

Banc de llavors i densitat de plàntules en sòls restaurats amb fangs de depuradora

J.M. Alcañiz
X. García Galindo
F. Lloret

Universitat Autònoma de Barcelona. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals
08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Manuscrit rebut al maig de 1998

Resum

S'estudia el banc de llavors viables d'un abassegament de terres i de fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes emprats en la restauració del sòl d'una pedrera. També es mesuren al camp les primeres fases de desenvolupament de les plàntules, la composició florística i la biomassa en dues zones restaurades de la pedrera, una exclusivament amb terra i l'altra amb terra adobada amb fangs de depuradora. Els resultats indiquen una relativa pobresa, i una composició específica molt diferenciada, dels bancs de llavors dels dos materials. D'altra banda, la densitat de plàntules observada al camp és superior a la que s'esperaria del banc de llavors del sòl i dels fangs. També es demostra la influència de l'adobat amb fangs sobre la composició florística i la biomassa de la vegetació desenvolupada.

Paraules clau: banc de llavors, restauració de sòls, fangs de depuradora, composició florística, densitat de plàntules.

Abstract. *Seed bank and seedling density in restored soils amended with sewage sludge*

We studied the viable seed bank of a stock of soil and a sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant which were employed in the rehabilitation of a quarry. We also estimated the seedling establishment (floristic composition, plant density and biomass) in two restored areas of the same quarry: one with soil and the other with a mixture of soil and sewage sludge. The seed bank from both materials are relatively poor and clearly different. Seedling emergence in the field is higher than expected if the soil was the only seed source. Sewage sludge increases plant biomass and strongly influences the floristic composition.

Key words: floristic composition, seed bank, soil rehabilitation, sewage sludge, seedling density.

Introducció

La restauració de terres malmeses per activitats extractives, construcció de noves vies de comunicació o urbanitzacions és una pràctica cada dia més implantada com a resposta a la demanda social de preservació del medi ambient i que representa una notable activitat econòmica dins del sector de la construcció (Bradshaw

& Chadwick, 1988). Per assolir una correcta revegetació d'aquests terrenys degradats cal preparar un substrat suficientment fèrtil que permeti un bon creixement de les plantes i d'altres organismes edàfics. Això pot aconseguir-se reposant el sòl original de la zona si prèviament s'ha decapat i conservat, important terres de les rodalies, o aprofitant estèrils i residus terrígens ben fertilitzats amb esmenes orgàniques o d'altres adobs. Moltes vegades el sòl natural no s'ha conservat o és insuficient per restaurar tota la zona afectada, i l'oferta de terres per importar és molt irregular i de qualitat heterogènia. Per tant, la rehabilitació de les zones degradades s'ha de fer amb els materials més a l'abast com són els estèrils de les activitats extractives o els sediments del subsòl. En conseqüència, la demanda de biosòlids, com els *composts* i fangs de depuradora, per fertilitzar aquests materials estèrils ha augmentat considerablement els darrers anys (Glaub & Golueke, 1989; Clapp et al., 1994).

A més de reposar un sòl suficientment fèrtil cal assegurar la ràpida revegetació de la zona restaurada per evitar que l'erosió malmeti els treballs realitzats, especialment en talussos pronunciats. Per això són corrents les pràctiques de la hidrosembra, la sembra a mà i la plantació d'espècies disponibles en viver. En vistes a la integració de la zona restaurada al paisatge natural això pot representar alguns problemes; d'una banda, la introducció amb la sembra o plantació d'espècies no presents a la vegetació natural que en alguns casos poden expandir-se i actuar de plantes invasores. En d'altres casos, la mala selecció de les espècies plantades fa que no prosperin perquè no estan adaptades a les condicions climàtiques o al tipus de sòl de la zona restaurada (Andrés et al., 1996).

Els estudis de revegetació en zones restaurades tracten principalment sobre la cerca d'espècies de creixement ràpid, fàcils d'obtenir i d'implantar (Bradshaw & Chadwick, 1988). La majoria de plantes herbàcies utilitzades corresponen a gramínies i lleguminoses, i a pins com a espècies arbòries. En particular s'han estudiat els efectes de la fertilització amb fangs de depuradora sobre la revegetació d'àrees de mineria recuperades (Sopper, 1993). En la majoria de casos se citen efectes positius sobre el desenvolupament de la coberta vegetal (Sopper & Seaker, 1983; Korentajer, 1991) fins i tot en proves de creixement sobre mescles molt riques en fang (1:1 fang/sòl, equivalents a unes dosis de 656 Mg ha⁻¹) en comparació a les que es fan servir en aplicacions agrícoles (Metcalfe & Lavin, 1991). També s'ha observat el predomini de les plantes farratgeres sobre les lleguminoses en les zones adobades amb fangs de depuradora (Fairbrother & Knapp, 1994). Menys coneguts són els efectes sobre la germinació i primers estadis del desenvolupament de les plantes. D'una altra banda, en zones restaurades amb fangs i no sembrades, la revegetació espontània és molt més ràpida que en zones amb terra sense fangs (Alcañiz et al., 1996). Aquest fet depèn de la capacitat fertilitzadora dels fangs, però també del banc de llavors present, tant al sòl com al fang utilitzat.

