

## **Evaluación del sistema radicular de los helófitos. Resistencia y capacidad de crecimiento en rollos vegetalizados**

**Coordinación y dirección:** Albert Sorolla y Dr. Francesc Sabater\*.  
**Equipo redactor:** Aina Besalú\*\*, Mireia Ros, Inma Rueda y Jesús Soler.  
**Colaboradores:** Elvira Pérez, Vanessa Santamaria y Gina Sorolla.

\*Universidad de Barcelona. Profesor master MGRMN.

\*\*Trabajo de fin de Master en Gestión y Restauración del Medio Natural. Universidad de Barcelona.

---

### **1 Introducción**

El rollo vegetalizado es un sistema creado por el ingeniero alemán Sr. Lothar Bestmann en el año 1977 con la voluntad de buscar un sustrato orgánico que mantuviera la estructura hasta el pleno desarrollo del sistema radicular de los helófitos. De hecho el uso de la fibra de coco es debido a una serie de pruebas que el Sr. Bestmann había realizado con el objetivo de vegetar islas artificiales. A partir de entonces y en base a la experiencia, se ha ido modificando su densidad, el sistema de instalación,... pero siempre sin perder el objetivo final de facilitar el crecimiento de helófitos con total garantía en ambientes difíciles.

Siguiendo esta línea, Naturalea ha desarrollado un proyecto de investigación que pretende mejorar el conocimiento de las características de estos materiales de bioingeniería utilizados para la consolidación de márgenes fluviales en cursos de aguas permanentes mediante helófitos en los cauces fluviales. Igualmente pretende conocer mejor estas especies, el desarrollo y las características desde la óptica de la bioingeniería aplicada al paisaje. En concreto se han seguido las líneas definidas en el libro "*Arbusti autoctoni Mediterranei per l'Ingegneria Naturalistica. Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali*", de Cornellini et. al.

En este estudio se analizó la capacidad de crecimiento de seis especies (*Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* y *Juncus inflexus*) en diferentes ambientes. También se analizó el estado de conservación de los rollos vegetalizados instalados en diversas áreas restauradas.

El objetivo es la evaluación del sistema reticular de los helófitos con la resistencia y capacidad de crecimiento en rollos vegetalizados. El análisis en diferentes ambientes se realizó a partir de las características físicas que presentaban los helófitos para obtener los índices de estabilidad y solidez. En cambio, el análisis en las zonas restauradas se llevó a cabo a partir de la evaluación del estado de los rollos vegetalizados y datos hidráulicos de la zona, para poder determinar la resistencia de las plantas.

## 2 Metodología

### 2.1 Áreas de estudio

Para determinar la resistencia de los rollos vegetalizados se realizó un análisis sobre el estado de conservación de dichos rollos instalados en espacios fluviales. Por cada área de estudio se consultaron datos posteriores a la instalación de pluviometría, sobretudo en episodios extraordinarios con caudales punta y la tensión media de la sección, para determinar las circunstancias que han podido afectar a la zona y evaluar la respuesta de los rollos vegetalizados.

La evaluación se realizó en diferentes localizaciones de Cataluña:

Río Fluvià, Besalú (2008); río Congost, Granollers (2008); río Besòs, Montcada (2000); Sant Esteve de Ses Rovires, Anoia (2007); Torrente de Vallcorba, Sant Quirze del Vallès (2009); río Fluvià, Olot (2007); riera de Santa Coloma, Santa Coloma de Farners (2008); río Mogent, Llinars del Vallès (2003); riera Seca, Mollet del Vallès (2007); Torrente de Colobrers, Sabadell (2008); riera de Cànoves, Cardedeu (2004) y las rieras de Vallmanya y Reixac, Palafolls y Tordera (2009).

El análisis del desarrollo del sistema radicular se llevó a cabo en medio controlado, en rollos vegetalizados, y en el medio natural.

- **Medio controlado:** Se estudió el crecimiento de seis especies (*Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* y *Juncus inflexus*) en un medio homogéneo, recogiendo datos mensualmente de 6 ejemplares de cada especie. Para realizar esta parte del estudio se construyó un área especial en un vivero situado en Terrassa (Barcelona).



Imagen 1. Vista general del medio controlado en el vivero.

- **Rollos vegetalizados:** El modelo FR-N1 de rollos vegetalizados se escogió para el estudio, dado que tiene cuatro de las seis especies (*Carex vulpina*, *Iris pseudocorus*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus*). Esta parte del estudio se ejecutó también en el vivero de Terrassa.



