

# Reducció de l'erosionabilitat d'un alfisòl mitjançant l'ús de fangs de depuradora o d'adobs minerals per al desenvolupament de la coberta herbàcia

O. Ortiz

J.M. Alcañiz

Universitat Autònoma de Barcelona. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) - Unitat d'Ecologia  
08193 Bellaterra (Barcelona). Spain  
JosepOriol.Ortiz@uab.es

Manuscrit rebut el febrer de 2001

## Resum

S'ha avaluat la resistència a l'erosió mitjançant pluja simulada ( $94 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) d'un alfisòl afectat per un incendi forestal i posteriorment fertilitzat amb (a) fangs de depuradora i (b) un adob mineral N-P. La simulació de pluja s'ha efectuat sobre el sòl nu i també sobre el mateix sòl ja revegetat, als dos mesos de la fertilització. Sobre sòl nu, els dos tipus de fertilitzants donen unes taxes d'erosió comparables en els primers minuts de pluja ( $1500$  i  $1359 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  per al tractament de fangs i fertilitzant mineral, respectivament), si bé apareix un marcat efecte protector dels fangs en pluges de més de 10 minuts de durada ( $212$  i  $942 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , respectivament, als 40 minuts de simulació). La presència d'una coberta vegetal estable constitueix, però, la major protecció del sòl contra l'erosió. Efectivament, amb la superfície revegetada, i amb independència del tipus d'adob aplicat, les taxes d'erosió difícilment superen els  $100 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

**Paraules clau:** alfisòl, erosió, estructura, fang de depuradora, simulació de pluja, sòl sorrenc.

**Abstract.** *Erosion reduction of an alfisol due to sewage sludge application or mineral fertilisation to promote vegetation cover*

We tested soil erosion rates after a wildfire throughout rainfall simulation ( $94\text{-L m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ). The soil was amended by using sewage sludge or mineral N-P fertiliser. Rainfall simulation was done either on denuded or covered soil. For small rain episodes ( $<10$  min.), erosion rates were high in the denuded soil, and were not dependent on fertiliser treatment ( $1500$  and  $1359 \text{ g m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  for sludge and mineral treatment respectively). In contrast, for large rain episodes ( $>10$  min.), the erosion rates were higher in the mineral fertilised plots ( $942 \text{ g m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ) than in the sludge-treated plots ( $212 \text{ g m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ). Vegetation cover supplied the highest protection against soil loss. Under vegetation cover, soil erosion was unaffected by the type of amendment, and showed rates of erosion lower than  $100 \text{ g m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ .

**Key words:** alfisol, rainfall simulation, sandy soil, sewage sludge, soil erosion, soil structure.

## Introducció

Els incendis forestals provoquen una important alteració del medi a tots els nivells (Terradas, 1996). La combustió de la matèria orgànica del sòl i de la coberta vegetal constitueix un dels efectes més importants d'aquest tipus de pertorbacions, i suposa, entre d'altres efectes, una pèrdua important de l'estabilitat estructural del sòl (Josa et al., 1994). Els agregats perden consistència, i això es tradueix en una major erosionabilitat del sòl. D'una altra banda, l'eliminació total o parcial de la coberta herbàcia té com a conseqüència la desprotecció de la superfície del sòl durant els episodis de pluja. En aquestes circumstàncies, les gotes de pluja impacten sobre la superfície dels agregats ja afeblits, i origina un important alliberament i transport de partícules (Soler et al., 1994). És el que es coneix com a erosió per impacte (*splash*).

Els alfisols són sòls que han experimentat la translocació d'una proporció significativa d'argiles cap a capes més profundes (Soil Taxonomy, 1975). A la zona d'estudi, aquest procés comporta la formació d'un epipedió amb una major abundància relativa de sorres. En aquests sòls, i atesa la seva baixa estabilitat estructural, l'epipedió sorrenc constitueix un material poc estable i altament erosionable pel flux superficial d'aigua (Le Bissonnais, 1996). A més, la menor capacitat d'infiltració d'aigua de l'horitzó B afavoreix la saturació ràpida de l'horitzó superficial i, en conseqüència, l'escolament de l'aigua en superfície. Els sòls d'aquestes característiques afectats per incendis forestals són especialment sensibles a l'erosió, ja que a aquestes característiques cal afegir la destrucció d'una fracció significativa de la matèria orgànica i, per tant, de la capacitat d'estructuració i de resistència a l'erosió.