En aquest treball s'ha estudiat el banc de llavors viables proporcionat per un fang de depuradora d'aigües residuals urbanes i per un sòl utilitzat en la restauració d'una pedrera de lloses de calcària situada entre els termes d'Alcover i Mont-Ral (Baix Camp). En particular s'ha estudiat el banc de llavors viables pro-

porcionat pels fangs i per la terra amb què es barregen, mitjançant un experiment de germinació en viver. També s'han estudiat les diferències de reclutament de plàntules a zones de la pedrera restaurades amb els dos tipus de substrat: terra sola i terra fertilitzada amb fangs de depuradora.

Disseny experimental i mètodes

Banc de llavors viables

L'experiment consta de dues etapes: la presa de mostres de sòl i fangs, i la incubació en condicions controlades per facilitar la germinació i la identificació de les plàntules germinades.

Mostreig de sòl i fangs

Les terres que s'utilitzen per restaurar pedreres es disposen habitualment en abassegaments temporals més o menys regulars fins al moment de fer les mescles amb els fangs de depuradora. Seguidament aquestes mescles són repartides per la zona que s'ha de restaurar. En el cas real de la pedrera seleccionada, l'abassegament de terres consistia en piles allargades de secció triangular d'uns 225 m de longitud total per 2.3 d'alçària. En total es disposava d'unes 1350 tones de terra. La terra procedia d'una excavació de materials terrígens provinents de col·luis d'antics sòls dins de la mateixa finca de la pedrera. Des de l'extracció de la terra fins al mostratge del sòl en l'abassegament varen transcórrer uns quatre mesos.

El 21 de desembre de 1996 es varen prendre 20 mostres d'uns 5 kg de sòl d'aquest abassegament per un procediment semialeatori a partir de diversos punts a l'atzar sobre les piles en diferents transectes. A la taula 1 es presenten les principals característiques analítiques d'aquest sòl. Les mostres es varen garbellar a 5 mm al camp per eliminar les pedres i es varen conservar amb la humitat original sotmetent-les a un procés de vernalització a 4°C durant 45 dies. Just abans de la prova de germinació es varen garbellar a 2 mm per homogeneïtzar la mostra i eliminar la fracció inert.

Els fangs estudiats procedeixen de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR) de Lleida, obtinguts per un procés de digestió anaeròbia i parcialment deshidratats de manera que es comporten com a sòlids pastosos. Són de bona qualitat com a adobs orgànics i compleixen tots els requisits per a ús agrícola. L'abassegament de fangs tenia unes dimensions aproximades de 12 × 23 m i una alçària de 0.4 m que equival a unes 110 tones. A la taula 2 es mostren els paràmetres analítics més representatius d'aquests fangs. De la mateixa manera que el sòl, es varen prendre 20 mostres fresques de fangs que es varen conservar a 4°C durant 45 dies. Per disgregar la massa pastosa dels fangs, es varen passar per un seditge de 10 mm just abans de la prova de germinació.

Bancals de germinació

Per avaluar el banc de llavors del sòl i el fang s'ha optat per comptar les llavors viables a partir de les plàntules que emergeixen periòdicament (Simpson et al.,

Taula 1. Principals característiques analítiques del sòl utilitzat (tots els valors estan referits a la fracció fina del sòl, llevat de la pedregositat i del contingut d'humitat, que ho estan respecte a la mostra original).

Paràmetre	Mitjana \pm d.e.	Unitats
Humitat	8.9 \pm 1.43	%
Pedregositat	36.3 \pm 15.1	%
Sorra grossa	9.1 \pm 1.4	%
Sorra fina	32.3 \pm 3.3	%
Llim	27.5 \pm 2.0	%
Argila	26.7 \pm 1.9	%
Carbonats	13.2 \pm 2.2	%
Cond. elèctrica (25°C) p. sat.	0.138 \pm 0.046	dS/m
pH (H ₂ O) 1:2,5	8.3 \pm 0.17	
pH (KCl) 1:2,5	7.5 \pm 0.09	
C.I.C.	27.9 \pm 8.6	cmol _c kg ⁻¹
Na	0.18 \pm 0.05	cmol _c kg ⁻¹
K	0.42 \pm 0.09	cmol _c kg ⁻¹
Ca	11.40 \pm 1.71	cmol _c kg ⁻¹
Mg	2.40 \pm 0.28	cmol _c kg ⁻¹
C org.	1.31 \pm 0.51	%
N tot.	0.13 \pm 0.01	%
C/N	9.2 \pm 0.8	
P (Olsen)	8.4 \pm 3.2	mg kg ⁻¹

Taula 2. Composició i principals paràmetres analítics dels fangs de l'EDAR de Lleida (dades facilitades per la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya). Valors referits a matèria seca, excepte aquest paràmetre que és sobre mostra original.

