
REVEGETACIÓ DE TALUSSOS D'UNA EXPLOTACIÓ CARBONÍFERA MITJANÇANT MATERIALS DE REBUIG

À. D. Bosch Serra i R. M. Poch Claret*

RESUM

En aquest treball s'avalua la rehabilitació dels talussos d'una explotació minera carbonífera utilitzant materials de rebuig de la pròpia explotació i provinents d'activitats ramaderes (purins de porc) o urbanes (llots de depuradora), en un ambient àrid del Baix Segre. Les variables analitzades foren el tipus i recobriment vegetals, la penetromia i la salinitat del substrat, i la salinitat, els nitrats i els sediments dels efluent.

Els resultats indiquen que és possible rehabilitar els runams en aquests medis, assolint recobriments vegetals fins al 50 % sense que se'n deriven efectes ambientals negatius importants. Taxes altes puntuals d'erosió poden controlar-se amb un disseny adient dels talussos. L'aplicació superficial de purí no té efectes antiencrostants. La moderada salinitat dels substrats condiciona l'establiment de vegetació halòfila.

PARAULES CLAU: rehabilitació de sòls, mineria de carbó, purins de porc, fangs de depuradora.

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la rehabilitación de los taludes de una explotación minera carbonífera utilizando materiales de rechazo de la propia explotación y procedentes de actividades ganaderas (purines de cerdo) o urbanas (barros de depuradora), en un ambiente árido del Baix Segre (Cataluña). Las variables analizadas fueron el tipo y recubrimiento vegetal, la penetromía y la salinidad del sustrato, la salinidad, los nitratos y los sedimentos de los afluentes.

* Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl de la Universitat de Lleida, av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida.

Los resultados indican que es posible rehabilitar los escombros en estos medios, alcanzando recubrimientos vegetales hasta el 50 % sin que deriven efectos ambientales negativos importantes. Tasas puntuales elevadas de erosión pueden controlarse con un diseño de los taludes. La aplicación superficial de purines no tiene efectos antiapelmazantes. La moderada salinidad de los sustratos condiciona el establecimiento de vegetación halófila.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación de suelos, minería de carbón, purines de cerdo, barro de depuradora.

ABSTRACT

The objective of this work is the assessment of coal mine restoration using refuse materials from the mine, pig slurry and sewage sludge, under an arid environment located in the Baix Segre (Catalonia). The studied variables were vegetation type and cover; penetration resistance and salinity of the substrate, and salinity, nitrates and sediments of the effluents.

The results indicate that the soil and vegetation restoration is possible without important negative environmental impacts. Sporadic high erosion rates can be controlled by means of a suitable slope design. The surface application of pig slurry does not have any effect against crusting. The moderate salinity of the substrate affects the establishment of an halophyte vegetation.

KEY WORDS: soil rehabilitation, coal mining, pig slurry, sewage sludge.

INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Des de l'any 1997 s'estan duent a terme experiències de restauració de mines de carbó a la conca carbonífera de Mequinensa. Les dificultats de la restauració rau en l'aridesa del clima, la manca de material edàfic per a recobrir els runams i l'elevat risc d'erosió i escolament degut als pendents elevats. La utilització de diferents tipus d'estèrils de la mina amb purins de porc i palla ha donat bons resultats en zones planes, però en els talussos hi ha problemes d'erosió, de segellat i de lixiviat de nitrats que no permeten un bon establiment de la vegetació (Salazar *et al.*, 2000). L'ús de fangs de depuradora comença a ser habitual en restauració de graveres gràcies a les experiències dutes a terme pel Departament de Medi Ambient en mines de les conques internes de Catalunya (Alcañiz *et al.*, 1996). Tanmateix, se'n descobreix l'efecte en runams amb problemes de salinitat i de manca d'aigua. L'objectiu d'aquest treball és avaluar la rehabilitació, en talussos de mines de carbó, amb estèrils de la mina, i residus ramaders (purins de porc) i urbans (llots de depuradora).