Quan l'àrea afectada per un incendi forestal es troba a prop de zones urbanitzades, sovint es planteja un canvi d'ús del sòl que pretén, en primera instància, reduir el risc que es produeixi un nou incendi. La transformació en devesa constitueix un cas freqüent d'aquest tipus de canvis d'usos del sòl, que té per objectiu generar una zona de baixa densitat forestal que pugui actuar a manera de tallafoc natural. El procés es desenvolupa tot seleccionant els peus forestals més vigorosos i eliminant-ne la resta, així com la totalitat de l'estrat arbustiu. Posteriorment s'introdueix un estrat herbaci que, de la mateixa manera que l'estrat arbustiu que podria aparèixer, és controlat mitjançant la pastura. La transformació redueix de manera significativa el risc d'incendi forestal, per bé que la menor densitat vegetal i l'aparició de la pressió de pastura suposa un major risc d'erosió del sòl.

La transformació en devesa es realitza tot triturant el material vegetal no seleccionat i sembrant espècies farratgeres per al consum del ramat. El principal inconvenient que presenta aquest tipus de pràctica és que els materials aportats al sòl, restes vegetals triturades amb una elevada relació C/N, es descomponen amb dificultat i generen un important dèficit de nitrogen al sòl. La baixa disponibilitat d'aquest element per les plantes, que en el cas de l'àrea d'estudi no supera els  $8 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ , dificulta el desenvolupament de la vegetació herbàcia que s'ha introduït, el sòl continua desprotegit i la pèrdua de sòl per erosió es manté

elevada malgrat els esforços realitzats. Es pot recórrer a la utilització de fertilitzants minerals rics en nitrogen per tal de compensar la relació C/N de les restes de trituració, per bé que aquesta pràctica sembla força inefectiva en sòls sorrencs de climes plujosos, que afavoreixen el rentat de nutrients.

La utilització de fangs de depuradores en treballs de restauració ha permès de reconèixer l'important paper que juguen aquests materials en la reducció de la pèrdua de sòl en àrees afectades per activitats extractives (Alcañiz et al., 1996). En la funció protectora contra l'erosió intervé, fonamentalment, la matèria orgànica dels fangs, però també els components floculants aportats durant el procés de depuració de les aigües (Sort, 1997). La matèria orgànica i els polielectròlits que es troben dels fangs contribueixen d'una manera molt important a l'estructuració del sòl i, per tant, a incrementar la capacitat d'infiltració de l'aigua de les precipitacions (Sort & Alcañiz, 1999). L'increment en la capacitat d'infiltració d'aigua del sòl és inversament correlacionada amb l'escolament superficial, responsable de l'arrossegament de partícules i de la pèrdua de sòl per erosió. En conseqüència, el tractament amb fangs de depuradora contribueix de manera molt significativa a la reducció de l'erosió del sòl (Sort & Alcañiz, 1996).

La utilització de fangs de depuradora presenta, a més, un altre factor important a tenir en compte. Atesa la seva elevada concentració de nitrogen, que es va alliberant a mesura que la matèria orgànica es mineralitza, quan són utilitzats en aquest tipus de situacions poden contribuir a equilibrar la relació C/N de les restes de trituració aportades, fet que es tradueix en una major descomposició d'aquestes restes i un millor aprofitament dels nutrients (Sopper, 1993). En aquestes situacions, una relació C/N propera a 20 facilita un alliberament gradual del nitrogen, sense que un ritme excessivament ràpid n'origini pèrdues importants per rentat.

L'objectiu d'aquest treball consisteix a quantificar l'erosió potencial en sòls forestals transformats en devesa i tractats amb fangs de depuradores, i de comparar-ne l'erosió amb la de sòls tractats mitjançant una aportació equivalent de fertilitzant mineral. L'avaluació es farà mitjançant la simulació de pluja d'elevada intensitat (entre 80 i 100 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Aquesta pluja d'alta intensitat presenta una erosivitat molt important, però constitueix un bon indicador del comportament del sòl en esdeveniments extrems, que poden ser els responsables de fins a un 99% de la pèrdua total de sòl per erosió (Marquès, 1991).

## Material i mètodes

L'àrea d'estudi se situa a Taradell, en una zona coneguda com La Vallmitjana, que va ser afectada per un incendi forestal l'any 1983. La zona havia estat ocupada abans de l'incendi per un bosc mixt de pi blanc (*Pinus halepensis*), pi piñer (*Pinus pinea*), roure martinenc (*Quercus pubescens*) i alzines (*Quercus ilex*), amb un abundant sotabosc arbustiu (*Calluna vulgaris*, *Genista scorpius*, *Juniperus communis*, *Sarothamnus scoparius*, *Thymus vulgaris*, *Erica scoparia*, *Cistus laurifolius*, i *Rosmarinus officinalis*). La temperatura mitjana de la zona és d'11.4°C (5.3-18.7°C), i la precipitació anual, de 563 mm repartits en una mit-

jana de 73 dies de pluja, amb unes intensitats màximes de 52.0 mm en 24 hores i de 25.6 mm en 30 minuts.