Paràmetre	Valor	Unitats
Matèria seca	19.6	%
Matèria orgànica	43.0	%
Nitrogen total	1.72	%
Fòsfor total	2.39	%
Fòsfor Olsen	370	mg kg ⁻¹
Potassi total	0.29	%
Calci total	7.8	%
Magnesi total	1.02	%
pH (H ₂ O) 1:5	6.10	
Cond. elect. (25°C)	1.245	dS/m
Ferro	5423	mg kg ⁻¹
Cadmi	3.1	mg kg ⁻¹
Crom	53.9	mg kg ⁻¹
Coure	145	mg kg ⁻¹
Plom	67.5	mg kg ⁻¹
Zinc	521	mg kg ⁻¹
Níquel	118	mg kg ⁻¹
Mercuri	9.7	mg kg ⁻¹

1989). El desembre de 1996 es va realitzar una prova preliminar de germinació extenent directament la terra i els fangs en uns contenidors de 25 × 25 cm formant una capa d'un 1 cm sobre un llit de substrat de Perlita de 5 cm de gruix que manté la humitat del sòl i permet un bon drenatge. Aquesta prova no va donar bon resultat ja que una capa contínua de terra argilosa i de fangs tendeix a formar una crosta que dificulta la germinació d'algunes llavors, de manera que es va optar per millorar les condicions físiques del bancal de germinació mesclant la terra i els fangs amb una sorra inert (1:2 v/v) i reduir el gruix de la capa de material (sòl i fang mesclats amb sorra) a 0.5 cm, dipositada sobre el llit de Perlita. Això equival a uns 500 g de terra o 400 g de fangs per cada contenidor. Es varen preparar 40 contenidors de 25 × 25 cm per cada un dels materials (sòl i fang).

Els 80 contenidors amb les mostres de sòl i fangs, prèviament vernalitzades, s'han incubat en condicions de viver al campus de la UAB amb llum natural. S'hi ha mantingut una humitat elevada en el substrat, regant tres cops per setmana, durant un període de 6 mesos. L'experiment es va iniciar a primers de febrer de 1997. Per evitar l'arribada de llavors externes, cada contenidor estava recobert per una gassa de 0.2 mm de niló blanc.

Un cop per setmana s'ha mesurat el nombre de plàntules germinades en cada contenidor. Cada una d'elles s'ha marcat amb una agulla i s'han deixat créixer fins que era possible identificar-les. En paral·lel, s'ha preparat un cultiu amb alguns exemplars de cada una de les plàntules per poder confirmar la seva identificació. Diverses plàntules han estat transplantades individualment a torretes amb sòl fèrtil per cultivar-les fins a un estadi de desenvolupament que permetés la seva classificació.

Densitat de plàntules en condicions de camp

Aquesta part de l'estudi es va dur a terme en la mateixa pedrera de calcàries d'Alcover d'on procedia el sòl estudiat. Es varen delimitar dues zones d'uns 2000 m² cadascuna: una restaurada únicament amb una capa de 20 cm de sòl disposada sobre el residu pedregós que queda en les zones explotades (*zona terra*), i l'altra restaurada de forma similar amb una mescla de sòl i fang en una proporció 4:1 (v/v), equivalent a unes 400 tones de fangs frescos per ha (*zona fangs*), segons el procediment habitual de mescla prèvia descrit al manual de restauració amb fangs de depuradora (Alcañiz et al., 1996). Les zones experimentals es varen restaurar entre els mesos de setembre i octubre de 1996.

A les dues zones s'ha mesurat l'evolució de la densitat de plàntules cada dos mesos a partir de desembre de 1996 fins a un any (22-12-96, 28-2-97, 30-4-97 i 13-6-97). En cada mostreig s'han comptat el nombre de plàntules contingudes en un cercle de 52 cm de diàmetre, en 25 punts a l'atzar dins de cada zona. S'ha distingit entre mono i dicotiledònies. A partir del tercer mostreig, quan el desenvolupament vegetal era ja apreciable, s'ha mesurat també la biomassa aèria de les plantes recol·lectades dins de 25 cercles com els abans esmentats en cada zona, referida a pes sec per unitat de superfície.

Al final del període d'estudi (juny de 1997), s'ha fet també un inventari florís-

tic de cada zona segons la nomenclatura de Bolós et al. (1990) per estimar també visualment l'abundància (molt abundant, freqüent i ocasional) de cada espècie.

