



## SEGUIMIENTO DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA DENTRO DEL PROYECTO DE I+D+i DE OPTIMIZACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA LA MEJORA DEL ESTADO ECOLÓGICO Y ESTABILIZACIÓN DE MÁRGENES DE LOS RÍOS

Marta González Sánchez<sup>1</sup>, Fco. Javier Sánchez Martínez<sup>2</sup>, Mónica Aparicio Martín<sup>2</sup>  
y José Manuel García-Guijas Redondo<sup>1</sup>

mgonza56@tragsa.es

<sup>1</sup>Dirección Técnica de Tragsa

<sup>2</sup>Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico, Dirección General del Agua, MARM

### Resumen

En el marco del **Proyecto de I+D+i de Optimización de Técnicas de Bioingeniería para la Mejora del Estado Ecológico y Estabilización de Márgenes de los Ríos**, encargado a TRAGSA por la Dirección General del Agua (MARM), se ha definido un protocolo para realizar el seguimiento de las técnicas de bioingeniería aplicadas en siete Confederaciones Hidrográficas Intercomunitarias. Con objeto de analizar la viabilidad de las técnicas, se están midiendo multitud de parámetros tales como el grado de brotación de las especies utilizadas, temperatura y grado de humedad del terreno, distancia a la lámina de agua, daños existentes...etc. Esperamos que el tratamiento estadístico de toda la información recopilada, de los parámetros e indicadores medidos, aporte datos objetivos y homogéneos que contribuyan al diseño y mejor ejecución de las técnicas de bioingeniería en el ámbito de la restauración fluvial.

**Palabras clave:** Humedad, brotación, ríos, bioingeniería

### Abstract

Within the framework of the **Research and Development Project for the Optimization of Bioengineering Techniques for the Improvement of the Ecological State and the Stabilization of River Banks**, commissioned to TRAGSA by the General Management of Water (MARM), a protocol to carry out the tracking of bioengineering techniques, applied in seven intercommunity hydrographic confederations, has been defined. With the objective of analyzing the viability of these techniques, a multitude of parameters, such as the degree of sprouting of the tested species, temperature and degree of humidity of the soil, distance from the water sheet, existing damages... etc. are being measured. We hope that the statistical treatment of the compiled information, of the parameters and measured indicators, contribute objective and homogenous data which contribute to the design and better execution of the bioengineering techniques in the field of fluvial restoration.

**Key words:** Humidity, sprouting, rivers, bioengineering.

### 1. Introducción

Tras la realización de una serie de actuaciones de bioingeniería en siete Confederaciones Hidrográficas Intercomunitarias enmarcadas dentro del **Proyecto de I+D+i de Optimización de Técnicas de Bioingeniería para la Mejora del Estado Ecológico y Estabilización de Márgenes de los Ríos**, encargado a TRAGSA por la Dirección General del Agua (MARM), se ha desarrollado un protocolo de seguimiento de las técnicas con la finalidad de obtener parámetros que nos ayuden a definir proyectos de restauración de ríos en el futuro.

Las técnicas que se han ejecutado han sido muy variadas yendo desde la realización de estaquillado y plantaciones a la construcción de empalizadas de defensa o muro Krainer pasando por la colocación de rollos estructurados o cubrimientos orgánicos.

Con este seguimiento, se pretende sentar las bases para el diseño de ensayos y la selección del ámbito de aplicación, así como establecer indicadores de seguimiento eficaces y objetivamente verificables, para evaluar el grado de viabilidad de las técnicas y las especies empleadas para cada región.

Las problemáticas son diversas desde los puntos de vista hidráulico y medioambiental en cada uno de los cauces objeto de estudio. La evolución de las restauraciones hidrológico-forestales puede tener su éxito o fracaso por motivos constructivos y/o por motivos naturales. Para delimitar el estudio de las causas, es necesario diferenciar la evolución físico-mecánica de la restauración debido a la dinámica del agua y la evolución biológica de la misma.



