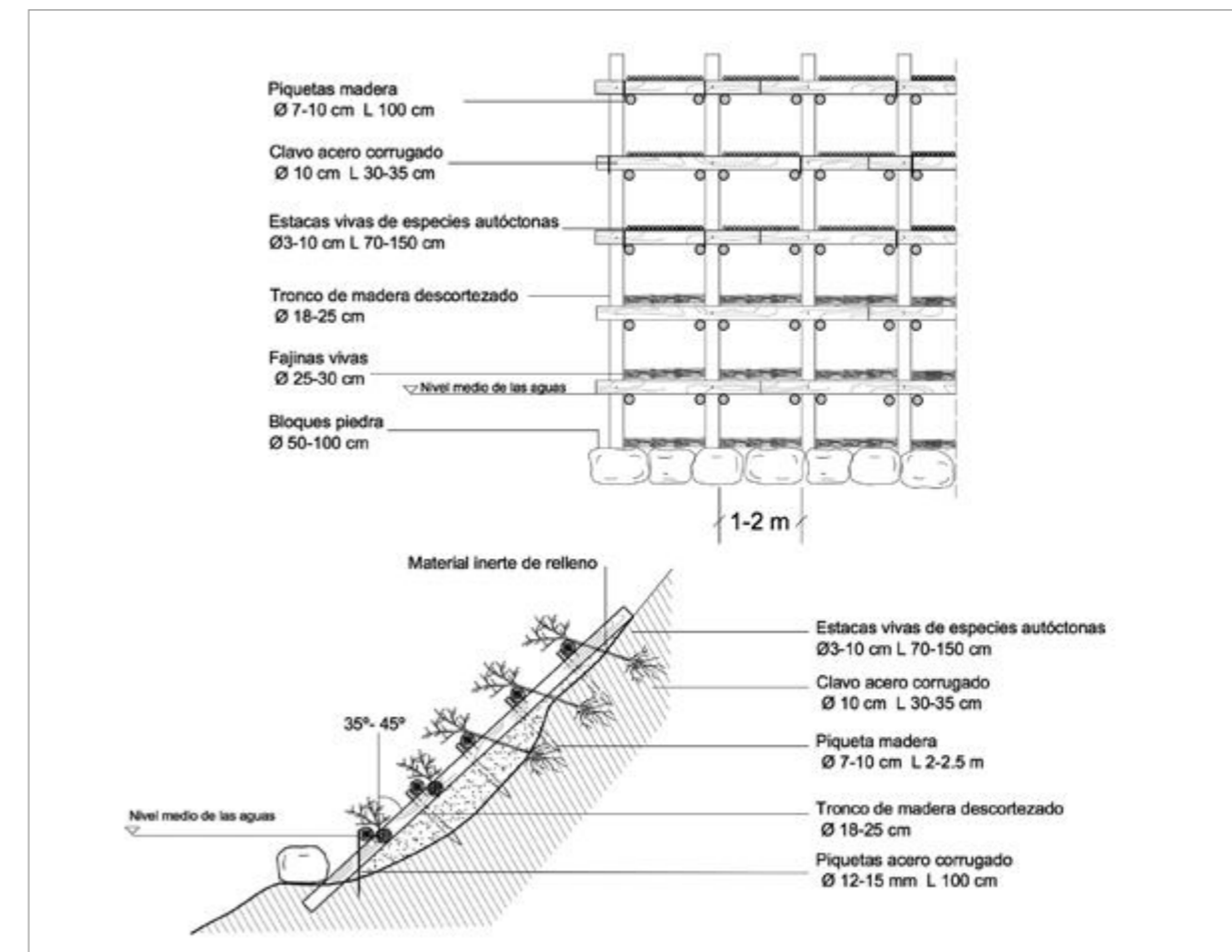
## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta técnica se utiliza para la recuperación de riberas de pendiente elevada y terreno compacto o bien para la estabilización de taludes donde, por la elevada inclinación, no es posible aplicar otras técnicas de Bioingeniería.

Los límites de utilización se encuentran en torno a los  $-55^\circ$ , sobre pequeñas zonas de deslizamiento donde sólo son posibles modestos reperfilados.

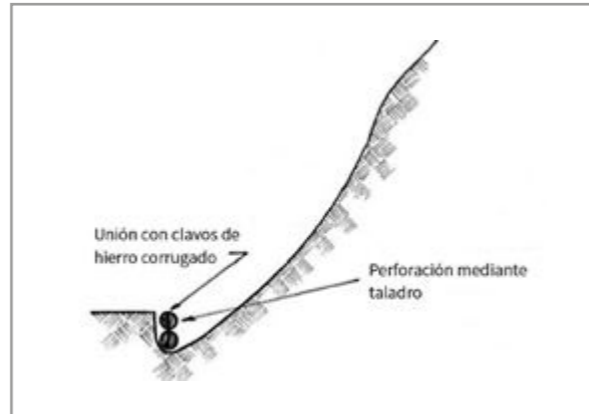


## DETALLES CONSTRUCTIVOS



**DESCRIPCIÓN EJECUCIÓN**

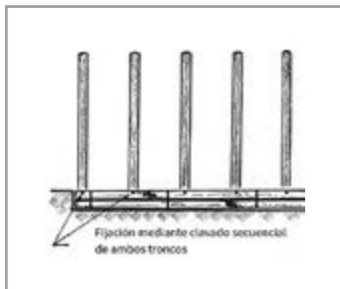
1. Retaluzado y desbrozado del talud, si hiciera falta.



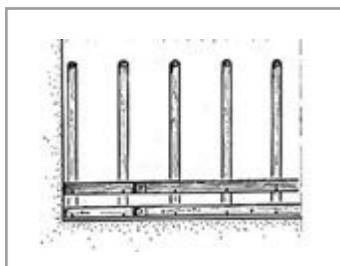
2. Se realiza un plano de apoyo que puede tratarse de un surco longitudinal o de un entramado o de una pequeña escollera.

3. Colocación de un tronco longitudinal en la base como apoyo del pie.

4. Colocación de los troncos verticales, con una distancia de entre 1 a 2 metros.



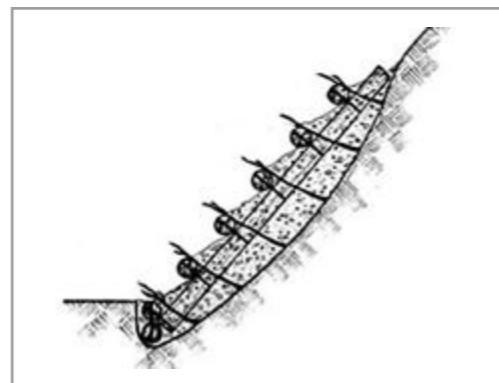
5. Colocación de los elementos verticales sobre los horizontales formando una cuadrícula con una distancia entre 1-2 metros, en función de la pendiente existente, el tipo de suelo y el dimensionamiento de la estructura.



6. Los troncos horizontales se clavan con clavos a los verticales y se apoyan en el terreno mediante barras de acero corrugado.

7. Colocación de fajas y relleno con tierra y material inerte.

8. Siembra de la superficie del enrejado.



9. Para proteger la cabeza del enrejado de fenómenos erosivos, se reviste el tronco superior y la coronación del talud con una fila de red de coco.



**LÍMITES DE APLICACIÓN**

Hay que distinguir los umbrales de resistencia antes y después del desarrollo del material vivo empleado. Antes del desarrollo del material vivo utilizado:

Fase	Tensión tangencial admisible (N/m <sup>2</sup> )	Velocidad admisible (m/s)
Antes del desarrollo del material vivo	200	3
Después del desarrollo del material vivo	300	3-6

Dimensiones e inclinación de la ribera en erosión. La altura máxima que se puede alcanzar con este tipo de intervención es de 15-20 m. Es posible alcanzar mayores alturas, si se hacen bermas intermedias.

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA**

- La sujeción del suelo y su protección frente la erosión es inmediata. El efecto de estabilización aumenta una vez que las especies vegetales comienzan el enraizamiento. Las especies vegetales realizan incluso una acción drenante en cuanto absorben el agua necesaria para su desarrollo.
- Realización larga y costosa. Con el tiempo los troncos se pudren.
- Dimensiones e inclinación de la ribera en erosión. La altura máxima que se puede alcanzar con este tipo de intervención es de 15-20 m. Es posible alcanzar mayores alturas si se hacen bermas intermedias.
- Con fuerte presencia de agua es necesario realizar drenajes con materiales granulares o tubos perforados.

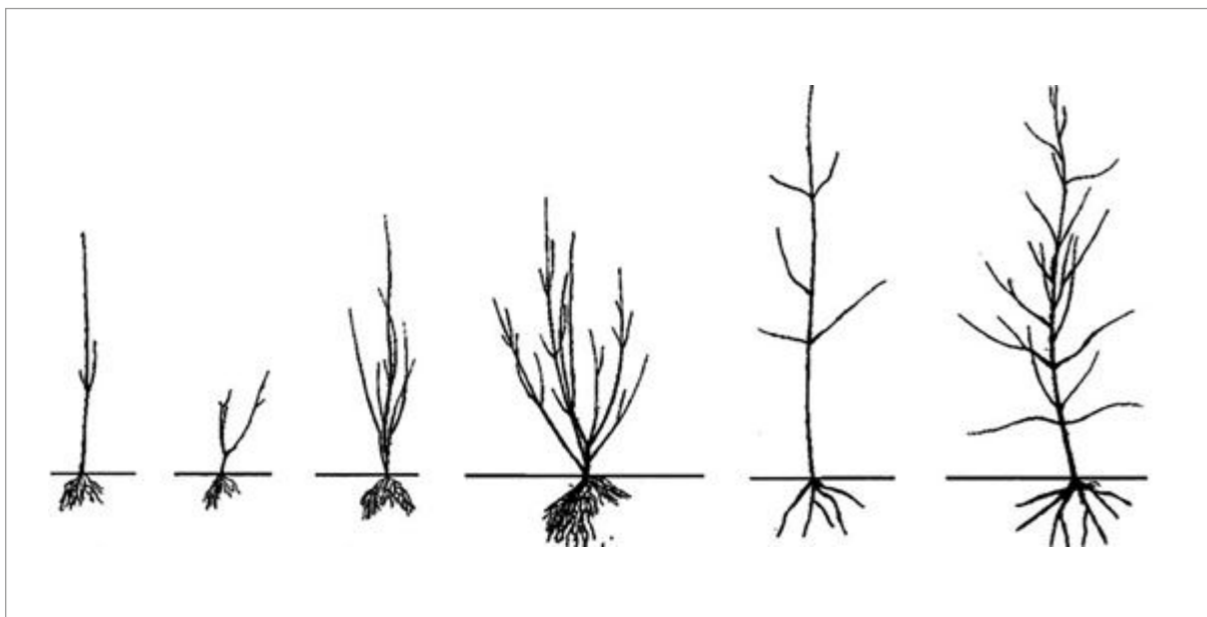
**UNIDAD DE OBRA**

M<sup>2</sup> de enrejado vivo de madera.

Mano de obra	30,8%
Maquinaria	28,6%
Materiales y resto de obra	40,6%
<b>Coste año 2018</b>	<b>120 €/m<sup>2</sup></b>

EL PRECIO ORIENTATIVO ES DE CIENTO VEINTE EUROS.

## FICHA 14: PLANTACIONES



## DEFINICIÓN

Con objeto de completar la composición de la vegetación de ribera y dada, en general, la poca presencia de las especies propias de las alisedas cantábricas, es conveniente llevar a cabo plantaciones de especies riparias, tanto árboles como arbustos procedentes de viveros especializados. La plantación puede llevarse a cabo con planta a raíz desnuda, en época de parada vegetativa, o bien con planta cultivada en contenedor forestal.

En general los tamaños más empleados son:

- Planta a raíz desnuda con dimensiones 4-6 para el arbolado y 45/60 ramificado (mínimo tres ramas) para los arbustos.
- Con planta en alvéolo forestal mínimo de 500 cm<sup>3</sup> en el caso de que se lleve a cabo fuera del periodo de parada vegetativa.

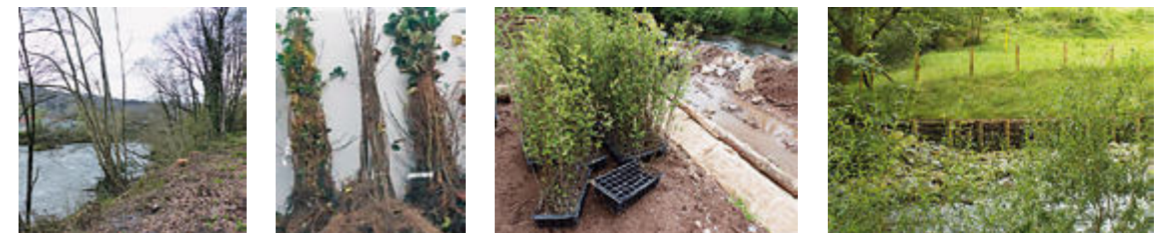
Es importante incluir como trabajo complementario a las plantaciones la colocación de protectores individuales y, eventualmente, de tutores para el arbolado.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Arbustos de dos savias 2/0 a raíz desnuda o en contenedor forestal de 500 cm<sup>3</sup> o superior y alturas comprendidas entre 30 y 80 cm.
- Arbolado de dos savias 2/0 a raíz desnuda o en contenedor forestal de 1.000 a 2.000 cm<sup>3</sup>.
- Arbolado a raíz desnuda 6/8. Perímetro medido a 1 metro del cuello de la raíz. Disco protector anti-hierbas.
- Tutores para el arbolado 6/8.
- Con un sistema radicular proporcional a la parte aérea y sin espiralizar.
- Con una altura de la parte aérea comprendida en el intervalo de alturas que se especifica para cada especie y un mínimo de X ramas desde los primeros 20 cm de la base y buena ramificación secundaria en formación de copa equilibrada con densa cobertura foliar.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Son trabajos complementarios a las técnicas de Bioingeniería que permiten recuperar la estructura y composición de la vegetación riparia, así como mejorar la integración paisajística de las obras.



## MODO DE EJECUCIÓN

1. Apertura de hoyos para la plantación de dimensiones similares al aparato radicular o al cepellón:
  - Arbustos: 30 x 30 x 30
  - Arbolado: 60 x 60 x 40
2. Aporte de terreno vegetal y abonado, si se prescribe.
3. Posicionado de la planta en el hoyo, con cuidado de dejar el cuello de la raíz al descubierto.
4. Relleno del hoyo con terreno excavación.
5. Recalce y formación de alcorque para recogida del agua.
6. Colocación del disco protector, si se prescribe.
7. Colocación en arbolado 6/8 o superior de un tutor.

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA

- Permite la recuperación de la diversidad de la vegetación riparia y funciona como elemento competidor ante la entrada de especies invasoras.
- Requiere de seguimiento y apoyo eventual de riego durante los dos primeros años para evitar la desecación de la planta.

## UNIDAD DE OBRA

Ud. de plantación de arbusto en CF300 cm<sup>3</sup>.  
 Ud. de plantación de arbolado en CF1000 cm<sup>3</sup>.  
 Ud. de plantación de arbolado 6/8 en cepellón.

Mano de obra	60%
Materiales	40%

## EL PRECIO ORIENTATIVO ES DE:

- 2,90 €/ud. para plantación arbusto CF300cm<sup>3</sup>.
- 6 €/ud. para plantación arbolado o arbusto en CF1000 cm<sup>3</sup>.
- 19,70 €/ud. para plantación árbol 6/8 a raíz desnuda o en cepellón.

Estos precios no incluyen tutores ni discos protectores anti-hierbas.



## FICHA 15: CERRAMIENTOS PROVISIONALES DE LA OBRA



## DEFINICIÓN

Con objeto de evitar daños en las plantaciones y en las obras de bioingeniería por parte del ganado, es conveniente llevar a cabo un cerramiento provisional de las obras mediante un cierre con malla ganadera.

## MATERIALES EMPLEADOS

- Piquetas de madera.
- Malla de acero galvanizado de cierre con altura de 1 metro.
- Alambre para uniones.

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA

- Permite proteger la vegetación evitando el ramoneo y el pisoteo por parte del ganado.
- Es una medida temporal, resulta conveniente mantenerlo durante los dos primeros años tras la finalización de la obra.

## UNIDAD DE OBRA

M lineal de cerramiento.

Mano de obra	60%
Materiales	40%
<b>Coste año 2018</b>	<b>4,50 €</b>

EL PRECIO ORIENTATIVO ES DE CUATRO EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS.

## RECOMENDACIONES DE EJECUCIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LAS OBRAS

La base de las técnicas de Bioingeniería del Paisaje es la vegetación, por lo que resulta fundamental considerar las necesidades del material vivo para conseguir que nuestra obra funcione. Sin plantas no hay Bioingeniería y no se consigue la funcionalidad de nuestras técnicas.

Generalmente, los fracasos en la utilización de estas técnicas están relacionados con el hecho de no observar las necesidades vitales del material vegetal durante su manipulación en la fase constructiva y en la necesaria fase de mantenimiento, que se debe tener en cuenta y no infravalorar los cuidados necesarios.

A continuación, se enumeran algunas recomendaciones, tanto a nivel de ejecución como a nivel de mantenimiento, de manera sintética.

## RECOMENDACIONES DE EJECUCIÓN

**Material vegetal.** En general se recomienda la instalación en época favorable para las labores de implantación del material vegetal.