Amb l'objectiu de transformar la zona en devesa, l'àrea afectada es va desbrossar amb una trituradora mecànica el 1997 i el 1999. En el procés es van deixar totes les restes triturades a la superfície del sòl, i es van seleccionar els millors peus d'alzines i roures. La superfície del sòl no presentava horitzons orgànics, excepte les restes del desbrossament i la trituració del material vegetal, que representaven  $3257.82 \pm 1583.16 \text{ kg C ha}^{-1}$ . En un dels vessants, orientat al sud, es van delimitar sis parcel·les experimentals de  $1000 \text{ m}^2$  (20 m x 50 m) i de  $12.30 \pm 0.24^\circ$  d'inclinació. Les parcel·les van ser fertilitzades alternadament (a) mitjançant l'aplicació de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  de fangs (m.s.), o (b) mitjançant l'aplicació d'una quantitat equivalent de nitrogen (en forma de nitrosulfat d'amoni) i de fòsfor (superfosfat de calci). En tots dos casos, les aportacions de nutrients al sòl van ser de  $400 \text{ kg N ha}^{-1}$  i  $1200 \text{ kg P ha}^{-1}$ . Els fangs provenien de la depuradora de Manlleu i van ser aplicats mitjançant un remolc escampador de fems, mentre que el fertilitzant mineral va ser aplicat manualment per tal d'assegurar la bona distribució dels dos components. A la taula 1 es presenten les principals característiques analítiques del sòl de la zona i dels fangs que es van utilitzar. En totes les parcel·les es va sembrar una mescla de *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra* i *Lolium perenne*, amb una densitat de  $20 \text{ g m}^{-2}$ . Aquestes tres espècies van originar, en poques setmanes, un recobriment del 100 %.

L'anàlisi de l'erosionabilitat del sòl es va efectuar mitjançant pluja artificial simulada amb un sistema de reg que impulsa l'aigua i permet la caiguda lliure de les gotes des d'una alçària d'uns 4 m. Amb aquest sistema es va simular una

**Taula 1.** Principals característiques analítiques del sòl i dels fangs que es van utilitzar. Valors mitjans de  $n = 5$  mostres, excepte en el cas de la granulometria ( $n = 3$ ).

Paràmetre	Unitats	Sòls	Fangs
Matèria seca	$\text{g kg}^{-1}$	—	18.1
Carboni orgànic	$\text{g kg}^{-1}$	8.7	330
Matèria orgànica	$\text{g kg}^{-1}$	15	660
N Kjeldahl	$\text{g kg}^{-1}$	0.9	53
pH (H <sub>2</sub> O)	—	7.7	7.0
CE (1:2.5) 25°C	$\text{dS m}^{-1}$	0.31	1.21
Carbonats	$\text{g kg}^{-1}$	<20	—
Fòsfor Olsen	$\text{mg kg}^{-1}$	34	80
Elements grollers ( $\phi > 2 \text{ mm}$ )	$\text{g kg}^{-1}$	446	—
Sorra gruixuda (2 - 0.2 mm)	$\text{g kg}^{-1}$	690	—
Sorra fina (0.2 - 0.02 mm)	$\text{g kg}^{-1}$	104	—
Llims (0.002 - 0.0002 mm)	$\text{g kg}^{-1}$	93	—
Argila ( $\phi < 0.0002 \text{ mm}$ )	$\text{g kg}^{-1}$	113	—