Imagen 2. Modelo FR-N1 de rollo vegetalizado antes de realizar la extracción de ejemplares.

- **Medio silvestre:** Se evaluaron las mismas especies que en el medio controlado. Se realizó un solo muestreo en dos lugares diferentes: *Carex vulpina*, *Iris pseudocorus* y *Juncus inflexus* se extrajeron en Castelló d'Empúries, en el Parque Natural del Alt Empordà-PNAE- (Girona), mientras que *Scirpus holoschoenus*, *Carex pendula* y *Phragmites australis* se extrajeron en el torrente de Colobriers, Sabadell (Barcelona). Todo ello realizado con los permisos pertinentes de las administraciones responsables.



Imagen 3. Torrente de Colobriers.



Imagen 4. Parque Natural del Alt Empordà.

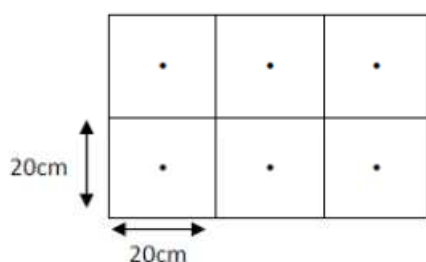
## 2.2 Capacidad de crecimiento radicular

Para analizar la capacidad de desarrollo radicular se analizaron las características de seis especies de helófitos, midiendo los siguientes parámetros: diámetro del corte, altura aérea, amplitud aérea, profundidad del sistema radicular, amplitud radicular y volumen radicular. A partir de estos datos se calcularon cuatro índices que indican la estabilidad y solidez de los helófitos: índice de estabilidad relativa, índice de solidez relativa, estabilidad radicular y estabilidad global.

Las medias de los índices y los datos hidráulicos de la zona se analizaron para poder comparar los datos de los helófitos en estos 3 ambientes. Además, estos resultados se compararon con los resultados obtenidos por arbustos (Cornelini et. al., 2008<sup>1</sup>).

### 2.2.1 Ambiente controlado

El crecimiento se evaluó mensualmente, extrayendo 6 ejemplares de cada especie. El medio controlado consistía en una estructura de 12 m. x 0,8 m. x 1 m. (longitud x anchura x altura). Se plantaron 240 ejemplares (40 unidades de cada especie) y se colocaron a una distancia de 20cm. entre ejemplares, distribuidos de la siguiente manera:



El muestreo se realizó mensualmente durante 6 meses, durante los cuales se regó diariamente. Antes de la extracción de las plantas se midieron los parámetros aéreos (diámetro del corte, amplitud aérea y altura aérea). La selección de los ejemplares se hizo aleatoriamente. Tras la extracción se midieron la profundidad radicular, el ancho radicular y el volumen radicular.



Imagen 5. Proceso de extracción.



Imagen 6. Midiendo el sistema radicular.



Imagen 7. Muestreo del volumen radicular.

<sup>1</sup> Cornelini P., Federico C., Pirrera G. – ARBUSTI AUTOCTONI MEDITERRANEI PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA. Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali – Azienda Regionale.



Imagen 8. Seis ejemplares de *Phragmites australis* después de extraerlos



Imagen 9. Midiendo el diámetro del corte con un pie de rey.

## 2.2.2 Rollos vegetalizados

Debido a las características de los rollos vegetalizados se extrajeron y se midieron 3 ejemplares de *Carex vulpina*, *Iris pseudocorus*, *Scirpus holoschoenus* y *Juncus inflexus*, cada dos meses.

Cuando las plantas han arraigado entre las fibras del rollo vegetalizado es difícil extraer los ejemplares. Por este motivo fue necesario desmontar buena parte de los rollos, separando las fibras de coco de las raíces, a menudo difíciles de distinguir a simple vista.

Algunas especies tienen más de 3 ejemplares en el rollo vegetalizado FR-N1, por lo que la selección de ejemplares se realizó aleatoriamente. Se realizaron las mismas mediciones que en el medio controlado.



Imagen 10. Detalle del sistema radicular en un trozo de rollo vegetalizado.



Imagen 11. Extracción de carex de un rollo vegetalizado.

### 2.2.3 Medio natural o silvestre

En el medio natural se extrajeron 3 ejemplares de *Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* y *Juncus inflexus* en un solo muestreo. Para poder comparar los resultados se realizaron las mismas medidas y se utilizó la misma metodología que en el medio controlado y en los rollos vegetalizados.



