

## SISTEMES I PROCESSOS

# Estudi i mesura de l'escolament i l'erosió en parcel·les experimentals al massís de les Gavarres

Maria Sala &amp; Carles Rubio\*

Rebut: 02.05.00  
Acceptat: 16.11.00

## Resum

En aquest treball s'estudia l'escolament i l'erosió a uns vessants del massís de les Gavarres, seleccionats tenint en compte del substrat litològic i dels usos del sòl. Els resultats obtinguts posen de manifest que l'escolament i l'erosió són poc importants, però que tot i els valors baixos es poden detectar diferències segons el substrat i els usos del sòl. Els valors més alts d'escolament es registren a les àrees de pissarres, mentre que els valors més alts d'erosió s'han trobat a les plantacions d'eucaliptus. Finalment, cal remarcar que les variacions espacials al llarg del vessant, tant per l'escolament com per l'erosió, tenen un caràcter aleatori, la qual cosa vol dir que el model de comportament d'aquests vessants és el de resposta variable, més relacionada amb les condicions de l'aigua al sòl, tal com succeeix en les zones humides i sub-humides, que amb una precipitació determinada.

**MOTS CLAU:** escolament, erosió, variacions al llarg del vessant

## Abstract

### Study of runoff and erosion in experimental plots of the Gavarres massif

In this research runoff and erosion have been studied on slopes of the Gavarres massif selected for their lithology and land use. The results show that runoff and erosion are not high, but in spite of the low values differences can be detected, depending on the lithology and land use. The highest runoff values have been found in the areas with slates, while the highest erosion rates were found in eucalyptus plantations. Finally, it should be noted that spatial variations along the slopes are random in character, indicating a variable response more related to the soil water conditions, as in humid and sub-humid environments, than to rainfall.

**KEYWORDS:** runoff, erosion, changes along the slope

\* GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Dept. Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional. Universitat de Barcelona. Carrer Baldri Reixac, s/n. Barcelona.  
Correu electrònic: sala@trivium.gh.ub.es.

## Resumen

### Estudio de la escorrentía y la erosión en parcelas experimentales en el macizo de les Gavarres

En este trabajo se estudia la escorrentía y la erosión en unas vertientes del macizo de les Gavarres, seleccionadas en función del sustrato litológico y de los usos del suelo. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la escorrentía y la erosión son poco importantes, pero que a pesar de los valores bajos pueden detectarse diferencias en función del sustrato y de los usos del suelo. Los valores más altos de escorrentía se han registrado en el área de pizarras, mientras que la erosión más elevada se ha encontrado en las plantaciones de eucaliptus. Finalmente hay que remarcar que no se han encontrado variaciones espaciales a lo largo de las vertientes, ni en la escorrentía ni en la erosión, pues las variaciones han tenido un carácter aleatorio, lo cual indica que el modelo de comportamiento de estas vertientes es el de respuesta variable, relacionada más bien con las condiciones del agua en el suelo, como ocurre en las zonas húmedas i sub-húmedas, que con una precipitación determinada.

PALABRAS CLAVE: escorrentía, erosión, variaciones a lo largo de la vertiente

## Introducció

Cada vegada més cal investigar els temes del medi natural sota la perspectiva dels usos del sòl: és a dir, tenint en compte l'impacte de les actuacions humanes. Els medis forestals estan en el punt de mira dels ciutadans, ja que gran part del nostre benestar depèn de conservar-los i de fer-ne un bon ús. Però no tant sols són importants els temes de recerca enfocats des d'un punt de vista mediambiental, sinó que cal també estudiar i comprovar les teories científiques.

En el camp de la hidrologia els temes relacionats amb la circulació d'aigua als vessants són menys coneguts que els de la dinàmica de l'aigua a escala de conca de drenatge, segura-

ment perquè el tipus de dades que s'obtenen són menys «netes» que les que s'obtenen en els registres d'una estació d'aforament. Però la veritat és que no hi ha dades suficients que permetin deduir inequívocament la relació entre vessants i fluxe fluvial, és a dir la contribució dels vessants a l'escolament i al transport fluvial

A fi d'aclarir aquesta relació entre pluja i escolament als vessants, i entre escolament als vessants i escolament fluvial, és interessant portar a terme treballs sobre la dinàmica de l'aigua als vessants, tot i que la instrumentació sigui menys homologada i menys precisa que la instrumentació per estudiar el fluxe fluvial.