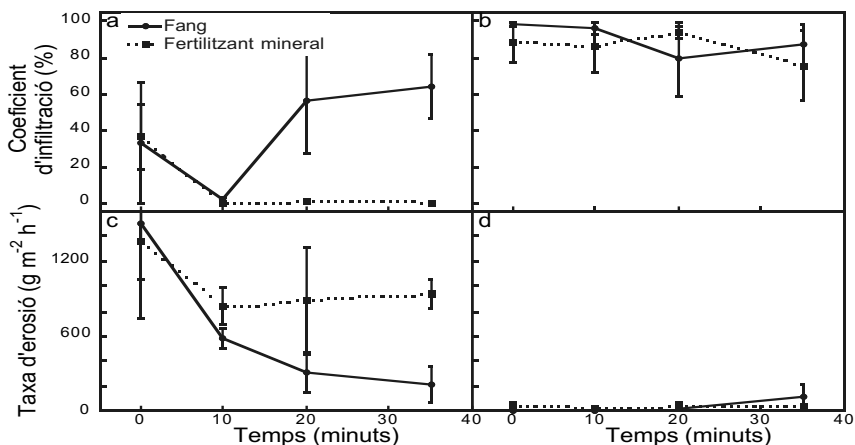
pluja de característiques força similars a la pluja natural quant a la distribució de mides de les gotes, velocitat de l'impacte, energia cinètica, uniformitat i aleatorietat de la caiguda de les gotes, i d'una intensitat mitjana de  $93.9 \pm 24.2 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , que representa la precipitació de tot l'any en un període de 6 hores. La simulació de pluja es va fer sobre el sòl nu, acabat de fertilitzar i encara sense recobriments vegetal, i també sobre sòl amb un recobriments del 100 %, dos mesos després de l'aplicació del tractament. En cap dels dos casos no es va observar encrostaament de la superfície del sòl, probablement a causa de l'elevada quantitat d'elements grollers ( $446 \text{ g kg}^{-1}$ ) i de sorres de l'epipedió ( $799 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Les mesures es van efectuar, per triplicat, sobre una superfície quadrada de  $0.25 \text{ m}^2$  proveïda d'un col·lector connectat a un tub per a l'evacuació de l'escolament superficial i dels sediments que pogués arrossegar. Un cop iniciada la simulació de pluja sobre cada punt de mostreig, es va esperar que es comencés a produir l'escolament superficial, moment en què es van començar a comptabilitzar els 40 minuts de temps de mesura. Durant el període de pluja amb escolament superficial es van recollir, cada 5 minuts, un total de 8 mostres de l'aigua d'escolament i dels sediments que transportava. De cada mostra es va anotar el temps que havia transcorregut des de l'inici de l'escolament superficial (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 o 35 minuts) i el temps durant el qual s'havia recollit la mostra. Aquest temps de recollida va variar de 0.5 a 5 minuts, ja que el volum màxim que es va recollir en tots els casos va ser de 1000 mL (aigua+sediments).

Les mostres d'aigua i sediments que es van recollir es van passar a través d'un seditat de 0.2 mm de diàmetre, per tal de separar-ne la fracció més grollera. De la fracció fina es va determinar el contingut de matèria seca per gravimetria mitjançant assecatge a  $105^\circ\text{C}$ . Amb aquest procediment s'ha pogut determinar ① la fracció grollera ( $\phi > 0.2 \text{ mm}$ ) exportada, ② la fracció fina exportada ( $\phi < 0.2 \text{ mm}$ ), ③ l'escolament superficial (calculat com a diferència entre el pes total de la mostra menys els sediments exportats, les fraccions ①+②), i ④ la infiltració d'aigua (calculada com a diferència entre l'aigua de pluja menys l'escolament superficial, la quantitat ③). La pèrdua de sòl per erosió s'ha calculat, per a cada mostra, com a suma de la fracció fina més la fracció grollera (①+②).

Tant els sediments exportats com els fluxos d'aigua s'han expressat en forma de taxes ( $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  per als sediments i  $\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  per als fluxos d'aigua), tot referint els valors obtinguts ( $\text{g}$  de sediments i  $\text{L}$  d'aigua) a la superfície de mostreig ( $0.25 \text{ m}^2$ ) i al temps de recollida de mostra (entre 0.5 i 5 minuts). Com a dades globals, s'han calculat les taxes mitjanes d'erosió i els coeficients mitjans d'infiltració i d'escolament durant la simulació.

Els resultats que s'han obtingut s'han comparat per als dos tractaments avançats (tipus de fertilitzant i estat de la coberta) mitjançant l'anàlisi de la variància, amb un nivell de significació alfa de 0.05. L'anàlisi dels resultats s'ha fet mitjançant el paquet estadístic StatView (Abacus Concepts, 1992).



