

# Avaluació de treballs de rehabilitació de sòl en àrees afectades per activitats extractives a Catalunya: criteris de qualitat de la restauració

Josep M. Alcañiz  
Oriol Ortiz

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals  
Unitat d'Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona  
Campus de Bellaterra, Edifici C  
08193 Bellaterra. Barcelona (Spain)

Manuscrit rebut el setembre de 2003

## Resum

---

Es recopilen dades referents a treballs de restauració d'activitats extractives a cel obert, i es discuteix la utilització de diferents tipus d'indicadors per tal d'avaluar la qualitat dels treballs de restauració, així com el patró amb el qual comparar aquests indicadors. Es proposen valors límit per a gruix del sòl, pedregositat, fraccions texturals, contingut de carbonats i matèria orgànica. Es discuteix l'avaluació dels treballs de restauració de les mines de carbó del Pedraforca com a exemple de l'ús de diferents tipus d'indicadors. D'entre els indicadors utilitzats més freqüentment, les mesures referents a la pèrdua de sòl per erosió (volum de sòl perdut i àrea afectada), les propietats físiques (densitat aparent, capacitat d'infiltració) i algunes característiques biològiques (flux de CO<sub>2</sub>) són les que han resultat de més utilitat. Això és així gràcies al caràcter integrador d'aquests atributs del sòl a les zones restaurades i a la relativa facilitat de mesura. En canvi, la informació referent a la vegetació arbustiva i arbòria, malgrat l'ús habitual que se'n fa, té una utilitat més limitada com a indicadora de la qualitat final dels treballs, atès el relativament curt termini transcorregut fins l'acabament del període legal de garantia de les obres de restauració (màxim cinc anys). Es presenta un exemple de taula global de puntuació de la qualitat de la restauració d'activitats extractives.

**Paraules clau:** Rehabilitació del sòl, criteris de qualitat del sòl, activitats extractives, sòl de les mines, erosió, indicadors biològics del sòl, ecologia de la restauració.

**Abstract.** *Evaluation of soil rehabilitation works in quarries of Catalonia: some quality criteria of restoration*

---

Data on quarry reclamation are compiled and several reclamation-quality indicators are discussed. The use of soil quality standards is also discussed. Limit values for soil depth, stoniness, textural fractions, carbonate and organic matter content are proposed. The evaluation of Pedraforca's open cast coalmines reclamation is used as example for discussing quality indicators use. Among the current indicators of restoration quality, soil losses by erosion (volume of soil lost and affected area), physical properties (bulk density, infiltration rate) and some biological characteristics (CO<sub>2</sub> efflux) are some of the more useful.

This is due to the integrating character of those attributes easy to be measured. However, information about shrubs and trees, in spite of their current use, are more limited as indicator of final quality taking into account the short time of warranty (five years maximum) of restoration works. A global score table for restoration quality of mining activities is also shown.

**Key words:** Soil rehabilitation, soil quality criteria, quarries, mine soils, erosion, soil biological indicators, restoration ecology.

## Introducció

### *La restauració d'activitats extractives a Catalunya*

Catalunya ha estat pionera en endegar la restauració dels espais afectats per activitats extractives (Generalitat Catalunya, 1997). L'elevat nombre d'explotacions, més de 650, principalment de materials calcaris, i d'empreses implicades ha donat lloc a un bagatge important d'experiències amb resultats diversos, que poden servir de base per a millorar els futurs projectes de restauració. Després d'uns vint anys de la publicació de la llei 12/81 (DOG, nº 189) i del corresponent Decret (343/83 de 15 de juliol, DOG, nº 356) que especifica el contingut dels programes de restauració, el mecanisme de tramitació de les propostes tècniques i l'establiment de la fiança, es pot començar a fer una avaluació retrospectiva de si les actuacions dutes a terme porten cap a una regeneració del sistema natural de l'entorn de les pedreres, tal i com estableix l'esmentada llei, o bé condueixen a d'altres situacions no previstes. La taula 1 resumeix la situació de les zones afectades per activitats extractives on es pot apreciar que una tercera part de la superfície està pendent de restauració, un altre terç coordina els treballs d'explotació amb els de restauració (restauració integrada), i prop d'un 20% ja està restaurada.