Cal obtenir dades generals sobre la circulació d'aigua als vessants i el sediment que l'aigua pot arrossegar depenent de les característiques naturals i l'ús del sòl, per així tenir una idea del funcionament del medi i de l'impacte antròpic. Però també cal validar teories sobre aquesta circulació i veure, en relació amb aquestes teories, quin és l'efecte de la modificació introduïda per l'acció humana.

Pel que fa a dades generals sobre escolament i transport de sediments o erosió als vessants, es disposa de dades del medi forestal del Montseny (Sala, 1988; Úbeda, 1994), proper a les Gavarres i per tant amb dades susceptibles de ser comparades. Aquestes dades també poden ser utilitzades per comprovar dues de les teories sobre circulació d'aigua als vessants.

El 1940 Horton va proposar una teoria segons la qual el volum d'aigua que s'escola va augmentant vessant avall com a conseqüència de l'acumulació d'aigua procedent de les parts més elevades. Aquest increment del fluxe provoca l'arrossegament / erosió de materials cap a les parts baixes. Horton parteix de la base d'un vessant homogeni i el seu model és vàlid en casos de:

- a) precipitació d'alta intensitat;
- b) manca de vegetació i de sòl amb la roca mare en superfície;

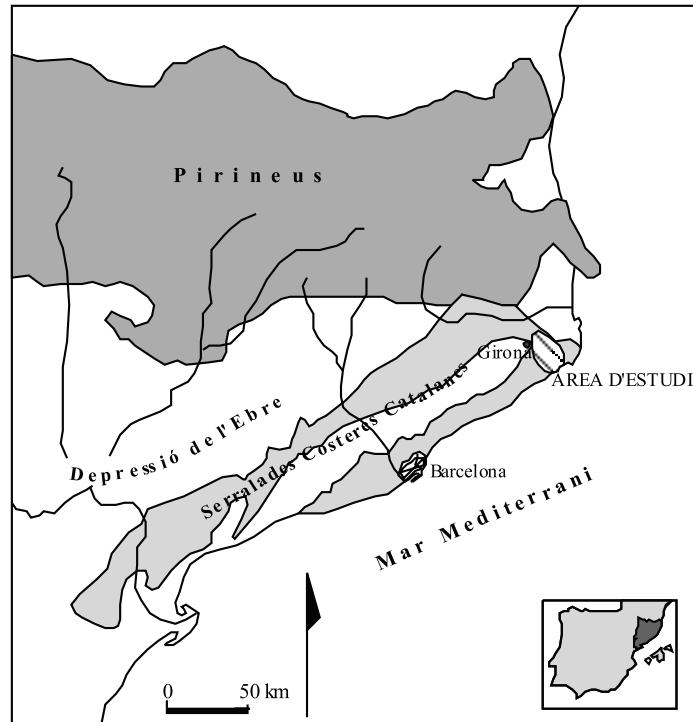


FIGURA 1. Localització de l'àrea d'estudi.  
Location of the study area.

c) predomini de circulació superficial de l'aigua.

Cal dir, però, que les dades de nombroses mesures de camp en condicions diferents mostren que en molts casos, l'escolament es produeix de manera discontinua al llarg i ample del vessant a causa de les variacions en el sòl i en el pendent (Dunne, 1978). En aquest cas es parteix de la base d'un vessant no homogeni, i el model s'anomena de *resposta variable*, el qual és vàlid en casos de:

- a) precipitació de baixa intensitat;
- b) presència de sòl i vegetació;
- c) predomini de circulació subsuperficial.

Per a més informació sobre el tema del comportament de l'aigua als vessants, vegeu Sala (1984).

