

Avaluació del sistema radicular dels helòfits.

Resistència i capacitat de creixement en rolls vegetaltzats.

Coordinació i direcció: Albert Sorolla i Dr.Francesc Sabater*.

Equip redactor: Aina Besalú**, Mireia Ros, Inma Rueda i Jesús Soler.

Col·laboradors: Elvira Pérez, Vanessa Santamaria i Gina Sorolla.

*Universitat de Barcelona. Professor master MGRMN.

**Treball de fi de Master en Gestió i Restauració del Medi Natural. Universitat de Barcelona.

1 Introducció

El roll vegetalitzat és un sistema creat per l'enginyer alemany Sr. Lothar Bestmann l'any 1977 amb la voluntat de buscar un substrat orgànic que mantingués l'estructura fins al ple desenvolupament del sistema radicular dels helòfits. De fet l'ús de la fibra de coco és degut a una sèrie de proves que el Sr. Bestmann havia realitzat amb l'objectiu de vegetar illes artificials. A partir de llavors, en base a l'experiència, s'ha anat modificant la seva densitat, el sistema d'instal·lació... però sempre sense perdre l'objectiu final de facilitar el creixement d'helòfits amb total garantia en ambients difícils.

Seguint aquesta línia, Naturalea ha desenvolupat un projecte de recerca que pretén millorar el coneixement de les característiques d'aquests materials de bioenginyeria utilitzats per a la consolidació de marges fluvials en cursos d'aigües permanents mitjançant helòfits en les lleres fluvials. Igualment pretén conèixer millor aquestes espècies, el desenvolupament i les característiques des de l'òptica de la bioenginyeria aplicada al paisatge. En concret s'han seguit les línies definides en el llibre "Arbusti autoctoni Mediterranei per l'Ingegneria Naturalistica. Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali", de Cornelini et. al.

En aquest estudi s'analitza la capacitat de creixement de sis espècies (*Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus*) en diferents ambients. També es va analitzar l'estat de conservació dels rotlles vegetaltzats instal·lats en diverses àrees restaurades.

L'objectiu és l'avaluació del sistema radicular dels helòfits amb la resistència i capacitat de creixement en rolls vegetaltzats. L'anàlisi en diferents ambients es va realitzar a partir de les característiques físiques que presentaven els helòfits per tal d'obtenir els índexs d'estabilitat i solidesa. En canvi, l'anàlisi en les zones restaurades es va dur a terme a partir de l'avaluació de l'estat dels rolls vegetaltzats i les dades hidràuliques de la zona, per poder determinar la resistència de les plantes.

2 Metodologia

2.1 Àrees d'estudi

Per determinar la resistència dels rolls vegetaltzats es va realitzar una anàlisi sobre l'estat de conservació de rolls vegetaltzats instal·lats en espais fluvials. Per cada àrea d'estudi es van consultar dades posteriors a la instal·lació de pluviometria, sobretot en episodis extraordinaris amb cabals punta i la tensió mitjana de la secció, per determinar les circumstàncies que han pogut afectar la zona i avaluar la resposta dels rolls vegetaltzats.

L'avaluació es va realitzar en diferents localitzacions de Catalunya:

Riu Fluvià, Besalú (2008); riu Congost, Granollers (2008); riu Besòs, Montcada (2000); Sant Esteve de Ses Rovires, Anoia (2007); Torrent de Vallcorba, Sant Quirze del Vallès (2009); riu Fluvià, Olot (2007); riera de Santa Coloma, Santa Coloma de Farners (2008); riu Mogent, Llinars del Vallès (2003); riera Seca, Mollet del Vallès (2007); Torrent de Colobrers, Sabadell (2008); riera de Cànoves, Cardedeu (2004) i les rieres de Vallmanya i Reixac, Palafolls i Tordera (2009).

L'anàlisi del desenvolupament del sistema radicular es va dur a terme en medi controlat, en rolls vegetaltzats i en el medi natural.

- **Medi controlat:** Es va estudiar el creixement de sis espècies (*Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus*) en un medi homogeni, recollint dades mensualment de 6 exemplars de cada espècie. Per realitzar aquesta part de l'estudi es va construir una àrea especial a un viver situat a Terrassa (Barcelona).



Imatge 1. Vista general del medi controlat en el viver.

- **Rolls vegetaltzats:** El model FR-N1 de rolls vegetaltzats es va escollir per l'estudi, ja que té quatre de les sis espècies (*Carex vulpina*, *Iris pseudocorus*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus*). Aquesta part de l'estudi es va executar també al viver de Terrassa.



Imatge 2. Model FR-N1 de roll vegetaltzat abans de realitzar l'extracció d'exemplars.