Cal destacar l'interès de moltes empreses del sector per cercar nous procediments que millorin la qualitat de la rehabilitació dels terrenys afectats a costos assumibles. En aquest sentit, des de fa uns 10 anys, el CREAM col·labora amb el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya realitzant experiments, proves pilot i seguiments de les zones rehabilitades en diferents activitats extractives. Entre aquests treballs, podem esmentar l'aplicació de fangs de depuradores urbanes per a obtenir substrats prou fèrtils que facilitin el desenvolupament de la vegetació a curt termini evitant l'erosió de les zones restaurades (Alcañiz et al., 1996). Els fangs de depuradora, ben incorporats a les terres emprades en la restitució de la coberta edàfica, milloren les propietats físiques del sòl en formar agregats estables (Sort & Alcañiz, 1996), en incrementar la porositat i evitar la formació de crostes superficials (Sort & Alcañiz, 1999). Per altra part, els fangs de depuradora aporten quantitats importants de nutrients, especialment nitrògen i fòsfor, que estimulen el ràpid desenvolupament de les plantes (Ortiz, 1998).

En aquest article es discuteix la validesa d'una sèrie de paràmetres considerats indicadors de qualitat del sòl per avaluar si l'estat d'una zona rehabilitada en una activitat extractiva es pot considerar satisfactòria. Les dades procedeixen de

**Taula 1.** Resum de la situació actual de les activitats extractives al territori català, segons informació exposada a la web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya i re-elaborada pels autors. Actualització a 31/12/2002.

Situació actual	Nº polígons d'afectació	Superfície (ha)	Superfície afectada (%)
Activitat finalitzada i restaurada	266	872	8.19
Activitat finalitzada en període de garantia	203	992	9.32
En actiu amb restauració integrada	410	3695	34.72
En actiu i restauració no iniciada	614	3844	36.12
Activitat englobada en una nova explotació	67	358	3.36
Activitat amb afecció pendent de regularització	189	881	8.28
TOTAL zones afectades	1749	10642	100

parcel·les situades a diferents explotacions a cel obert, majoritàriament de calcàries, on s'ha fet un estudi de les característiques de les terres emprades en la rehabilitació. En un nombre més reduït de pedreres es fa un seguiment més detallat de l'evolució de les zones restaurades a més llarg termini. També s'han tingut en compte els resultats d'un estudi complet de la restauració a l'activitat extractiva Coll de Jou (Saldes).

### *Indicadors de qualitat de la restauració*

Disposar d'indicadors de qualitat de la restauració, ha estat sempre una aspiració de l'administració competent i dels tècnics de les empreses per poder avaluar l'èxit o detectar els problemes d'aquest treballs. Igualment, els científics interessats tracten de trobar quins paràmetres són els que expliquen millor l'evolució dels sòls rehabilitats a mitjà o llarg termini, si bé normalment aborden el tema des d'una perspectiva sectorial sigui ecològica, paisatgística, edàfica o exclusivament tècnica (García & Hernández, 1997). Per d'altra part, es demana que aquests indicadors siguin uns paràmetres fàcils i ràpids de mesurar perquè puguin ser utilitzats per tècnics no molt especialitzats.

Per poder obtenir un retrat complet de l'estat de la zona restaurada cal considerar-la com un sistema, amb uns límits espacials generalment ben definits (perímetre d'afecció de l'activitat extractiva), que no està en equilibri amb les condicions ambientals de l'entorn, amb sortides de materials - per exemple, exportacions de sediments o nutrients- i entrades com la fixació de carboni en la biomassa vegetal o l'increment de biodiversitat per incorporació d'espècies autòctones o invasores. Des d'aquest punt de vista ecosistèmic, resulten útils els models proposats per l'anomenada Ecologia de la Restauració (Hobbs & Norton, 1996).

Els tipus d'indicadors que s'utilitzen es poden classificar atenent als diferents compartiments o nivells d'integració del sistema restaurat que es vol avaluar (taula 2). Actualment, els indicadors d'àmbit socio-econòmic no tenen encara una

**Taula 2.** Exemples d'indicadors de qualitat utilitzats en avaluacions de treballs de restauració d'activitats extractives.