En els medis forestals s'ha de suposar que el model d'escolament serà el de resposta variable al llarg i ample del vessant a causa de l'existència d'un sòl més o menys desenvolupat. D'altra banda, és probable que diferents usos forestals determinin respostes diferents.

## Objectius

El treball té com a objectius: a) estudiar l'escolament i l'erosió als vessants sota diferents usos forestals i sobre substrats litològics diferents, b) establir les possibles diferències en escolament i erosió al llarg de les parcel·les, per així veure quina de les teories sobre circulació d'aigua als vessants és aplicable en

aquest medi, c) comprovar si un model d'erosió es aplicable en aquest medi. Per assolir aquests objectius s'han seleccionat diverses unitats d'ús forestal (sureda, pineda i eucaliptus) i han estat estudiades tant sobre substrat granític com sobre pissarres.

### Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi està situada al massís de les Gavarres, emmarcada entre els 42° 01' 40" i 40° 48' 20" de latitud N i els 2° 49' 20" i 3° 09' 04" de longitud E (Figura 1). Aquest massís és una unitat tectònica aïllada a causa d'un sistema de falles que en fan d'ell horst entre la gran fossa de l'Empordà, les valls tectòniques de Palamós-Palafrugell, la Vall d'Aro i la depressió de la Selva.

El clima és mediterrani subhumit, amb una temperatura mitjana anual de 14 °C a 16 °C i una precipitació entre els 500 mm i els 900 mm. El vent del nord o tramuntana té una important influència sobre el massís, atès que és un vent fort i sec.

El massís de les Gavarres es pot dividir en dues subàrees ben caracteritzades, la de granits i la de pissarres. El granit, a causa del clima càlid de caràcter humit de la zona es comporta com una roca feble, un cop afectada principalment per l'alteració química i la disgregació granular, mentre que a les pissarres la textura de gra fi i l'estructura laminar fan que la disgregació mecànica en fragments i l'erosió lineal siguin factors importants de la morfogènesi, ja que l'alteració química gairebé no actua. És per això que, pel al caràcter climàtic de la zona, les pissarres es comporten com un material més resistent que el granit (Sala, 1979).

Pel que fa a la vegetació, la formació natural predominant és el bosc de sureres (*Quercetum ilicis galloprovinciale suberetosum*), amb variants que depenen de la tendència mesòfila o xeròfila del conjunt i del caràcter més o

menys acidòfil del sòl. A les àrees d'estudi les espècies més abundants que acompanyen el *Quercus suber* són: *Quercus ilex*, *Pinus pinaster*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Smilax aspera*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salviifolius*, *Ulex parviflorus*, *Genista triflora*. En determinats indrets d'aquesta massa forestal s'hi troben plantacions d'eucaliptus (*Eucalyptus globulus*) i de pins (*Pinus pinaster*, *Pinus pinea*), amb un sotabosc més o menys dens de les espècies típiques de la sureda (Sala, 1979).

### Metodologia

S'han instrumentat sis parcel·les obertes en tres usos del sòl diferents, les dimensions de les quals oscil·len entre els 15 m × 40 m i els 25 m × 60 m. Les parcel·les sobre substrat granític queden dintre de l'àrea del municipi de Santa Cristina d'Aro, al vessant meridional (Romanyà). Les parcel·les escollides al sector metamòrfic se situen al vessant nord, dintre el terme municipal de Forellac (Fitor). Els pendents de les parcel·les són poc pronunciats, amb valors pròxims a l'1 % en el granit, excepte a la parcel·la d'eucaliptus, son arriben a un 7 %, i amb valors més alts al sector de pissarres on el màxim es troba a la pineda (8 %), seguida de la sureda (5 %) i dels eucaliptus (3 %).