En el caso de las técnicas de estabilización, se recomienda su utilización en época de parada vegetativa. Los mejores resultados se obtienen realizando las obras desde el mes de noviembre al mes de febrero. Sin embargo, es posible alargar el periodo de ejecución, siempre y cuando se lleve a cabo una adecuada manipulación y un adecuado mantenimiento. Así, las obras en la zona cantábrica pueden llevarse a cabo con buenos resultados desde el mes de octubre al mes de abril o primeros de mayo. En estas ocasiones, se recomienda la utilización de estimuladores de enraizamiento y el empleo de planta enraizada en contenedor en las estructuras, así como utilizar riego durante el primer verano después de la instalación.

**Planificación** de la recolección del material vivo. Es importante que el material vegetal se recoja y llegue a la obra el día de su utilización.

*Detalle de encuentro entre distintas técnicas*



**Mantenimiento del material vivo en obra.** El material vegetal es material vivo. En caso de que avance algo de material, éste debe aviverarse, esto es, colocarse en contacto con arena húmeda o en contacto con el agua y utilizarse en el día siguiente. En cuanto a las siembras, es preferible siempre hacerlas fuera del periodo de las heladas.

**Grado de especialización de la mano de obra.** Estas técnicas son técnicas que requieren conocimiento de obra civil y conocimiento del área forestal o de jardinería, por lo que constituyen en sí mismas una especialización. Aunque cada vez son más conocidas a nivel técnico, todavía hay pocas empresas especializadas y trabajadores preparados. El grado de conocimiento y especialización influye directamente en la calidad de la ejecución, así como en el coste de la misma. La ejecución se basa en los detalles.

**Ejecución de las estructuras.** En el medio fluvial la mayor parte de los problemas surgen por el arrastre y lavado de la corriente del río. De ahí que se requiera realizar, en primer lugar, un adecuado dimensionamiento de las obras, por lo que se requiere un adecuado análisis y estudio hidráulico. Una vez realizadas, se debe llevar a cabo una adecuada ejecución y relleno de las estructuras, así como una adecuada protección de las mismas. Se suelen colocar al inicio de las obras pequeños deflectores de piedra para desviar localmente el flujo del agua. Así mismo, las estructuras de madera tipo entramado o empalizada se deben finalizar lateralmente, continuando la estructura de manera que llegue hasta el talud e impidiendo, por tanto, la entrada de agua.

Por otra parte, es importante que el material vegetal esté siempre por encima del nivel medio del agua, mientras que las partes que están normalmente sumergidas se realizan con material inerte de cierto tamaño, tipo bolos de río o canto rodado.

Por otra parte, normalmente en las estructuras en medio fluvial se utilizan fajinas en lugar de estacas o bien se emplea manta orgánica para evitar el lavado de la tierra y en este caso se pueden utilizar bien fajinas o bien estacas o bien se evita la salida del terreno empleando una manta orgánica en el interior.

Es importante que el material vegetal se encuentre en contacto con el terreno, bien compactado alrededor, con objeto de evitar huecos que puedan provocar entradas de aire frío que hiela o deseca el material.

#### Errores más frecuentes en las estructuras de madera

- 1- Uniones demasiado próximas a los bordes de los troncos, con la consiguiente formación de grietas.
- 2- Mala ejecución de las uniones entre los troncos de madera.
- 3- Lavado del trasdós de las estructuras debido a una mala protección de su frente.
- 4- Escasa profundidad de hincado, con el consiguiente vuelco o pandeo de la estructura. Muchas veces el lecho rocoso está bastante superficial y los piquetes verticales se clavan menos de 0,5 m. Esto se intenta solucionar con tirantes horizontales clavados en el talud que eviten el vuelco.
- 5- Mala transición de los laterales del entramado. Excesiva exposición de la empalizada en sus extremos, con los subsiguientes riesgos de lavado y desestabilización de la estructura.
- 6- Falta de contacto entre el material vivo y la humedad del suelo (el nivel freático).

#### RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO

Se recomienda un mantenimiento mínimo de 2 años.

Hay que distinguir entre las labores de mantenimiento ordinarias y las labores extraordinarias.

#### Mantenimiento ordinario

- Riego durante la elaboración de la obra, así como al final de la obra. En el caso de que la obra se realice en primavera, es conveniente mantener el riego durante todo el periodo estival.

- La vegetación de ribera debe mantenerse flexible, por lo que debe llevarse a cabo una poda a los 2-4 años. Esta labor permitirá que no se produzcan cargas/pesos excéntricos que desestabilicen la estructura de la empalizada. Esta poda se debe realizar a finales del periodo de parada vegetativo, fines de febrero.
- Para evitar que los animales, tanto domésticos como salvajes, puedan dañar las obras se recomienda colocar un cierre protector.

#### Mantenimiento extraordinario

- Restauración de eventuales vaciados locales debido a erosiones tras fuertes precipitaciones o crecidas.
- Sustituir el material vivo que no haya arraigado.
- Riego de soporte en los periodos críticos.
- Entresaca selectiva para dirigir la obra hacia la vegetación potencial.

ESPECIES LEÑOSAS UTILIZADAS EN LAS OBRAS DE BIOINGENIERÍA EN ÁMBITO CANTÁBRICO		
<b>ESTRUCTURAS</b>		
<i>Salix atrocinerea</i>	Estaquillado	Fajinas
<i>Salix purpurea</i>	Estaquillado	Fajinas
<i>Salix alba</i>	Estaquillado	Fajinas
<i>Cornus sanguinea</i>	Estaquillado	
<b>PLANTACIONES</b>		
<i>Alnus glutinosa</i>	Árbol	
<i>Fraxinus excelsior</i>	Árbol	
<i>Salix alba</i>	Árbol	
<i>Sorbus aucuparia</i>	Árbol	
<i>Corylus avellana</i>	Arbusto	
<i>Cornus sanguinea</i>	Arbusto	
<i>Crataegus monogina</i>	Arbusto	
<i>Prunus spinosa</i>	Arbusto	
<i>Sambucus nigra</i>	Arbusto	

#### SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA

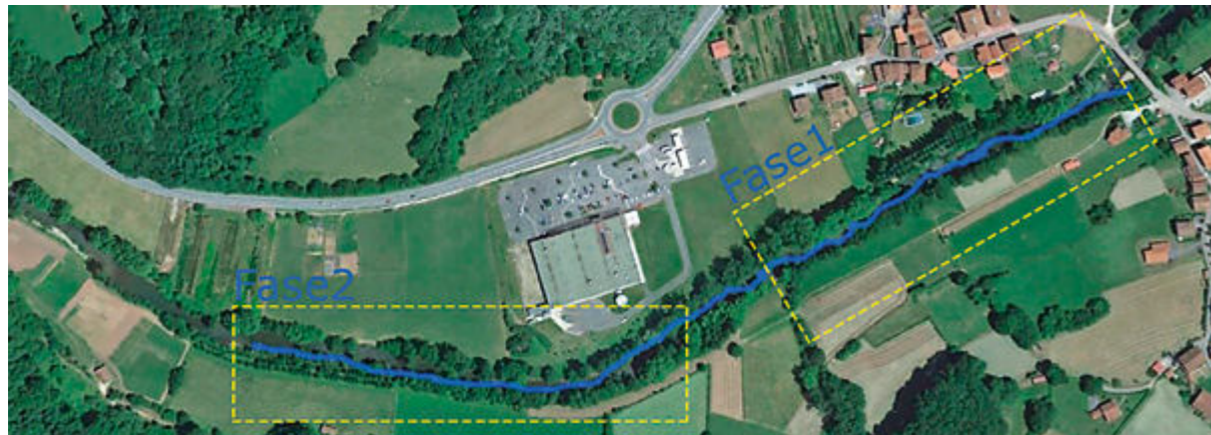
Una vez pasado el periodo de garantía, es importante llevar a cabo un seguimiento y evaluación durante los primeros años de vida de la obra. Para ello, se definen una serie de indicadores que pueden resultar útiles a la hora de valorar la funcionalidad de la obra realizada.

- Análisis de signos de erosión e inestabilidades en laderas o taludes.
- Estado de otros materiales no vivos de la obra (alambres, clavos, piquetas metálicas, grapas, etc.).
- Degradación y deterioro de los troncos de madera. Aunque los troncos de madera están destinados a desaparecer es importante que no se deterioren antes de que la planta haya adquirido su plena funcionalidad.
- Análisis del material vegetal empleado en la obra (especies, alturas, diámetros, densidad, distribución de especies, vitalidad del material vivo...).
- Correcto trasvase del papel estabilizador entre la estructura de madera y la vegetación en desarrollo.
- Grado de integración paisajística de la obra.



## 6. INTERVENCIONES REALIZADAS

## 6.1 RÍO BAZTAN. ARRAIOZ. NAVARRA



Localización general del ámbito de actuaciones. SCIA S.L.

**Promotor:** Gobierno de Navarra.  
Gestión Ambiental de Navarra.  
Ejecutado en H2O Gurea.

**Proyecto:** Sangalli Coronel y Asociados S.L.

**Ejecución:** Arbus S.L.

**Dirección de obra:**  
Gobierno Navarra. GAN-NIK.

**Fechas ejecución:**  
Abril-Mayo 2018: Primera fase.  
Febrero-Marzo 2019: Segunda fase.

**Longitud afectada:** 920 m.

**Propiedad de los terrenos afectados:**  
Terrenos rústicos de propiedad privada.  
Fase I: terrenos de uso recreativo.  
Fase II: terrenos pastizal.

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** Río Baztan

**Localización:** Arraioz. Termino municipal Baztan

**Coordenadas UTM:**  
Datum: ETRS89, Huso: 30,  
X=616.033,Y=4.777.202

**Técnicas empleadas:**  
Estera de ramaje  
Entramado doble  
Entramado simple  
Lechos de ramaje con manta orgánica  
Manta orgánica y estaquillado  
Empalizada viva  
Cepillo vivo  
Estrato vivo

## CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN

La zona de intervención se encuentra en tramo medio del río Baztan, aguas abajo del puente de Arraioz, en una zona de cauce único meandriforme. El río Baztan, en su tramo medio, se caracteriza por presentar una gran variabilidad de caudales a lo largo del año, con tiempos de concentración muy cortos y pendientes medias a elevadas, con cierto dinamismo hidromorfológico que se manifiesta en pérdidas de suelo en orilla (pérdidas de suelos riparios) y acumulación de gravas a lo largo del tramo de estudio (playas e islas de gravas).

Situación previa a la obra y problemática



## CARACTERIZACIÓN

**Superficie de la cuenca:** 270 km<sup>2</sup>  
**Altitud sobre el nivel del mar:** 162 m  
**Rango del curso de agua:** 3

## Datos climáticos

**Tipo de clima:** templado-atlántico

**Precipitación máxima anual:**  
229,1 mm. Diciembre

**Precipitación mínima anual:** 102,1 mm. Julio

**Precipitación media anual:** 2046,3 mm

**Temperatura media mínima:** 1,7°C. Enero  
**Temperatura media máxima:** 26°C. Agosto  
**Temperatura media anual:** 12,8°C

**Evapotranspiración potencial:** 550-770 mm

## Geología

**Litología dominante:** sustrato arenoso-limoso de naturaleza detrítica y permeabilidad media-baja

## Edafología y geotecnia

**Tipo de suelos:** suelos de naturaleza franco-arenosa con presencia de gravas

**Ángulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes (°):** 25-30°

**Cohesión del suelo de las márgenes (kPa):** 0,5

## Breve caracterización hidromorfológica del cauce

**Tramo:** medio

**Configuración del lecho:** A (Aluvial)

**Anchura cauce/Longitud tramo intervención:** 18 m/920 m

**Tipo de río:** B cauce simple en llanura  
M (meandriforme), tramo en meandro

**Sedimento dominante:**  
X Arena: 0.0625÷2 mm  
X Grava/canto: 2÷64 mm

## Observaciones:

Presencia de *Platanus orientalis* y de plantaciones de *Populus nigra*

**Dimensión sección flujo dominante (bankfull):**  
anchura 32 m, altura 2,4 m

**Continuidad longitudinal en la zona de la obra:**  
Buena

**Continuidad transversal en la zona de la obra:**  
Limitada

**Tiempo de concentración:** Menos de 30 minutos

**Geometría de la sección/Pendiente de los márgenes (°):** 35 a 50°

**Pendiente longitudinal del cauce en tramo:** 0,4%

**Q medio anual:** 5,69 m<sup>3</sup>/seg

**Q de proyecto:** Q<sub>2</sub> 163 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>5</sub> 240 m<sup>3</sup>/seg,  
Q<sub>10</sub> 296 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>25</sub> 380 m<sup>3</sup>/seg

## Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)

**Tensión tangencial de los márgenes:** 55 N/m<sup>2</sup>

**Velocidad media:** 3 m/seg

## Breve caracterización botánica de la zona de intervención

**Vegetación potencial:** Bosque de ribera de aliseda cantábrica, saucedas arbustivas en las islas de gravas, así como fresnedas de roble pedunculado, que en muchas ocasiones llega hasta los márgenes del río

## Vegetación ribera actual:

X Formación arbórea de ribera autóctona  
X Formaciones herbáceas, arbóreas o arbustivas no de ribera

**Anchura de la franja de ribera:** X Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona de 2,5 -5 m

**Continuidad de la vegetación de ribera:**  
X Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona 30-90% de la longitud

## DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En los últimos años, los fenómenos erosivos se han intensificado en los márgenes del río Baztan con la consiguiente pérdida de suelo ripario y de vegetación de ribera. Este aumento de erosión se debe a un aumento de la frecuencia de episodios de máximos de caudal diarios, así como a la mayor frecuencia de lluvias de larga duración en combinación con lluvias de tipo torrencial. Por un lado, la saturación de los suelos, la ausencia de una banda de vegetación riparia continua protectora y, por otro, la pérdida de apoyo por los fenómenos de erosión cada vez más frecuentes durante las avenidas extraordinarias, explican los colapsos y grandes huecos presentes a lo largo del tramo de intervención.

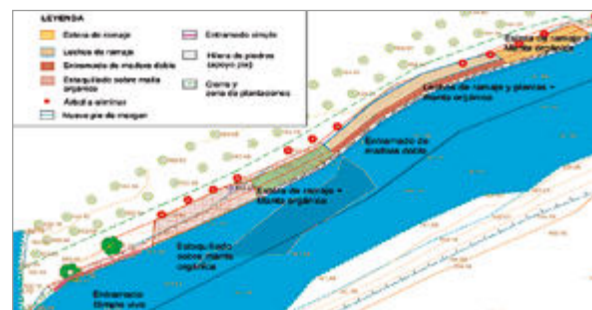
## PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Debido a esta insuficiente sección hidráulica de la zona de estudio, las actuaciones promoverán:

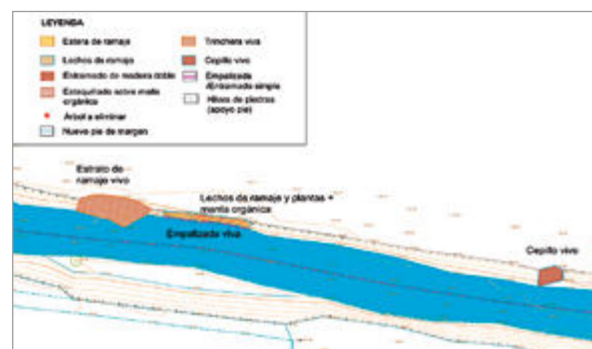
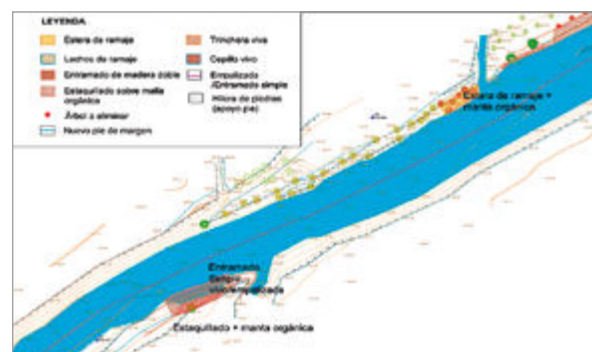
- La recuperación de la sección hidráulica.
- La defensa de los márgenes y el pie de las orillas mediante técnicas de Bioingeniería.

Complementando a los anteriores objetivos, se reforzará la vegetación autóctona de ribera (en particular la aliseda) y se eliminarán algunos ejemplares de vegetación alóctona (*Robinia pseudoacacia*, *Populus nigra* y *Platanus hispánica*).

Propuesta de actuación Fase I. Fuente: SCIA S.L.



Propuesta de actuación Fase II. Fuente: SCIA S.L.



## TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA EMPLEADAS

### 1- Técnicas de recubrimiento

- Plantaciones
- Siembra de especies herbáceas y leñosas
- Mantas orgánicas

### 2- Técnicas de estabilización

- Estaquillado
- Lechos de ramaje
- Fajinas (en empalizada y entramado)
- Estera de ramaje
- Cepillo vivo
- Estrato vivo

### 3- Técnicas mixtas de estabilización

- Empalizada
- Entramado vivo simple de ribera
- Entramado vivo doble

### 4- Técnicas complementarias

- Plantación de especies leñosas

## ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FRENTE A LA PROBLEMÁTICA EN EL TRAMO

La margen de intervención se ha tratado de manera continua, eligiendo las técnicas en función de la pendiente de la margen y de los parámetros hidráulicos locales obtenidos durante el estudio hidráulico mediante la modelización en dos dimensiones. Los colapsos de las orillas crean zonas de remolinos donde los suelos son muy vulnerables lo que, unido a su alta pendiente, obliga a la utilización de elementos de contención que aseguren una protección desde el primer momento y que, por tanto, permitan recuperar y proteger con efectividad las márgenes en el río.