- **Medi silvestre:** Es van avaluar les mateixes espècies que en el medi controlat. Es va realitzar un sol mostreig en dos indrets diferents: *Carex vulpina*, *Iris pseudocorus* i *Juncus inflexus* es van extreure a Castelló d'Empúries, en el Parc Natural de l'Alt Empordà -PNAE- (Girona), mentre que *Scirpus holoschoenus*, *Carex pendula* i *Phragmites australis* es van extreure en el torrent de Colobrers, Sabadell (Barcelona). Amb els permisos pertinents de les administracions responsables.



Imatge 3. Torrent de Colobrers.



Imatge 4. Parc Natural de l'Alt Empordà.

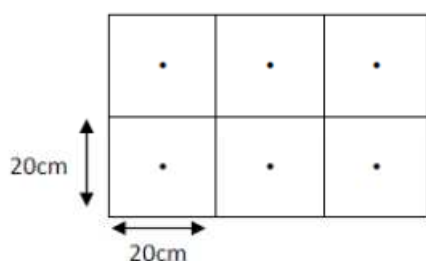
2.2 Capacitat de creixement radicular

Per analitzar la capacitat de desenvolupament radicular es van analitzar les característiques de sis espècies d'helòfits, mesurant els següents paràmetres: diàmetre del tall, alçada aèria, amplitud aèria, profunditat del sistema radicular, amplitud radicular i volum radicular. A partir d'aquestes dades es van calcular quatre índexs que indiquen l'estabilitat i solidesa dels helòfits: índex d'estabilitat relativa, índex de solidesa relativa, estabilitat radicular i estabilitat global. Les mitjanes dels índexs i les dades hidràuliques de la zona es van analitzar per poder

comparar les dades dels helòfits en aquests 3 ambients. A més, aquests resultats es van comparar amb els resultats obtinguts per arbusts (Cornelini et. al., 2008¹).

2.2.1 Ambient controlat

El creixement es va avaluar mensualment, extraient 6 exemplars de cada espècie. El medi controlat consistia en una estructura de 12 m. x 0,8 m. x 1 m. (longitud x amplada x alçada). Es van plantar 240 exemplars (40 unitats de cada espècie) i es van col·locar a una distància de 20cm. entre exemplars, distribuïts de la següent manera:



El mostreig es va realitzar mensualment durant 6 mesos durant els quals es va regar diàriament. Abans de l'extracció de les plantes es van mesurar els paràmetres aeris (diàmetre del tall, amplitud aèria i alçada aèria). La selecció dels exemplars es va fer aleatòriament. Després de l'extracció es van mesurar la profunditat radicular, l'amplada radicular i el volum radicular.



Imatge 5. Procés d'extracció.



Imatge 6. Mesurant el sistema radicular.



Imatge 7. Mostreig del volum radicular.

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



Imatge 8. Sis exemplars de *Phragmites australis* després d'extreure'ls.



Imatge 9. Mesurant el diàmetre del tall amb un peu de rei.

2.2.2 Rolls vegetalitzats

A causa de les característiques dels rolls vegetalitzats es van extreure i es van mesurar 3 exemplars de *Carex vulpina*, *Iris pseudocorus*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus*, cada dos mesos.

Quan les plantes han arrelat entre les fibres del roll vegetalitzat és difícil extreure els exemplars. Per aquest motiu va ser necessari desmuntar bona part dels rolls vegetalitzats, separant les fibres de coco de les arrels, sovint difícils de distingir a simple vista.

Algunes espècies tenen més de 3 exemplars en el rotlle vegetalitzat FR-N1, de manera que la selecció d'exemplars es va realitzar aleatòriament. Es van realitzar els mateixos amidaments que en el medi controlat.



Imatge 10. Detall del sistema radicular en un tros de rotlle vegetalitzat.



Imatge 11. Extracció de càrex d'un rotlle vegetalitzat.

2.2.3 Medi natural o silvestre

En el medi natural es van extreure 3 exemplars de *Carex vulpina*, *Carex pendula*, *Iris pseudocorus*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* i *Juncus inflexus* en un sol mostreig. Per poder comparar els resultats es van realitzar les mateixes mesures i es va utilitzar la mateixa metodologia que en el medi controlat i en els rolls vegetaltzats.



Imatge 12. Extracció de *Scirpus holoschoenus* en el torrent de Colobres.



Imatge 13. Extracció de *Iris pseudacorus* en el Parc Natural de l'Alt Empordà.

2.3 Capacitat de creixement radicular

L'avaluació es va realitzar a les àrees definides a la secció 2.1. a cada àrea d'estudi es va analitzar dades meteorològiques i l'estat de conservació (incloent l'estat de degradació, qualitat / estat de la instal·lació i conservació de les plantacions).