<b>Nivell d'actuació/ Àmbit d'estudi</b>	<b>Part del sistema avaluada</b>	<b>Selecció de paràmetres utilitzats</b>
Components i propietats del sistema	Substrat geològic	Composició, granulometria, estabilitat, reacció.
	Sòl	Fondària, pedregositat, textura, pH, nutrients, estructura, etc.
	Aigües	Conductivitat, pH, anions, cations, cabal
	Vegetació	Fitomassa, recobriment, riquesa florística, creixement.
	Fauna	Organismes indicadors, grups tròfics (àcars, colèmbols, lumbríctids).
Processos	Erosió	Densitat de xaragalls, pèrdua de sòl.
	Activitat biològica	Flux de CO <sub>2</sub> , biomassa microbiana.
	Mineralització nitrogen	Producció d'amoni i de nitrats.
Paisatgístic	Geomorfologia	Estabilitat talussos, formes del relleu.
	Hàbitats	Grau de fragmentació, connectivitat, varietat.
	Aspecte extern	Impacte visual, cromatisme.
Sòcio-econòmic	Població	Freqüentació, efectes sobre salut, pressió veïnal.
	Activitat econòmica (exclosa la derivada de l'explotació minera)	Afeccions al turisme, comunicacions, sector vivers.

metodologia de quantificació ben establerta i queden fora de l'abast d'aquest estudi més centrat en el medi natural. És difícil que un únic indicador pugui reflectir la qualitat conjunta d'una zona rehabilitada donada la varietat d'aspectes que cal considerar. És necessari disposar de grups d'indicadors que cobreixin, si no tots, la majoria dels àmbits afectats. En aquest sentit es poden citar les matrius de paràmetres proposades per Caraher & Knapp (1995) on les variables considerades es normalitzen per a obtenir una escala comparativa. En aquesta escala es pot situar el rang de variació considerat normal de cada paràmetre obtingut de mesures en ecosistemes de referència, i per tant, determinar si la zona rehabilitada cau dins o fora d'aquest interval de variació. De tota manera, no queda resolt el problema de quin pes específic cal atribuir a cada variable en la matriu d'avaluació.

### *El patró amb què comparar*

Un altre problema és el de definir quines són les referències o models amb els que s'han de comparar les zones restaurades. Sovint s'utilitzen les zones "naturals" que envolten l'àrea afectada per l'activitat extractiva, quan moltes vegades

aquestes són comunitats de degradació diferents de les originàries. Si es pretén la integració paisatgística, aquesta pot ser una aproximació vàlida però que dificulta l'establiment d'uns estàndards de qualitat generalitzables a la resta d'activitats extractives de característiques similars.

Pot haver-hi referències absolutes? es a dir, uns models abstractes o patrons vàlids per a cada tipus d'explotació i/o zona geogràfica? L'estat de coneixements actual no permet la definició completa d'aquests patrons, tan sols es podrien fixar els intervals de variació acceptable d'alguns paràmetres, com la pedregositat del sòl, gruix, contingut de nutrients, recobriment vegetal, densitat d'arbres, etc. També s'haurien incorporar a aquest model algunes restriccions imposades a sòls agrícoles com els criteris de concentració màxima permesa de contaminants (metalls pesants, orgànics) seguint les línies de les Directives europees, amb la finalitat d'evitar contradiccions entre normatives que afecten els sòls.

S'hauria d'evitar que aquests models portessin a una uniformització de les actuacions restauradores ja que la diversitat de situacions que es donen a les activitats extractives aconsella donar solucions diferents en cada cas. L'oportunitat d'aprofitar els treballs de restauració per crear nous ambients dins d'un paisatge més o menys natural, com per exemple, la construcció de basses d'aigua en llocs on originàriament no n'hi havia, pot ser una bona opció en una zona mediterrània. Per altra part, la variabilitat natural de cada paràmetre indicador és prou gran per admetre moltes possibilitats, i això s'ha de considerar com un valor en sí mateix. Tot això porta a admetre que la "qualitat de la restauració" és un valor que no podrà ser mesurat si no és a partir d'un conveni basat en el compliment d'unes condicions (de màxims i mínims) que haurien d'estar millor definides per a reduir la subjectivitat en la seva aplicació.

### *El factor temps en l'avaluació de les restauracions*

L'interval de temps legal, determinada per l'acabament del període de garantia (màxim 5 anys des de l'acabament de les obres) limita molt la utilització de paràmetres basats en la caracterització de comunitats madures (composició florística, estructura de les poblacions de la fauna, impacte visual, etc.) per a poder establir la qualitat dels treballs de restauració. Si es pren com a referència una brolla o un bosc que ha trigat més de 50 anys en desenvolupar-se, les diferències amb la zona restaurada poden ser degudes simplement a l'edat. Això suposa una limitació per a utilitzar la informació disponible d'estudis de comunitats naturals madures, si bé en alguns casos és possible estimar les taxes d'evolució temporal d'alguns paràmetres, com per exemple, les taxes de creixement d'alguns arbres al llarg del seu cicle de vida.