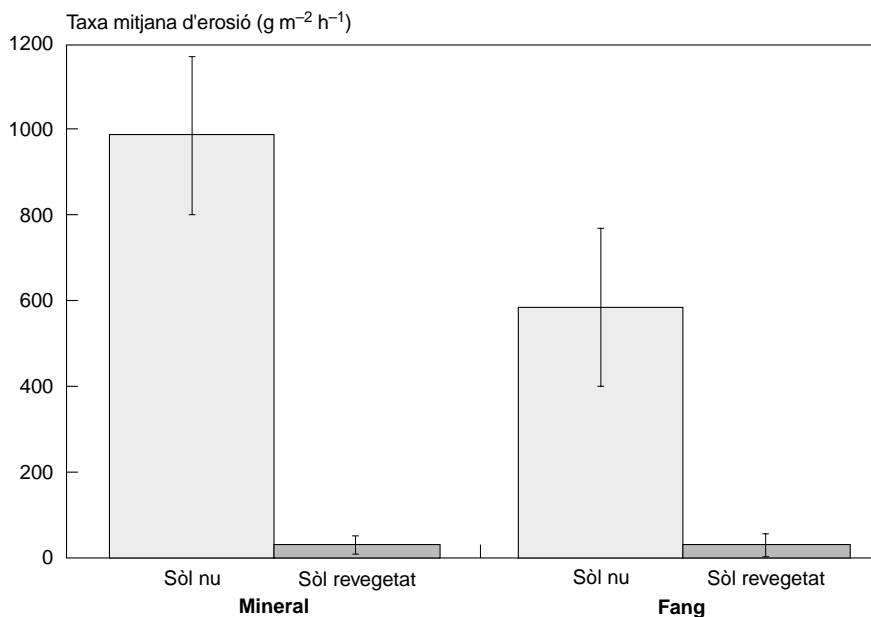
**Figura 1.** Dinàmica temporal del coeficient d'infiltració d'aigua (a dalt) sobre sòl nu (a) i sobre sòl revegetat (b) i de la taxa de pèrdua de sòl per erosió (a baix) sobre sòl nu (c) i sobre sòl revegetat (d). Les barres d'error corresponen a l'error estàndard.

## Resultats

### *Fluxos d'aigua i erosió sobre sòl nu*

Els fluxos d'aigua presenten una dinàmica temporal ben diferenciada en funció del tipus de tractament aplicat al sòl. Després del període de pluja sense escolament, que és de 4.22 minuts a les parcel·les amb fangs i de 2.26 minuts a les parcel·les amb el fertilitzant mineral, es pot observar que tots els sòls presenten a l'inici uns coeficients d'infiltració similars, que representen aproximadament un 40% de l'aigua de pluja (figura 1). Aquests coeficients es van reduint progressivament fins que, als 10 minuts, presenten valors molts propers a zero. A partir d'aquest moment el comportament dels sòls dels dos tipus de parcel·les es diferencia marcadament. Mentre que el sòl fertilitzat amb l'adob mineral N-P presenta un coeficient d'infiltració invariablement baix, en el cas del sòl fertilitzat amb fangs aquest coeficient augmenta fins a representar un 65% de l'aigua de pluja. Malgrat que globalment no apareixen diferències significatives en els coeficients d'infiltració de l'aigua ( $p=0.1822$  per als valors mitjans en 40 minuts), sí que es pot determinar una diferència molt marcada un cop transcorreguts els primers 10 minuts ( $p=0.0211$  entre els minuts 10 i 40 de pluja).

Quant a la pèrdua de sòl, i de manera paral·lela a la dinàmica del coeficient d'infiltració, els dos sòls presenten unes taxes d'erosió potencial similars a l'inici de la pluja, de gairebé  $1500 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , i que en els dos casos decreixen a mesura que l'episodi de pluja progressa. En el cas dels sòls esmenats amb fangs, però, la reducció de la taxa d'erosió és molt més dràstica, i arriba a ser de només uns  $200 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , davant dels més de  $900 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en què s'estabilitzen els sòls tractats amb el fertilitzant mineral N-P. L'anàlisi de la variància de la taxa mit-



**Figura 2.** Taxes mitjanes de pèrdua de sòl per erosió en funció del tipus de fertilitzant i de l'estat de la coberta. Les barres d'error corresponen a l'error estàndard.

jana de pèrdua de sòl per erosió no permet de detectar diferències en funció del tipus de tractament aplicat ( $p=0.2187$ ), tot i que sí que s'observen diferències molt clares en les taxes de pèrdua de sòl a la fase final de la simulació ( $p=0.0185$ ). Malgrat això, cal remarcar que les taxes d'erosió que s'han trobat són marcadament inferiors als més de  $4500 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  descrits per Cerdà & García-Fayos (1997) per a sòls de zones amb la mateixa inclinació, tot i que amb una major abundància relativa de partícules fines.