Imagen 12. Extracción de *Scirpus holoschoenus* en el torrente de Colobriers.



Imagen 13. Extracción de *Iris pseudocorus* en el Parque Natural del Alt Empordà.

## 2.3 Capacidad de crecimiento radicular

La evaluación se realizó en las áreas definidas en la sección 2.1. En cada área de estudio se analizó los datos meteorológicos y el estado de conservación (incluyendo el estado de degradación, calidad / estado de la instalación y conservación de las plantaciones).

Para el estudio de los datos hidráulicos de la zona se tuvieron en cuenta la tensión media, el caudal y la velocidad máxima en episodios de avenida extraordinarios de los que se disponía información a partir del aforo. La determinación de la tensión se llevó a cabo en régimen permanente uniforme, a partir de la fórmula de Manning con el programa *Master Flow*

## 3 Resultados

### 3.1 Análisis biofísico de los helófitos

#### 3.1.1 Características físicas de los helófitos

Los resultados muestran valores superiores en áreas silvestres de diámetro del corte, altura aérea, amplitud aérea, amplitud del sistema radicular y volumen del sistema radicular, mientras que la profundidad del sistema radicular y el índice A son superiores en rollos vegetalizados (ver tabla 1).

ESPECIE		<i>Juncus inflexus</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Carex vulpina</i>	<i>Scirpus holochoenus</i>	<i>Phragmites australis</i>	<i>Carex pendula</i>	MEDIA
MEDIO SILVESTRE	Diámetro del corte (mm)	0,8	18,0	7,7	4	9,2	13,5	8,9
	Altura aérea (cm)	53,3	104,2	136,7	123,75	75,0	103	99,3
	Amplitud aérea (cm)	20,7	29,0	60,0	118,25	32,7	131,75	65,4
	Profundidad del sistema radicular (cm)	26,8	43,3	36,0	46,75	48,3	43,25	40,8
	Amplitud del sistema radicular (cm)	16,0	25,0	41,7	32,75	29,7	29,5	29,1
	Volumen del sistema radicular (ml)	236,7	833,3	416,7	3875	516,7	925	1133,9
	Índice A	0,8	0,9	0,4	0,7	0,8	0,7	0,7
MEDIO CONTROLADO	Diámetro del corte (mm)	0,2	1,1	0,3	0,2	0,2	0,9	0,5
	Altura aérea (cm)	41,7	33,0	29,6	58,3	40,8	33,8	39,5
	Amplitud aérea (cm)	22,1	20,2	33,3	30,9	13,9	36,5	26,1
	Profundidad del sistema radicular (cm)	32,4	33,0	36,4	40,7	31,8	31,2	34,3
	Amplitud del sistema radicular (cm)	14,5	13,1	12,2	18,4	21,7	14,4	15,7
	Volum del sistema radicular (ml)	107,0	128,3	120,3	135,0	73,7	126,7	115,2
	Índice A	1,1	1,3	1,5	1,1	0,7	1,1	1,1
ROLLO VEGETALIZADO	Diámetro del corte (mm)	0,2	1,1	0,4	0,2	-	-	0,5
	Altura aérea (cm)	56,1	55,0	67,1	54,1	-	-	58,1
	Amplitud aérea (cm)	30,5	38,1	54,9	26,9	-	-	37,6
	Profundidad del sistema radicular (cm)	48,2	52,6	39,1	55,8	-	-	48,9
	Amplitud del sistema radicular (cm)	14,4	21,3	20,2	20,8	-	-	19,2
	Volumen del sistema radicular (ml)	213,3	224,4	205,0	222,2	-	-	216,3
	Índice A	1,7	1,2	1,0	1,3	-	-	1,3

**Tabla 1:** Media de los valores de las características físicas de los helófitos cada medio.

**Nota:** Índice A (índice de estructura radicular). (0,5-1) Sistema radicular med/básico; (1-1,5) Suelen tener una raíz pivotante; (>1,5) Suelen tener un sistema radicular bien desarrollado.

### 3.1.2 Comparación de las características físicas entre helófitos y arbustos

Los arbustos presentan unas características biofísicas y unos índices de estabilidad superiores a los helófitos. El único índice donde destacan los helófitos por encima de los arbustos es el índice A (ver tabla 2).