Quan acaba una restauració? Si atenem al que hem dit abans, quan tots els paràmetres indicadors quedin dins de l'interval de variabilitat del patró de referència. En alguns tipus de rehabilitacions difícils i en condicions ambientals àrides, podria trigar segles. Sense arribar a tants anys, cal recomanar el seguiment d'algunes zones restaurades més enllà del període legal per aprendre i poder millorar els futurs programes de restauració.

## Activitats extractives seleccionades i mètodes

Per a l'establiment dels paràmetres bàsics de qualitat dels sòls restaurats es van seleccionar 29 pedreres de calcària distribuïdes arreu de Catalunya. La selecció es va fer d'acord amb la Secció de Restauració d'Activitats Extractives del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya tractant de recollir les més representatives i abundants d'aquest sector industrial. La majoria corresponen a pedreres de calcàries destinades a l'obtenció d'àrids de trituració o a la fabricació de ciment, i unes poques a graveres situades en diferents dipòsits al·luvials. L'anàlisi dels sòls i materials residuals de les explotacions es va dur a terme aplicant els mètodes habituals d'anàlisi de sòls (Klute, 1986).

Per a la avaluació integrada de la restauració es va escollir la mina a cel obert de Coll de Jou (Saldes), explotada per Carbons del Pedraforca S.A. entre els anys 1981 i 1991, en la que es va realitzar un estudi detallat de l'estat de les diferents zones restaurades l'any 2000.

## Resultats i discussió

### *1. Avaluació de paràmetres bàsics del sòl en pedreres restaurades*

Es presenten alguns resultats basats en seguiments de zones restaurades a diverses pedreres analitzant indicadors de qualitat de forma individual (taula 3). Els valors límit proposats com a criteris de qualitat deriven dels valors màxims o mínims observats en el conjunt de les 29 pedreres i de l'experiència prèvia dels facultatius de mines consultats que coneixen les característiques habituals dels substrats utilitzats en la restauració. Normalment són un o dos els paràmetres que actuen de limitants en un sòl concret. A les pedreres de calcària, que són les explotacions més abundants a Catalunya, acostumen a ser la pedregositat i/o el contingut de carbonats de les terres emprades en la rehabilitació. És evident, però, que si més de dos paràmetres es troben prop dels límits proposats, la qualitat del sòl restaurat es pot veure compromesa. És a dir, aquest sistema basat en taules de límits no considera les interaccions entre indicadors que poden tenir en alguns casos efectes sinèrgics o compensatoris.

La llista no pretén ser completa i convindria ampliar-la amb la informació sobre els nutrients (N, P, K) i determinats contaminants (metalls pesants). En aquest darrer cas es podria prendre com a referència els valors límit establerts en el RD 1310/90 que fixa la concentració màxima de metalls pesants en sòls agrícoles adobats amb fangs de depuradora. Com a exemple, podem citar valors de Pb total de 225 mg/kg trobats en el sòl restaurat d'una pedrera de calcària de Girona, no explicables per la litologia de la zona, degut probablement a la importació de terres diverses, fet habitual en algunes activitats extractives.

Seria convenient incloure com a tràmit rutinari en els programes de restauració el control de qualitat de les terres que s'utilitzaran en la rehabilitació. De manera provisional es podrien tenir en compte els límits proposats a la taula 3.

**Taula 3.** Paràmetres bàsics que s'haurien de considerar en la determinació de la qualitat de les terres emprades en la rehabilitació d'activitats extractives. Valors obtinguts en un conjunt de pedreres (majoritàriament de calcàries) a Catalunya, i proposta de límits d'exclusió.

Paràmetre	Valor mitjà	Mínim	Màxim	n	Proposta de valor no apte
Gruix del sòl (cm)	33	18	95	23	< 20
Pedregositat (%)	43.8	13.2	82	25	> 80
Sorres (%)*	55.4	9.4	79.7	27	> 85
Llims (%)*	25.6	3.2	49.5	27	> 60
Argiles (%)*	19.0	3.9	40.5	29	< 5
Carbonats (%)*	35.9	0.4	83	28	> 60
Matèria orgànica (%)*	0.71	0.1	3.1	28	< 0.5
CE. p.sat. (dS/m, 25°C)*	0.77	0.09	5.81	28	> 4
pH (aigua) 1:2.5	8.34	7.5	8.7	29	<6 o >8.5

\* valors referits a la fracció terra fina, es a dir, < 2 mm.