Per a l'obtenció de les mostres s'han instal·lat 10 col·lectors tipus Gerlach per parcel·la, disposats en parelles i a diferents posicions al llarg del vessant (Figura 2), de manera que tinguin àrees de contribució diferents (Sala, 1982). Aquests col·lectors són de PVC i tenen 50 cm de longitud; per tant, la suma de la parella representa l'aigua i el sediment interceptats en un sector d'un metre i en una longitud des del col·lector fins a l'interfluvi. Cal tenir en compte que el factor més important és aconseguir que el contacte entre

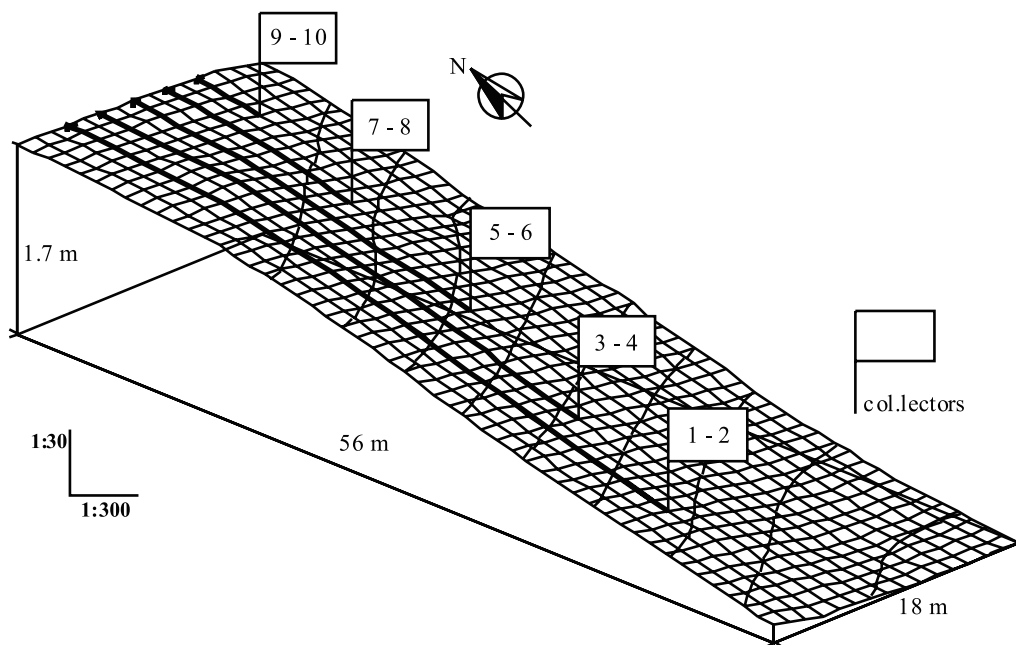


FIGURA 2. Parcel·la dels eucaliptus de Fitor.  
The eucalyptus plot at Fitor.

el canal i el vessant sigui tan estert com es pugui a fi d'evitar així la pèrdua d'aigua i sediment. Per reduir l'efecte directe de les gotes de pluja, els canals es cobreixen amb una placa lleugerament rígida i inclinada que, a la vegada, evita l'entollament d'aigua damunt seu.

La recollida de mostres s'ha procurat fer després de cada període de pluja. En el control s'ha mesurat l'aigua trobada en el col·lector i en el recipient connectat, s'ha recollit el sediment arrossegat fins al col·lector, i ahora s'ha buscat el registre de les precipitacions dels diferents intervals de la recollida de dades. Per a l'àrea de Romanyà s'ha utilitzat la precipitació de l'estació meteorològica de Cassà de la Selva i per a l'àrea de Fitor les de l'estació meteorològica de la Bisbal d'Empordà. El treball s'ha portat a terme durant sis mesos,

de gener a juny de 1999. La precipitació d'aquest any es pot considerar que representa unes condicions mitjanes, és a dir, no es tracta d'un any sec com el 1995, ni d'un any plujós com el 1992 (Figura 3). Pel que fa a la precipitació mensual, el total dels sis primers mesos de l'any és similar al del segon semestre, tot i que les precipitacions màximes es produeixen als mesos d'octubre i novembre (Figura 4). Per tant, les condicions pluviomètriques del període d'estudi es poden considerar com a representatives, ja que el 1999 la precipitació màxima es va produir al setembre ( $129 \text{ L m}^2$ ) i va ser del mateix ordre de magnitud que la del gener, mentre que les precipitacions d'octubre i novembre no van ser especialment elevades ( $50 \text{ L m}^2$ ).