	<i>Profundidad del sistema radicular (cm)</i>	<i>Amplitud del sistema radicular (cm)</i>	<i>Índice A</i>
<b>Helófitos</b>	40,35	21,61	1,02
<b>Arbustos</b>	56,39	53,13	0,53

**Tabla 2:** Comparación de las características biofísicas e índices entre helófitos y arbustos.

**Nota:** Los datos de los arbustos se han obtenido de Cornolini, et al. 2008.

### 3.1.3 Comparación de la media de los índices en diferentes ambientes

<b>ÍNDICE*</b>	<b>MEDIO SILVESTRE</b>	<b>MEDIO CONTROLAT</b>	<b>ROLLO VEGETALIZADO</b>
<i>Estabilidad relativa</i>	0,46	0,94	0,88
<i>Estabilidad potencial</i>	0,68	0,82	0,57
<i>Estabilidad del sistema radicular</i>	0,34	0,76	0,53
<i>Estabilidad global</i>	0,33	1,05	0,39

**Tabla 3:** Valores de las medias de cada índice a partir de las diferentes especies según el medio en donde se estudiaron.

\*DEFINICIONES:

<b>ÍNDICE</b>	
<b>Estructura del sistema radicular:</b>	$A = 1/2 \text{ profundidad del sistema radicular} / \text{amplitud del sistema radicular}$
<b>Estabilidad relativa:</b>	$S = \text{profundidad del sistema radicular} / \text{altura aérea}$
<b>Solidez relativa:</b>	$s = \text{amplitud del sistema radicular} / \text{amplitud aérea}$
<b>Estabilidad del sistema radicular:</b>	$R = \text{Estabilidad relativa} * \text{solidez relativa}$
<b>Estabilidad global:</b>	$P = \text{Estabilidad relativa} * \text{solidez relativa}^2$



### 3.2 Evaluación de la dinámica y la evolución del estado de conservación de los rollos vegetalizados instalados en áreas naturales.

Se estudiaron los datos hidráulicos de los puntos de muestreo en donde había estaciones de aforo cercanas. Se ha observado que la tensión media y la velocidad es muy variable, comprendiendo valores entre 9,54 N/m<sup>2</sup> y 195,96 N/m<sup>2</sup> y entre 0,19 m/s y 4,18 m/s respectivamente, lo que nos da una idea de las diferentes condiciones de los lugares donde se han instalado los rollos vegetalizados.

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CAUDAL PUNTA	VELOCIDAD	TENSIÓN MEDIA
Río Fluvià, Pont de les mores (Olot)	28/12/2008	30,72 m <sup>3</sup> /s	3,74m/s	20,28 N/m <sup>2</sup>
	14/04/2007	13,27 m <sup>3</sup> /s	1,61 m/s	
	01/02/2009	11,39 m <sup>3</sup> /s	1,38 m/s	
Río Anoia, Sant Esteve Ses Rovires	10/10/2010	13,72 m <sup>3</sup> /s	2,88m/s	9,54 N/m <sup>2</sup>
	10/06/2010	2,84 m <sup>3</sup> /s	0,59 m/s	
	16/03/2011	1,80 m <sup>3</sup> /s	0,38m/s	
Río Mogent, Llinars del Vallès	15/03/2011	63,684m <sup>3</sup> /s	2,69m/s	79,08 N/m <sup>2</sup>
	13/09/2006	15,61 m <sup>3</sup> /s	0,65 m/s	
	27/02/2003	11,83 m <sup>3</sup> /s	0,50 m/s	
Río Fluvià, Besalú	28/12/2008	30,72m <sup>3</sup> /s	1,29 m/s	30,43 N/m <sup>2</sup>
	14/04/2007	13,27 m <sup>3</sup> /s	0,55 m/s	
	01/02/2009	11,39 m <sup>3</sup> /s	0,48m/s	
Río Congost, Granollers	15/03/2011	57,38 m <sup>3</sup> /s	1,93m/s	45,08 N/m <sup>2</sup>
	02/11/2008	9,62 m <sup>3</sup> /s	0,62m/s	
	13/02/2011	5,93 m <sup>3</sup> /s	0,19m/s	
Río Besòs, Montcada i Reixac	27/02/2003	86,5 m <sup>3</sup> /s	1,35 m/s	26,47N/m <sup>2</sup>
	13/09/2006	82,53 m <sup>3</sup> /s	1,29 m/s	
	04/12/2003	54,98 m <sup>3</sup> /s	0,86 m/s	
Torrente de Vallcorba, Sant Quirze del Vallès	17/09/2010	42,43 m <sup>3</sup> /s	4,18 m/s	195,96 N/m <sup>2</sup>

Se muestrearon once puntos donde se habían instalado rollos vegetalizados. En ninguna de las zonas se observaron roturas de los rolls, sólo en un caso se detectó un cierto grado de degradación de las fibras y de la estructura física, y sólo en un punto de muestreo se encontró el rollo prácticamente enterrado por sedimentos.