## 2. Integració d'indicadors: el cas de la restauració de l'activitat extractiva de Coll de Jou (Saldes).

L'any 2000, per encàrrec del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, el CREAM va realitzar un avaluació global de la restauració efectuada entre els anys 1986 i 1993 a la mina de carbó a cel obert del Pedraforca. Es van estudiar diferents aspectes com els riscos geològics, hidrologia superficial, erosió, qualitat del sòl, vegetació, impacte paisatgístic i els efectes d'altres activitats sobre la zona restaurada. Les dimensions de la zona afectada (unes 50 ha), la diferent antiguitat de les parts que s'anaven recuperant a mesura que avançava l'explotació, i la diversitat de proves de revegetació efectuades suposaven una considerable complexitat a l'hora d'avaluar l'èxit o els problemes en la rehabilitació. En una obra d'aquestes dimensions és comprensible que es produeixin alguns problemes, més tenint en compte que va començar quan encara no es tenia experiència en temes de restauració a Catalunya. Malgrat tot, la bona documentació dels treballs de reposició del sòl i de revegetació per part de l'empresa Carbons del Pedraforca, va permetre un seguiment detallat del tema i es va poder constatar que la restauració efectuada s'ajustava bé als projectes aprovats per l'administració.

### 2.1. Qualitat del sòl

La taula 4 resumeix les principals diferències entre el sòl de les zones restaurades i el del bosc natural que es troba al voltant. Per tant, hi ha clares mancances de potassi i fòsfor, i també de matèria orgànica en algunes parts de la mina restaurada. Cal ressaltar, sobretot, el valor elevat de densitat aparent, que és una dada

**Taula 4.** Diferències més notables entre el sòl (0-20 cm) de les zones restaurades de la mina a cel obert de Coll de Jou (Saldes) i el del bosc dels voltants. S'indica el rang de variació dels següents paràmetres basat en els valors màxims i mínims mesurats.

<b>Paràmetre</b>	<b>Sòl rehabilitat</b>	<b>Sòl natural</b>
Horitzons orgànics (cm)	0-1	3-12
Matèria orgànica (%)	1-3	5-9
Densitat aparent (Mg m <sup>-3</sup> )	1.4-1.7	0.9-1.2
Carbonats (%)	28-57	0-15
Nitrogen (%)	0.1-0.25	0.2-0.35
Fòsfor (mg kg <sup>-1</sup> )	1.5-4.5	3-6
Potassi (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0-0.25	0.3-0.4

clau que indica problemes en l'estructura i altres propietats físiques del sòl reposat.

## 2.2. Les propietats físiques i l'erosió

A més de la densitat aparent, es va escollir la mesura de la infiltració com a prova relativament ràpida que reflecteix el funcionament de l'espai porós del sòl. Les diferències amb el sòl natural en aquest aspecte són molt grans, >100 mm/h en el bosc ben conservat, en front a valors de 24-27 mm/h en les parts millor revegetades, i de < 8 mm/h a les zones pitjors, on no era rar observar la formació de crostes en superfície. La naturalesa margosa del material, amb continguts de llims de l'ordre del 30% a les zones amb pitjor estructura, explica aquest comportament.

L'avaluació de l'erosió concentrada es va realitzar mesurant el sòl perdut en els xaragalls formats al llarg dels anys des que es van restaurar les diferents parts de la mina (taula 5), i també per la cubicació dels sediments fins dipositats en una bassa situada a la part final de l'explotació (Coll de Jou II). Els processos d'erosió hídrica concentrada es distribueixen de forma irregular en el conjunt de la zona restaurada. Les parts més ben conservades presenten només un 3% de la superfície afectada i s'arriba al 50% a les parts més denudades. Les taxes anuals mitjaneres de pèrdua de sòl van des de 4 tones/ha/any a les parts més ben revegetades, fins a 90 tones/ha/any a la zona més degradada. Tenint en compte la contribució de cada zona, s'estimà una pèrdua mitjana de sòl entre 20 i 30 tones/ha/any en el conjunt de les 50 ha restaurades. No són valors excessius, ja que inclou la pèrdua de sòl des de l'inici de la restauració. Aquests valors son bastant coincidents amb els obtinguts a partir de la cubicació de sediments recollits en la bassa abans esmentada que recull totes les aigües d'una subconca de 12.5 ha i que ha demostrat ser una eficient trampa de sediments. Són també semblants als mesurats en d'altres activitats extractives a Catalunya (Sort & Alcañiz, 1996).