Para un correcto seguimiento de estas técnicas y para ejercer un posterior análisis estadístico, ha sido necesario determinar qué variables son ponderables y objetivamente verificables. Existen por tanto unas variables físico-mecánicas y unas variables biológicas que determinar.

Las variables físico-mecánicas no son objeto de la presente propuesta, aunque se determinarán varios aspectos e indicadores a tener en cuenta en los seguimientos. Se posibilita de este modo una relación posterior entre ambos tipos de evolución, que pueden ser significativos en estudios de situaciones puntuales (desbordamientos, inundaciones, deslizamientos, enraizamiento, etc.).

La cantidad de variables biológicas a tener en cuenta depende del periodo de duración del seguimiento y de la utilidad de las mismas para conocer la calidad de la restauración. Se ha estimado un seguimiento ordinario en cada periodo estacional y otro extraordinario, en el caso de que existiera algún fenómeno particular y extraordinario que tenga incidencia sobre la actuación.

Entre los parámetros elegidos está la brotación, ya que tanto el brote vegetativo (hoja) y el brote reproductivo (flor), son indicadores visuales de la adaptación y por tanto viabilidad biológica de la restauración.

Se sabe que el grado de humedad en el suelo afecta a la velocidad de brotación y que existen relaciones de dependencia significativas entre las tasas de humedad del suelo, la posición fisiográfica y los cambios en el paisaje.

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

Se parte por tanto de una hipótesis, factible de verificación empírica, para definir la viabilidad de las restauraciones de ribera; la **brotación** está relacionada con el grado de **humedad** y con la **especie**.

Las unidades de estas variables son las siguientes:

- Humedad**= (*función del tipo de higrómetro*), contenido relativo/absoluto agua
- Brotación**= % del total (según la técnica, lineal o de superficie) (variable continua dependiente)
- Especie**= (variable discreta independiente).

Así mismo se han determinado otras variables fácilmente ponderables en las visitas de seguimiento, de utilidad descriptiva para todas las técnicas de bioingeniería y para su relación posterior con variables físico-mecánicas:

- (T<sup>s</sup>)= temperatura del suelo. (°C)
- (d)= distancia horizontal a la lámina de agua. (m)
- (v)= distancia vertical a la lámina de agua. (m)
- Fecha plantación= (dd/mm/aa).
- Daños=% del total (según la técnica, lineal o de superficie)
- Observaciones



## 2. Materiales y métodos.

### 2.1. Métodos

La recogida de datos puede hacerse de forma discreta (los datos son tomados sólo en unos ciertos puntos distribuidos por el área de observación) o continua (los datos son recogidos de todo el área). Para la elección del método a utilizar se ha tenido en cuenta no sólo el tamaño de la obra sino también la densidad plantación y la homogeneidad de la población de estudio.

Se proponen dos métodos de muestreo para realizar el seguimiento de las plantaciones o estaquillados, un método de muestreo probabilístico que se basa en la equiprobabilidad, es decir, que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra y otro no probabilístico, en el que no se tiene certeza de que la muestra extraída sea representativa, ya que no todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos, pero se seleccionan siguiendo determinados criterios procurando que la muestra sea representativa.

El método probabilístico elegido es un **muestreo aleatorio estratificado**, que consiste en estratificar la población respecto alguna característica que en este caso es la distribución de las plantas o estaquillas en la actuación, aplicándose dentro de los diferentes estratos un muestreo sistemático. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra y así reducir el error muestral para un tamaño dado de la muestra.

El muestreo no probabilístico elegido es un **muestreo por cuotas**, que se sustenta en el conocimiento de los estratos de la población y los individuos representativos para la investigación. Este tipo de muestreo tiene semejanzas con el muestreo aleatorio estratificado pero sin el carácter de aleatoriedad. De deben fijar unas “cuotas” que consiste en definir un nº de individuos que reúnen unas determinadas características.

Para llevar a cabo el muestreo aleatorio estratificado se han dividido las poblaciones de plantación y estaquillado en distintos estratos según su distribución en la actuación.