Amb totes aquestes dades s'han buscat les mitjanes i les relacions entre variables tant

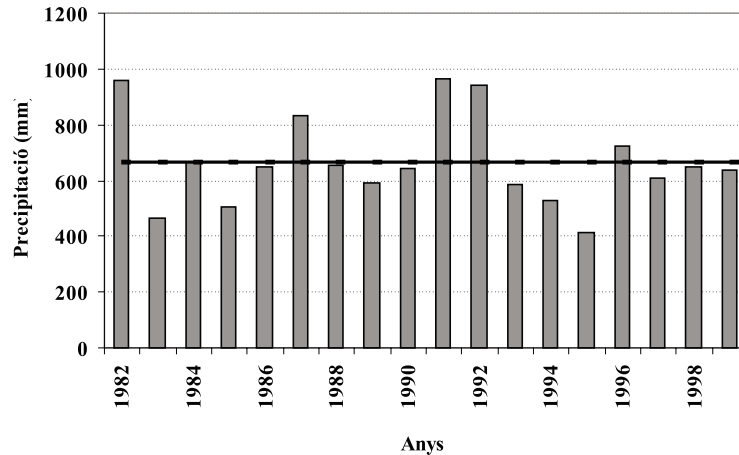


FIGURA 3. Totals anuals de precipitació a l'estació de Mas Bassets (Cassà de la Selva), 1982-1999.  
Annual rainfall at the Mas Bassets station (Cassà de la Selva), 1982-1999.

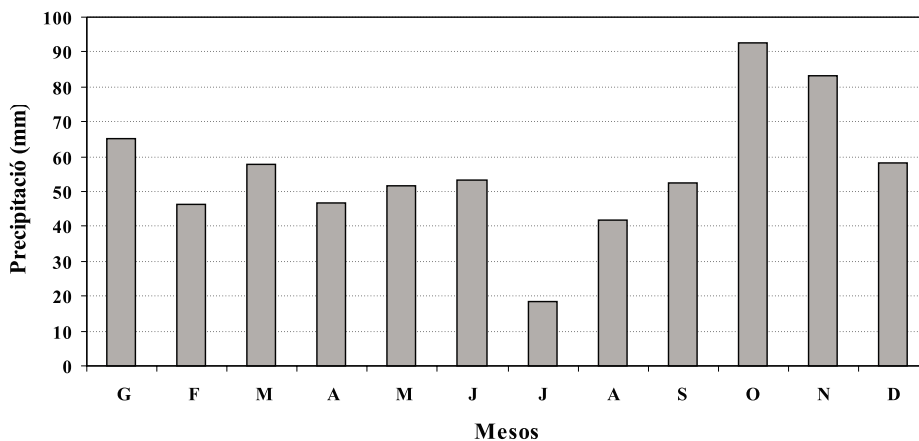


FIGURA 4. Valors mitjans de precipitació mensual a l'estació Mas Bassets (Cassà de la Selva), 1982-1999.  
Average monthly rainfall at the Mas Bassets station (Cassà de la Selva), 1982-1999.

pels diferents usos del sòl com per litologies. Finalment s'ha analitzat la variabilitat entre els col·lectors de cada parcel·la tenint en compte la seva posició al llarg del vessant, anàlisi que s'ha fet per parella de col·lectors (45 dades) i per cada col·lector individualment (90 dades). Els programes utilitzats per a l'anàlisi estadística han estat: SAS per fer la

correlació de Pearson, STATGRAPHICS per a l'anàlisi de la variància ANOVA i el Multiple Range Test.

S'ha aplicat el model Erosion-2D (Schimdt, 1991; Verdú, *et al.*, 2000) per estimar les taxes d'erosió/deposició. És un model informàtic de base física que es pot utilitzar per validar i generalitzar les dades recollides al camp. Els

TAULA 1. Dades de precipitació i escolament.  
Rainfall and runoff data.