Anàlisi estadística

Les dades obtingudes en l'experiment de germinació en contenidors s'han analitzat aplicant el test no paramètric U de Mann-Whitney, atès que no complien els requisits de normalitat i d'igualtat de varianza.

Les comparacions del nombre de plàntules entre els diferents tractaments de fang i entre monocotiledònies i dicotiledònies s'ha fet amb ANOVA d'un factor, després d'aplicar una transformació $\log + 1$ a les dades. La mateixa anàlisi s'ha realitzat per a les dades de biomassa, però ja que en aquest cas es compleixen els requisits estadístics no s'ha aplicat cap transformació.

Resultats

Germinació en viver

A la taula 3 es mostren els resultats obtinguts en els bancals de germinació després de sis mesos. Malgrat que les condicions de germinació eren bones i que cada mostra de sòl i fang havia estat homogeneïtzada, no es va detectar cap llavor viable en 23 i 17, respectivament, dels 40 contenidors. Això indica una relativa pobresa de llavors en aquest sòl i fang utilitzats en la restauració de pedreres. La densitat mitjana de llavors viables és de 9.6 unitat·m⁻² en el sòl i de 14.4 en el cas del fang. Si ho referim a volum de cada un dels materials correspon a unes 1920 i 2880 llavors viables·m⁻³.

El test U de Mann-Whitney indica que no hi ha diferències significatives en el nombre total de plàntules emergents entre sòl i fangs ($p = 0.187$) malgrat ser dos materials molt diferents.

S'ha observat que en el sòl les llavors han trigat menys temps a germinar (màxim als dos mesos) que en els fangs on han germinat de forma més progressiva, assolint un màxim als cinc mesos.

D'altra banda, un experiment previ va demostrar que mostres de fang sense barrejar amb sorra estèril no permetien cap germinació a causa, molt probable-

Taula 3. Nombre de plàntules germinades en cada contenidor i densitat mitjana a les mostres de sòl i fangs de depuradora (nre. total de contenidors, 40 per tractament).

Nombre de contenidors amb:	Sòl	Fang
0 plantes	23	17
1 planta	12	14
2 plantes	3	7
3 plantes	2	0
4 plantes	0	2
Densitat mitjana (pl/m ²)	9.6	14.4
Desviació estàndard	13.5	16.5
Suma de rang	1483	1757

ment, de problemes d'estructura massa compacta i a l'aparició d'eflorescències superficials de sals formades per mineralització de la matèria orgànica dels fangs.

A la taula 4 es mostra la relació de plantes identificades que han germinat en el sòl o en els fangs. La composició florística varia notablement i les espècies nitròfiles són més abundants als fangs. Un fet destacable és l'abundància de solanàcies en els fangs, en especial tomaqueres (*Solanum lycopersicum*), 9.2 plantes·m⁻², que representen més de la meitat del banc de llavors d'aquest material. També es troben compostes, família millor representada en les mostres de sòl on també creixen papilionàcies i primulàcies. El nombre d'espècies ha estat major a les mostres de terra.

Densitat de plàntules al camp

A la taula 5 es presenten els valors de mitjana de densitat de plàntules en la zona de terra sola i en la de terra més fangs per als diferents mostreigs temporals realitzats. La densitat mitjana de plàntules és de l'ordre de 20 plàntules·m⁻² a les dues zones experimentals.

Taula 4. Inventari de plantes germinades en els bancals de germinació sobre cada un dels substrats i valors de densitat (plantes·m⁻²) per a cada espècie identificada.

Espècie	Sòl (x ± ds)	Fangs (x ± ds)
<i>Anagallis arvensis</i> L.	2.8 ± 1.13	
<i>Conyza canadensis</i> L.	0.8 ± 0.56	
<i>Oxalis corniculata</i> L.	0.4 ± 0.40	
<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	0.4 ± 0.40	
<i>Solanum lycopersicum</i> L.		9.2 ± 1.89
<i>Sonchus tenerrimus</i> L.		3.2 ± 1.74
<i>Trifolium</i> sp.	0.4 ± 0.40	
Monocotiledònies		0.8 ± 0.56
No identificades	3.6 ± 1.07	0.4 ± 0.4

Taula 5. Nombre de plàntules·m⁻² (mitjana i desviació estàndard de 25 punts de mostratge) a les zones restaurades amb o sense fangs a diferents temps des del moment de la reposició del sòl. (Monoc. = monocotiledònies, Dicot. = dicotiledònies, Total = nre. total de plàntules).