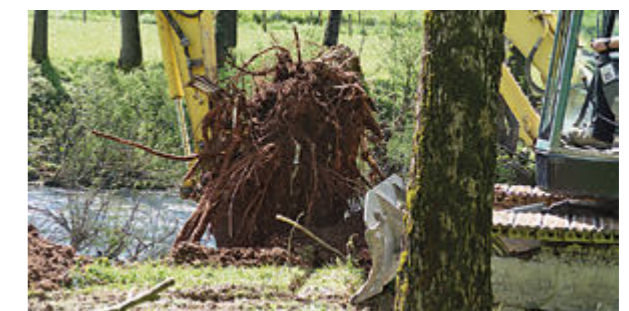
## ACTUACIONES PREVIAS

- 1- Eliminación del arbolado en peligro y de algunos pies de chopo, destocoñado y apilado de la madera.
- 2- Movimiento de tierras para la obtención del perfil de proyecto.
- 3- Construcción de una ataguía para poder trabajar en seco.

Ataguía



Destocoñado



## TÉCNICAS EMPLEADAS. PRIMERA FASE

### 1- ESTERA DE RAMAJE CON PROTECCIÓN DE MANTA ORGÁNICA

Se ha construido en la zona donde se ha eliminado el arbolado, con objeto de estabilizar rápidamente la margen, donde la pendiente del talud era de en torno a 38° en un tramo de 14 metros de longitud, con una superficie de 56 m<sup>2</sup>. Debido a los rápidos incrementos de nivel que sufre el río Baztan, en este tramo se ha protegido la obra con manta orgánica para impedir el lavado del material. El pie de la estera se ha protegido con un pie de escollera.

Reperfilado talud, colocación de varas, detalle del cosido y primera crecida



## 2- ENTRAMADO FLUVIAL CON CONSTRUCCIÓN DE LECHOS DE RAMAJE ARMADOS CON MALLA ORGÁNICA

Se ha construido a continuación de la estera de ramaje, donde la margen, debido a una mayor velocidad y tensión, ha sufrido una mayor pérdida de suelos y la pendiente es más elevada. Por esta razón se ha estabilizado la margen mediante la construcción de un entramado doble de madera de tipo fluvial, esto es, con relleno de fajinas y manta orgánica para evitar el lavado de los finos. En función de los parámetros geotécnicos del lugar, se ha calculado y ejecutado un entramado de 7 niveles, con una longitud de 36,5 metros y con una dimensión de 125 m<sup>3</sup>.

Con objeto de recuperar la margen, sobre el entramado se han realizado tres hileras de lechos de ramaje armados con malla orgánica a modo de tierra reforzada, lo que constituye una técnica de refuerzo mecánico del talud muy resistente.

*Base de escollera, bloques y bolos en la parte inferior del entramado, entramado terminado y primera crecida*



*Ejecución del primer nivel de lechos de ramaje y del segundo*



## 3- ESTERA DE RAMAJE CON PROTECCIÓN DE MALLA ORGÁNICA

A continuación del entramado, la pendiente disminuye y se construye de nuevo una estera de ramaje en una longitud de 18 m y una dimensión total de 72 m<sup>2</sup>. Esta zona tiene como protección un pie de escollera cuyas dimensiones son superiores a las previstas y calculadas en proyecto.

## 4-ESTAQUILLADO SOBRE MALLA ORGÁNICA

En una zona de pendiente menor, donde el objeto de la intervención es la de recuperar la franja de vegetación autóctona, se ha empleado una densidad de 2 estacas por m<sup>2</sup>. En total se han estaquillado un tramo de 24 m en una superficie de 114 m<sup>2</sup>.

*Manta estaquillada y estaca brotada*



## 5- ENTRAMADO DE MADERA SIMPLE CON PALO FRONTAL

Estructura constituida por un entramado de troncos formando una celda frontal plantada con árboles y arbustos, con el objetivo de que el futuro desarrollo de la planta suplante la estructura de troncos. Se utiliza como obra transversal para la estabilización de zanjas en lechos escarpados y para la estabilización de taludes. Como obra longitudinal, para la defensa de riberas sujetas a erosión. Se puede utilizar en cursos de agua con elevada energía y transporte de sólidos, incluso de grandes dimensiones. Se ha realizado un entramado simple de 21 m de longitud y 40 m<sup>3</sup>.

*Situación previa, clavado de troncos verticales y transversales, colocación de troncos horizontales y fajinas, detalle del encuentro lateral y brotación*



## 6- SIEMBRA Y PLANTACIONES

Con objeto de completar la composición de la vegetación de ribera, y dada la poca presencia en la zona de intervención de las especies propias de las alisedas cantábricas, se han llevado a cabo una serie de plantaciones y una siembra de toda la superficie intervenida.

Las plantaciones se llevaron a cabo durante la fase 2.

En total, se plantaron 168 arbustos de las siguientes especies:

- *Salix purpurea* (Sauce).
- *Salix atrocinerea* (Sauce).
- *Crataegus monogyna* (Espino blanco).
- *Corylus avellana* (Avellano).

### TÉCNICAS EMPLEADAS. SEGUNDA FASE

Una parte de esta fase se ha realizado en el mes de mayo de 2018, en concreto la estera de ramaje prevista y la empalizada. El estrato y el cepillo vivo se han ejecutado en febrero de 2019.

#### 1- ESTERA DE RAMAJE CON PROTECCIÓN DE MANTA ORGÁNICA

Esta estera se encuentra en la zona de encuentro de una pequeña regata. Se ha procedido a eliminar previamente diversos ejemplares de plátano presentes.

La estera se ha ejecutado de la misma forma que la de Primera Fase. La longitud de tramo donde se ha realizado es de 18,5 m y la superficie ocupada de 74 m<sup>2</sup>.

*Detalle de la obra recién ejecutada y tras dos meses*



#### 2- EMPALIZADA VIVA CON TERMINACIÓN DE MANTA ORGÁNICA Y ESTAQUILLADO

Se ha llevado a cabo en esta zona una empalizada de longitud algo mayor que la prevista en proyecto, dado que la erosión se ha ido incrementando desde el momento de realización del mismo (junio 2017) y su ejecución, un año más tarde. En total, se han realizado unos 26 m de empalizada de 1 m de altura y se han colocado encima unos 87 m<sup>2</sup> de manta orgánica de coco donde se han clavado las estaquillas (145 Uds.).



Se coloca un cierre para proteger la estructura, puesto que la parcela tiene uso ganadero (33,50 m). Tanto en la estera como en la empalizada se ha realizado reposición de marras en febrero de 2019, puesto que el material vegetal, en general, no había brotado. Se han puesto tanto estaquillas como planta en envase.

*La obra recién terminada*



#### 3- CEPILLO VIVO

Se ha llevado a cabo en zonas donde el río, debido a la ausencia de vegetación riparia, ha provocado pequeñas erosiones.



Desde la realización del proyecto en el año 2017 hasta la ejecución en 2019, la erosión ha aumentado en profundidad y algo más ligeramente en longitud. Esta estructura consiste en la acumulación de material vegetal muerto con material vegetal vivo, junto con material inerte a modo de trampa de sedimentos, de manera que con las crecidas permita la retención de material y la consiguiente recuperación de la orilla.

Tanto en el caso de esta estructura como en el del estrato de ramaje, el material vegetal vivo y muerto se saca de la propia ribera donde se produce la erosión, de vegetación caída/semi-caída que se tiene que aprear para la ejecución correcta de la obra.

El cepillo tiene una longitud de casi 13 m y un volumen total de unos 75 m<sup>3</sup>. La finca tiene uso ganadero, por lo que se coloca un cierre (25 m) como medida de protección.

Colocación de piquetas y material muerto



Colocación de material vegetal vivo y cubrimiento con piedra y áridos



Aspecto de la obra terminada



Dado que la zona erosionada tenía una mayor profundidad, se ha realizado una colocación de piquetas intermedias para poder fijar mejor el alambre.

#### 4- ENTRAMADO SIMPLE TIPO KRAINER CON LECHOS DE RAMAJE ARMADOS CON MALLA ORGÁNICA

Se ha llevado a cabo entramado tipo Krainer con cuatro niveles de lecho de ramaje armados con malla orgánica, aunque inicialmente estaba prevista una empalizada. El cambio ha sido motivado por el incremento en profundidad de la zona erosionada desde el momento en que se realizó el proyecto.

Excavación y realización de ataguía



Imagen del entramado y colocación de malla interior



Primer nivel de lechos de ramaje







Colocación de la planta en alvéolo forestal e imagen de la obra terminada

El entramado simple tiene una longitud de 30 m y 1 m de altura, encima de este es donde se han colocado los lechos (4). Los lechos se han realizado con planta en alvéolo forestal de dos savias de *Salix atrocinerea* y *Salix purpurea*.

Se coloca un cierre (41 m) para proteger la estructura del ganado.

#### 5- ESTRATO DE RAMAJE

El estrato de ramaje se ha ejecutado en la zona donde mayor era la erosión y la falta de orilla. En la zona de intervención existía un aliso desconectado de la orilla que se ha eliminado, así como diversos árboles caídos, cuyo material se ha utilizado en la estructura del estrato vivo.

Aspecto inicial de la zona erosionada



Colocación de las estacas en la línea de la orilla y de las estacas en el interior de la estructura, sujetando el material vivo y muerto alternando direcciones en cada estrato

La longitud de la estructura es de 27 m y una superficie de 86 m<sup>2</sup>. Lo mismo que en el caso de las estructuras anteriores, se coloca un cierre (36 m).

#### SUGERENCIAS o posibles mejoras

- La obra debe realizarse preferiblemente en parada vegetativa o, de llevarse a cabo en primavera avanzada, hay que procurar hacer un tratamiento con factores que favorezcan el enraizamiento y mantener sumergido el material vegetal de 24 a 72 horas antes de utilizarlo.
- La planta en alvéolo forestal es preferible que sea de dos savias, con un mínimo de contenedor forestal de 300 cc siendo preferible, en función de la especie, que sea de 500 cc.
- Se requiere mayor densidad de estaquillado y mayor diámetro del material vegetal que los empleados en esta obra.
- Las fajas en las estructuras deben estar cubiertas de tierra y gravas y en contacto con la tierra al trasdós para favorecer su enraizamiento.
- La combinación de manta orgánica y siembra evita el lavado de la estructura.
- En veranos cálidos o trabajando fuera de temporada se deben realizar riegos de apoyo.

## 6.2 RÍO BIDASOA. SUMBILLA. NAVARRA



Localización general del ámbito de actuaciones. SCIA S.L.

**Promotor:** Gobierno de Navarra. Gestión Ambiental de Navarra S.A. Ejecutado en H2O Gurea.  
**Proyecto:** Sangalli Coronel y Asociados S.L.  
**Ejecución:** Repoblaciones Etxarte S.L.  
**Dirección de obra:** Gobierno Navarra. GAN-NIK.  
**Fechas ejecución:** Enero-Febrero 2019.  
**Longitud afectada:** 420 m.  
**Propiedad de los terrenos afectados:** Terrenos rústicos de titularidad privada.

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** Río Bidasoa  
**Localización:** Sumbilla  
**Coordenadas UTM:** ETRS89, Huso: 30, X=608.091, Y=4.782.053  
**Técnicas empleadas:**  
 Escollera revegetada  
 Trenzado vivo de mimbre  
 Empalizada viva  
 Entramado de madera doble  
 Siembras y plantaciones

**CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

La zona de intervención se encuentra en el tramo medio del río Leitzaran, en la curva externa de un tramo del río Bidasoa, por debajo de la confluencia con el Ezcurra. Tramo de 420 m aproximadamente, afectado por problemas de erosión, dentro del Término Municipal de Sumbilla.

La figura de protección existente en la zona de actuación es: ZEC ES2200014 Río Bidasoa.

**DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

La zona se encuentra en el tramo medio del río Bidasoa. La pendiente media del cauce en la zona de estudio es del 1,0%. La pérdida de suelo ripario de los últimos años se debe a fenómenos de arrastre y erosión acentuados en el margen izquierdo del río por una mala conexión de la escollera construida como estribo de un puente. Esto hace que en momentos de avenida se genere un ramal de entrada que, por falta de sección hidráulica, lava los suelos riparios presentes a la espalda de la escollera y en sus zonas adyacentes. Este fenómeno evoluciona y se expande en la zona de influencia hasta que, en zonas más alejadas, este efecto desaparece y las orillas no se ven afectadas.

Junto con este problema se dan los fenómenos súbitos de lluvia ('Flash floods') caracterizados por caudales pico altos y tiempos de concentración bajos, lo que explica la insuficiencia hidráulica de las secciones del río. Así mismo, la presencia de fenómenos convectivos en épocas estivales, típicos de la zona, dan lugar a fuertes precipitaciones en cortos periodos de tiempo.

Por último, hay problemas de estabilidad en la ladera, por pendiente y saturación de los suelos aluviales de naturaleza arenoso-arcillosa, que pierden resistencia al corte y colapsan, tal y como muestran los escarpes (principales y secundarios), las bandas de humedad (zonas de suelo saturado) y los taludes.

**CARACTERIZACIÓN**

**Superficie de la cuenca:** 270 km<sup>2</sup>  
**Altitud sobre el nivel del mar:** 162 m  
**Rango del curso de agua:** 3

**Datos climáticos**

**Tipo de clima:** templado-atlántico  
**Precipitación máxima anual:** 229,1 mm. Diciembre  
**Precipitación mínima anual:** 102,1 mm. Julio  
**Precipitación media anual:** 2046,3 mm  
**Temperatura media mínima:** 1,7 ° C. Enero  
**Temperatura media máxima:** 26 ° C. Agosto  
**Temperatura media anual:** 12,8°C

**Evapotranspiración potencial:** de 550 a 770 mm

**Geología**

Suelos aluviales de cantos y gravas de naturaleza cuarcítica y caliza en matriz arenoso-arcillosa. También elementos de cuarzo y areniscas

En la base de las laderas, suelos coluviales de cantos y bloques con abundante matriz arcillosa

En la llanura de inundación, presencia de un nivel limoso-arcilloso

**Edafología y geotecnia**

**Tipo de suelos:** suelos de naturaleza franca (suelos arenoso-limosos) y con presencia de gravas

**Ángulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes:** 25-30°

**Cohesión del suelo de las márgenes:** 5-10 KPa

**Breve caracterización hidromorfológica del cauce**

**Tramo:** X medio

**Configuración del lecho:** A (Aluvial)

**Anchura cauce/Longitud tramo intervención:** 18 m/420 m

**Tipo de río:** B cauce simple en llanura M (meandriforme), tramo en meandro

**Sedimento dominante:**  
 X Arcilla < 0.002 mm  
 X Limo 0.002÷0.0625 mm  
 X Arena 0.0625÷2 mm  
 X Grava/canto 2÷64 mm

**Dimensión sección flujo dominante (bankfull):** anchura 33,7 m, altura 2,8 m

**Continuidad longitudinal:** X  
**Continuidad transversal:** X Buena

**Tiempo de concentración:** (min)

**Geometría de la sección/Pendiente de los márgenes:** 25-35°

**Pendiente longitudinal del cauce en tramo:** 1,0%

**Q medio anual:** 24,69 m<sup>3</sup>/seg  
**Q de proyecto:** Q<sub>2</sub> 304 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>5</sub> 450 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>10</sub> 563 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>25</sub> 725 m<sup>3</sup>/seg

**Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)**

**Tensión tangencial de los márgenes:** 200 N/m<sup>2</sup>

**Velocidad media:** 5,3 m/seg

**Breve caracterización botánica de la zona de intervención**

**Vegetación potencial:** La vegetación potencial se corresponde con el bosque de ribera de aliseda cantábrica, las saucedas arbustivas en las islas de gravas, así como las fresnedas de roble pedunculado, que en muchas ocasiones llegan hasta los márgenes del río

**Vegetación ribera actual:**

X Formación arbórea de ribera autóctonas  
 X Formaciones arbustivas o herbáceas de ribera autóctonas

**Anchura de la franja de ribera:** X Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona de 2.5 -5 m

**Continuidad de la vegetación de ribera:**  
 X Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona 30-90% de la longitud

## PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Se han producido diversos fenómenos de pérdida de suelos riparios y al mismo tiempo se dan procesos de deslizamiento de ladera, lo que explica la necesidad de refuerzo de las secciones del río en el tramo de intervención.

Las actuaciones van encaminadas a dar una adecuada continuidad de la escollera existente para impedir que el agua entre a través de esta, a contener el frente de las laderas inestables mediante algún elemento vertical y a reforzar las márgenes del río y a recuperar la banda de vegetación riparia. Complementando a los anteriores objetivos, se reforzará la vegetación autóctona de ribera, la aliseda.

El tramo de estudio es de 420 m, pero realmente el tramo que se restaura es de 70 m.

*Problemas de erosión. Estribo de escollera actuando como iniciador de los procesos erosivos. Erosión en la ladera*



## ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FRENTE A LA PROBLEMÁTICA EN EL TRAMO

En este tramo se dan dos problemáticas. Por una parte, hay un problema de erosión fluvial y pérdida de suelos riparios en la conexión entre la escollera y la orilla y, por otra, un problema de deslizamiento superficial de ladera.

La contención de la ladera se ha llevado a cabo mediante una empalizada dimensionada a los empujes de la ladera.

En cuanto a la orilla, una vez subsanada la entrada, se ha tratado de manera continua, eligiendo las técnicas en función de la pendiente de la margen y los parámetros hidráulicos locales obtenidos mediante un estudio hidráulico de modelización en dos dimensiones.

### TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA EMPLEADAS

#### 1- Técnicas de recubrimiento

- Siembra de especies herbáceas y leñosas

#### 2- Técnicas de estabilización

- Empalizada viva
- Trenzado vivo de ribera

#### 3- Técnicas mixtas de estabilización

- Entramado de madera doble tipo Krainer
- Escolleras revegetadas

#### 4- Técnicas complementarias

- Plantación de especies leñosas

*Plano actuación. Fuente: SCIA SL. Modificado GAN-NIK SA*



## ACTUACIONES PREVIAS

**1- Movimiento de tierras de excavación y relleno.**- Estas operaciones se realizan para obtener los perfiles de proyecto y están indicadas en los planos correspondientes. El reperfilado de taludes afectará a un total de 58,78 m<sup>3</sup>. Las operaciones de relleno suman un total de 68,8 m<sup>3</sup>.

**2- Recuperación del perfil de la escollera.**- Se ha dado una adecuada continuidad a la escollera existente con un perfil decreciente, sin hormigonar, corrigiendo de esta manera la entrada de agua en el trasdós. Se han colocado estacas en la escollera, en los huecos inferiores, y se ha realizado una plantación con aliso en coronación. El volumen de escollera colocada es de 23 m<sup>3</sup>.



*Imagen de la terminación de la escollera. Escollera vegetada*

## TÉCNICAS EMPLEADAS

### 1- EMPALIZADA VIVA

Construida con troncos de 20 cm de diámetro, se han insertado los troncos verticales con la ayuda de la retroexcavadora a una distancia de 1,5 a 2 m de la parte superior de la margen, reconstruyendo la orilla y con una profundidad de clavado de 1,5 m. A continuación, se han colocado los troncos horizontales y se ha rellenado la estructura con la tierra de excavación y con estacas en el piso inferior e intermedio, donde más humedad hay.

La madera empleada en la estructura horizontal ha sido alerce descortezado de longitud L:3,5-4 m y los verticales son piquetes rajados de castaño (L: 2,2 m). La longitud de la empalizada realizada es de 51 m.

*Al ser una empalizada viva de talud, se construye solo con estacas y no con fajinas*



## 2- TRENZADO VIVO

Se realizan 2 trenzados, el primero de ellos (L:4 m) casi a continuación de la nueva escollera y el segundo en la parte final del tramo (L: 21 m). Los trenzados han sido realizados con varas de sauce de *Salix atrocinerea* y con una altura de 0,5 m. Las estacas verticales usadas son piquetes de madera de castaño y, en las zonas donde no ha sido posible clavar por la existencia de sustrato rocoso, se han colocado varillas de acero corrugado.

Se ha rellenado con tierra el trasdós del trenzado, además de colocar una malla de coco de 400 gr/m<sup>2</sup> para evitar lavados, finalmente se ha estaquillado tanto en la parte inferior como a media altura con varas de sauce.

Se han colocado ramas muertas como disipadores de energía en la zona baja de la estructura.



Detalle del trenzado y de las ramas antierosivas, colocación de malla para proteger el trenzado y detalle de terminación lateral

## 3- ENTRAMADO VIVO DE MADERA TIPO KRAINER DOBLE

Una de las zonas ha sido sometida a mayor erosión desde el momento que se realizó el proyecto hasta el momento de la ejecución, por lo que se tuvo que adoptar una nueva solución. En el momento de ejecutar la obra, nos encontramos con un asa de erosión de una altura de más de 1,5 m. Está en la base de ladera y se percibe que la evolución va a ser rápida, por lo que se opta por una técnica mixta como es el entramado vivo de madera tipo Krainer doble. Se realiza al igual que la empalizada con madera de alerce, principalmente, y algo de pino radiata. Se coloca manta orgánica de yute en las caras externas para evitar el lavado interior y se estaquilla con 2 filas de estacas colocadas sobre los troncos horizontales.

Se apoya en el lecho rocoso directamente y tiene una profundidad de unos 2,2 m. En total se ejecuta un volumen de 27,6 m<sup>3</sup> (L:11,5 m; H:1,1). Igual que en los trenzados, se ha colocado una malla de coco en la parte superior para evitar lavados.

Entramado con tela de yute, de difícil degradación. Los transversales no están desfasados y los troncos son de pequeña dimensión.

A la derecha, crecida en enero



Imagen de la obra recién terminada

## 4- SIEMBRAS Y PLANTACIONES

Con objeto de completar la composición de la vegetación de ribera, y dada la poca presencia en la zona de intervención de las especies propias de las alisedas cantábricas, se plantea llevar a cabo una serie de plantaciones y una siembra de toda la superficie intervenida. Las especies principales a utilizar serán las siguientes:

- Sauces (*Salix purpurea*, *Salix atrocinerea* y *Salix caprea*). En estructuras.
- Fresno (*Fraxinus excelsior*), Avellano (*Corylus avellana*), Endrino (*Prunus spinosa*), Espino blanco (*Crataegus monogyna*), Cornejo (*Cornus sanguinea*).

## 5- CIERRE DE LA OBRA

El cierre se ha ejecutado justo detrás de la empalizada (70 m) para que el propietario pueda utilizar la máxima superficie de pasto y protegiendo todo el margen restaurado del uso del ganado.

## SUGERENCIAS o posibles mejoras

- Los troncos es preferible que tengan menor diámetro para que sean más manejables en obra.
- Esta obra se ha debido, en parte, a la incompleta ejecución de un estribo de escollera, que ha originado erosión aguas abajo. Es importante tener en cuenta la terminación y encuentros entre obras, sobre todo entre obras duras y obras flexibles o blandas.
- La ejecución se ha realizado con demasiada rapidez, los trenzados no se han iniciado desde la tierra, por lo que es probable que no broten.
- La empalizada no se ha clavado con los troncos horizontales entre sí. Esto puede dar lugar a problemas de estabilidad de la estructura.
- En la zona comprendida entre el caudal medio y la crecida ordinaria es preferible emplear fajinas y no estacas, porque pueden ser fácilmente arrastradas. Sin embargo, en las obras en talud se utilizan estacas y no fajinas. En cuanto a la densidad de estaquillas, un mínimo de 10 estacas por metro lineal y de mayor diámetro.
- Es importante sembrar nada más terminar la obra para proteger el trasdós de las obras y evitar que las riadas puedan lavar la tierra. En el caso de que no se pueda sembrar, se recomienda utilizar una malla de coco de 720 g/m<sup>2</sup> de densidad.
- En caso de riadas durante las obras, se debe actuar tal y como se ha hecho, esto es, reconociendo los puntos débiles de la obra y corrigiéndolos, rehaciendo lo que sea necesario.

**IMPREVISTOS: Crecida con la obra apenas terminada (finales de enero de 2019)**

Nada más terminada la obra, ocurrió una crecida ordinaria, que duró varios días y que puso a prueba las estructuras y la calidad de la ejecución. El agua llegó hasta la parte superior de las empalizadas, cubriendo toda la margen.

Esta crecida provocó algunos daños como el lavado de tierra en la parte superior de la empalizada y de los trenzados, el arrastre de algunas estacas y de la malla de coco colocada sobre las estructuras. Los elementos estructurales (troncos, piquetes...), sin embargo, no se movieron y apenas causó daños en la escollera ni en el entramado doble.

La crecida nos ha permitido reconocer los puntos débiles de la obra y llevar a cabo algunas correcciones: la colocación de una manta orgánica de yute a lo largo del tramo donde la riada había ocasionado más daños, el relleno con tierra del trasdós de los trenzados, la recolocación de la malla dañada... junto con el añadido de más estacas. Finalmente, se sembró y se plantó toda la obra.

**NOTA:** Según la web de CHC, el agua llegó a 3,40 m en la estación de aforos de Legasa el 23 de enero.

*Riada 23/01/2019 vista desde el puente. Toda la obra sumergida y lavado en la parte superior de la empalizada. Debajo: brotación*

**6.3 RÍO LEITZARAN. ELDUAIN. GIPUZKOA**

*Localización general del ámbito de actuaciones*

**Promotor:** Medio Ambiente y Obras Hidráulicas.  
Diputación Foral de Gipuzkoa. Ejecutado en H2O Gurea.  
**Proyecto:** Angel Lertxundi.  
**Ejecución:** Txukun Loratza, S.L.  
**Dirección de obra:** Medio Ambiente y Obras Hidráulicas.  
Diputación Foral de Gipuzkoa.  
**Fechas ejecución:** Noviembre 2017.  
**Longitud afectada:** 120 m.  
**Propiedad de los terrenos afectados:**  
Dominio Público Hidráulico.

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** Río Leizaran  
**Localización:** Elduain  
**Coordenadas UTM:**  
-Coordenadas inicio (aguas arriba):  
ETRS89, Huso: 30, X:583.009 Y:4.780.713  
**Técnicas empleadas:**  
Entramado simple de madera  
Estaquillado  
Siembras y plantaciones

**CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

La zona de intervención se encuentra en el tramo medio del río Leizaran, en la curva externa de un meandro situada aguas arriba de la antigua presa de Inturia, construida en el año 1913 con la finalidad de regular el caudal del río, especialmente en épocas de estiaje. Dado que la presa se encontraba sin uso, y con objeto de devolver la permeabilidad a la fauna y los sedimentos, se decidió su demolición, que se ha llevado a cabo entre los años 2013-2016.

El proyecto fue redactado desde la Dirección de Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa y las obras se llevaron a cabo desde la Agencia Vasca del Agua, URA, en cuatro fases. El ámbito concreto de actuación corresponde a un talud de la margen derecha del río Leizaran, más concretamente un meandro situado aguas arriba del caserío Inturia.

*Presa de Inturia antes de la demolición, durante y finalizada la misma*



### DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Al eliminarse la presa, el río tendió a equilibrar de nuevo su lecho, erosionando aguas arriba del punto del obstáculo. Como consecuencia de la erosión remontante producida, se produjo el derrumbamiento del terraplén que sustentaba la vía verde del Plazaola, que estuvo totalmente cortada al tráfico de vehículos, ciclistas y peatones. Para proteger y contener la base del terraplén dañado se proyectó su reparación mediante la construcción de una escollera seca en la margen derecha del río. El relleno de su trasdós se completó con un terraplén hasta la cota de la pista del Leitzarán, con un talud 2H:1V. Dicho relleno se efectuó con materiales procedentes de la excavación y del propio cauce y su superficie se cubrió con tierra fértil protegida con una manta de coco en su parte inferior para evitar erosiones.

Sin embargo, las lluvias de finales de enero de 2017 generaron unos caudales que llegaron a superar la altura del refuerzo de escollera, lo que provocó que el agua entrase en contacto con el arranque del terraplén. Con las obras recién terminadas, estas lluvias actuaron sobre un talud desprotegido de cobertura vegetal y de arboleda, lo que ocasionó el lavado de los materiales de la base del terraplén. A consecuencia de esto, se generó un daño en su base que aconsejaba su reparación para evitar que nuevos episodios de lluvias pudieran llegar a ocasionar la desestabilización del terraplén de apoyo de la pista del Leitzarán.

Erosión remontante que afecta a la carretera de Plazaola y primera solución recién ejecutada



Erosión al pie del terraplén y lavado de material



### CARACTERIZACIÓN

**Superficie de la cuenca:** 92,5 km<sup>2</sup>  
**Altitud sobre el nivel del mar:** 200 m  
**Rango del curso de agua:** 2

**Sedimento dominante:**  
 X Arena 0.06252÷ 2 mm  
 X Grava/canto: 2÷64 mm

#### Datos climáticos

**Tipo de clima:** templado-atlántico  
**Precipitación máxima anual:** 227,3 mm. Diciembre  
**Precipitación mínima anual:** 92,4 mm. Julio  
**Precipitación media anual:** 1.960,6 mm  
**Temperatura media mínima:** 1,7°C. Enero  
**Temperatura media máxima:** 26,0° C. Agosto  
**Temperatura media anual:** 12,8°C

**Dimensión sección flujo dominante (bankfull):** 13 m

**Continuidad longitudinal en la zona de la obra:**  
Buena

**Continuidad transversal en la zona de la obra:**  
Limitada

**Tiempo de concentración:** 9 horas y 20 minutos

**Geometría de la sección/Pendiente de los márgenes (°):** 35 a 50°

**Evapotranspiración potencial:** de 550 a 770 mm

**Pendiente longitudinal del cauce en tramo:** 0,8%

#### Geología

**Litología dominante:** pizarras, areniscas y conglomerados

**Q medio anual:** 3,95 m<sup>3</sup>/seg

**Q de proyecto:** Q<sub>2,3</sub> 63 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>10</sub> 165 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>100</sub> 245 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>500</sub> 373 m<sup>3</sup>/seg

#### Edafología y geotecnia

**Tipo de suelos:** suelos de naturaleza coluvial y aluvial

**Ángulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes (°):** 28°

#### Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)

**Tensión tangencial de los márgenes:** 200 N/m<sup>2</sup>

**Velocidad media:** 3 m/seg

**Cohesión del suelo de las márgenes (kPa):** N/D

#### Breve caracterización hidromorfológica del cauce

**Tramo:** medio

**Configuración del lecho:** C (Coluvial)

**Anchura cauce/Longitud tramo intervención:** 13 m/120 m

**Tipo de río:** B cauce simple en llanura M (meandriforme), tramo en meandro

#### Breve caracterización botánica de la zona de intervención

**Vegetación potencial:** Bosque de ribera de aliseda cantábrica en margen, bosques de roble pedunculado

**Vegetación ribera actual:** X Ausencia de vegetación de ribera autóctona

**Anchura de la franja de ribera:** X Ausencia de vegetación de ribera autóctona

**Continuidad de la vegetación de ribera:** X Ausencia de vegetación de ribera autóctona

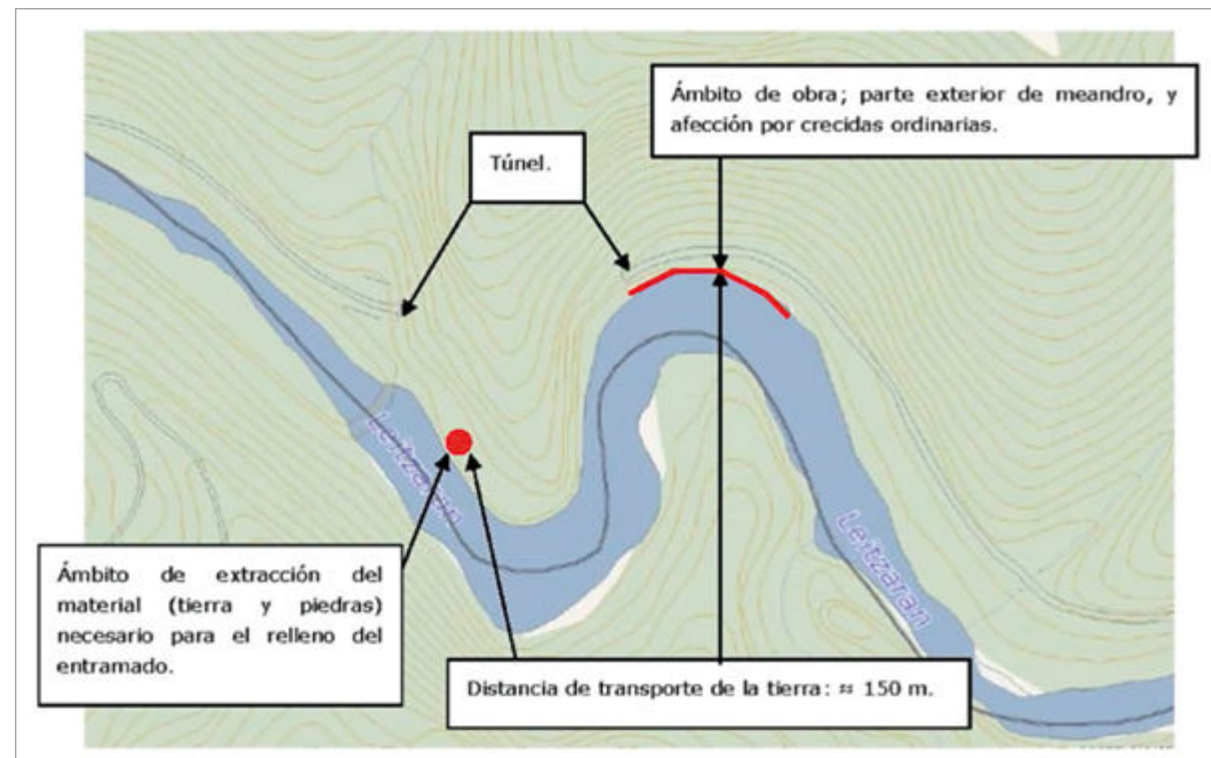
#### Observaciones:

Figuras Protección Ambiental

ZONA DE ESPECIAL CONSERVACIÓN ZEC ES2120013 Río Leitzarán RED NATURA 2000

### PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Las actuaciones promueven la estabilización del terraplén que sujeta la vía verde mediante el empleo de técnicas de Bioingeniería.



Propuesta actuación. Fuente: Ángel Lertxundi

### ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FRENTE A LA PROBLEMÁTICA EN EL TRAMO

Frente a las soluciones puramente constructivas de ingeniería tradicional, y al encontrarse la zona en un ZEC, se optó por la construcción de un entramado simple. Este entramado, además de favorecer la estabilización y consolidar el pie de la margen, tiene efectos beneficiosos asociados como los siguientes: refugio y alimento para la fauna, función de corredor ecológico, amortiguación de crecidas, mejora de la calidad del agua y del paisaje, fijación de CO<sub>2</sub>, etc.

Además, la implantación de vegetación en un talud proporciona una mayor estabilidad al terreno y mejora la estructura del suelo, reduciendo la erosión hídrica y favoreciendo la integración paisajística.

### EJECUCIÓN

Los trabajos se desarrollaron durante 3 semanas del mes de noviembre de 2017, padeciéndose un episodio de crecida en el río Leizaran en el que el agua alcanzó el primero de los planos de la estructura, pero que no generó pérdidas de troncos gracias a que estos estaban anclados con barras de acero.

#### TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA EMPLEADAS

##### 1-Técnicas de recubrimiento

Siembras

##### 2- Técnicas mixtas de estabilización

Entramado vivo simple de ribera

##### 3- Técnicas complementarias

Plantaciones

### ACTUACIONES PREVIAS

**Excavación de la zona de cimentación.** Se procede a la excavación de una terraza en la base del talud, en contrapendiente del 10%. En el caso de Inturia se logró actuar con una mini-excavadora muy ligera, sobre el propio talud, sin ocupar el cauce.



Finalización del proceso de excavación y perfilado de plataforma en la base del talud. **Cimentación sobre la escollera inferior.**

### TÉCNICAS EMPLEADAS

#### 1- ENTRAMADO DE MADERA SIMPLE A UNA SOLA PARED

**Colocación del primer nivel de troncos.** Se coloca la primera serie de troncos horizontalmente, siguiendo las curvas de nivel, en disposición de pared simple y fijados mediante barras de acero con anclaje químico a la escollera inferior. Encima de los troncos horizontales se coloca y clava la primera serie transversal de troncos en posición perpendicular a la pendiente, colocados al tresbolillo a una distancia entre ejes de 1 m.



El anclaje de los troncos impidió que se desmontase la estructura como consecuencia de una de las crecidas acaecidas durante la obra



**Implantación de material vegetal vivo y relleno con áridos y tierra vegetal de obra.** Una vez construida la primera serie estructural del entramado, se colocó el material vegetal con ramas vivas y estacas de diámetro de 3 a 5 cm de *Salix atrocinerea*, con densidad de 10 unidades por metro lineal y planta de aliso a raíz desnuda. Normalmente en los entramados de ribera se colocan fajinas además de estacas. Posteriormente, se relleno con áridos y tierra vegetal de obra, compactando la tierra para evitar huecos de aire. En el caso de Inturia no se implantaron fajinas ni manta orgánica para retener el suelo, lo que ha generado algunos problemas de lavado del relleno en crecidas.

Detalle de colocación de la segunda hilera de troncos transversales y del material vegetal



Encuentro final del entramado con el terraplén existente



**Por último, se remodelan y afianzan los perfiles de la cabecera, los bordes laterales y el pie** del entramado vivo con los del talud. Los remates laterales y bordes de la estructura aguas arriba son los puntos más débiles de cara a la erosión o entrada de agua, por lo que se han colocado grandes bloques de piedra para disipar la energía del agua en estos puntos.

La estructura final tiene una altura de 1,86 metros, un perfil de 45° y una anchura de 2 metros.

Encuentro final del entramado con el terraplén existente. Detalle ejecución



## 2- SIEMBRA CON HERBÁCEAS

Durante la fase de ejecución se han tomado las pertinentes medidas para prevenir afecciones sobre los elementos clave objeto de conservación en la ZEC Leitzarar Ibaia/Río Leitzarar. Se ha realizado una siembra de herbáceas.

## 3- PLANTACIONES

Se han plantado alisos (*Alnus glutinosa*) en toda la obra.

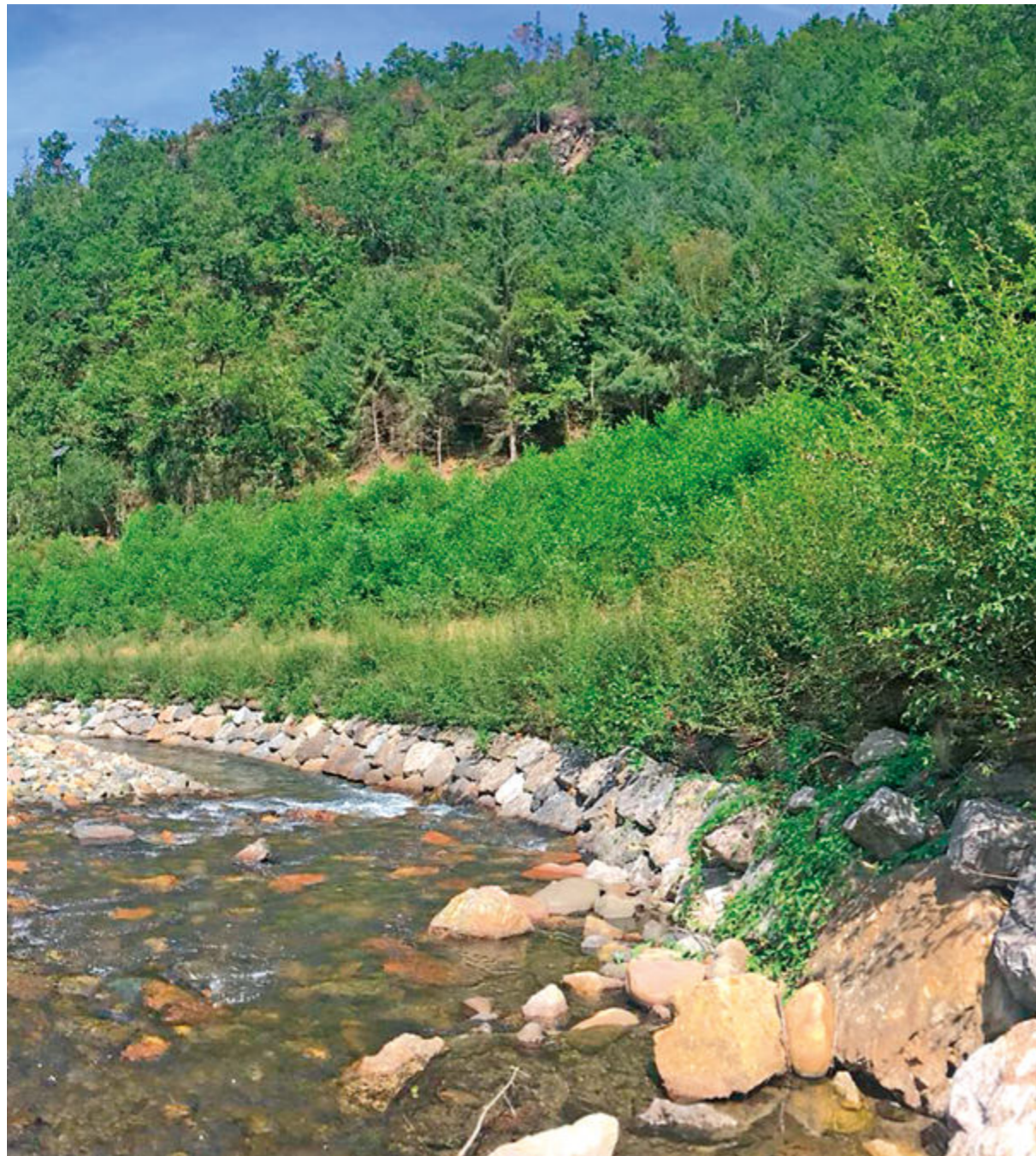




**SUGERENCIAS o posibles mejoras**

- En futuras actuaciones puede estudiarse la conveniencia del uso de troncos que tengan menor diámetro para que sean más manejables en obra, así como su descortezamiento.
- En las estructuras de Bioingeniería, los niveles donde llega el caudal medio se rellenan con piedra. En la zona comprendida entre el caudal medio y la crecida ordinaria, lo habitual es emplear fajinas, además de estacas, puesto que estas últimas son más fácilmente arrastrables por el agua en las crecidas. En caso de no disponer de suficiente material para realizar fajinas, se puede utilizar una manta orgánica.
- En función de las características del río, puede ser recomendable dimensionar en el entramado las distancias entre troncos transversales para optimizar los recursos.

Aspecto de la obra en 2018

**6.4 RÍO OIARTZUN. ERRETERIA. GIPUZKOA**

Localización general del ámbito de actuaciones.

Elaboración: Ekolur

**Promotor:**

URA. Agencia Vasca del Agua.  
Ejecutado en H2O Gurea.

**Dirección de obra:** URA. Agencia Vasca del Agua.

**Fechas ejecución:**

Primera fase: Noviembre-Diciembre 2017.

Segunda Fase: Febrero 2018.

Tercera fase: Enero 2019.

**Longitud afectada:** 300 m (se exponen las experiencias de la 1ª y 2ª fase: 180 m).

**Propiedad de los terrenos afectados:**

Municipal.

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** Río Oiartzun

**Localización:** Erreterria

**Coordenadas UTM:**

- Coordenadas inicio (aguas arriba):  
ETRS89, Huso: 30, X: 590405, Y:4795818

- Coordenadas fin (aguas abajo):  
ETRS89, Huso: 30, X: 590203 Y: 4795821

**Técnicas empleadas:**

Estera de ramaje

Entramado simple

Trenzado vivo

Manta orgánica y estaquillado

Siembras y plantaciones

Enrejado vivo

**CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

La zona de intervención se encuentra en el tramo bajo del río Oiartzun, al noreste del término municipal de Erreterria, en el territorio histórico de Gipuzkoa. Concretamente, las actuaciones propuestas afectan a la margen izquierda del río, en el tramo que discurre a lo largo del Parque de la Paz.

**DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

La zona de intervención actualmente es inundable con un periodo de retorno de 10 años. El efecto de las crecidas, sumado a una vegetación arbolada de porte considerable y no perteneciente a la vegetación de ribera, está favoreciendo la erosión de la margen, incrementando su inestabilidad y originando que algunos pies de elevada altura presenten un elevado riesgo de caída al cauce.

Se han realizado en diversas ocasiones labores de revegetación del tramo, principalmente con la colocación de estacas de sauce en el talud, pero el éxito ha sido muy bajo, debido a los fenómenos de crecidas, que no han permitido el arraigo de la vegetación, y a la sombra provocada por los plátanos. En la zona se ha observado, además, la presencia de especies invasoras (*Arundo donax* y *Robinia pseudoacacia*, principalmente).

## CARACTERIZACIÓN

Superficie de la cuenca: 56 km<sup>2</sup>  
 Altitud sobre el nivel del mar: 2,3 m  
 Rango del curso de agua: 1

## Datos climáticos

Tipo de clima: templado-atlántico  
 Precipitación máxima anual: 153 mm. Diciembre  
 Precipitación mínima anual: 62 mm. Julio  
 Precipitación media anual: 1.299 mm  
 Temperatura media mínima: 9,1°C. Enero  
 Temperatura media máxima: 20,81°C. Agosto  
 Temperatura media anual: 14,5°C  
 Evapotranspiración potencial: 700 mm

## Geología

Litología dominante: calizas arenosas y margas o lutitas carbonatadas y depósitos aluviales

## Edafología y geotecnia

Tipo de suelos: suelos de naturaleza aluvial  
 Ángulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes (°): 30°  
 Cohesión del suelo de las márgenes (kPa): 0-5 KPa

## Breve caracterización hidromorfológica del cauce

Tramo: medio  
 Configuración del lecho: A (Aluvial)  
 Anchura cauce/Longitud tramo intervención: 14 m/180

Tipo de río: B cauce simple en llanura M (meandriforme), tramo en meandro

## Observaciones:

Presencia de: *Platanus orientalis*  
*Arundo donax*  
*Robinia pseudoacacia*

Sedimento dominante:  
 X Limo 0.002÷ 0.062 mm.  
 X Arena 0.06252÷ 2 mm.

Dimensión sección flujo dominante (bankfull): 14 m

Continuidad longitudinal en la zona de la obra: Buena

Continuidad transversal en la zona de la obra: Buena

Tiempo de concentración:  
 Geometría de la sección - Pendiente de los márgenes (°): X 35 a 50

Pendiente longitudinal del cauce en el tramo: 0,2%  
 Q medio anual: 71 m<sup>3</sup>/seg  
 Q de proyecto: Q<sub>10</sub> 132 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>100</sub> 225 m<sup>3</sup>/seg  
 Q<sub>500</sub> 314 m<sup>3</sup>/seg

## Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)

Tensión tangencial en las márgenes: N/D  
 Velocidad media: 2 m/seg

## Breve caracterización botánica de la zona de intervención

**Vegetación potencial:** Bosque de ribera de aliseda cantábrica en la margen y fresnedas de roble pedunculado, que en muchas ocasiones llega hasta los márgenes del río

**Vegetación ribera actual:** X Formaciones herbáceas, arbóreas o arbustivas no de ribera

**Anchura de la franja de ribera:** X Ausencia de vegetación de ribera autóctona

**Continuidad de la vegetación de ribera:** X Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona extendida < 30% de la longitud

## PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Las actuaciones promueven la recuperación de las zonas en erosión, la defensa de los márgenes y el pie de las orillas mediante técnicas de Bioingeniería.

Complementando a los anteriores objetivos se plantea reforzar la vegetación autóctona de ribera, en particular la aliseda, y se deben eliminar algunos ejemplares de vegetación alóctona (*Platanus hispánica*, *Arundo donax*, *Robinia pseudoacacia*).



Propuesta actuación. Fuente: Ekolur SL

## ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FRENTE A LA PROBLEMÁTICA EN EL TRAMO

La obra se ha llevado a cabo en tres fases.

Se ha decidido aplicar tres técnicas en un tramo erosionado de unos 300 m y se ha realizado la obra en tres fases.

El entramado de madera simple es la técnica escogida para la zona con mayores velocidades aguas arriba de la zona de intervención y se corresponde con la tercera fase.

En las zonas aguas abajo del entramado se plantea, en el margen con mayor pendiente, la construcción de un enrejado vivo. Por último, se ha planteado, en la salida de la curva, una estera de ramaje con un trenzado de mimbre en la base. Estas actuaciones se han correspondido con la segunda y primera fase respectivamente.

## TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA EMPLEADAS

## 1-Técnicas de recubrimiento

Siembras  Mantas orgánicas

## 2- Técnicas de estabilización

Estaquillado

## 3- Técnicas mixtas de estabilización

Entramado vivo simple tipo Krainer

Enrejado vivo de ribera

Cobertura de ramas

Trenzado vivo de ribera

## 4- Técnicas complementarias

Plantación de especies leñosas

## EJECUCIÓN

Primera fase: Noviembre-Diciembre 2017. Segunda fase: Febrero 2018.

Tercera fase: se inicia en enero de 2019.

## ACTUACIONES PREVIAS

**1- Eliminación del arbolado.** Se ha procedido a eliminar los ejemplares en estado inestable y aquellos pies que se encuentran en primera línea y cuyas raíces están comprometidas, con objeto de obtener espacio y dar una menor inclinación a la margen y mejorar su estabilidad. En total se han eliminado diez *Platanus hispánica* y *Robinia pseudoacacia* como especies alóctonas y un ejemplar de *Quercus sp.* y dos *Alnus glutinosa*. Se utiliza camión cesta y motosierra para realizar los apeos y trabajos en altura.

Eliminación del arbolado



**2- Extracción completa de los tocones** excavándose un agujero en la zona y enterrándolos con las raíces hacia arriba para evitar posibles rebrotes. Se utiliza para ello una retroexcavadora de 21 Tn.

Tratamiento tocones



**3- Eliminación de otras especies invasoras** presentes en la margen, especialmente *Arundo donax* y algunas especies arbustivas, mediante desbrozadoras. La retroexcavadora criba cuidadosamente la tierra y el material vegetal extraído se acopia y se lleva a vertedero para evitar la dispersión de propágulos invasores.

**4- Movimiento de tierras y retaluzado de la margen.** La retroexcavadora de cadenas de 21 Tn procede a retaluzar la margen con una pendiente de 35° en la primera fase y de 47° en la segunda fase, cortando y extrayendo en el proceso todas las raíces que pudieran haber quedado.

Retaluzado de talud



**5- Creación de accesos al cauce solicitados por el ayuntamiento.** Se aprovechan troncos de algunos ejemplares de *Platanus hispánica* para la creación de dos accesos al cauce.

El primer acceso consta de 5 peldaños hechos con troncos de unos 30 cm de diámetro y 4 m de longitud. Éstos se anclan al terreno con dos varillas de acero corrugado por peldaño, de 10 mm de diámetro y 1,5 m de longitud. El segundo, de dimensiones similares, cuenta con un tronco transversal de protección.

Creación de pasos



## TÉCNICAS EMPLEADAS

### 1- ESTERA DE RAMAJE CON PIE DE TRENZADO DE MIMBRE

Se comienza la obra en la parte más distal, aguas abajo de la zona de intervención. Normalmente la estera de ramaje se protege con una fajina, un entramado de madera simple o un pie de escollera en la base. En este caso se tomó la decisión de protegerla con un trenzado de mimbre.

El trenzado vivo de ribera alcanza los 100 m en la base del talud. Se han utilizado ramas flexibles de especies autóctonas con capacidad de reproducción vegetativa. En la cara interna del trenzado se han colocado fajinas vivas. Una vez realizado el trenzado, se construye la estera de ramaje con varas de sauce de 3 m de longitud (*Salix atrocinerea*, *S. purpurea* y *S. alba*).

En total se han realizado 300 m<sup>2</sup> de estera de ramaje.

Trenzado de mimbre como base para protección de la estera de ramaje



Ejecución de la estera de ramaje



Recubrimiento con tierra vegetal



Esteras de ramaje brotada



### 2- MALLA ORGÁNICA Y ESTAQUILLADO EN LA PARTE ALTA DEL TALUD

La coronación del talud se protege con una red o malla de coco (Red orgánica coco ECONET EXTRA 700. 700 g/m<sup>2</sup>. Apertura de malla 11 x 11 mm), anclada con 200 grapas de acero corrugado (Piqueta anclaje U ø 8 mm 20-8-20 cm).

A continuación, se procede al estaquillado de la cabeza del talud con sauces (*Salix atrocinerea*, *S. purpurea* y *S. alba*) y cornejo (*Cornus sp.*) cada 0,5 m y al sembrado del mismo. Se siembra sobre toda la zona de actuación, con especial hincapié sobre la red de coco, y se reperfila mediante una retroexcavadora de 8 Tn, y se incluyen las zonas de acceso al cauce, para alisar el terreno, acomodar el lezón y quitar las rodadas de la maquinaria empleada.