Per a l'estudi de les dades hidràuliques de la zona es van tenir en compte la tensió mitjana, el cabal i la velocitat màxima en avingudes extraordinàries amb informació d'aforaments propers. La determinació de la tensió es va dur a terme en règim permanent uniforme, a partir de la fórmula de Manning amb el programa *Master Flow*.

3 Resultats

3.1 Anàlisi biofísic dels helòfits

3.1.1 Característiques físiques dels helòfits

Els resultats mostren valors superiors en àrees silvestres de diàmetre del tall, alçada aèria, amplitud aèria, amplitud del sistema radicular i volum del sistema radicular, mentre que la profunditat del sistema radicular i l'índex A són superiors en rolls vegetaltzats (vegeu taula 1).

ESPÈCIE		<i>Juncus inflexus</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Carex vulpina</i>	<i>Scirpus holochoenus</i>	<i>Phragmites australis</i>	<i>Carex pendula</i>	MITJANA
MEDI SILVESTRE	Diàmetre del tall (mm)	0,8	18,0	7,7	4	9,2	13,5	8,9
	Altura aèria (cm)	53,3	104,2	136,7	123,75	75,0	103	99,3
	Amplitud aèria (cm)	20,7	29,0	60,0	118,25	32,7	131,75	65,4
	Profunditat 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
	Volum del sistema radicular (ml)	236,7	833,3	416,7	3875	516,7	925	1133,9
	Índex A	0,8	0,9	0,4	0,7	0,8	0,7	0,7
MEDI CONTROLAT	Diàmetre del tall (mm)	0,2	1,1	0,3	0,2	0,2	0,9	0,5
	Altura aèria (cm)	41,7	33,0	29,6	58,3	40,8	33,8	39,5
	Amplitud aèria (cm)	22,1	20,2	33,3	30,9	13,9	36,5	26,1
	Profunditat 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
	Índex A	1,1	1,3	1,5	1,1	0,7	1,1	1,1
ROLL VEGETALITZAT	Diàmetre del tall (mm)	0,2	1,1	0,4	0,2	-	-	0,5
	Altura aèria (cm)	56,1	55,0	67,1	54,1	-	-	58,1
	Amplitud aèria (cm)	30,5	38,1	54,9	26,9	-	-	37,6
	Profunditat 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
	Volum del sistema radicular (ml)	213,3	224,4	205,0	222,2	-	-	216,3
	Índex A	1,7	1,2	1,0	1,3	-	-	1,3

Taula 1: Mitjana dels valors de les característiques físiques dels helòfits a cada medi.

Nota: Índex A (Índex d'estructura radicular). (0,5-1) Sistema radicular mig/bàsic; (1-1,5) Solen tenir una arrel pivotant; (>1,5) Solen tenir un sistema radicular ben desenvolupat.

3.1.2 Comparació de les característiques físiques entre helòfits i arbustos

Els arbustos presenten unes característiques biofísiques i uns índexs d'estabilitat superiors als helòfits. L'únic índex a on destaquen els helòfits per sobre dels arbustos és l'índex A (vegeu taula 2).

	<i>Profunditat del sistema radicular (cm)</i>	<i>Amplitud del sistema radicular (cm)</i>	<i>Índex A</i>
Helòfits	40,35	21,61	1,02
Arbustos	56,39	53,13	0,53

Taula 2: Comparació de les característiques biofísiques i índexs entre helòfits i arbustos.

Nota: Les dades dels arbustos s'han obtingut de Cornellini, et al. 2008.

3.1.3 Comparació de la mitjana dels índexs en diferents ambients

ÍNDEX*	MEDI SILVESTRE	MEDI CONTROLAT	ROLL VEGETALITZAT
Estabilitat relativa	0,46	0,94	0,88
Estabilitat potencial	0,68	0,82	0,57
Estabilitat del sistema radicular	0,34	0,76	0,53
Estabilitat global	0,33	1,05	0,39

Taula 3: Valors de les mitjanes de cada índex a partir de les diferents espècies segons el medi a on es van estudiar.

*DEFINICIONS:

ÍNDEX	
Estructura del sistema radicular:	$A = 1/2 \text{ profunditat del sistema radicular} / \text{amplitud del sistema radicular}$
Estabilitat relativa:	$S = \text{profunditat del sistema radicular} / \text{altura aèria}$
Solidesa relativa:	$s = \text{amplitud del sistema radicular} / \text{amplitud aèria}$
Estabilitat del sistema radicular:	$R = \text{Estabilitat relativa} * \text{solidesa relativa}$
Estabilitat global:	$P = \text{Estabilitat relativa} * \text{solidesa relativa}^2$

3.2 Avaluació de la dinàmica i l'evolució de l'estat de conservació dels rolls vegetaltzats instal·lats en àrees naturals

Es van estudiar les dades hidràuliques dels punts de mostreig a on hi havia estacions d'aforament properes. S'ha observat que la tensió mitjana i la velocitat és força variable, comprenent valors d'entre 9,54 N/m² i 195,96 N/m² i entre 0,19 m/s i 4,18 m/s respectivament, fet que ens dona una idea de les diferents condicions dels indrets a on s'han instal·lat els rolls vegetaltzats.