Data mostreig	Zona de terra			Zona de terra + fangs		
	Monoc.	Dicot.	Total	Monoc.	Dicot.	Total
22/12/96	11.72±16.01	6.24± 5.14	17.96±16.16	22.02±20.77	6.21±6.51	28.12±21.52
28/2/97	9.32±10.12	11.16±11.60	20.48±11.43	6.52± 5.76	9.61±8.73	16.92±11.22
30/4/97	9.40±15.01	11.8 ±12.05	21.61±22.67	6.88± 7.14	7.82±4.95	14.68± 7.53
13/6/97	7.80±10.81	12.56± 9.95	20.36±17.96	4.28± 6.38	11.72±6.46	16.04± 7.92

Taula 6. Inventari florístic del conjunt de mostreigs realitzats a les zones restaurades amb fangs de depuradora o amb terra sola (+++ espècie molt abundant, ++ freqüent, + ocasional).

Planta	Zona de terra	Zona de fangs
Compostes		
<i>Santolina chamaecyparissus L.</i>	+	+
<i>Sonchus tenerrimus L.</i>		++
<i>Sonchus oleraceus L.</i>	++	
Fabàcies		
<i>Vicia sativa L.</i>	++	+
<i>Medicago lupulina L.</i>	++	
<i>Coronilla scorpioides L.</i>		++
Primulàcies		
<i>Anagallis arvensis L.</i>	++	++
Brassicàcies		
<i>Raphanus raphanistrum L.</i>	++	+++
<i>Biscutella auriculata L.</i>		+
Poàcies		
<i>Lolium perenne L.</i>	+++	+++
<i>Bromus diandrus ROCH.</i>	++	
<i>Bromus sp.</i>		++
<i>Desmazeria rigida L.</i>	++	
<i>Brachypodium phoenicoides L.</i>	++	++
<i>Avena barbata L.</i>		++
<i>Oryzopsis miliacea L.</i>		+
<i>Dactylis glomerata L.</i>		++
<i>Arrhenatherum elatius L.</i>		+
Escrofulariàcies		
<i>Veronica agrestis L.</i>	+	
Dipsacàcies		
<i>Scabiosa atropurpurea maritima L.</i>	+	
Rubiàcies		
<i>Galium aparine L.</i>	++	
Plantaginàcies		
<i>Plantago lanceolata L.</i>	+++	++
<i>Plantago sempervirens CRANTZ</i>	+	
Papaveràcies		
<i>Papaver rhoeas L.</i>	+	
Umbelíferes		
<i>Foeniculum vulgare MILL.</i>	+++	
Quenopodiàcies		
<i>Chenopodium album L.</i>		+++
Poligonàcies		
<i>Polygonum aviculare L.</i>		+++

No s'han trobat diferències significatives entre els tractaments de terra i terra més fang per a cap data ni grup de plantes, excepte per a les monocotiledònies el 22/12/96 ($F_{1,48} = 4.39$, $p = 0.041$). Les dicotiledònies van ser significativament més abundants el mostreig de finals de primavera, tant als tractaments de terra sola ($F_{1,48} = 6.69$, $p = 0.013$) com als de terra més fang ($F_{1,48} = 10.32$, $p < 0.0001$), mentre que les monocotiledònies van ser significativament més abundants al tractament de terra més fang al mostreig d'hivern ($F_{1,48} = 10.32$, $p = 0.002$).

Diversitat florística en zones restaurades

A la taula 6 es mostra la relació d'espècies presents a les zones restaurades amb o sense fangs. La identificació s'ha realitzat seguint la nomenclatura de Bolós et al. (1990). El criteri d'abundància s'ha basat en l'observació visual de les zones restaurades en el conjunt del període d'estudi.

S'han identificat 27 espècies diferents de les quals només 7 són comunes a les dues zones restaurades. Les gramínies dominen més a les zones amb fangs, juntament amb *Chenopodium album*, *Polygonum aviculare* i *Raphanus raphanistrum*, plantes oportunistes que podem considerar nitròfiles. És de destacar l'absència de *Solanum lycopersicum*, una espècie amb un abundant banc de llavors als fangs com es va observar a l'experiment de viver. A la zona de terra les espècies més abundants han estat: *Lolium perenne*, *Plantago lanceolata* i *Foeniculum vulgare*, que encara que pròpies d'estadis inicials de la successió, no presenten un caràcter tan nitròfil com les anteriors.

Biomassa vegetal

S'ha mesurat la biomassa a les dues zones restaurades a partir del moment en què el recobriment vegetal superava el 30% (abril de 1997), en el màxim de desenvolupament del primer cicle vegetatiu (juny de 1997) i al cap d'un any de la restauració (desembre de 1997). En la taula 7 es presenta el resum dels resultats.

La biomassa vegetal ha estat significativament més alta a la zona tractada amb fangs que a la zona restaurada només amb terra. Els valors de biomassa van asso-

Taula 7. Biomassa vegetal aèria (mitjana i desviació estàndard de 25 punts de mostratge) expressada com a pes sec ($g \cdot m^{-2}$) a les zones restaurades amb terra o terra més fangs a tres temps diferents des de la reposició del sòl. S'indiquen també els valors de F, p i graus de llibertat (g. ll.) resultants de l'ANOVA d'un factor (tractament).