MATERIALS I MÈTODES

Les parcel·les experimentals es troben entre els municipis d'Almatret i Mequinensa, sota un clima semiàrid. Els materials parentals són calcilitites continentals que alternen amb llims i guixos. Els sòls naturals al voltant de les mines són xerorthents típics i lítics. La vegetació natural és un matollar esclerofil·le tot i que, en els runams la coberta. on s'hi instal·len les comunitats *Salsolo-Artemisietum* i *Agropyro-Lygeetum*, és molt pobra.

Es van instal·lar parcel·les experimentals en tres talussos, amb pendents d'entre el 30 % i 33 %, de 7 m d'amplada i entre 13 m i 17,5 m de llargada, i orientats a l'oest (talussos S-I i S-V) i al sud (talús S-II). Els tractaments van ser combinacions del tipus de substrat, de barreges d'estèrils de mina de diferents granulometries amb purins de porc, palla o fangs de depuradora; i l'aportació o no de purí de porc en superfície, amb l'objectiu que actués com a antiencrostant (taula I). En les taules II, III i IV hi ha les característiques dels materials utilitzats en els tractaments.

TAULA I. *Tractaments de les parcel·les experimentals*

Tipus de substrat	1:1	Estèril fi de bassa de decantació i gros (0-25 cm) barrejats en proporció 1:1 amb palla (20 Mg ha ⁻¹) i purí de porc (780 m ³ ha ⁻¹)
	1:2	Estèril fi de bassa de decantació i gros (0-25 cm) barrejats en proporció 1:2 amb palla (20 Mg ha ⁻¹) i purí de porc (780 m ³ ha ⁻¹)
	3:1:1	Estèril gros (0-25 mm), fi de bassa de decantació i fangs de depuradora barrejats en proporció 3:1:1
Tractament de la superfície	amb purí	Aplicació de purí per aspersió sobre el substrat, a una dosi d'uns 0,715 m ³ per parcel·la
	sense purí	

TAULA II. *Característiques químiques de la terra fina del material fi i gros * utilitzats en la rehabilitació dels runams*

Característiques	Fi	Gros	Característiques	Fi	Gros
pH (1:2,5)	7,6	7,5	Potassi AcNH ₄ (ppm)	42	33
CE (dS·m ⁻¹ a 25 °C)	6,32	6,27	Nitrogen Kjeldahl (%)	0,21	0,28
Matèria Orgànica (%)	13,9	23,4	Arena USDA (%)	16,6	62,3
CaCO ₃ equivalent (%)	51	52	Llim USDA (%)	63,3	27,6
Fòsfor Olsen (ppm)	3	2	Argila (%)	20,1	10,1

*El material gros té un 89 % en pes d'elements grossos (93 % dels quals entre 2 i 6 cm).

TAULA III. *Característiques químiques dels purins utilitzats en l'aplicació superficial*

Característiques	Purins	Característiques	Purins
Matèria seca % s. m. f.	3,9	Potassi (K) % s. m. s.	11,03
N Kjeldahl m. seca (N) % s. m. s.	3,74	Matèria orgànica % s. m. s.	60,1
Fòsfor (P) % s. m. s.	1,41	N Amoniacal m. fresca (N) % s. m. s.	11,43

TAULA IV. *Característiques químiques dels fangs utilitzats en rehabilitació de runams*

Característiques	Fangs	Característiques	Fangs	Característiques	Fangs
pH	8,46	Fòsfor (P ₂ O ₅) (%)	4,86	Coure (Cu)(ppm)	206
Conductivitat (dS/m 25 °C)	1,77	Potassi (K ₂ O) (%)	0,36	Niquel (Ni)(ppm)	39
Matèria seca (%)	17,2	Calci (CaO) (%)	8,61	Crom (Cr)(ppm)	199
Matèria orgànica (%)	49,8	Magnesi (MgO) (%)	1,05	Plom (Pb)(ppm)	115
N-Orgànic (%)	3,32	Ferro (Fe) (%)	1,01	Mercuri (Hg)(ppm)	0,7
N-Amoniacal (%)	1,81	C/N	4,67	Cadmi (Cd)(ppm)	2,5
N-Total (%)	5,13			Zinc (Zn)(ppm)	675