Un estrato está formado por aquellas poblaciones que tienen una distribución regular en el talud y sobre las que se realiza un muestreo sistemático con una intensidad de un 9% de la superficie. Se replantean parcelas cuadradas cuyo lado es de tres metros. Estas parcelas se ubican siguiendo una malla de puntos de 20x5 m de forma paralela al cauce, para obtener datos en las distintas bandas de ribera, pero cuyos lados estén orientados en la misma dirección.

Figura 1. Muestreo en población con distribución regular en el talud con influencia directa de la lámina de agua  
Fuente: Elaboración propia



Otro estrato está formado por grandes superficies de plantación y/o estaquillado que no tienen la influencia directa de la lámina de agua. Se realiza un muestreo sistemático de estas superficies con una intensidad mínima de 10 %. Las parcelas son circulares de cuatro metros de radio y con una superficie aproximada de 50 m<sup>2</sup>.



Estas parcelas se ubican siguiendo una malla de puntos de 40 m x 12,5 m de forma paralela al cauce, para obtener datos en las distintas bandas, pero cuyos lados estén orientados en la misma dirección.

Figura 2. Muestreo en población con distribución en grandes superficie sin influencia directa de la lámina de agua  
Fuente: Elaboración propia



El último estrato es el formado por aquellas poblaciones cuya distribución es en bosquetes, en el que el muestreo se realiza por transectos. En este tipo de muestreo, la persona que lo realiza se mueve a lo largo de una línea que ha sido seleccionada y anota las características de los individuos detectados en su recorrido. La intensidad mínima de muestreo será de un 10 % de la superficie.

Se marcan con estaquillas los puntos necesarios para poder repetir dichos transectos cada vez que se quiera. La anchura del transecto es de un metro.

Figura 3. Muestreo en población con distribución en bosquetes  
Fuente: Elaboración propia

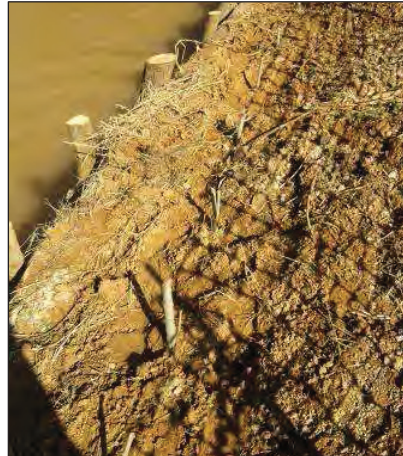


En los casos en que la población pueda tener igual respuesta por tener características similares, se realiza un muestreo por cuotas. Es decir, se toman los datos de cinco individuos que se encuentran a una misma distancia de la lámina de agua.





Figura 4. Muestreo en población con distribución en alineaciones  
Fuente: Elaboración propia



## 2.2. Materiales

Una vez determinados los puntos de muestreo se realizan mediciones de las diferentes variables empleando un higrómetro, una cinta métrica, un inclinómetro, un flexómetro, un termómetro, etc... que se recogen en fichas y estadillos específicos de cada técnica de bioingeniería.

Figura 5. Medición con higrómetro  
Fuente: Elaboración propia



En una **ficha inicial** se recopila información previa a la actuación donde figuran los datos administrativos de la obra como Título de obra, Jefe de obra, Director de obra, Técnico de la Asistencia Técnica, Confederación Hidrográfica, etc. También recoge información para caracterizar el cauce como son el nombre del cauce, tipo, ubicación, longitud restaurada, margen etc. Estos datos se rellenan de forma previa en gabinete antes de realizar el seguimiento en campo.

Esta ficha inicial general que caracteriza la actuación, cuenta además con los datos climáticos del momento de la visita de campo. Se apunta si han existido precipitaciones previas a la toma de datos, la temperatura durante la realización del seguimiento o si existiera alguna condición climática particular.

Así mismo, se caracteriza el medio ecológico en el cual se ha realizado la actuación para poder relacionarlo con la caracterización ecológica previa o posterior. Estos datos se recogen en gabinete de forma previa a la realización del seguimiento.