Data	Zona de terra		Terra més fangs		F	p	g. ll.
	m	d.s.	m	d.s.			
30/4/97	23.87	44.02	83.23	97.70	7.8	0.0074	1. 48
13/6/97	61.59	74.83	204.70	227.09	8.1	0.0066	1. 46
24/12/97	34.10	18.37	99.09	86.18	13.6	0.0006	1. 48

lir un màxim a finals de primavera i van presentar una davallada durant l'època estival que encara es va manifestar al mostreig d'inici de l'hivern següent. Al llarg de tot aquest temps, però, les diferències en biomassa entre les zones tractades amb fangs i zones només amb terra s'han mantingut.

Discussió

Tant els fangs com la terra utilitzats en la restauració de la pedrera són portadors d'un banc de llavors l'expressió del qual dependrà de la idoneïtat de les condicions de germinació per a les espècies presents (Roberts, 1981). La comparació de l'experiment preliminar, en el que no es va barrejar sorra estèril, amb el definitiu permet afirmar que el banc de llavors només pot manifestar-se si les condicions físiques del substrat i les ambientals són apropiades. En particular, els fangs sense incorporar a un sòl presenten un alt grau de compacitat, excés de nutrients i salinitat (Sort, 1997). D'aquí es desprèn la importància de les condicions experimentals en que s'avalua el banc de llavors viables (Simpson et al., 1989).

Malgrat algunes diferències inevitables en la metodologia, poden afirmar que el nombre de plàntules detectades és baix en comparació amb d'altres bancs de llavors estudiats en pastures (Russi et al., 1992; Ortega et al., 1997), boscos (Trabaud, 1994) i també en matollars degradats (García-Fayos et al., 1995) de la zona Mediterrània. Aquest fet és especialment notable en el cas de la terra no adobada amb fangs i podria explicar-se en part per la pèrdua de viabilitat d'algunes llavors durant el període d'abassegament del sòl. També per la dilució de l'horitzó superficial del sòl agrícola d'on procedeix la terra, més ric en banc de llavors (Harper, 1977), amb els altres horitzons i capes del subsòl en el procés d'extracció i transport d'aquest material.

Malgrat que els dos tipus de substrats estudiats al camp tenen una base de terra comuna, les diferències en la composició florística de les plàntules són notables. L'origen d'aquestes plàntules està en el banc de llavors existent al sòl i fangs, i a la pluja de llavors. Per tant, la variació en la composició pot ser causada per: i) la gran diversitat de microhàbitats degut a la heterogeneïtat del sòl restaurat, ii) la variabilitat present en el banc de llavors, iii) la variabilitat en la pluja de llavors procedents d'àrees veïnes, iv) la selecció produïda per alguns components dels fangs que poden inhibir o retardar la germinació de determinades espècies procedents del sòl.

D'altra banda, a la zona de terra adobada amb fangs es troben espècies que no creixen a la zona de terra sola. Algunes d'aquestes espècies són nitròfiles i per tant afavorides per l'aplicació de fangs, però d'altres podrien esperar-se també a les zones de terra sola (gramínies, *Coronilla scorpioides*, *Biscutella auriculata*), i això ens fa pensar que una part important d'aquestes diferències s'hauria d'atribuir a la variació estocàstica associada al relatiu baix nombre de plàntules per unitat de mostreig (Rusch, 1992). Les diferències entre espècies presents en els bancals de germinació amb sòl i les trobades a la restauració de terra i fang poden estar relacionades amb aquesta variació estocàstica, però també amb la possible exclusió al bancal de llavors de més de 2 mm com les de

Lolium perenne, *Foeniculum vulgare* i *Plantago lanceolata*, així com a la contaminació aèria de llavors de menys de 0.2 mm. Entre les espècies que eren abundants als fangs en l'experiment de viver, destaca aquí l'absència de *Solanum lycopersicum*, una espècie que probablement no troba unes condicions adients per establir-se a les zones restaurades amb fangs si bé s'ha observat el seu creixement durant un cicle vegetatiu en d'altres pedreres restaurades amb dosis altes de fangs.

S'observa una variabilitat espacial elevada de la densitat de llavors viables en tots els mostrejos realitzats (Silvertown & Lovett-Doust, 1993). El rang de valors de plàntules va des de 0 fins a 87 plàntules·m⁻². Aquest fet ha de considerar-se normal en una superfície recentment restaurada per la heterogeneïtat del mateix terreny que té una elevada pedregositat i per la imperfecció de les mesclades de terra i de fangs realitzades amb grans màquines.