Manta orgánica en la parte alta del talud



### 3- ENREJADO CON BASE DE ENTRAMADO DE MADERA VIVO SIMPLE

Como plano de apoyo del enrejado se lleva a cabo un entramado de madera simple a contrapendiente para evitar la posibilidad de descalce del pie. Se han usado troncos longitudinales de *Pinus radiata* de 5 m de largo y 35 cm ø y troncos transversales de 2 m de longitud, colocados a una distancia de 1,6 m entre sí.

Estabilización de la base del talud mediante entramado de madera tipo Krainer. Colocación longitudinal de troncos





Sobre los troncos del entramado se ha construido el enrejado, fijándolo al terreno mediante varillas de acero corrugado de 1,5 m de largo y 12 mm  $\phi$ . Sobre los troncos verticales anclados se han fijado los troncos transversalmente, de manera que forman una malla cuadrada. Se utilizan clavos realizados con acero corrugado de 12 mm  $\phi$  y 0,5 m de longitud. La unión entre troncos se lleva a cabo a mata junta.

Se colocan 300 estaquillas (*Salix alba*, *Salix atrocinerea* y *Cornus sanguinea*), en toda la superficie del enrejado, una cada 30 cm aproximadamente y apoyadas sobre los troncos longitudinales en enrejado, y se plantan 80 unidades de especies arbustivas con alvéolo forestal (40 uds. *Cornus sanguinea*, 40 uds. *Corylus avellana*), en los cuadrantes de la estructura.

Vista frontal del enrejado vivo. Se coloca una manta de coco (manta orgánica Fijavert de coco con red de polipropileno) en la cara interna entre el entramado y el enrejado, para retener el material de relleno. Posteriormente se rellena con tierra vegetal toda la estructura (aprox. 200 Tn de tierra) y se reperfila la superficie con la mini retroexcavadora



#### 4- MALLA ORGÁNICA Y ESTABILIZACIÓN DE LA PARTE SUPERIOR DEL TALUD

Para proteger la cabeza del enrejado de fenómenos erosivos, se reviste el tronco superior y la coronación del talud con una fila de red de coco (red orgánica coco. 700 g/m<sup>2</sup>. Apertura de malla 11 x 11 mm), anclada con 190 grapas de acero corrugado (piqueta anclaje U  $\phi$  12 mm 20-8-20 cm). Se colocan sobre ésta 100 uds. de estaquillas de sauce (*Salix atrocinerea*, *S. purpurea* y *S. alba*) y cornejo (*Cornus sanguinea*) cada 0,5 m.

Colocación de la manta orgánica



Aspecto de obra recién terminada



#### 5- PLANTACIÓN, SEMBRADO Y REPOSICIÓN DEL TERRENO AL ESTADO INICIAL

Mediante una retroexcavadora de 8 Tn se rematan los perfiles sobre el talud y zonas de acceso al cauce, para alisar el terreno y quitar las rodadas de la maquinaria empleada. Se planta la zona de actuación y trabajos con ejemplares de aliseda cantábrica de origen autóctono. Un total de 110 unidades de planta (50 uds. *Alnus glutinosa*, 20 uds. *Sorbus aucuparia* y 40 uds. *Crataegus monogyna*).

Se realiza un sembrado de todo el talud y zona de realización de los trabajos.

#### SUGERENCIAS o posibles mejoras

- Los troncos es preferible que tengan menor diámetro y estén descortezados para aumentar su longevidad.
- No siempre se requiere unir los troncos longitudinales. A veces es preferible realizar módulos individuales. Se debe decidir en cada caso concreto.
- Para evitar lavados en crecidas, es conveniente proteger el pie de la obra en su extremo más distal con un pequeño deflector de piedra o de madera.

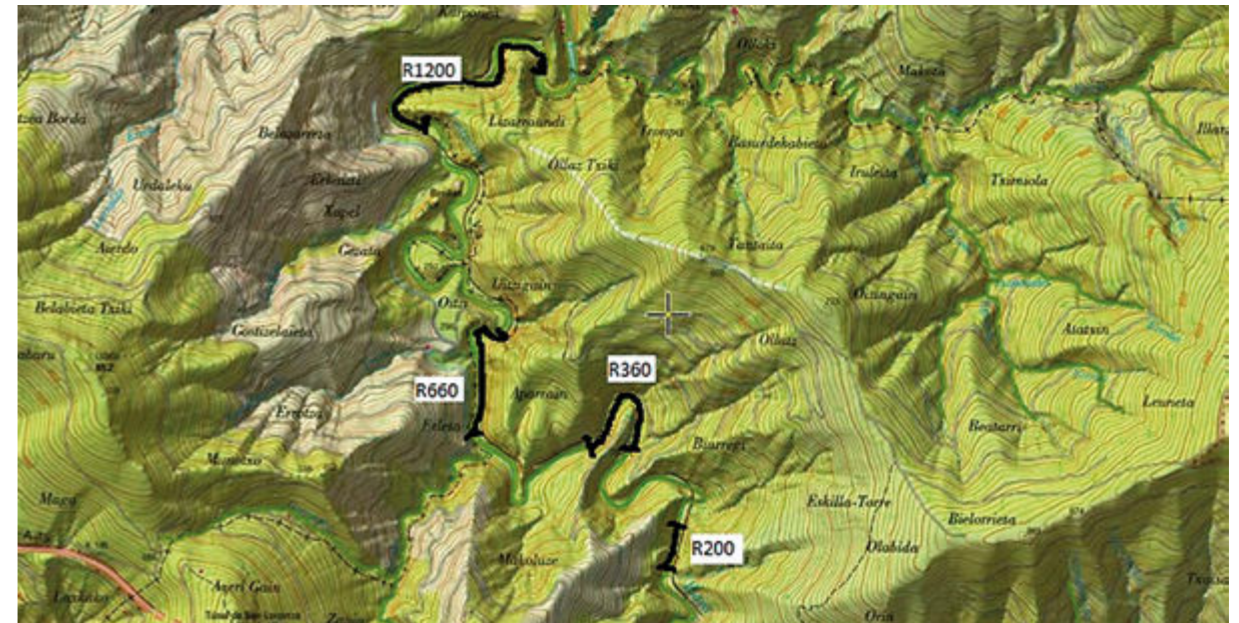
- En las estructuras de Bioingeniería, los niveles donde llega el caudal medio se rellenan con piedra. En la zona comprendida entre el caudal medio y la crecida ordinaria es preferible emplear fajinas y no estacas, porque pueden ser fácilmente arrastradas. En caso de no disponer de suficiente material para realizar fajinas, se puede utilizar, como en este caso, la manta orgánica.
- En cuanto a la densidad de estaquillas, se requiere una densidad mayor, con un mínimo de 10 estacas por metro lineal.
- Es recomendable, en el enrejado, dimensionar las distancias entre troncos longitudinales y transversales para optimizar el recurso.



Evolución del enrejado



## 6.5 RÍO LEITZARAN. ELDUAIN Y BERASTEGI. GIPUZKOA



Localización general del ámbito de actuaciones. Elaboración: Basoinsa S.A.

Se distinguen cuatro zonas o tramos independientes de actuación: Tramo R1200, Tramo R660, Tramo R360 y Tramo R200

Aguas arriba de cada uno de estos tramos de actuación se delimitan los correspondientes tramos de control de 200 m cada uno

**Promotor:** Dirección de Montes y Medio Natural.  
Diputación Foral de Gipuzkoa.

**Proyecto realizado para:**  
LIFE14 NAT/ES 000186 IREKIBAI.

**Proyecto:** BASOINSA S.L.

**Ejecución:** Guarderío de la DFG.

**Fechas ejecución:** Trabajos previos Junio 2016.  
Septiembre-Noviembre 2016.

**Longitud afectada:** P.K. 0+000 corresponde a la presa Olloqui, hasta el P.K. 8+160 de la Central de Iberdrola.

**Propiedad de los terrenos afectados:**  
Dominio Público Hidráulico.

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** Restauración del cauce mediante introducción de madera en el río

**Localización:** Elduain y Berastegi

**Coordenadas UTM:**

Coordenadas inicio (Presa Olloqui):  
ETRS89, Huso: 30N,  
X:579.956 - Y:4.784.292

**Técnicas empleadas:**

Madera  
Fijaciones de acero  
Fijaciones cuerda cáñamo

**CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

La zona de intervención se encuentra en el tramo medio del río Leizaran, aguas arriba de la presa de Olloqui.

**DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

El río Leizaran presenta una densidad de peces baja, a pesar de que está clasificado como en buen estado ecológico, y aunque hay presencia de visón y desmán, no parece que la situación de estas dos especies sea buena. Parte del problema es generado por la intensa explotación hidroeléctrica, con azudes que suponen una barrera considerable al movimiento de algunos organismos y crean zonas de aguas estancadas no naturales, y por la importante derivación de caudales.

## CARACTERIZACIÓN

Superficie de la cuenca: 92,5 km<sup>2</sup>  
 Altitud sobre el nivel del mar: 200 m  
 Rango del curso de agua: 2

## Datos climáticos

Tipo de clima: templado-atlántico  
 Precipitación máxima anual: 227,3 mm. Diciembre  
 Precipitación mínima Anual: 92,4 mm. Julio  
 Precipitación media anual: 1960,6 mm

Temperatura media mínima: 1,7°C. Enero  
 Temperatura media máxima: 26°C. Agosto  
 Temperatura media anual: 12,8°C

Evapotranspiración potencial: de 550 a 770 mm

## Geología

Litología dominante: pizarras, areniscas y conglomerados

## Edafología y geotecnia

Tipo de suelos: suelos de naturaleza coluvial y aluvial

Ángulo de rozamiento interno del suelo de las márgenes (°): 28°

Cohesión del suelo de las márgenes (kPa): N/D

## Breve caracterización hidromorfológica del cauce

Tramo: medio

Configuración del lecho: C (Coluvial)

Anchura cauce/Longitud tramo intervención: 13 m/120 m

Tipo de río: B cauce simple en llanura M (meandriforme), tramo en meandro

Sedimento dominante:  
 X Arena 0.06252 ÷ 2 mm

X Grava/canto: 2÷64 mm

Dimensión sección flujo dominante (bankfull): 13 m

Continuidad longitudinal en la zona de la obra: Buena

Continuidad transversal en la zona de la obra: Limitada

Tiempo de concentración: 9 horas y 20 minutos

Geometría de la sección/Pendiente de los márgenes (°): 35 a 50°

Pendiente longitudinal del cauce en tramo: 0,8%

Q medio anual: 4,48 m<sup>3</sup>/seg

Q de proyecto: Q<sub>5</sub> 128,5 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>10</sub> 144,10 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>100</sub> 218 m<sup>3</sup>/seg, Q<sub>500</sub> 334 m<sup>3</sup>/seg

## Breve caracterización hidráulica de la zona de intervención (para T = 10 años)

Tensión tangencial de los márgenes: 200 N/m<sup>2</sup>

Velocidad media: 3 m/seg

## Breve caracterización botánica de la zona de intervención

Vegetación potencial: Bosque de ribera de aliseda cantábrica en margen, bosques de roble pedunculado y robles híbridos

## Vegetación ribera actual:

X Formación arbórea de ribera autóctona. Aliseda cantábrica

Anchura de la franja de ribera: Franja de ribera arbórea o arbustiva autóctona de 2,5 -5 m

Continuidad de la vegetación de ribera: X Vegetación de ribera arbórea o arbustiva autóctona (30-90% de la longitud)

## Observaciones:

Figuras Protección Ambiental. ZEC ES2120013 Río Leitzaran

## PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

El objetivo general del proyecto consiste aumentar la complejidad estructural del cauce en los tramos de actuación, favoreciendo la riqueza de hábitats en el curso fluvial e incrementando de esta manera la capacidad de acogida para diferentes especies. El plan de actuación se basa en técnicas de introducción de madera de grandes dimensiones, conocidas en el ámbito internacional como LW (Large Wood). El proyecto de restauración del hábitat consiste en la introducción de madera muerta en el cauce del río Leitzaran para mejorar su estado de conservación, aumentar las poblaciones de las especies amenazadas y potenciar los servicios ecosistémicos. Se encuadran dentro de las técnicas complementarias, que permiten la mejora ecológica en las obras de restauración.

Se distinguen cuatro zonas o tramos independientes de actuación, que son los que se muestran en la imagen de localización (página 155): Tramo R1200, Tramo R660, Tramo R360 y Tramo R200. Aguas arriba de cada uno de estos tramos de actuación se delimitan los correspondientes tramos de control, de 200 m cada uno.

## ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FRENTE A LA PROBLEMÁTICA EN EL TRAMO

La madera muerta es un elemento esencial en los ríos forestados, ya que aumenta la heterogeneidad de hábitats, proporciona refugio y zonas de alimentación a numerosos organismos y aumenta la capacidad del río de retener sedimentos, materia orgánica y nutrientes disueltos, con lo que se potencia su productividad, su funcionamiento ecológico y su capacidad de autodepuración (Gregory et al. 2003).

Con estas actuaciones se pretende:

- Ofrecer el marco y escenario real necesarios para el Proyecto de Investigación “Restauración del hábitat fluvial: implicación para especies amenazadas y beneficios ambientales”, que se desarrollará durante los 3 años siguientes.
- Mejorar la calidad del hábitat físico del cauce del río Leitzaran.
- Favorecer la presencia de especies actualmente amenazadas (desmán ibérico y visón europeo) y reforzar la población de otros vertebrados (salmónidos y aves acuáticas) mediante el aumento de la disponibilidad de refugios en el cauce y las márgenes.
- Potenciar los servicios ecosistémicos que proporciona el río Leitzaran a la sociedad local.

## EJECUCIÓN

Realizada en el año. Se ha llevado a cabo en cuatro tramos de longitud variable, cada uno con una estación de control de 200 metros.

Tramo	PK inicio	PK final	Longitud (m)	Superficie cauce (m <sup>2</sup> )	Anchura media cauce (m)	Tramo	Madera a introducir (m <sup>3</sup> )
R1200	0+500	1+700	1200	30.326	25,3	R1200	152
C1200	1+700	1+900	200	4.443	22,2	R660	61
R660	3+780	4+440	660	12.254	18,6	R360	45
C660	4+560	4+760	200	3.763	18,8	R200	15
R360	5+500	5+860	360	8.940	24,8	<b>TOTAL</b>	<b>273</b>
C360	6+500	6+700	200	3.633	18,2		
R200	7+060	7+260	200	2.920	14,6		
C200	7+460	7+660	200	2.520	12,6		

## TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA EMPLEADAS

## 1- Técnicas complementarias

- Introducción de madera de grandes dimensiones LW

Estos tramos se han elegido en base a los criterios siguientes:

- Buena accesibilidad.
- Disponibilidad de madera en la zona cercana.
- Titularidad pública de las parcelas.
- Condicionante científico: debe haber una distancia de separación mínima entre el final del tramo de restauración y el inicio del tramo de control del siguiente tramo de restauración.

Cantidad de madera a introducir: 25 m<sup>3</sup>/ha en cauce y 25 m<sup>3</sup>/ha fuera del mismo.

La madera necesaria para realizar las diferentes actuaciones propuestas en el presente proyecto será de especies alóctonas. En su mayoría pertenecerá a las especies *Pinus radiata*, *Eucalyptus sp.* y *Robinia pseudoacacia*.

### ACTUACIONES

El proceso de ejecución de las obras constará de las siguientes fases:

**1- Selección de los pies arbóreos** a utilizar.

**2- Apeo o derribo de los pies arbóreos** seleccionados y preparación de estos.

**3- Porte de la madera** al lugar de colocación en el cauce.

**4- Introducción de la madera y colocación para la formación de las estructuras.** Se distinguen dos tipos de estructuras en función de su colocación con respecto al cauce:

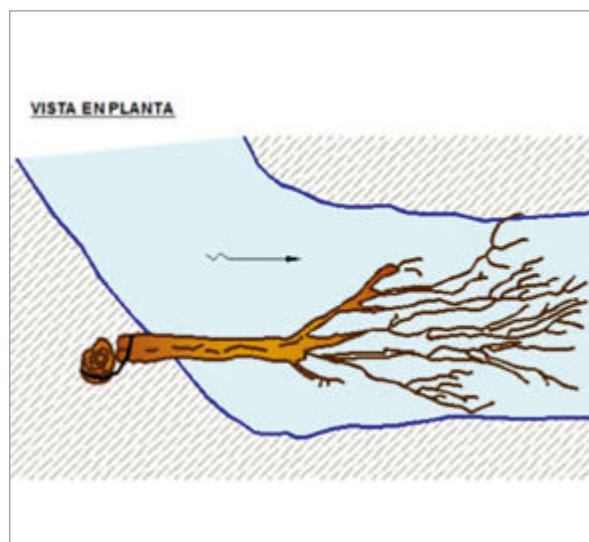
- Estructuras con disposición tipo presa o traviesa, con sus variaciones: transversal, en pico de pato, en diagonal.
- Estructuras con disposición tipo deflector.

Se distinguen tres tipologías en función del tipo de madera utilizado:

- **Árboles enteros** o 'Raubäume': árboles enteros apeados e introducidos directa o indirectamente en el cauce. Un porcentaje importante (el 50% como media) de su longitud quedará ubicado fuera del cauce, en aras a su estabilidad.