Una vez caracterizado el medio y el cauce sobre el que se actúa, se define la obra de bioingeniería llevada a cabo. Para ello se responde a cuestiones como cual es el objeto de la actuación, que tipo de actuación de bioingeniería se ha desarrollado, características del material vegetal con el que se han ejecutado las actuaciones y las observaciones pertinentes a cada actuación.

Cualquier observación que se aprecie durante la visita, se recogerá en la parte de la ficha correspondiente a este fin.

Existen datos que son comunes en todas las fichas de evaluación de las técnicas de bioingeniería, como la fecha de ejecución de la técnica, si ha sido regada y de haberlo sido, la periodicidad de los riegos. Se registra la brotación o no de la planta en el caso de haber sido introducida, la humedad relativa del suelo donde se ubica la plantación, la distancia en horizontal a la lámina de agua, la distancia en vertical a la lámina de agua y los daños presentes y el origen de los mismos.

El punto en el que se llevan a cabo las diferentes mediciones se marca con una estaca o piqueta se toman las coordenadas UTM para una mejor referenciación.

Particularidades en las fichas de evaluación de las técnicas de bioingeniería:

**Plantación:** el número de muestras viene definido por las características de la plantación y el tipo de muestreo designado.

**Estaquillado:** de existir marras, se extrae la estaquilla no viable y se mide la profundidad a la que se instaló y la longitud de las raíces. Esto último se hará para saber si la estaquilla llegó a arraigar en el terreno.

**Fajina:** se evalúa de forma continua a lo largo de toda la longitud de la misma, estudiando su estado de brotación y de supervivencia del material vegetal con el que se haya construido además de indicar la especie de dicho material. También se indica cualquier daño que tenga la estructura.

Respecto a la medición de variables se toma en tres puntos y la ubicación de dichos puntos se marca con la colocación de estacas o piquetas.

**Empalizada de defensa reforzada o Muro Krainer:** la valoración de esta técnica tiene dos apartados, uno la evaluación del material vegetal con el que se haya realizado la construcción y otro la determinación del estado del talud donde se encuentra dicha actuación y de los procesos erosivos que pueden darse. Para la evaluación de estado de brotación de la planta o material vegetal, distancia a lámina de agua y humedad es importante que se haga en cada plano de la estructura o se indique la altura a la que se encuentran los mayores problemas.

Respecto a la valoración del aspecto mecánico de la infraestructura, se valoran parámetros de estabilidad del talud como deslizamiento, socavación, lavado etc. de forma cualitativa.

**Cubrimiento orgánico:** se evalúa si existe superficie que se encuentre levantada, arrancada o similar. Este dato es porcentual del total de la superficie. También se mide el porcentaje de la superficie del cubrimiento que se encuentre degradado o integrado con el medio.

Así mismo se evalúa el porcentaje respecto al total, de herbáceas y arbustos que han colonizado dicha superficie.

Respecto a la referenciación de la actuación respecto a la lámina de agua, se toma la distancia horizontal y vertical desde el centro de las parcelas de muestreo, así como el resto de parámetros. Para marcar estos puntos, se colocan estacas o piquetas.

Los cubrimientos orgánicos pueden ir acompañados de estaquillas o de plantación y se evalúa la brotación de las mismas y la especie.

**Siembra:** se miden los diversos parámetros en el centro del talud sembrado. Así mismo se evalúa qué cobertura en superficie se ha obtenido tras la realización de la misma y si existe cobertura de otras especies.



**Hidrosiembra:** se procede de la misma forma que respecto a la siembra. Además como donde se ha realizado hidrosiembra se ha colocado un cubrimiento orgánico, éste se evalúa como se ha explicado anteriormente.

**Rollo estructurado:** su evaluación es de forma continua a lo largo de toda la longitud de dicha técnica. Su valoración se centra en la situación en la que se encuentre el rollo estructurado, es decir, se valora de forma porcentual respecto al total de la longitud de los mismos, la existencia de daños tales como el levantamiento de rollos estructurados, la pérdida de estacas, etc.