Data	Precipitació litres/m <sup>2</sup>	Romanyà (granits)		
		Eucaliptus litres/m	Escolament Pineda litres/m	Sureda litres/m
30/01/99	114,0	0,1	0,0	0,3
20/02/99	1,0	0,0	0,0	0,0
6/03/99	16,0	0,3	0,0	0,1
2/04/99	30,0	0,1	0,1	0,1
10/04/99	8,0	0,1	0,0	0,1
24/04/99	39,0	0,2	0,2	0,2
8/05/99	36,5	0,0	0,0	0,0
29/05/99	30,5	0,0	0,0	0,0
30/06/99	36,5	0,0	0,0	0,0
Totals:	311,5	0,9	0,5	0,7

Data	Precipitació litres/m <sup>2</sup>	Fitor (pissarres)		
		Eucaliptus litres/m	Escolament Pineda litres/m	Sureda litres/m
30/01/99	100,0	0,2	0,1	0,2
20/02/99	3,6	0,0	0,0	0,0
6/03/99	26,8	0,0	0,4	0,4
2/04/99	25,2	0,1	1,0	0,5
10/04/99	11,2	0,0	0,1	0,1
24/04/99	14,0	0,0	0,0	0,2
8/05/99	62,8	0,2	0,6	1,6
29/05/99	21,0	0,0	0,1	0,1
30/06/99	31,2	0,1	0,0	0,3
Totals:	295,8	0,5	2,1	3,4

paràmetres que s'utilitzen per fer córrer el model són: pel que fa a la topografia, la longitud i amplada de la parcel·la; quant al sòl: la densitat, textura, matèria orgànica, humitat, rugositat i recobriment vegetal. El percentatge de cobertura vegetal ha estat estimatiu sobre el terreny, i l'aixecament topogràfic s'ha realitzat amb una estació total Zeiss Elta-R55. Per a la variable rugositat s'han utilitzat els coeficients establerts per Manning. Les dades sobre el sòl s'han obtingut al laboratori: el percentatge de carboni orgànic (per calcinació), la humitat al sòl i la densitat aparent del sòl (mètode gravimètric). Pel que fa a l'ero-

sionabilitat el rang utilitzat a Alemanya va del 0,00001 a 0,006. Aquí, seguint Verdú *et al.* (2000), s'ha utilitzat com a valor mitjà el 0,00005.

## Resultats

### Valors mitjans per parcel·la

Pel que fa a l'escolament, el primer que cal dir és que els valors són molt baixos en relació amb la precipitació (Taula 1). Cal dir, però, que en no haver-se pogut anar sempre a

SISTEMES I PROCESSOS

TAULA 2. Dades de precipitació i erosió.  
Rainfall and erosion data.

Data	Precipitació litres/m <sup>2</sup>	Romanyà (granits)		
		Eucaliptus grams/m	Erosió Pineda grams/m	Sureda grams/m
30/01/99	114,0	1,7	1,8	1,7
20/02/99	1,0	1,1	1,2	0,2
6/03/99	16,0	1,2	1,0	0,5
2/04/99	30,0	1,1	0,2	0,9
10/04/99	8,0	1,9	0,8	1,2
24/04/99	39,0	3,0	0,1	1,6
8/05/99	36,5	1,2	1,0	1,4
29/05/99	30,5	0,5	0,6	0,5
30/06/99	36,5	2,4	0,7	2,6
Totals:	311,5	14,1	7,4	10,5