Les primeres parcel·les es van instal·lar a l'octubre del 2000. Es van realitzar controls mensuals de la coberta vegetal de l'abril al juliol del 2001, tant del recobriment total com de la tipologia de la vegetació que es desenvolupa en les diferents subparcel·les dels talussos. Es van fer mesures de penetrometria al mes de maig per a cadascuna de les subparcel·les per a saber la resistència a la penetració després d'una pluja. En aquest mes mateix es van prendre mostres superficials de substrat de les diferents subparcel·les distingint entre les localitzacions de dalt i les localitzacions de baix, per a conèixer la salinitat del substrat. Es van recollir lixiviats al peu de les parcel·les mitjançant caixes col·lectores, les quals van permetre calcular l'escolament i la quantitat de material erosionat per unitat de superfície. En el lixiviat es van determinar al laboratori la conductivitat elèctrica, els nitrats i els nitrits (Nitracheck®). La precipitació total del període d'estudi va ser de 366 mm.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Variabls edàfiques

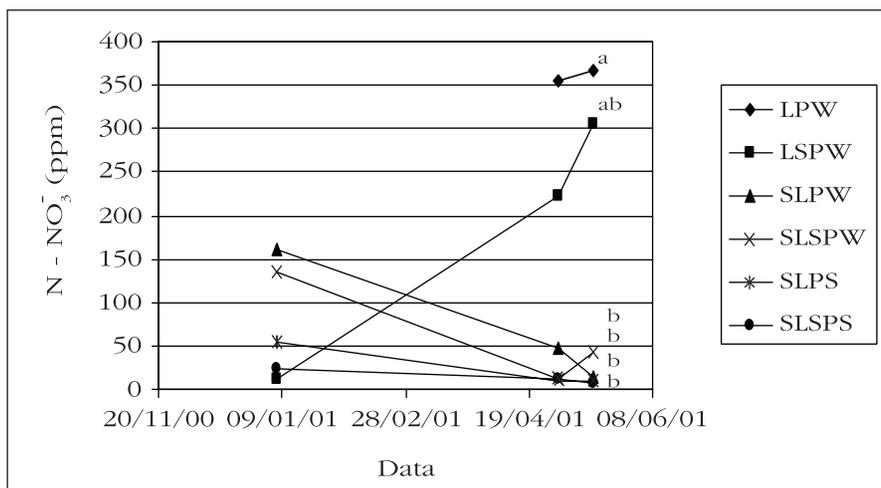
Els valors de conductivitat elèctrica (CE 1:5) dels substrats oscil·len entre 5,05 i 5,56 dS m⁻¹ a 25 °C, sense observar-se diferències significatives

entre tractaments. Corresponen a sòls mitjanament salins, que no presenten problemes per a l'establiment d'espècies adaptades. Els valors de resistència a la penetració, mesurats després de les pluges, es troben entre 7,21 i 9,17 kg cm⁻², els quals no representen limitacions per al desenvolupament vegetal. No s'han trobat diferències entre els tractaments amb aplicació superficial de purí o sense, tant pel que fa a la resistència a la penetració com pel que fa al volum d'escolament; per tant, és qüestionable l'efectivitat del purí com a antiencrostant o antisegellant.

Característiques químiques dels lixiviats

Els continguts de nitrats en l'aigua d'escolament són molt variables entre tractaments i al llarg del temps, amb valors compresos entre 7,5 i 368 ppm. En la figura 1 es mostra l'evolució del contingut de nitrats entre els diferents tractaments. S'observa una tendència que les parcel·les amb llots presentin valors més elevats, sobretot en els darrers mostreigs, quan ja s'ha mineralitzat part del nitrogen orgànic. No hi ha diferències entre els tractaments amb purí o sense. Els tractaments amb llots són els que donen més presència de nitrats.