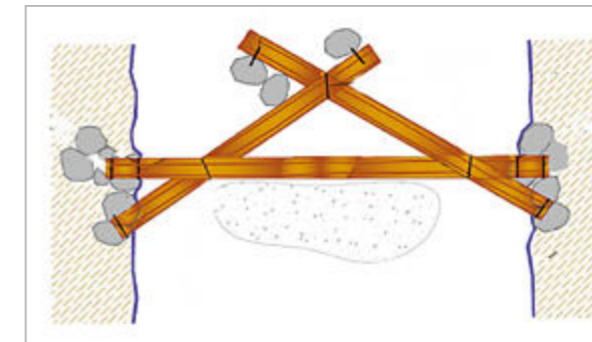
El árbol así colocado genera refugio para la fauna piscícola además de crear áreas de ralentización del agua entre el árbol y la ribera, con sedimentación de grava pequeña y finos, dando lugar a áreas menos profundas y de menor velocidad.

Fuente: Basoinsa S.L.



- **Troncos entrelazados:** constituidos por agrupaciones de varios troncos unidos entre sí y anclados a elementos de fijación dentro del cauce o en las márgenes. Funcionarán como "trampas" de captura del resto de elementos.

Fuente: Basoinsa S.L.



- **Acumulaciones de ramaje:** colocados en las orillas, con formas y volúmenes diversos, procedentes del material leñoso de menor diámetro formado por las apeas y ramas de los pies apeados.

T660: Acumulación ramas apenas realizada y tras un año



### 5- Fijaciones.

Los troncos, cuando es necesario, se fijan o anclan con tres tipos de fijaciones:

- Fijación 1: Mediante cableado de tronco a roca, sobre roca natural sana existente en el propio cauce o muro de hormigón en algún caso.
- Fijación 2: Mediante cableado de tronco a punto de anclaje externo al cauce (árboles, rocas,) o a otros troncos.
- Fijación 3: Mediante cuerda de cáñamo (material biodegradable) de tronco a punto de anclaje externo al cauce (árboles, rocas...) o a otros troncos.





### RESULTADOS Y EVOLUCIÓN EN EL PRIMER AÑO

**BALANCE MADERA:** El balance total de permanencia de madera en los tramos ejecutados resulta muy satisfactorio tras el transcurso del primer año.

De todos los elementos introducidos: el 40,0% permanece estable; el 41,8% permanece con la misma posición reajustada; el 12,0% ha sufrido desplazamientos variables entre 10 y 450 m; del 6,2% restante se desconoce su ubicación actual, pero es más que probable que se encuentren comprendidos dentro del 14,2% que han sido capturados como de nueva incorporación.

**FIJACIONES con cable:** Los anclajes en general han funcionado bien. La mayor parte de los metálicos que se han roto se debe a la gran exposición a esfuerzos a los que estaban sometidos. En estos casos, parece aconsejable que se realicen anclajes dobles, ya que ofrecen mayor probabilidad de éxito.

**HÁBITATS:** En la redistribución de la madera generada durante las avenidas más importantes se han producido acumulaciones interesantes tanto de madera de grandes dimensiones como de restos y ramaje. Existe gran cantidad de capturas de tocones, troncos y árboles enteros que, por su localización en el cauce, resultan muy interesantes como generadores de hábitats específicos.

T1200: Presa 1+070 apenas ejecutada y tras un año



T660: Presa 4+220 apenas ejecutada y tras un año



T200: Presa 7+205 apenas ejecutada y tras un año



La Bioingeniería del Paisaje, acompañada de un profundo conocimiento de la dinámica fluvial, resulta ser una herramienta útil, que facilita que las soluciones de tipo hidráulico permitan a su vez la recuperación del ecosistema fluvial en toda su complejidad

Este manual se ha realizado en base a las técnicas de Bioingeniería utilizadas durante los ejemplos de restauración fluvial realizados durante el proyecto H2O Gurea, cofinanciado por la UE dentro de los proyectos INTERREG POCTEFA, así como otras experiencias recientes realizadas por los socios del proyecto.

Como se ha indicado en la introducción, pretende dar a conocer la eficacia de las diferentes técnicas de Bioingeniería del Paisaje para la estabilización y regeneración de márgenes de cursos fluviales, al mismo tiempo que permitir ahondar en el análisis necesario para la correcta selección de las técnicas más adecuadas para cada problemática y ámbito fluvial, y establecer los indicadores de seguimiento eficaces y objetivamente verificables para evaluar el grado de viabilidad de las mismas.

Durante la ejecución de las distintas técnicas, se han podido constatar diferentes sistemas de ejecución y esta es la razón por la que se ha considerado oportuno, de cara a homogeneizar los sistemas constructivos, dar tras cada caso analizado y ejecutado una serie de sugerencias con objeto de que en ocasiones futuras se puedan subsanar ciertos errores o deficiencias encontradas en las obras, en aras de un buen resultado de las mismas.

A continuación, elaboramos de manera sintética, a modo de conclusiones, una serie de reflexiones en torno a la aplicación de la Bioingeniería en ámbito fluvial.

### 1- La Bioingeniería del Paisaje permite la recuperación del ecosistema fluvial

Como hemos visto, el río es un sistema complejo conformado por múltiples elementos que tiene como unidad toda su cuenca hidrográfica y cuya dinámica, en general, se encuentra comprometida por la falta de espacio fluvial para llevarla a cabo. Con objeto de devolver la calidad ecológica a nuestros ríos se debe llevar a cabo una labor coordinada (administraciones, profesionales y ciudadanía)

*Canal Artia tras la regeneración con técnicas de Bioingeniería. Gobierno Vasco. Fotos: P. Sangalli*



y, allí donde sea necesario, diseñar las intervenciones que, junto con el control de inundaciones, permitan llevar a cabo una mejora del sistema.

En esta doble óptica, la Bioingeniería del Paisaje, acompañada de un profundo conocimiento de la dinámica fluvial, resulta ser una herramienta útil, que facilita que las soluciones de tipo hidráulico permitan a su vez la recuperación del ecosistema fluvial en toda su complejidad.

### 2- La Bioingeniería del Paisaje requiere de estudios y equipos pluridisciplinarios

La aplicación de la Bioingeniería parte de un análisis detallado del territorio fluvial y, para ello, se requiere la participación de distintas áreas de conocimiento que necesitan, además de ingeniería, ciencia y gestión, de la empatía y entusiasmo de todos los profesionales implicados, de la interacción multidisciplinar, de una participación pública activa, del necesario ejercicio de divulgación, de una gestión adaptativa y de la evaluación permanente de las respuestas del sistema.

### 3- La Bioingeniería como alternativa o complemento a la ingeniería tradicional

En los últimos años, la Bioingeniería del Paisaje ha mostrado que puede ser eficaz y ventajosa reemplazando o complementando a la ingeniería tradicional en situaciones muy diversas. Con objeto de avanzar hacia una implementación cada vez más eficaz de las técnicas y vencer la desconfianza que desde el punto de vista técnico se pueda tener, se requiere seguir avanzando en el manejo de modelos de cálculo y dimensionamiento que permitan valorar de manera clara y rápida si las soluciones aportadas desde la Bioingeniería resultan viables. En este proceso resulta imprescindible el conocimiento del comportamiento de las especies vegetales empleadas y sus capacidades biotécnicas, recordando que la característica principal de la Bioingeniería es la de recuperar la funcionalidad de la vegetación de ribera. Sin plantas no hay Bioingeniería.

*Canal Artia tras la regeneración con técnicas de Bioingeniería. Gobierno Vasco. Fotos: P. Sangalli*



Es imprescindible conocer las especies vegetales empleadas y sus capacidades biotécnicas, recordando que la característica principal de la Bioingeniería es la de recuperar la funcionalidad de la vegetación de ribera. Sin plantas no hay Bioingeniería

La Bioingeniería del Paisaje es una ingeniería para el territorio, el paisaje, la biodiversidad. En suma, para la Sostenibilidad

#### 4- Las ventajas y limitaciones de la Bioingeniería frente a la ingeniería tradicional

- Las actuaciones de Bioingeniería evolucionan y mejoran con el tiempo debido al desarrollo y la capacidad de regeneración de las plantas y las comunidades de plantas.
- Permiten el establecimiento de una comunidad vegetal más desarrollada en el marco de la sucesión de vegetación natural.
- Tienen flexibilidad frente a las perturbaciones y responden mejor a través de la capacidad natural de las plantas para adaptarse, a la elasticidad y resistencia a la tracción.
- Favorecen la biodiversidad y la funcionalidad del hábitat.
- Favorecen la integración de las obras en el paisaje.
- Sin embargo, la Bioingeniería tiene limitaciones: limitaciones estacionales, en cuanto a los momentos más idóneos de ejecución, así como limitaciones técnicas, en cuanto a los límites hidráulicos e hidrológicos de intervención. Hay que conocer dichas limitaciones para saber cómo y cuándo aplicar las diferentes técnicas.

#### 5- En Bioingeniería del Paisaje, el principio a seguir es el de la mínima intervención: Intervenir lo necesario, pero lo menos posible

En concreto en el ámbito fluvial, la Bioingeniería ha llevado a una nueva reflexión en lo relativo al tratamiento de los ríos: en términos de intervención y/o no intervención, de paisaje y funcionalidad del ecosistema y del necesario espacio fluvial donde la naturaleza pueda expresar sus dinámicas. Los sistemas fluviales son sistemas resilientes y dinámicos, de ahí la importancia de medir las actuaciones y realizarlas solo donde sea necesario, incorporando la máxima diversidad en las técnicas e intervenciones.

Como principal conclusión de este manual podríamos decir que: “La Bioingeniería del Paisaje es una ingeniería para el territorio, el paisaje, la biodiversidad. En suma, para la “SOSTENIBILIDAD”.

## 8. GLOSARIO

**B**

**BIOINGENIERÍA DEL PAISAJE:** Disciplina específica de la Ingeniería y de la Biología que estudia las propiedades técnicas y biológicas de las plantas vivas y de fragmentos vivos de especies autóctonas, y su utilización, de manera aislada o en combinación con materiales inertes como son la piedra, la madera o el acero, como elementos de construcción en las obras de recuperación del entorno ambiental con finalidad anti-erosiva o de estabilización.

**BOSQUE DE RIBERA:** Bosque, normalmente caducifolio, que crece a ambos lados de los cursos fluviales y que ocupa bandas largas y estrechas de terreno donde encuentra las condiciones de humedad que requiere, constituido por un sistema de comunidades vegetales fuertemente diferenciadas del resto de biotopos por su adaptación a inundaciones intermitentes y a los arrastres que estas inundaciones conllevan.

**C**

**CARACTERÍSTICA BIOTÉCNICA:** Capacidades de determinadas especies vegetales que las hacen adecuadas para su utilización en las técnicas de Bioingeniería, como por ejemplo la capacidad que tiene de colonizar terrenos degradados (especie pionera), de emitir raíces adventicias, de enraizar a partir de estacas y ramas, de resistir a la tracción mecánica, de resistir a la caída de piedras, de cubrir la superficie, de resistir a los encharcamientos y de sobrevivir a la implantación en estructuras.

**CAUDAL:** La cantidad de agua que circula a través de una sección del cauce por unidad de tiempo.

**CAUDAL máximo ORDINARIO:** Máxima cantidad de agua que circula a través del cauce y que define su dimensión. Se corresponde con la máxima crecida ordinaria, esto es, habitual.

**CEPILLO VIVO:** Estructura vegetal formada por un conjunto de ramas y varas vivas y muertas, entrelazadas y mezcladas con tierra y grava, que se coloca en sentido longitudinal a la corriente con objeto de filtrar los elementos en suspensión y recoger los sólidos depositados para reducir la velocidad de la corriente de agua que la atraviesa y favorecer la recuperación de la orilla. Cuando esta estructura se coloca en sentido transversal a la corriente, se llama PEINE VIVO.

**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD:** Es un parámetro adimensional que determina el grado de resistencia que ofrecen las paredes y fondo de un río o un canal al flujo del fluido. Mientras más ásperas o rugosas sean las paredes y fondo, más dificultad tendrá el agua para desplazarse. Dependiendo de la fórmula utilizada, puede ser coeficiente de Manning o bien  $k$  en la fórmula de Stricker, las más utilizadas en hidráulica. Se han definido de manera empírica.

**D**

**DEFLECTOR:** Dispositivo sumergido en agua parcial o totalmente destinado a modificar el flujo normal del agua.

**E**

**ESPECIE PIONERA:** Especie vegetal que coloniza en primer lugar un medio determinado y que se caracteriza en general por presentar una gran capacidad de reproducción y diseminación. En Bioingeniería se utilizan especies pioneras para favorecer el desarrollo de la cubierta vegetal.

**ESTACA VIVA:** Fragmento vivo no ramificado de especies leñosas con capacidad de reproducción vegetativa, generalmente de 3 a 10 cm de diámetro y de 50 a 150 cm de longitud, que se puede suministrar con raíces u obtener *in situ*, y que se utiliza en plantaciones de estacas o como complemento a otras técnicas de Bioingeniería.

**ESTAQUILLADO:** Método de reproducción vegetativa consistente en separar fragmentos de tallos de vegetales leñosos que se plantan en condiciones favorables para que se regenere una planta completa mediante la formación de raíces adventicias por un proceso de rizogénesis y la brotación de sus yemas. En Bioingeniería se usa la plantación de estacas como técnica de estabilización de márgenes fluviales o de taludes.

**ESTERA DE RAMAS:** Conjunto de varas vivas de especies con capacidad de reproducción vegetativa que se colocan recubriendo los pies de márgenes fluviales con la finalidad de estabilizarlos y protegerlos contra la erosión y contra las crecidas.

**ESTRATO VIVO DE RAMAS Y PIEDRAS:** Conjunto de material vegetal vivo y material inerte de relleno que se dispone en estratos sucesivos en el lecho de un río para frenar la velocidad de la corriente y provocar la

sedimentación de los finos transportados, y que se utiliza en la técnica de estabilización de márgenes fluviales para recuperar zonas afectadas por la erosión.

**F**

**FAJINA:** Manejo de ramas cortadas y atadas formando una estructura cilíndrica de longitud variable, que se utiliza en la técnica de estabilización de taludes y de márgenes fluviales. La fajina puede estar constituida por ramas muertas (fajina muerta) o bien por ramas vivas (fajina viva).

**FAJINA VIVA:** Fajina de ramas vivas que se dispone en terrazas, se cubre parcialmente de tierra y se afianza al suelo, generalmente con troncos de madera muerta, y que se emplea para proteger márgenes fluviales (fajina de ribera), como estructura de drenaje (fajina de drenaje) o como elemento estructural de otras técnicas de estabilización (recubrimiento de fajinas, pared de fajinas, etc.).

**FIBRA NATURAL:** Cada uno de los filamentos de origen vegetal empleados en la fabricación de geoproductos de ingeniería y obtenidos por distintos procesos.

**FIBRA SINTÉTICA:** Cada uno de los filamentos empleados en la fabricación de geoproductos de ingeniería y producidos por procedimientos industriales a partir de compuestos orgánicos poliméricos obtenidos mediante síntesis.

**G**

**GEOPRODUCTO DE INGENIERÍA:** Producto fabricado a partir de fibras de origen natural o sintético, usado en Bioingeniería como revestimiento de suelos y contención de taludes. Los geoproductos de ingeniería se suelen llamar geosintéticos, ya sean de origen sintético o natural. Los geoproductos de ingeniería utilizados en las técnicas mixtas de revestimiento son las geomallas, las mantas orgánicas, las geoesteras, los sistemas de geoceldas y los geotextiles.

**H**

**HELÓFITO:** Vegetal radicante perenne que vive en zonas húmedas permanentes, con la parte inferior cubierta de agua y la superior, habitualmente florífera, situada por encima del agua, y que normalmente pierde totalmente la parte aérea y conserva las ge-

mas persistentes en órganos, normalmente rizomas, enterrados en el suelo o el lodo debajo el agua, durante la época desfavorable.

**HIDROSIEMBRA:** Siembra por proyección hídrica de una mezcla de agua, semillas, cobertura protectora, aglutinantes, fertilizantes y aditivos, que favorece la adhesión de las semillas al terreno, su germinación y la formación de una cubierta vegetal.

**L**

**LECHO (o CAUCE):** Zona del terreno cubierta por las aguas en las máximas crecidas ordinarias de las corrientes naturales o artificiales. Desde el punto de vista legal, el lecho incluye también las zonas geomorfológicas o ecológicas conectadas de forma directa con aquella.

**LECHO DE RAMAJE:** Capa de ramas vivas cortadas que se disponen en hileras perpendicularmente al contorno del talud, unas encima de las otras y cubiertas parcialmente de tierra, que se utiliza en la técnica de estabilización de taludes. Una variante es el lecho de ESTACAS en el que se utilizan estacas y LECHOS DE PLANTAS, si se utilizan plantas a raíz desnuda o en contenedor. También se pueden utilizar lechos mixtos de ramaje y plantas enraizadas.

**M**

**MANTA ORGÁNICA:** Geoproducto de ingeniería de estructura tridimensional, permeable, fabricado mediante el entrecosido de fibras naturales (como el coco, la paja o el esparto) o sintéticas (como el polipropileno o el nailon) entre una o dos geomallas sintéticas o naturales, que se presenta en rollos y se emplea para la regeneración o la conservación de la calidad agronómica de los suelos y el control de la erosión superficial.

**MARGEN FLUVIAL:** Borde de un curso fluvial, especialmente cuando forma escalón.

**O**

**ORILLA:** Interfaz situada entre la superficie mojada habitual y los terrenos laterales de un curso fluvial, que forma parte del lecho y es el soporte de una vegetación hidrófila adaptada a las crecidas recurrentes, a la inmersión temporal o al cubrimiento con sedimentos.

**P**

**PERIODO DE RETORNO:** Es la probabilidad anual de superación del suceso. Si tiene un periodo de retorno de 100 años, su probabilidad anual media será de 1/100.