Dataa	Precipitació litres/m <sup>2</sup>	Fitor (pissarres)		
		Eucaliptus grams/m	Erosió Pineda grams/m	Sureda grams/m
30/01/99	100,0	0,5	0,7	5,7
20/02/99	3,6	1,9	0,4	0,0
6/03/99	26,8	0,0	0,4	0,2
2/04/99	25,2	1,4	0,6	0,1
10/04/99	11,2	0,4	0,1	0,0
24/04/99	14,0	0,7	0,2	0,2
8/05/99	62,8	1,4	0,9	0,4
29/05/99	21,0	0,8	0,0	0,4
30/06/99	31,2	3,2	0,0	0,5
Totals:	295,8	10,3	3,3	7,5

fer la recollida de dades immediatament després de la pluja s'hagi perdut part de l'aigua per evaporació, la qual cosa fa que en alguns casos pugui semblar que s'ha recollit sediment sense que hi hagi hagut escolament. Els valors més alts s'han trobat a les parcel·les de pissarres (Fitor), i entre aquestes a l'àrea de sureda, seguida de la de pineda. A la sureda el màxim recollit ha estat 1,6 L m<sup>-1</sup> amb un coeficient de 2,5 %, mentre que a la pineda el màxim recollit és de 1,0 L m<sup>-1</sup> amb un coeficient d'escolament de 3,8 %. L'explicació d'aquestes petites diferències en una mateixa litologia estaria basada en el major pendent a les parcel·les de sureda i

pineda, mentre que els valors en conjunt més alts a les pissarres es poden relacionar amb els pendents lleugerament més alts i en la menor espessor de sòl. A l'àrea de granits (Romanyà), l'escolament difereix poc entre les parcel·les. El valor màxim s'ha recollit en els eucaliptus (0,3 L m<sup>-1</sup> i un coeficient d'escolament de 3,5) i a la sureda amb 0,3 L m<sup>-1</sup> i un coeficient d'escolament de 0,5. Igual que en l'àrea de pissarres, el pendent sembla ser el factor més important ja que correspon a l'àrea d'eucaliptus. Els valors inferiors de l'escolament en el sector de granits es pot relacionar amb la major permeabilitat d'aquests en funció d'una meteorització



TAULA 3. Correlacions (Pearson) entre les dades. P: precipitació; Es: escolament; Er: erosió.  
Correlations (Pearson). P: rainfall; Es: runoff; Er: erosion.

	Romanyà (granits)		
	P/Es	P/Er	Es/Er
Eucaliptus	0,0040	0,2002	0,2652
	0,9918	0,6056	0,4904
Pineda	0,0225	0,4673	-0,6918
	0,9541	0,2046	0,0390
Sureda	0,7149	0,4928	0,2475
	0,0304	0,1777	0,5209

	Fitor (pissarres)		
	P/Es	P/Er	Es/Er
Eucaliptus	0,8816	-0,1354	0,2110
	0,0017	0,7283	0,5858
Pineda	0,1337	0,5945	0,6124
	0,7316	0,0913	0,0796
Sureda	0,4047	0,8574	-0,1095
	0,2799	0,0031	0,7790

més profunda i que dona lloc a una formació superficial sorrenca com és el sauló.

Quant al transport de sediments (Taula 2), tant sobre granits com sobre pissarres els valors més alts es troben a les parcel·les d'eucaliptus, amb valors màxims per recollida de 3,2 sobre pissarres i de 3,0 sobre granits. A la sureda i a la pineda els valors són menors, essent més alts en una o altra parcel·la segons el dia de la recollida. L'erosió màxima sobre la sureda ha estat de 2,6 g m<sup>-1</sup> i sobre la pineda d'1,8 g m<sup>-1</sup>. A les pissarres el sediments màxim recollit ha estat de 0,9 g m<sup>-1</sup>, mentre que a la sureda a una de les recollides ha assolit un valor de 5,79 g m<sup>-1</sup>, tot i que en conjunt l'erosió ha estat inferior que sobre els granits.

Si es miren les correlacions (Pearson) entre cada una de les variables (Taula 3) es pot veure que en la relació entre precipitació i escolament els valors més alts es troben a la sureda sobre granits (R = 0,7149; Po 0,0304) i als eucaliptus sobre pissarres (R = 0,8816; Po 0,0017). En les relacions entre la precipi-

tació i l'erosió, la millor correlació la trobem a la sureda de Fitor (R = 0,8574; Po 0,0031), mentre que per l'escolament i l'erosió la millor és la que correspon a la pineda de Fitor (R = 0,6124), però el nivell de confiança (Po 0,0796) no assoleix el valor adequat (< 0,05).