**Rollo estructurado vegetado:** la valoración para esta técnica es igual a la de la evaluación de los rollos estructurados añadiéndoles el estudio del material vegetal con el que se encuentran vegetados. Dicho material se identifica, se cuenta y se valora su supervivencia.

Para la toma de datos, se toman estos parámetros de la misma forma que en las fajinas.

Así mismo, se evalúa la vegetación que se genere en los espacios que queden entre rollos estructurados.

**Gavión prismático:** se evalúan los parámetros constructivos y su situación durante la visita. Es decir, se valoran de forma cualitativa, los posibles daños estructurales de los mismos como puedan ser rotura de la malla, existencia de huecos dentro del gavión, deslizamientos del mismo, etc.

**Gavión vegetado:** se procede a la evaluación de la estructura de la misma forma que en el gavión prismático. Para la evaluación del material vegetal que se ha incorporado a la estructura se procede como en una empalizada de defensa reforzada.

Es importante que esta evaluación se haga siempre por alturas de las filas de los gaviones y que se indique la altura a la que se encuentran los mayores problemas.

**Gavión flexible:** se valora de la misma forma que el gavión prismático y además si han sido arrancados o desplazados por el cauce, de forma similar a como se han evaluado a los rollos estructurados.

**Escollera vegetada:** para la evaluación de los posibles daños mecánicos que existan en la estructura se valora la estabilidad de talud sobre la que se apoya y se evalúa de forma cualitativa, el estado constructivo de la misma, como por ejemplo si ha habido pérdida del material que la configura o si existiera deslizamiento de la misma o del talud sobre la que se ubica.

La evaluación del material vegetal de la escollera vegetada se realiza por planos de la estructura.

En todas las fichas se realiza un croquis de la situación de la actuación respecto al cauce y al resto de actuaciones. También existe un apartado de observaciones donde se incluye cualquier percepción inusual durante la visita.

También en las fichas aparece un apartado donde se explica la causa de la marra, en el caso de haberla. Estas causas pueden ser por ganado, pisoteo o depredación, marra por causa mecánica, rotura, arrancamiento etc. Se debe indicar utilizando para ello se utiliza la codificación que aparece en el anejo.

### 3. Resultados y discusión

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

#### Agradecimientos

Agradecemos a la Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público de la Dirección General del Agua (MARM), por el apoyo técnico y la financiación del Proyecto, a Ángel Carrascosa y Tirso Olalquiaga por su



asesoramiento y a todo el personal del Grupo Tragsa implicado en las diferentes fases del Proyecto de I+D+i por su interés y buen hacer.

### **Bibliografía**

BRAVO, F., RÍO, M. del, PESO, C. del (ed) 2002. *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*. Fundación General de la Universidad de Valladolid 191 pp.

FREESE, F. 1962. *Muestreo Forestal Elemental*. Traducido por F.J. Martínez Millán y col. en 1980. E.T.S.I. Montes. Madrid.

GONZÁLEZ, C.; MARTÍNEZ, J.E.; PARDO, M. y SOLANA, J. 1993. Técnicas de muestreo en la evaluación de recursos forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S. Montes. Madrid.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. 1999. *Instrucciones generales para la ordenación de montes arbolados en Castilla y León*. Consejera De Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. Junta de Castilla y León.

PARDE, J. y BOUCHON, J. 1988. *Dasometría (Versión española de Dendrométrie)*. Ed. Española traducida por A. Prieto y M. López Quero. Ed. Paraninfo.

MARTÍNEZ MILLÁN, J. y GONZÁLEZ DONCEL, I. 1992. Ejercicios de Inventario Forestal. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I. Montes. Madrid.

SPURR, S.H. 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Company. New York.

### Páginas webs consultadas:

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: [www.marm.es](http://www.marm.es)

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria: [www.inia.es](http://www.inia.es)

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes: [www.montes.upm.es](http://www.montes.upm.es)