Atès que es va observar que bastants xaragalls eren actius i trencaven els canals de desguàs de les terrasses (bermes) construïdes, es va proposar a la empresa



**Taula 5.** Taxes mitjanes de pèrdues de sòl a diferents parts de l'activitat extractiva restaurada, classificades en funció de l'estat aparent de conservació. Entre parèntesi s'indica el valor mínim i màxim mesurat en cada zona. La zona de Coll de Jou I correspon a la part més antiga de l'explotació, restaurada entre els anys 1986 i 1989; Coll de Jou II entre 1989 i 1993.

Zona	Estat	Taxa d'erosió (Mg/ha/any)
Coll de Jou I	Ben conservat	9 (4-15)
Coll de Jou I	Degradat	34 (16-55)
Coll de Jou II	Ben conservat	12 (5-22)
Coll de Jou II	Degradat	65 (34-90)

explotadora que els reparés per evitar que s'agregés la situació. Es a dir, la mesura dels processos erosius és un bon indicador de la qualitat de la restauració efectuada i de l'estat de conservació de la zona.

### 2.3. Indicadors basats en processos biològics. El flux de CO<sub>2</sub>

Es va recórrer a la mesura del flux de CO<sub>2</sub> per la rapidesa del mètode i per la informació global sobre l'activitat biològica del sòl que proporciona. El procediment es basa en mesurar el CO<sub>2</sub> que es va alliberant del sòl en intervals de temps relativament curts (minuts) com a resultat de la respiració heterotròfica dels organismes edàfics i de les arrels. Aquest indicador va ser assajat també en una altre àmplia mostra de pedreres de Catalunya (Ortiz & Alcañiz, 2001), resultant un paràmetre molt sensible a la qualitat de la matèria orgànica incorporada en els treballs de restauració. En la mina a cel obert del Pedraforca, hi ha una considerable variabilitat dins de cada subzona, però els valors més elevats es van detectar al bosc natural (0.97 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) i a les zones on millor s'havia reposat el sòl previ. També es va detectar una certa diferenciació entre les àrees restaurades en primer lloc (mes antigues) i les restaurades a les fases finals de l'explotació (més joves).

### 2.4. La vegetació com a indicadora de l'estat de la restauració

La vegetació és un dels components que més atenció rep a les zones restaurades. En aquest cas es va estudiar la composició florística, el recobriment vegetal, la fitomassa de l'estrat herbaci, i el creixement i demografia del pi roig (*Pinus sylvestris*) com a espècie arbòria més abundant. Es van identificar 178 espècies de plantes superiors de les quals només 28 eren comunes a les 41 trobades a la zona de bosc natural. És a dir, la zona restaurada està encara en un estadi allunyat del que seria la formació vegetal original. Segons consta en el projecte de restauració i en la documentació facilitada per la empresa, 43 espècies varen ser introduïdes per sembra o plantació i quasi totes (excepte 3) es mantenen després de més de vuit anys de la revegetació, encara que 8 d'aquestes tan sols sobreviuen. Els inventaris florístics per zones indiquen una certa diferenciació d'unes àrees que evolucionen cap a prats, d'altres cap a matollars xeròfils, i d'altres cap a pinedes de pi roig.

**Taula 6.** Creixement mitjà dels arbres (mitjana  $\pm$  desviació estàndar) a diferents àrees (A – M) dins la zona restaurada i el bosc natural del voltant que presenten diferent grau d'erosió i de cobertura vegetal. Lletres diferents indiquen diferències significatives en el test PLSD per  $\alpha = 0.05$ . Les unitats són alçada respecte a edat (cm any<sup>-1</sup>). El grau d'erosió s'ha classificat en: Alt (> 30 Mg ha<sup>-1</sup>), Moderat (15 – 30 Mg ha<sup>-1</sup>) i Baix (< 15 Mg ha<sup>-1</sup>).