FIGURA 1. Evolució del contingut en nitrogen nítric de les aigües d'escolament durant els mesos de control per als diferents tractaments. Els símbols seguits de lletres diferents són estadísticament diferents segons el test de rang múltiple de Duncan per a un nivell de significació de $\alpha < 0,01$. Llegenda: L = llot, SL = sense llot, P = purí superficial, SP = sense purí superficial, W = orientació oest, S = orientació sud



Els valors de conductivitat elèctrica dels llixiviats, entre 1 i 13,65 dS m⁻¹, mostren el grau elevat de salinitat de les aigües d'escolament. Les parcel·les sense llots generen llixiviats menys salins (1,87-6,33 dS m⁻¹) en alguns dels mostreigs (fig. 2), mentre que l'aplicació superficial de purí no suposa un increment de salinitat.

Erosió

La quantitat de sediment recollit aproximadament cada dos mesos en les caixes oscil·la entre 1,8 i 2031,3 kg ha⁻². Aquests valors corresponen a taxes d'erosió mitjanes per al període d'estudi (sis mesos) de l'ordre de 100 kg ha⁻¹, dins dels valors d'erosió tolerable, malgrat que la seva distribució és molt irregular i poden donar-se puntes d'erosió degudes a pluges intenses (figura 3). Un disseny adient dels talussos minimitzaria les conseqüències externes, ja que aquests sediments van a parar a l'embassament de Mequinensa si no es construeixen contrapendents que evitin que els sediments surtin del sistema. Tot i que no s'observen diferències significatives entre tractaments individuals, les parcel·les orientades a l'oest es van erosionar més (550,5 kg ha⁻²) que no pas aquelles en què no es van aplicar llots (30,2 kg ha⁻¹).

FIGURA 2. Evolució de la conductivitat elèctrica de les aigües d'escolament durant els mesos de control per als diferents tractaments. Els símbols seguits de lletres diferents són estadísticament diferents segons el test de rang múltiple de Duncan per a un nivell de significació de $\alpha < 0,01$. Llegendra: L = llot, SL = sense llot, P = purí superficial, SP = sense purí superficial, W = orientació oest, S = orientació sud

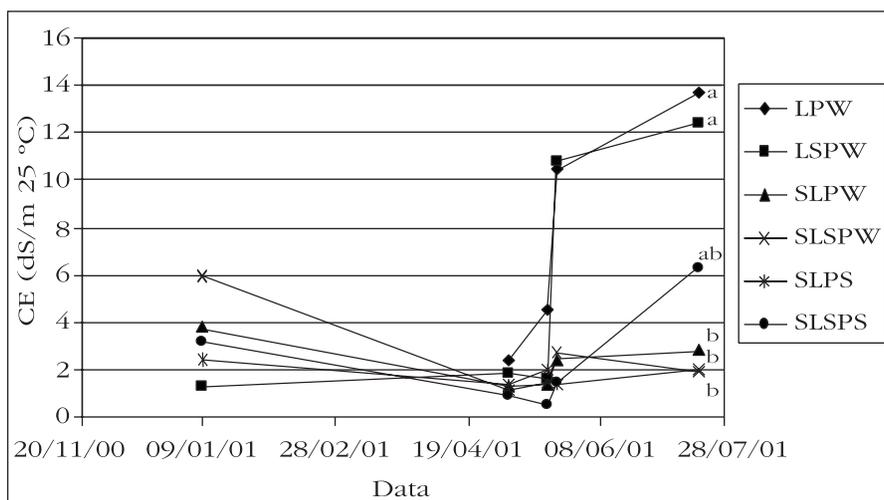
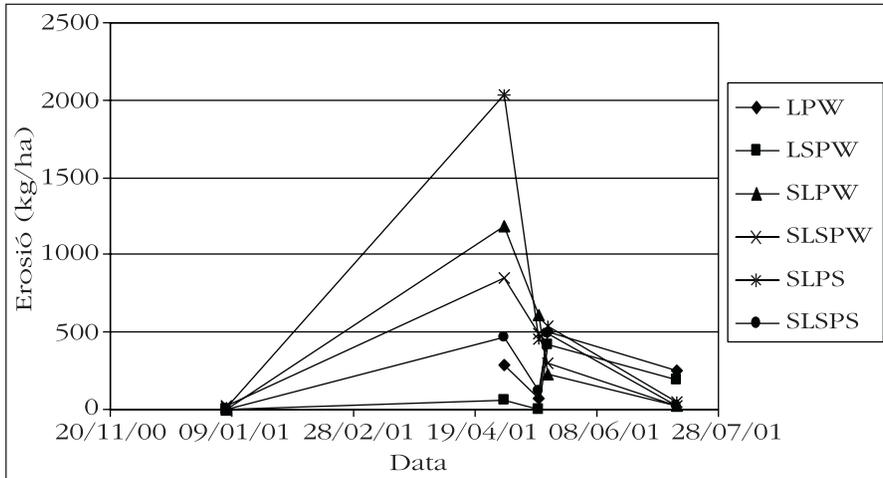