#### *Fluxos d'aigua i erosió sobre sòl revegetat*

Els coeficients d'infiltració d'aigua i els seus complementaris, els coeficients d'escolament, presenten per als sòls revegetats, unes dinàmiques molt similars en el cas de sòls fertilitzats mitjançant fangs de depuradores o adobs minerals. En aquestes condicions, el temps d'escolament mitjà és de 0.89 minuts per als sòls amb fangs i d'1.01 minuts per als sòls amb fertilització mineral. Els coeficients d'infiltració no solen presentar en cap cas valors inferiors al 80% de l'aigua de pluja (figura 1), i no apareixen diferències significatives en funció del tipus de fertilitzant ( $p=0.7235$ ). Pel que fa a la pèrdua de sòl, a la figura 1 es pot observar com les taxes d'erosió potencial sobre sòls revegetats es mantenen sempre en valors molt baixos, habitualment per sota dels  $100 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . De la mateixa manera, l'anà-

lisi de la variància tampoc no permet, en aquest cas, de detectar diferències en funció del tractament ( $p=0.9201$ ).

Els resultats que s'han presentat evidencien que la coberta vegetal juga un paper molt important sobre la distribució de l'aigua de pluja en forma d'infiltració/escolament, i també sobre la taxa d'erosió potencial del sòl. A la figura 2 es mostra clarament que les diferències que es detecten en funció del tipus de fertilitzant sobre sòl nu han quedat totalment diluïdes per l'aparició de la coberta vegetal.

## Discussió

L'anàlisi de les dades que s'han obtingut permet de demostrar que els fangs desenvolupen, sobre sòl nu, un cert efecte protector contra l'erosió. Aquest efecte resulta molt important en pluges de llarga durada, ja que és 10 minuts després de l'inici de l'escolament superficial quan el comportament dels sòls que han rebut un o altre tipus de fertilització difereix de manera més significativa. Així, pel que fa a les taxes d'erosió que s'han trobat, i tenint en compte que les condicions de simulació que s'han assajat impliquen l'aportació de la precipitació de tot l'any en un període de 6 hores, la taxa d'erosió dels sòls esmenats amb el fertilitzant mineral implicaria una taxa d'erosió anual de  $54 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$ , mentre que en els sòls esmenats amb fangs seria de  $12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$ , just per sota dels  $12.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$  que, d'acord amb Hudson (1982), constitueixen una pèrdua irreversible de sòls. Òbviament, aquest càlcul constitueix una sobreestimació de la pèrdua de sòl anual, ja que considera que totes les precipitacions de l'any presenten aquesta elevada intensitat, però és de gran utilitat a l'hora de valorar la magnitud dels processos erosius a la zona d'estudi.

El comportament del sòl en els primers moments de la pluja és concordant amb el descrit per Shainberg & Levy (1996), i independent del tipus de fertilitzant que hagi estat aplicat al sòl. Aquesta dinàmica és originada per la ràpida saturació dels primers centímetres de sòl a causa de l'elevada intensitat de la pluja aplicada. L'aigua que incideix sobre el sòl ocupa tot l'espai porós buit i impedeix, en conseqüència, la infiltració de més aigua. Aquesta fase finalitza aproximadament als 10 minuts d'haver-se iniciat l'escolament, quan la saturació de l'epipedió fa que gairebé la totalitat de l'aigua de pluja es reculli en forma d'escolament superficial.

Un cop s'han saturat d'aigua els primers centímetres del sòl, és la millora de les propietats físiques i, més concretament, de l'estructura, la que fa possible un comportament diferenciat dels sòls que han rebut l'aportació dels fangs de depuradora. La incorporació de matèria orgànica i dels agents floculants que es troben als fangs possibiliten la formació d'uns agregats estructuralment estables que presenten una gran resistència a l'erosió (Le Bissonnais, 1996; Levy, 1996; Sort, 1997; Sort & Alcañiz, 1996). En aquests sòls, la millora estructural que s'ha generat facilita una bona infiltració de l'aigua de pluja, que es tradueix en un important increment del coeficient d'infiltració. És aquesta millora la que permet la dessaturació dels primers centímetres de sòl per transport cap a capes més pro-



fundes (Albadalejo et al., 1991; Albadalejo & Díaz, 1990). És a dir, l'aportació dels fangs genera, a part d'un efecte nutricional evident, una modificació en les característiques físiques del sòl que fan possible que, després de la ràpida saturació dels primers centímetres del sòl, aquesta aigua pugui ser drenada cap a capes més profundes i es pugui reduir, doncs, el coeficient d'escolament superficial. Per contra, en el cas dels sòls fertilitzats amb l'adob mineral no s'ha modificat l'estructura edàfica i, en conseqüència, la infiltració que presenten és baixa i no fa possible el drenatge de l'aigua cap a l'endopedió.