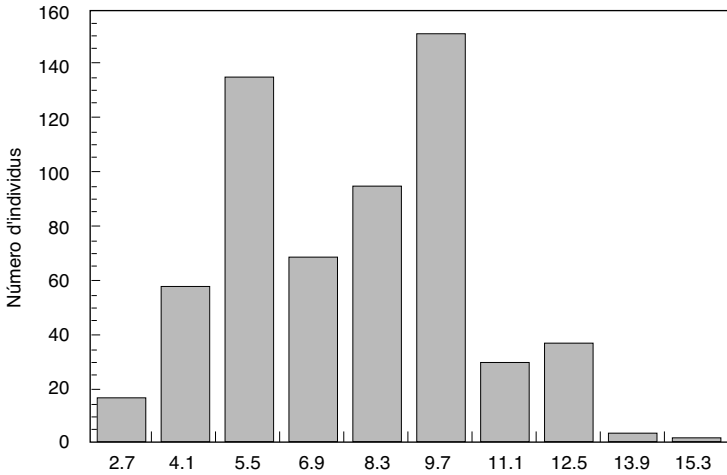
Àrea	Grau d'erosió	Cobertura vegetal	Creixement mitjà (cm any <sup>-1</sup> )			
<b>Bosc</b>	Molt baix	Completa	10.3 $\pm$ 3.5	<i>a</i>		
<b>E</b>	Alt	Baixa	8.5 $\pm$ 4.6	<i>a</i>		
<b>M</b>	Alt	Mitjana	10.1 $\pm$ 4.3	<i>a</i>		
<b>H</b>	Baix	Elevada	13.0 $\pm$ 4.7	<i>b</i>		
<b>L</b>	Alt	Baixa	14.4 $\pm$ 4.4	<i>b</i>	<i>c</i>	
<b>G</b>	Moderat	Elevada	15.0 $\pm$ 4.9	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
<b>D</b>	Baix	Elevada	15.9 $\pm$ 5.7		<i>c</i>	<i>d</i>
<b>K</b>	Moderat	Elevada	16.0 $\pm$ 7.1		<i>c</i>	<i>d</i>
<b>C</b>	Alt	Mitjana	17.2 $\pm$ 5.8			<i>d</i>
<b>A</b>	Baix	Elevada	18.3 $\pm$ 5.1			<i>d</i>
<b>I/J</b>	Moderat	Baixa	18.3 $\pm$ 7.4			<i>d</i>
<b>F</b>	Baix	Elevada	22.3 $\pm$ 9.9			<i>e</i>
<b>B</b>	Baix	Elevada	22.4 $\pm$ 5.6			<i>e</i>

El recobriment vegetal, malgrat que les mesures es van fer a principis d'estiu, dona uns valors mitjans màxims del 53%, fet que no garanteix una bona protecció contra l'erosió. És especialment baix (exceptuant els afloraments rocósos) en les zones de predomini de materials derivats de margues, degut a la mala estructura del sòl. No és rar trobar en aquestes parts *Tussilago farfara*, una planta indicadora de sòls no permeables. S'observa, també una correlació positiva del recobriment amb la fitomassa.

El creixement dels pins és superior al que tenen en el bosc natural, llevat en dues zones de sòl poc fèrtil en que ha estat igual (zones E i M, taula 6). En canvi, la densitat de peus/ha és molt irregular, en general inferior a la del bosc natural, i especialment baixa en algunes parts malgrat la repoblació que es va fer en el seu moment. La distribució d'edats és molt desequilibrada, amb mancança d'arbres de menys de 3 anys i escassetat de menys de 5, fet atribuïble a la pressió de la pastura (Figura 1). L'activitat ramadera ha estat una causa negativa per al desenvolupament de la coberta vegetal i per a la protecció de la superfície del sòl.

### 2.5. Avaluació global

Per a sintetitzar la informació aportada per cada indicador es proposa una taula de puntuació final, en una escala de zero a deu, en funció de la proximitat o allunyament de l'interval de variació natural on s'indica, a més, l'evolució previsible del paràmetre considerat. Es pretén donar una ponderació semiquantitativa ob-



**Figura 1.** Distribució en 10 classes homogènies d'edat de les repoblacions de pi roig (*Pinus sylvestris* L.) efectuades a l'antiga activitat extractiva Coll de Jou (Sal-des). Es pot observar l'escassetat d'arbres de menys de 4 anys, fet que es pot atribuir al pasturatge de la zona restaurada.

tinguda també a partir de l'experiència en d'altres pedreres. Se'n presenta un extracte a tall d'exemple (taula 7). En algun aspecte com el risc de caiguda de pedres la puntuació és baixa però és un fenomen que també es dona a la zona natural veïna encara que amb no tanta intensitat. L'abundància de xaragalls en alguna part (zones C i L) comporta una baixa qualificació en aquest paràmetre si bé la intervenció per eliminar-los suposaria un agreujament de la situació al afectar negativament a la coberta vegetal ja instal·lada.