FIGURA 3. Valors d'erosió superficial durant els mesos de control per als diferents tractaments. Llegenda: L = llot, SL = sense llot, P = purí superficial, SP = sense purí superficial, W = orientació oest, S = orientació sud

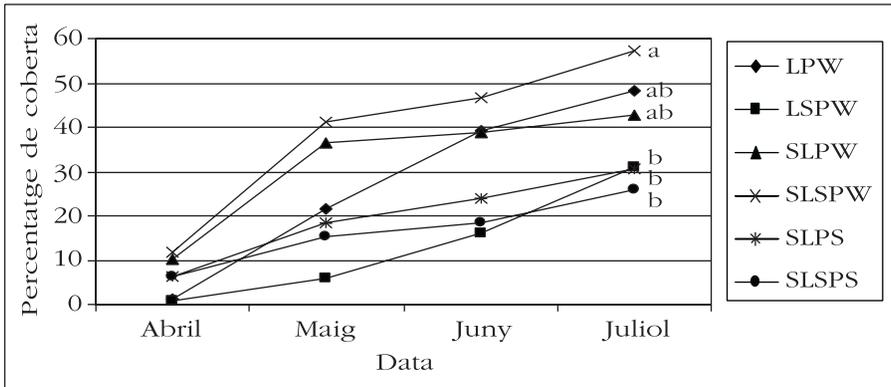


Revegetació

La colonització de les parcel·les va ser causada, principalment, a les espècies *Bassia scoparia* i *Atriplex halimus*, ambdues espècies adaptades a la salinitat. En la figura 4 s'observa que el recobriment vegetal al final de l'assaig es troba entre el 25 % i el 60 %.

Per al cas concret del tractament amb aplicació de llots i de reg superficial amb purí (LPW) és de prop del 50 %, fins i tot superior pel tractament sense llots i sense aplicació de purí i amb orientació oest (SLSPW), on aquest recobriment és de prop del 60 %. En el tractament sense llots, sense purí i oest (SLSPW) hi ha uns recobriments vegetals majors que en el tractament LPW amb aplicació de llots, potser perquè les parcel·les sense aplicació de llots són parcel·les construïdes amb anterioritat a les parcel·les on s'aplicaren llots i, per tant, hi ha més llavors. Aquests resultats estan d'acord amb els resultats de Salazar (2001), el qual observa que la colonització natural per llavors produeix recobriments d'un 50 % o superiors en runams rehabilitats, sense necessitat de sembra. Aquests recobriments vegetals són relativament elevats i, per tant, poden ajudar a disminuir els que solen ser els principals problemes de la rehabilitació, com són el segellat i l'encrostaament, la pèrdua de substrat per erosió, així com la possible formació de solcs, tal com cita Loch (2000), el qual observa que en parcel·les amb un recobriment vegetal major del 42-47 % és improbable produir grans nivells d'erosió.