**PLANTA ENRAIZADA:** Planta arbórea o arbustiva completa, con tallos y raíces, suministrada a raíz desnuda, con cepellón o en contenedor.

**R**

**RAMA VIVA CORTADA:** Rama de plantas arbóreas o arbustivas, generalmente ramificada, con una longitud mínima de 60 cm y de diferente grosor, que se propaga vegetativamente al ser introducida en el suelo.

**REHABILITACIÓN:** Proceso destinado a conseguir el grado de recuperación necesario de un espacio fluvial de manera que sea capaz de albergar un sistema ecológico natural. Las intervenciones llevadas a cabo en un proceso de rehabilitación no comprenden necesariamente el restablecimiento de las condiciones anteriores a la degradación.

**RESTAURACIÓN ECOLÓGICA:** Proceso de recuperación de la integridad ecológica del medio, sobre la base de la variabilidad propia de estas zonas, en términos de biodiversidad y procesos y funciones ecológicas, en un contexto regional histórico en el que se tengan en cuenta también los usos tradicionales sostenibles.

En el ámbito fluvial, la restauración ecológica es el conjunto de actividades enfocadas a devolver al río su estructura y funcionamiento de ecosistema, de acuerdo a los procesos naturales que tenían antes de su degradación.

**RIBERA:** Zona lateral al lecho de un curso fluvial, por fuera de la orilla, donde el nivel freático permite la presencia de una vegetación propia de zonas húmedas que se extiende por la terraza baja y las llanuras aluviales inmediatas.

Desde el punto de vista legal, la ribera se define como cada una de las fajas laterales situadas dentro del lecho público por encima del nivel de aguas bajas o estiaje. Esta definición, no obstante, corresponde más bien al concepto que desde el punto de vista ambiental se conoce como orilla.

**T**

**TÉCNICA COMPLEMENTARIA:** Cada una de las técnicas utilizadas en Bioingeniería, como son las pantallas acústicas vegetales, las rampas de peces, los vados para fauna, etc. que, si bien no actúan directamente en la protección superficial o la estabilización del terreno, contribuyen a alcanzar otros objetivos de las técnicas de recubrimiento, de revestimiento o de estabilización de taludes y de márgenes fluviales, como pueden ser los ecológicos o los paisajísticos.

**TÉCNICA DE BIOINGENIERÍA:** Técnica de construcción que utiliza materiales vegetales vivos, solos o combinados con materiales inertes como la piedra, la madera o el acero.

**TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN:** Cada una de las técnicas de Bioingeniería, como son las plantaciones de estacas o de fajinas vivas y los lechos de ramaje, en las que se utilizan determinadas especies leñosas, o sus fragmentos, como elementos de construcción para estabilizar un talud o un margen fluvial hasta una profundidad de 2 a 2,5 m.

**TÉCNICA DE RECUBRIMIENTO:** Cada una de las técnicas de protección superficial, como por ejemplo siembras, hidrosiembras, implantación de tepes, etc., que tienen como finalidad la revegetación y la estabilización superficial de un talud o de un margen fluvial.

**TÉCNICA MIXTA o TÉCNICA COMBINADA:** Cada una de las técnicas de Bioingeniería basadas en el uso conjunto de componentes vegetales vivos de especies herbáceas o leñosas y de otros materiales que actúan como elementos de recubrimiento o de estabilización hasta que el sistema radical tenga la capacidad de ejercer dichas funciones. Dentro de las técnicas mixtas se distinguen las técnicas mixtas de revestimiento y las técnicas mixtas de estabilización.

**TÉCNICA MIXTA DE ESTABILIZACIÓN:** Cada una de las técnicas mixtas utilizadas en Bioingeniería, como son los muros de piedras, gaviones, muros verdes, muros de tierra reforzada, todos ellos revegetados, que utilizan estructuras de contención o de retención para controlar la erosión, estabilizar y revegetar la superficie de áreas inestables y degradadas.

**TENSIÓN DE CORTE:** de la margen es aquella ejercida por el agua tangencialmente al plano de la margen.

**TIERRA VEGETAL DE OBRA:** Tierra extraída de la capa superficial de un terreno, enmendada o no, con unas propiedades físicas y químicas determinadas que permiten la existencia de vegetación permanente o la recolonización natural, que es apta para ser reutilizada en agricultura y en obras de jardinería o de revegetación.

**TIEMPO DE CONCENTRACIÓN:** Es el tiempo que pasa desde el final de la lluvia neta hasta el final de la escorrentía directa. Representa el tiempo que tarda en llegar al punto concreto la última gota de lluvia que cae en el extremo más alejado de la cuenca y que circula por escorrentía directa.

**TRENZADO VIVO DE RAMAS:** Conjunto de ramas vivas flexibles de especies leñosas con capacidad de reproducción vegetativa que se disponen formando una trenza alrededor de piquetas de acero o de madera ancladas al terreno y que se utilizan en la técnica de estabilización de taludes o de márgenes fluviales.

**V**

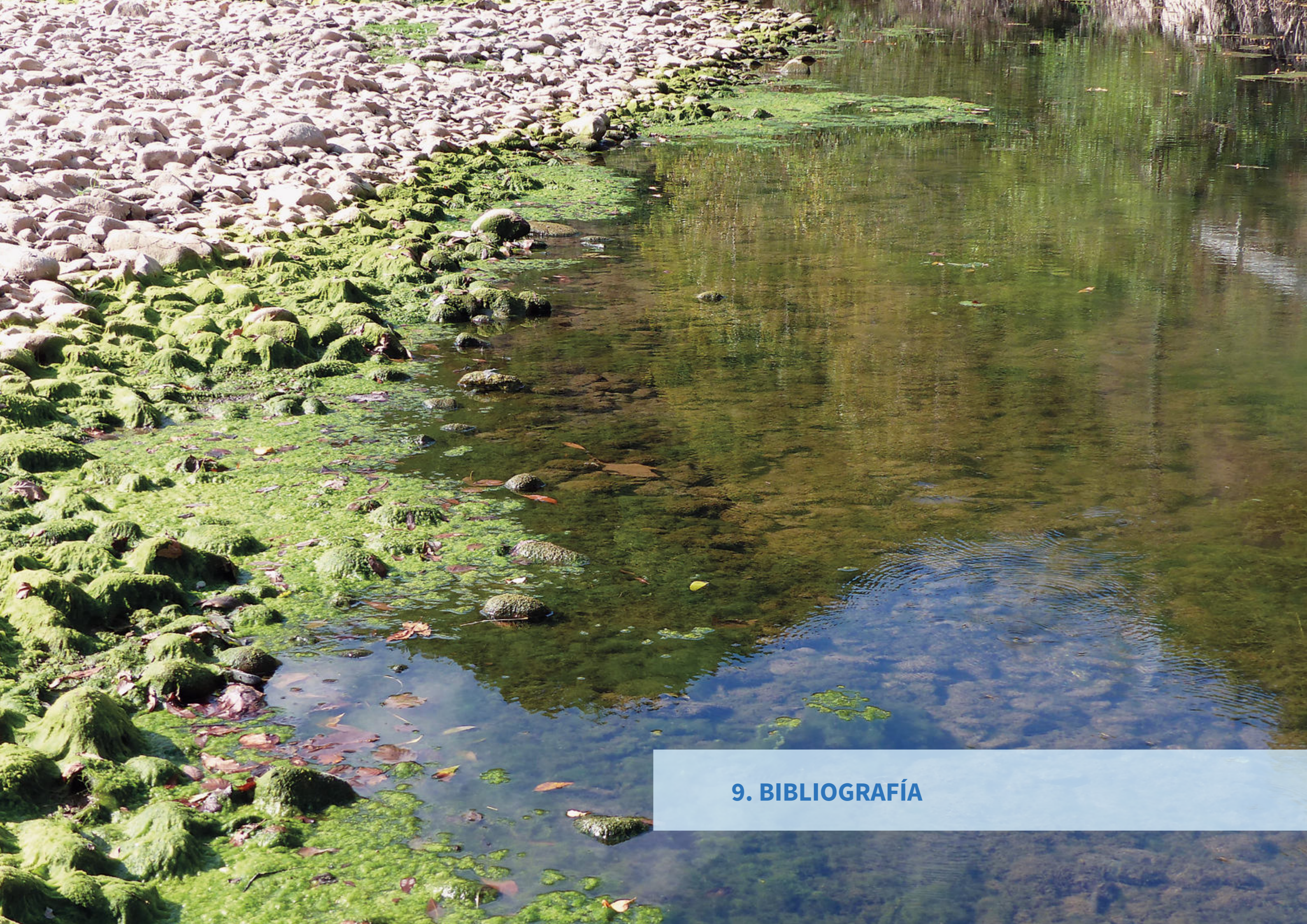
**VELOCIDAD de la Corriente:** Es la distancia recorrida por el agua por unidad de tiempo. Se mide en m/s y es función del caudal, de la geometría del cauce, de su pendiente y de la rugosidad de la margen.

La primera magnitud, velocidad, es dependiente del caudal o cantidad del agua, de la sección o geometría del cauce mojado, de su pendiente y de un parámetro, la rugosidad, que de alguna manera incorpora la resistencia al paso del agua. Se mide en m/s.

**VARA VIVA:** Rama recta y larga, poco ramificada, con una longitud mínima de 150 cm hasta 300 cm.

**VEGETACIÓN DE RIBERA:** Comunidad vegetal situada en una ribera, formada por bosques, bosquetes o vegetación herbácea, que es el resultado visible de la suma de los procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos que se desarrollan en el espacio fluvial.

*Nota:* Las definiciones proceden, en parte, de la obra de la autora NTJ 1255.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

**AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA.**<sup>1</sup> *La gestió i recuperació de la vegetació de ribera: guia tècnica per actuacions en riberes*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2008.

**ANDREATTA, A.** *Estudio de la dinámica fluvial de lechos móviles de gran pendiente en presencia de estructuras transversales*. Barcelona: Tesis Doctoral, DEHMA-UPC, 2005.

**AUTORES VARIOS.**<sup>2</sup> *VIII Congreso de la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje - Libro de Ponencias*. Vitoria. AEIP, 2014.

**AUTORES VARIOS.** *IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje-Libro de Ponencias*. San Sebastián AEIP, 2016.

**AUTORES VARIOS.** *X Congreso de la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje - Libro de Ponencias*. Madrid. AEIP, 2016.

**AUTORES VARIOS.** *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica*. Bologna: Regione Emilia-Romagna e Regione del Veneto, 1993.

**BARREIRA, A.; BRUFAO, P. & WOLMAN, A.** *Restauración de ríos: guía jurídica para el diseño y realización de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009.

**BOSCH, J. & SANGALLI, P.** *NTJ 12S PARTE 5: 2012 Obras de Bioingeniería: Técnicas de estabilización en ámbitos fluviales*.

**CORNELINI, P. & FERRARI, R.** *Manuale di Ingegneria Naturalistica per le scuole secondarie*. Roma: Regione Lazio, 2008.

**CORNELINI, P.** *Compendio di Ingegneria Naturalistica per docenti e professionisti, analisi, casistica ed elementi di progettazione*. Roma: Regione Lazio, 2015.

**DONAT, M.** *Bioengineering Techniques for Streambank Restoration: A Review of Central European Practices*. Vancouver: Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, 1995.

**EFIB Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje.**<sup>5</sup> *Directrices de Bioingeniería del Paisaje*. EFIB 2016.

**FERRARI, R.**<sup>4</sup> *Quaderni di cantiere. Volume 2: Gradonata viva*. Roma: Regione Lazio, 2006.

**FERRARI, R.**<sup>4</sup> *Quaderni di cantiere. Volume 3: Viminata viva (di versante)*. Roma: Regione Lazio, 2006.

**FERRARI, R.**<sup>4</sup> *Quaderni di cantiere. Volume 4: Fascinata viva (di versante)*. Roma: Regione Lazio, 2006.

**FERRARI, R.**<sup>4</sup> *Quaderni di cantiere. Volume 17: Materiali*. Roma: Regione Lazio, 2008.

**FERRARI, R.**<sup>4</sup> *Quaderni di cantiere. Volume 18: Attrezzature*. Roma: Regione Lazio, 2008.

**GOLDSMITH, W.** *Bioengineering Case Studies - Sustainable Stream Bank and Slope Stabilization*. Springer Verlag, 2014.

**GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. & GARCÍA DE JALÓN, D.** *Restauración de ríos: guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2008.

**GRAY, D. H. SOTIR, R. B.** *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. A Practical Guide for Erosion Control*. New York: John Wiley & Sons, INC., 1995.

**LACHAT, B.** *Le génie végétale*. Ed. La documentation Française, 2008.

**MAGDALENO, F.** *Principios y técnicas de restauración de ríos y riberas*. IV Congreso de la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, Pamplona, 2005.

**MAGDALENO, F.**<sup>6</sup> *Manual de técnicas de restauración fluvial*. Madrid: Ministerio de Fomento, CEDEX, 2008.

**MALAVOI J.R.** *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau Agence de l'eau*. Seine Normandie, 2011.

**MARTÍN VIDE, J. P.** *Ingeniería fluvial*. Barcelona: Ed. UPC, 1997.

**NTJ 12S PARTE 1:**<sup>3</sup> *1999 Obras de Bioingeniería: Técnicas de recubrimiento de taludes*.

**NTJ 12S PARTE 2:**<sup>3</sup> *1998 Obras de Bioingeniería: Técnicas de estabilización de taludes*.

**NTJ 12S PARTE 3:**<sup>3</sup> *2000 Obras de Bioingeniería: Técnicas mixtas de revestimiento de taludes*.

**NTJ 12S PARTE 4:**<sup>3</sup> *2014 Obras de Bioingeniería: Técnicas mixtas de estabilización de taludes*.

**NTJ 12S PARTE 6:** *2016 Obras de bioingeniería: Técnicas mixtas y complementarias aplicables en ámbitos fluviales*.

**SAULI, G.; CORNELINI, P. & PRETI, F.** *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico*. Roma: Regione Lazio, 2003.

**SANGALLI, P. et al.** *Curs de formació en tècniques de bioenginyeria del sòl*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2010.

**SANGALLI, P. et al.** *Curso sobre bases para proyectar las técnicas de ingeniería biológica*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona/Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, 2010.

**SANGALLI, P.** *Curso Bioingeniería en ámbito fluvial*. Uragentzia Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, 2014.

**SANGALLI, P.; TARDÍO, G; JORDÁN, B.** *Proyecto ejecutivo de restauración fluvial con técnicas de Bioingeniería en la cuenca cantábrica dentro del proyecto europeo Interreg Poctefa H2O Gurea-Río Baztan 1 y 2. Arraioz (NAVARRA) para GAN-NIK S.A.* San Sebastián, 2017.

**SANGALLI, P ; TARDÍO, G; JORDÁN, B.** *Proyecto ejecutivo de restauración fluvial con técnicas de Bioingeniería en la cuenca cantábrica dentro del proyecto europeo Interreg Poctefa H2O Gurea-Río Bidasoa. Sumbilla( NAVARRA) para GAN-NIK S.A.* San Sebastián, 2017

**SCHIECHTL, H. M. & STERN, R.** *Ingegneria naturalistica*. Manuale delle opere in terra. Ed. Castaldi-Feltre, 1992.

**SCHMIDT, G. & OTAOLA-URRUTXI, M.** *Aplicación de técnicas de bioingeniería en la restauración de ríos y riberas*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2002.

**USDA** *Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Chapter 18 Engineering Field Handbook Part 650, 1992.

**ZEH, H.**<sup>5</sup> *Ingeniería biológica. Manual técnico*. Zurich: Federación Europea de Ingeniería del Paisaje, 2007.

#### PÁGINAS WEB

<sup>1</sup> **Agencia Catalana del Aigua**

[https://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/actuacions/vegetacio\\_ribera\\_complerta.pdf](https://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/actuacions/vegetacio_ribera_complerta.pdf)

<sup>2</sup> **Asociación Española de Ingeniería del Paisaje AEIP**

[www.aeip.org.es](http://www.aeip.org.es)

<sup>3</sup> **Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo**

[www.ntjdejardineria.org/](http://www.ntjdejardineria.org/)

<sup>4</sup> **Associazione Italiana per Ingegneria naturalistica**

[www.aipin.it/materiali](http://www.aipin.it/materiali)

<sup>5</sup> **Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje EFIB**

[www.efib.org](http://www.efib.org)

<sup>6</sup> **Ministerio de Transición Ecológica**

[https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Jornadas\\_Publicaciones\\_ENRR.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Jornadas_Publicaciones_ENRR.aspx)

**GAN-NIK**

<https://gan-nik.es/>

---

#### SOBRE LA AUTORA

##### **Paola Sangalli**

Licenciada en Biología por la Universidad Central de Barcelona y Máster en Paisajismo por la Universidad Politécnica de Valencia.

Presidente de la EFIB (Federación Europea de Bioingeniería) desde 2016. Presidente de la AEIP (Asociación Española de Ingeniería del Paisaje) de 1995 a 2016. Vicepresidente de la AEP (Asociación Española de Paisajistas) de 2009 a 2012. Profesora de Bioingeniería en diversos másteres, nacionales e internacionales. Proyectista. Organizadora y ponente de diversos cursos y conferencias en Bioingeniería y restauración en varios países. Experiencia profesional en Viverismo, Paisajismo, Bioingeniería y Restauración Ecológica.

Ha participado en diversos proyectos europeos y es, además, autora de diversas publicaciones relacionadas con la Bioingeniería, el Paisaje y la Restauración Ecológica.

Socio fundador y directora del estudio de Bioingeniería y Paisaje Sangalli Coronel y Asociados SL, con sede en Donostia-San Sebastián.

---





**Interreg**  
POCTEFA



Proyecto cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)