Les conclusions d'aquest estudi van posar de manifest que, si bé la restauració efectuada era correcta i s'ajustava al projecte aprovat, l'evolució d'alguns paràmetres no era del tot satisfactòria de manera que calia aplicar algunes mesures correctores, com per exemple, reparar alguns canals de la xarxa de drenatge, replantar pins en algunes parts, i evitar la pastura durant uns anys.

## Conclusions

Per conèixer si les restauracions d'activitats extractives que es duen a terme són correctes i se'ls pot retornar la fiança, cal fer una avaluació que integri els aspectes geomorfològics, la qualitat del sòl i de la vegetació a més dels impactes relacionats amb els usos possibles de la zona restaurada. Basar el control de qualitat de les restauracions d'activitats extractives només en el desenvolupament de la vegetació resulta insuficient ja que no sempre les zones ben revegetades tenen un substrat prou fèrtil que garanteixi la sostenibilitat del sistema restaurat. Cal

**Taula 7.** Exemple de ponderació conjunta (puntuació sobre 10) de la restauració de la mina a cel obert Coll de Jou (Saldes) d'alguns dels paràmetres més significatius. S'indica l'evolució prevista (progressió): = Estable; + Evolució positiva; - Evolució negativa, agreujament del problema.

<b>Paràmetre</b>	<b>Qualificació</b>	<b>Progressió</b>
<b>Geomorfologia</b>		
Estabilitat dels talussos	7	=
Risc caiguda pedres/blocs	4	=
<b>Xarxa de drenatge</b>		
Estat de conservació	4	- (intervenir)
Abundància de xaragalls	4	-
<b>Erosió</b>		
Capacitat d'infiltració	3	=
Taxes d'erosió	4	+
<b>Característiques del sol</b>		
Estructura-porositat	3	+
Fertilitat-nutrients	4	+
<b>Vegetació</b>		
Riquesa florística	8	+
Recobriment vegetal	6	+
Densitat d'arbres i edat	4	- (intervenir)
<b>Impactes externs</b>		
Ramaderia	2	- (intervenir)

continuar la recerca en aquest àmbit per poder establir amb més objectivitat els límits acceptables dels paràmetres indicadors de qualitat.

### **Agraïments**

Aquest treball ha estat parcialment finançat pel projecte MEC 2FD97-1644-C03-03. La part corresponent a la mina Coll de Jou s'ha realitzat per un estudi encarregat al CREA pel Servei de Planificació de l'Entorn Natural, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, l'any 2000.

### **Referències**

Alcañiz, J.M.; Comellas, L.; Pujolá, M. 1996. Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora. Recuperació de terrenys marginals. Junta de Sanejament (editor), Generalitat de Catalunya. Barcelona.

- Caraher, D.; Knapp, W.H. 1995. Assessing the ecosystem health in the Blue Mountains. P. 34-41 in *Silviculture from cradle of forestry to ecosystem management*. General technical report SE-88. South Forest Experiment Station, US Forest Service. Hendersonville, North Carolina.
- DMA 2002. Base de dades activitats extractives a la web del DMA: [http://mediambient.gencat.net/cat/el\\_departament/cartografia/fitxes/extract.jsp](http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/cartografia/fitxes/extract.jsp), Consulta 4/9/2003.
- García, C.; Hernández, T. 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biology and Biochemistry* 29 (2): 171-177.
- Junyent, C.; Serra, E.; Bielsa, I. 1997. La restauració ambiental de les activitats extractives a Catalunya, Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. *Quaderns de Medi Ambient*, 6: 1-23. Barcelona.
- Hobbs, R.J.; Norton, D.A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4(2)93-110.
- Klute, A. (ed.) 1986. *Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2<sup>nd</sup> edition. Agronomy Series n° 9, 1188 p. American Society of Agronomy, Inc, Soil Science Society of America, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin.
- Ortiz, O. 1998. *Activitat biològica i revegetació en sòls de pedreres de calcària restaurats amb fangs de depuradora*. Tesi doctoral. Univ. Autònoma de Barcelona.
- Ortiz, O.; Alcañiz, J.M. 2001. Aplicación del flujo de CO<sub>2</sub> como indicador de la calidad de la restauración en actividades extractivas a cielo abierto. *Edafología* 8(3): 71-81.
- Sort, X.; Alcañiz, J.M. 1996. Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries. *Land Degradation & Rehabilitation*, 7: 69-76
- Sort, X.; Alcañiz, J.M. 1999. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research* 49:337-345