En general, el nombre de plàntules present als dos tipus de substrats no difereix significativament entre els tractaments, encara que al començament de les fases de revegetació al camp el nombre de plàntules és més gran a la zona de terra més fang, a causa probablement de la suma de llavors dels dos materials i a la fertilització proporcionada pels fangs. Aquestes diferències tendeixen a esmorteir-se amb el temps. Així, podem considerar que el fang no actua com un inhibidor de la fase d'establiment de les plàntules més aviat al contrari, encara que pugui seleccionar algunes espècies.

La densitat de plàntules germinades al camp és aproximadament el doble de l'estimada en els bancals de germinació, de manera que cal pensar també en la colonització de les zones restaurades per llavors provinents de les rodalies a més de possibles efectes de les diferents condicions de germinació utilitzades al viver.

S'observa una tendència de la densitat de monocotiledònies a disminuir en el temps la qual és parcialment compensada per l'aparició de dicotiledònies. Aquest canvi de tendència és especialment manifest entre el primer mostreig (desembre de 1996) i el segon (febrer de 1997). La disminució de monocotiledònies és especialment manifesta a la zona restaurada amb fangs.

Els valors de biomassa obtinguts (0.6 - 2 tones/ha) es poden considerar normals pel tipus de vegetació oportunista instal·lada. També s'observen variacions estacionals molt importants en la biomassa produïda, i és el mostreig de juny el que reflecteix la màxima producció en aquest primer any. La disminució observada el més de desembre respon al fet que la majoria de plantes dominants (*Chenopodium album*, *Polygonum aviculare*, *Raphanus raphanistrum*) ja havien finalitzat el seu cicle vegetatiu i les seves restes formaven part de la necromassa, no mesurada. En aquest darrer mostreig, el recobriment vegetal estava dominat per les fulles basals de les gramínies.

La biomassa a la zona adobada amb fangs triplica la de terra sola; per tant, l'efecte fertilitzant dels fangs és molt manifest. Els fangs barrejats amb la terra, en les proporcions utilitzades en la restauració, milloren les propietats físiques i químiques del sòl, com ja s'ha comentat (Epstein, 1976; Khalee et al., 1981; Sort, 1997), fet que es tradueix en una millor disponibilitat d'aigua i nutrients.

Mentre que les diferències de densitat de plàntules a les zones restaurades amb

o sense fangs no són molt grans, les diferències en biomassa sí que ho són. És a dir, els fangs utilitzats en la restauració no modifiquen substancialment la viabilitat del banc de llavors inicial sinó que fan que les plantes que han germinat es desenvolupin molt més. Aquest fet té repercussions pràctiques considerables. D'una banda, cal remarcar la importància de preparar sòls per a la restauració que siguin fèrtils de manera que permetin l'expressió del banc de llavors propi o aportat. En segon lloc, que l'èxit de la ràpida revegetació pot estar limitat per un banc de llavors escàs, de manera que quan hi han indicis que una terra és pobre de llavors caldrà recomanar la sembra d'herbàcies. Si no hi ha urgència perquè la zona quedi ràpidament revegetada ja que no és vulnerable a l'erosió, el banc de llavors propi de la terra i l'arribada de llavors alòctones poden ser suficients. D'altra banda, els resultats obtinguts suggereixen un limitat interès del banc de llavors aportat pels fangs, que malgrat no ser negligible, està format per espècies arvenses i hortícoles de limitat valor en la revegetació.

Hi ha un cert abús en l'aplicació de tècniques de revegetació ràpida, sobretot tenint en compte el seu cost econòmic, quan el que es pretén és una integració paisatgística a l'entorn natural de les terres malmeses o el que podem anomenar la restauració ecològica de la zona afectada (Andrés et al, 1996). En aquest cas, les plantes introduïdes haurien d'actuar com a coberta temporal del sòl i permetre que fossin substituïdes progressivament per les espècies autòctones. Una altra consideració que es pot fer a la vista d'aquests resultats és l'interès de conservar per decapatge l'horitzó superficial del sòl original (l'anomenada *terra vegetal*) abans d'iniciar una activitat extractiva o la construcció d'una carretera. En zones forestals, els horitzons orgànics i els primers centímetres del sòl són rics en llavors i propàguls de la vegetació natural (Harper, 1977). Per tant, escampar una petita capa d'aquest sòl (uns 5 cm) sobre la zona ja restaurada amb terres fertilitzades podria suplir, en molts casos, les sèmbrs habituals (Van der Valk & Pederson, 1989).

En experiències de restauració de pedreres s'ha pogut constatar que sovint es desaprofita el potencial de revegetació natural que tenen els sòls i les esmenes orgàniques utilitzades pel fet de no considerar el seu propi banc de propàguls i llavors, especialment quan s'utilitzen terres de decapatge de la mateixa zona (Alcañiz et al., 1996). A part del cost econòmic en llavors i en tècniques de revegetació, la introducció d'espècies comercials foranes pot retardar la integració de la vegetació de la zona restaurada a l'entorn natural. En aquest sentit, pot resultar més profitós invertir per millorar la fertilitat del sòl de manera que permeti un millor desenvolupament del banc de llavors natural que en despeses de sembra o plantació.