FIGURA 4. Evolució del recobriment vegetal durant els mesos de control per als diferents tractaments. Els símbols seguits de lletres diferents són estadísticament diferents segons el test de rang múltiple de Duncan per a un nivell de significació de $\alpha < 0,01$. Llegendra: L = llot, SL = sense llot, P = purí superficial, SP = sense purí superficial, W = orientació oest, S = orientació sud



En la taula v hi ha els recobriments específics finals en els tractaments que han donat diferències significatives. L'*Atriplex halimus* obté uns majors recobriments en les parcel·les orientades al sud que a l'oest, les quals són més seques i, per tant, probablement més salines. Per contra, en les parcel·les orientades a l'oest, la *Bassia scoparia* obté majors recobriments vegetals quan no s'han aplicat llots, que, com s'ha vist, poden augmentar puntualment la salinitat de la solució del sòl. Aquest comportament està d'acord amb la naturalesa més halòfila i xeròfila de l'*Atriplex halimus* i més nitròfila de la *Bassia scoparia* (Naidu i Harvord, 1997).

TAULA V. Recobriments vegetals d'*Atriplex halimus* i *Bassia scoparia* en data 22/07/2001. Els símbols seguits de lletres diferents són estadísticament diferents segons el test de rang múltiple de Duncan per a un nivell de significació de $\alpha < 0,01$

Tractament	Recobriment per <i>Atriplex halimus</i> (%)	Recobriment per <i>Bassia scoparia</i> (%)
Orientació oest amb aplicació de llots	7,2	31,1 b
Orientació oest sense aplicació de llots	2,2	47,0 a
Orientació sud	23,0 a	3,3 b
Orientació oest	2,2 b	47,0 a

CONCLUSIONS

— L'ús de residus orgànics (llots i/o purins) permet rehabilitar runams en vessants de les mines estudiades, i assolir recobriments vegetals espontanis propers al 50 %, sense efectes ambientals negatius derivats de la contaminació per nitrats, nitrits o salinitat.

— L'aplicació superficial de purí a les dosis estudiades no suposa un efecte antiencrostant ni antisequant, per tant, no és imprescindible.

— Les taxes d'erosió poden assolir valors puntuals elevats que cal controlar mitjançant la morfologia dels talussos. Els ordres de magnitud (100 kg ha⁻¹ en els sis mesos d'estudi) no suposen, *a priori*, un risc de contaminació no puntual per a l'embassament de Mequinensa.

— Els substrats assajats són mitjanament salins, la qual cosa condiciona l'establiment d'una vegetació espontània adaptada a aquestes condicions, principalment *Bassia scoparia* i *Atriplex halimus*.

— El fet que tots els tractaments donin valors de salinitat edàfica semblants implica que la possible salinitat aportada per l'aplicació de purí i de llots no és una aportació suplementària de sals i, per tant, no és més limitant per a aquesta rehabilitació.

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat finançat pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, a través del conveni C0346 UdL-DMA. S'agraeix la col·laboració de Carbonífera del Ebro SA i de Joan J. Jové.

REFERÈNCIES

- ALCAÑIZ, J. M.; COMELLAS, L.; PUJOLÀ, M. (1996). *Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora: Recuperació de terrenys naturals*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Junta de Sanejament.
- LOCH, R. J. (2000). «Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: Part I. Experimental methods and results from study at the northparkes mine». *Land Degradation and Development* [Austràlia], núm. 11, p. 221-240.
- NAIDU, B. P.; HARWOOD, M. R. (1997). «Opportunities for landscape stabilisation and revegetating disturbed lands in stressful environments with exotic or native forages». *Trop. Grasslands*, núm. 31, p. 364-369.
- SALAZAR, M. (2001). *Uso de subproductos para la rehabilitación de suelos degradados antrópicamente*. Lleida: ETSEA. [Tesi Doctoral].
- SALAZAR, M.; POCH, R. M.; BOSCH, A.-D. (2000). «Restauració de sòls afectats per mineria de carbó amb purins de porc a Les Garrigues». A: *IV Congrés de la Institució Catalana d'Estudis Agraris*. Tarragona, 20-21 octubre 2000, p. 329-335.