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

Es van mostrejar onze punts a on s'havien instal·lat rolls vegetaltzats. En cap de les zones es van observar trencaments dels rolls, només en un cas es va detectar un cert grau de degradació de les fibres i de l'estructura física, i només en un punt de mostreig es va trobar el rotlle pràcticament penjat per sediments.

Pel que fa a la instal·lació dels rolls, s'han trobat tots en el mateix lloc a on es van instal·lar, si bé en 3 dels casos s'havien mogut o no estaven del tot ben fixats al marge, fet que es relaciona amb el tipus de substrat, ja que la duresa del mateix va dificultar la instal·lació d'estaques i d'altres elements de fixació dels rolls.

En el 50% dels rolls es van trobar les mateixes espècies que hi havia en el moment de la instal·lació però havia variat la proporció de les espècies presents i, en el 50% restant, hi havia només algunes de les espècies presents a l'inici. En el 40% dels rolls s'hi havien produït colonitzacions de noves espècies.

4 Conclusions

Els resultats demostren que hi ha una gran variació del creixement tant entre espècies com dins de cada espècie, encara que s'observa una tendència clara. El desenvolupament depèn en gran mesura del medi a on es troben i es pot considerar que el medi controlat té unes bones condicions pels helòfits.

És important subratllar que l'índex d'estructura radicular dels helòfits és entre bo i molt bo, fet que confirma que aquestes espècies tenen un bon desenvolupament del sistema radicular. En aquest sentit destaquen els rolls vegetalitzats, que contràriament als testos o contenidors, permeten implementar plantes ben desenvolupades en àrees naturals.

Els índexs d'estabilitat relativa són d'aproximadament 1, el qual no és un valor gaire alt, però si es té en compte que la part aèria és flexible i que no ofereix la mateixa resistència, podem considerar que és un bon resultat. Les mateixes conclusions es poden aplicar per l'índex d'estabilitat potencial.

La profunditat radicular dels helòfits té una mitjana remarcable de 40,8 cm. en ambients silvestres, de 34,3 cm. en ambients controlats i 48,9 cm. en rolls vegetalitzats

Respecte a les espècies es constata que *Phragmites australis* té un sistema radicular d'uns 30 cm. encara que la necessitat pot afavorir arrels més profundes. Aquest resultat coincideix amb els criteris utilitzats en sistemes de depuració.

Altres casos com *Iris pseudacorus* i *Scirpus holoschoenus* es consideren les espècies més interessants, encara que s'observa un bon potencial per *Juncus acutus*. Aquest últim en el rotlle vegetalitzat té un índex d'estructura radicular excel·lent de 1,7 i una profunditat mitjana de 48,02 cm. L'espècie amb un sistema radicular més gran és *Scirpus holoschoenus*, amb una mitjana de profunditat radicular de 55,8 cm.

D'altra banda, els rolls vegetalitzats estan més a prop d'un ambient ideal que d'un ambient silvestre, considerant un bon desenvolupament del sistema radicular de les plantes, que confirma que és un bon sistema per introduir helòfits en àrees naturals.

Finalment, es constata una bona resistència dels rolls vegetalitzats a partir de l'extrapolació de dades de medis silvestres, en els quals es van assolir velocitats de 4,18 m/s amb èxit. La resistència de les obres on s'ha utilitzat rolls vegetalitzats depèn més de la qualitat de l'execució que dels impactes naturals.

5 Agraïments

Una especial menció al professor Paolo Cornolini Enginyer de Camins i professor de Bioenginyeria en la Universitat de la Sapienza que va ajudar a definir els principis de la investigació.

Agraïm especialment el treball de l'Aina Besalú, que va participar en el treball de camp i en l'anàlisi de les dades obtingudes, recollint els resultats en un projecte final del màster en gestió i restauració del medi natural. Agraïm també la col·laboració de les estudiants de pràctiques que han participat en el treball de camp: l'Elvira Pérez, la Vanessa Santamaria i la Gina Sorolla.

Finalment també agraïm la col·laboració del Parc Natural de l'Alt Empordà i de l'Ajuntament de Sabadell per facilitar les tasques de treball de camp en zones naturals. També a Paola Sangalli pel seu incansable treball de difusió de les tècniques de bioenginyeria.

Castellar del Vallès, gener 2012