Un patró de resposta similar s'ha observat en relació a les taxes d'erosió. Amb independència del tipus d'adob, els sòls presenten, inicialment, una pèrdua de sòl molt important que probablement sigui causada pels efectes mecànics de la preparació del sòl, que inclou el pas de la màquina trituradora a més del remolc escampador dels fangs en el cas de les parcel·les tractades amb aquest material. Convé no oblidar que el pas de maquinària per damunt del sòl constitueix una causa de degradació de la superfície per problemes derivats de la fractura dels agregats, que allibera partícules que posteriorment podran ser arrossegades per l'aigua d'escolament. La tendència temporal de pèrdua de sòl per erosió és clarament decreixent en tots els sòls, si bé la major capacitat d'infiltració d'aigua en els sòls tractats amb fangs provoca que el flux superficial d'aigua sigui menor i, per tant, que es produeixi una menor pèrdua de sòl. En aquest sentit, cal dir que els resultats que s'han obtingut són concordants amb els obtinguts per Sort (1997) en experiments similars de simulació de pluja en tres pedreres restaurades mitjançant la utilització de fangs de depuradora. En aquest cas, es van obtenir taxes d'erosió en sòls de control d'entre 1120 i 1140 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> i d'entre 370 i 550 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en sòls esmenats amb fangs de tractament biològic (979 i 574 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivament, en aquest treball). Les petites discrepàncies que s'observen en els resultats són probablement atribuïbles al menor pendent (15,75±0,75° en el treball de Sort (1997), i 12,30±0,24° en aquest) i la menor dosi de fangs de l'àrea d'estudi en aquest treball (100 Mg ha<sup>-1</sup> en Sort (1997) i 60 Mg ha<sup>-1</sup> en aquest treball).

L'estat de la superfície del sòl és el factor, però, que juga un paper clarament determinant en la protecció del sòl contra l'erosió (López Bermúdez & Albadalejo, 1990). Com ha estat demostrat, quan el sòl presenta un recobriment herbaci important no és possible de detectar cap diferència en funció del tipus de fertilitzant utilitzat. La presència d'una coberta vegetal densa confereix al sòl una capacitat d'infiltració d'aigua molt elevada, que redueix l'escolament superficial i la pèrdua de sòl per erosió a valors gairebé negligibles (Sort, 1997). Aquest fet és del tot esperable, si tenim en compte que el desenvolupament de la coberta herbàcia intervé d'una forma semblant a la incorporació dels fangs al sòl, és a dir, incrementant l'estructuració dels elements que el componen i facilitant la infiltració d'aigua cap a l'interior, no només a la superfície, sinó en una capa de sòl molt més profunda. Tant és així, que en aquestes condicions ni tan sols s'observa aquella primera fase en què el sòl se saturava ràpidament a causa de la gran quantitat d'aigua aportada. A més d'aquest efecte, que incrementa significativament el coeficient d'infiltració de l'aigua, convé de tenir en compte que la coberta herbàcia també intervé directament en la reducció de la velocitat de l'aigua

d'escolament superficial, limitant, doncs, la capacitat erosiva d'aquesta aigua. A més, l'existència d'un recobriment vegetal dens redueix notablement l'efecte de trencament dels agregats produït per l'impacte de les gotes de pluja (Box & Russell, 1996; Bradford & Huang, 1996; Navas, 1991), fet que contribueix, també, que es mobilitzi una menor quantitat de partícules del sòl.

Cal tenir present, però, que la protecció que ofereix la vegetació canvia força al llarg de l'any, mentre que l'efecte protector dels fangs no és gaire modificat per la dinàmica estacional. En conseqüència, la combinació dels dos efectes sembla que pot assegurar amb garanties, en sòls sotmesos a un aprofitament agrícola o ramader, la reducció de les pèrdues de sòl per erosió al llarg de tot l'any.

## Conclusions

Els fangs ofereixen una protecció apreciable del sòl en pluges de llarga durada, gràcies a l'efecte estructurador d'aquests materials, que donen al sòl una major capacitat d'infiltració d'aigua. La presència de fangs de depuradora no genera uns efectes importants sobre la taxa d'erosió potencial del sòl en el cas de pluges de curta durada o en els estadis inicials de pluges llargues. La presència d'una coberta herbàcia densa ofereix una protecció del sòl molt més eficaç que no pas l'aplicació dels fangs, i independent del tipus de fertilitzant, orgànic o mineral, que hi hagi estat aplicat.