Agraïments

Aquest treball ha tingut el suport econòmic del projecte CICYT AMB95-0728 i d'un conveni amb la Secció de Restauració d'Activitats Extractives del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Els autors agraeixen a Pedres d'Alcover SA els materials facilitats i la possibilitat d'experimentar en condicions reals.

Bibliografia

- Alcañiz, J.M.; Comellas, L.; Pujolà, M. 1996. Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora. Recuperació de terrenys marginals. Junta de Sanejament, Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- Andrés, P.; Zapater, V.; Pamplona, M. 1996. Stabilisation of motorway slopes with herbaceous cover. Catalonia, Spain. *Restoration Ecology* 4 (1): 51-60.
- Bolós, O. de; Vigo, J.; Masalles, R.M.; Ninot, J.M. 1990. Flora Manual dels Països Catalans. Pòrtic. Barcelona.
- Bradshaw, A.D.; Chadwick, M.J. 1988. Restauració de terres. Ecologia i recuperació de terres malmeses i degradades. Manuals 4. Servei de Medi Ambient, Diputació de Barcelona.
- Clapp, C.E.; Larson, W.E.; Dowdy, R.H. 1994. Sewage sludge: Land utilization and the environment. SSSA Miscellaneous Publication. American Soc. Agronomy. Madison, WI, USA.
- Epstein, E.; Taylor, J.M.; Chaney, R.L. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 5: 422-426.
- Fairbrother, A.; Knapp, C.M. 1994. Ecological aspects of land spreading sewage sludge. In *Sewage sludge: Land utilization and the environment*, Clapp, C.E. De. SSSA Miscellaneous publication. Madison WI, USA, p. 75-79.
- García-Fayos, P.; Recatalà, T.M.; Cerdà, A.; Calvo, A. 1995. Seed population dynamics on badland slopes in southeastern Spain. *J. Vegetation Science* 6: 691-696.
- Glaub, J.C.; Golueke, G. 1989. Municipal organic wastes and composts for arid areas. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 3: 171-184.
- Harper, J.L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press. London.
- Khalee, R.; Reddy, K.R.; Overcash, M.R. (1981). Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. *J. Environ. Qual.* 10: 133-141.
- Korentajer, L. 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. *Water, Air and Soil Pollution* 17 (3): 189-196.
- Metcalf, B.; Lavin, J.C. 1991. Consolidate sewage sludge as a soil substitute in colliery spoil reclamation. In *Alternative Uses for Sewage Sludge*. J.E. Hall, De. Oxford, UK. Pergamon Press. p. 83-96.
- Ortega, M.; Levassor, C.; Peco, B. 1997. Seasonal dynamics of Mediterranean pasture seed bank along environmental gradients. *J. Biogeography* 24: 177-195.
- Roberts, H.A. 1981. Seed banks in soils. *Advances in Applied Biology* 6: 1-55.
- Rusch, G. 1992. Spatial pattern of seedling recruitment at two different scales in limestone grassland. *Oikos* 65: 433-442.
- Russi, L.; Cocks, P.S.; Roberts, E.H. 1997. Seed bank dynamics in a Mediterranean grassland. *J. Applied Ecology* 29: 763-771.
- Silvertown, J.W.; Lovett-Doust, J. 1993. *Introduction to Plant Population Biology*. Blackwell Science. Oxford.
- Simpson, R.L.; Leck, M.A.; Parker, V.T. 1989. Seed banks: general concepts and methodological issues. In: M.A. Leck, V.T. Parker & R.L. Simpson (eds.). *Ecology of seed banks*. Academic Press. San Diego, p. 3-8.
- Sopper, W.E. 1993. *Municipal Sludge Use in Land Reclamation*. Lewis Publishers. London, 163 p.

- Sopper, W.E.; Seaker, E.M. 1983. A guide for revegetation of mined land in eastern United States using municipal sludge. Institute for Research on Land and Water Resources. The Pennsylvania State University. University Park, PA, 93 p.
- Sort, X. 1997. Propietats estructurals d'un sòl restaurat amb fangs de depuradora. Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Trabaud, L. 1994. Diversité de la banque de semences du sòl d'une forêt méditerranéenne de *Quercus ilex*. *Biological Conservation* 69: 107-114.
- Van der Valk, A.G.; Pederson, R.L. 1989. Seed banks and the management and restoration of natural vegetation. In: M.A. Leck, V.T. Parker & R.L. Simpson (eds.). *Ecology of seed banks*. Academic Press. San Diego, p. 329-346.