En cuanto a la instalación de los rollos, se han encontrado todos en el mismo lugar donde se instalaron, si bien en 3 de los casos se habían movido o no estaban del todo bien fijados al margen, lo que se relaciona con el tipo de sustrato, ya que la dureza del mismo dificultó la instalación de estacas y otros elementos de fijación de los rollos.

En el 50% de los rolls se encontraron las mismas especies que había en el momento de la instalación, pero había variado la proporción de las especies presentes y, en el 50% restante, había sólo algunas de las especies presentes en el inicio. En el 40% de los rollos se habían producido colonizaciones de nuevas especies.

## 4 Conclusiones

Los resultados demuestran que hay una gran variación del crecimiento tanto entre especies como dentro de cada especie, aunque se observa una tendencia clara. El desarrollo depende en gran medida del medio donde se encuentran y se puede considerar que el medio controlado tiene unas buenas condiciones para los helófitos.

Es importante subrayar que el índice de estructura radicular de los helófitos es entre bueno y muy bueno, lo que confirma que estas especies tienen un buen desarrollo del sistema radicular. En este sentido destacan los rollos vegetalizados, que contrariamente a las macetas o contenedores, permiten implementar plantas bien desarrolladas en áreas naturales.

Los índices de estabilidad relativa son de aproximadamente 1, lo cual no es un valor muy alto, pero si se tiene en cuenta que la parte aérea es flexible y que no ofrece la misma resistencia, podemos considerar que es un buen resultado. Las mismas conclusiones se pueden aplicar para el índice de estabilidad potencial.

La profundidad radicular de los helófitos tiene una media notable de 40,8 cm. en ambientes silvestres, 34,3 cm. en ambientes controlados y 48,9 cm. en rollos vegetalizados.

Respecto a las especies se constata que *Phragmites australis* tiene un sistema radicular de unos 30 cm. aunque la necesidad puede favorecer raíces más profundas. Este resultado coincide con los criterios utilizados en sistemas de depuración.

Otros casos como *Iris pseudacorus* y *Scirpus holoschoenus* se consideran las especies más interesantes, aunque se observa un buen potencial para *Juncus acutus*. Este último en el rollo vegetalizado tiene un índice de estructura radicular excelente de 1,7 y una profundidad media de 48,02 cm. La especie con un sistema radicular más grande es *Scirpus holoschoenus*, con una media de profundidad radicular de 55,8 cm.

Por otra parte, los rollos vegetalizados están más cerca de un ambiente ideal que de un ambiente silvestre, considerando un buen desarrollo del sistema radicular de las plantas, lo cual confirma que es un buen sistema para introducir helófitos en áreas naturales.

Finalmente, se constata una buena resistencia de los rollos vegetalizados a partir de la extrapolación de datos de medios silvestres, en los que se alcanzaron velocidades de 4,18 m/s con éxito. La resistencia de las obras donde se han utilizado rollos vegetalizados depende más de la calidad de la ejecución que de los impactos naturales.

## **5 Agradecimientos**

Una especial mención al profesor Paolo Cornelini, Ingeniero de Caminos y profesor de Bioingeniería en la Universidad de la Sapienza que ayudó a definir los principios de la investigación.

Agradecemos especialmente el trabajo de Aina Besalú, que participó en el trabajo de campo y en el análisis de los datos obtenidos, recogiendo los resultados en un proyecto final del máster en gestión y restauración del medio natural. Agradecemos también la colaboración de las estudiantes de prácticas que han participado en el trabajo de campo: Elvira Pérez, Vanesa Santamaria y Gina Sorolla.

Finalmente también agradecemos la colaboración del Parque Natural del Alt Empordà y del Ayuntamiento de Sabadell para facilitar las tareas de trabajo de campo en zonas naturales. También a Paola Sangalli por su incansable trabajo de difusión de las técnicas de bioingeniería.

Castellar del Vallés, Enero 2012