## Agraïments

Agraïm molt la col·laboració de l'Agrupació de Defensa Forestal de Taradell, que ha fet possible la realització d'aquest experiment gràcies a la cessió de la seva infraestructura de bombeig i conducció d'aigua. Agraïm molt especialment al senyor Ramon Vallmitjana la confiança dipositada i la cessió de les terres i la maquinària necessàries per al muntatge experimental. Aquest treball forma part del projecte ECOFANGS, subvencionat conjuntament per la Comissió Interdepartamental de Recerca i Tecnologia i pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

## Bibliografia

- Abacus Concepts. 1992. StatView. Abacus Concepts, Inc. Berkeley, CA.
- Albadalejo, J.; Castillo, V.; Roldan, A. 1991. Analysis, evaluation and control of soil erosion processes in a semiarid environment: S.E. Spain. *In*: M. Sala; J.L. Rubio; J.M. García-Ruiz (ed.) Soil Erosion Studies in Spain. Geofoma ediciones. Logronyo. p. 9-26.
- Albadalejo, J.; Díaz, E. 1990. Degradación y regeneración del suelo en el litoral mediterráneo español: experiencias en el proyecto LUCDEME. *In*: J. Albadalejo; M.A. Stoccking; E. Díaz (ed.) Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia. p. 191-214.
- Alcañiz, J.M.; Comellas, L.; Pujolà, M. 1996. Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora. Recuperació de terrenys marginals. Generalitat de Catalunya. Junta de Sanejament. Barcelona.

- Bradford, J.M.; Huang, C.-H. 1996. Splash and detachment by waterdrops. *In: M. Agassi (ed.) Soil erosion, conservation, and rehabilitation.* Marcel Dekker, Inc. Nova York. p. 61-76.
- Box, J.E.; Russell B.R. 1996. The effect of surface cover on infiltration and soil erosion. *In: M. Agassi (ed.) Soil erosion, conservation, and rehabilitation.* Marcel Dekker, Inc. Nova York. p. 107-124.
- Cerdà, A.; García-Fayos, P. 1997. The influence of slope angle on sediment, water and seed losses on badland and landscapes. *Geomorphology* 18: 77-90.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté. Barcelona.
- Josa, R.; Arias, X.; Sole, A. 1994. Effects of slashburning on some soil physical properties in an holm-oak coppice. *In: M. Sala; J.L. Rubio (ed.) Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires.* Geofoma ediciones. Logronyo. p. 29-42.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Soil characteristics and aggregate stability. *In: M. Agassi (ed.) Soil erosion, conservation, and rehabilitation.* Marcel Dekker, Inc. Nova York. p. 41-60.
- Levy, G.J. 1996. Soil stabilizers. *In: M. Agassi (ed.) Soil erosion, conservation, and rehabilitation.* Marcel Dekker, Inc. Nova York. p. 267-300.
- López Bermúdez, F.; Albadalejo, J. 1990. Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. *In: J. Albadalejo; M.A. Stocking; E. Díaz (ed.) Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia. p. 15-46.
- Marquès, M.A. 1991. Soil erosion research: experimental plots on agricultural and burnt environments near Barcelona. *In: M. Sala; J.L. Rubio; J.M. García-Ruiz (ed.) Soil Erosion Studies in Spain.* Geofoma ediciones. Logronyo. p. 153-164.
- Navas, A. 1991. Application of simulated rainfall for studying runoff yield and erosive behaviour of gypsiferous soils. *In: M. Sala; J.L. Rubio; J.M. García-Ruiz (ed.) Soil Erosion Studies in Spain.* Geofoma ediciones. Logronyo. p. 181-190.
- Shainberg, I.; Levy, G.J. 1996. Infiltration and seal formation processes. *In: M. Agassi (ed.) Soil erosion, conservation, and rehabilitation.* Marcel Dekker, Inc. Nova York. p. 1-22.
- Soil Taxonomy. 1975. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Survey Staff. Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 436.
- Soler, M.; Sala, M.; Gallart, F. 1994. Post fire evolution of runoff and erosion during an eighteen month period. *In: M. Sala; J.L. Rubio (ed.) Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires.* Geofoma ediciones. Logronyo. p. 149-162.
- Sopper, W.E. 1993. Municipal sludge use in land reclamation. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Sort, X. 1997. Propietats estructurals d'un sòl restaurat amb fangs de depuradora. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.
- Sort, X.; Alcañiz, J.M. 1996. Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries. *Land Degr. & Dev.* 7: 69-76.
- 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degr. & Dev.* 10: 3-12.
- Terradas, J. (coordinador). 1996. Ecologia del foc. Ed. Proa. Barcelona.