#### Valors per cada col·lector o per parelles de col·lectors

Els coeficients de correlació de Pearson s'han establert de dues maneres per a cada parcel·la: a) prenent la suma de cada parella de col·lectors situats a un mateix nivell; b) prenent cada col·lector per separat. En el primer cas, el nombre de dades és de 45 i en el segon de 90. Les variables que s'han considerat han estat: precipitació, escolament i erosió lineal o puntual, escolament i erosió per àrea.

En l'anàlisi feta prenent els col·lectors per parelles a l'àrea de pissarres (Fitor), en el cas

SISTEMES I PROCESSOS

TAULA 4. Anàlisi de la variància ANOVA entre litologies.  
ANOVA analysis of variance between lithologies.

Usos del sòl	Suma de quadrats	<i>a</i> - Escolament		F	P
		Graus de llibertat	Mitjana al quadrat		
entre eucaliptus	0,0828	1	0,0828	1,40	0,2378
entre pinedes	1,5475	1	1,5475	11,01	0,0011
entre suredes	4,4588	1	4,4588	7,51	0,0068

Usos del sòl	Suma de quadrats	<i>b</i> - Erosió		F	P
		Graus de llibertat	Mitjana al quadrat		
entre eucaliptus	10,1389	1	10,1389	1,52	0,2185
entre pinedes	8,0222	1	8,0222	5,90	0,0161
entre suredes	5,0602	1	5,0602	1,24	0,2661

dels eucaliptus els coeficients de correlació millors i que alhora tenen un nivell de confiança acceptable (estadísticament representatives, és a dir que el  $P_0$  és inferior a 0,05) són precipitació amb escolament, tant si es té en compte àrea de captació o posició dels col·lectors al llarg del vessant ( $R^2$  0,412 i  $P_0$  0,005) com si no es té en compte ( $R^2$  0,447 i  $P_0$  0,0021). A la plantació de pins, els índexs de correlació són pitjors, excepte en el cas de l'escolament i l'erosió en funció de l'àrea de captació, que té un  $R^2$  de 0,939 i un  $P_0$  de 0,0001. En el cas de la sureda, la relació entre precipitació i erosió és molt bona ( $R^2$  0,770 i  $P_0$  0,0001), tant si tenim en compte l'àrea de captació com no. A l'àrea de granits (Romanyà), l'única relació bona és a la sureda entre precipitació i escolament, amb un  $R^2$  de 0,480 i un  $P_0$  de 0,0008. En els cas dels eucaliptus i dels pins cap de les relacions no és bona.

En l'anàlisi de cada col·lector per separat els resultats són similars que en l'anàlisi per parelles d'un mateix nivell, si bé generalment amb valors una mica més baixos.

A fi de veure si les diferències entre parcel·les eren representatives s'ha utilitzat l'anàlisi de variància ANOVA. Per a aquesta

anàlisi s'ha agafat cada un dels col·lectors per separat, és a dir, que es treballa amb 90 dades puntuals. Les qüestions a respondre són: *a*) si hi ha diferències entre litologies (granits i pissarres) pel que fa a l'erosió i l'escolament; *b*) si hi ha diferències entre els tres usos del sòl (eucaliptus, pineda, sureda).

a) Pel que fa a les diferències entre litologies, l'escolament més elevat a les pissarres és estadísticament significatiu en les suredes i les pinedes (Taula 4a), però no en els eucaliptus, atès que en aquests es registren valors sempre baixos. Quant a l'erosió, sols s'ha trobat estadísticament significativa la major erosió en les pinedes sobre granits, mentre que en els altres casos l'erosió no és prou important com perquè apareixin diferències significatives (Taula 4b).

b) Quant a les diferències entre usos del sòl pel que fa a l'escolament, els valors més elevats a les suredes són estadísticament significatius a Fitor ( $P_0$  0,007), mentre que no ho són a Romanyà ( $P_0$  0,452) ja que són sempre molt baixos. En relació amb l'erosió més alta als eucaliptus, seguits de les suredes, és estadísticament significativa a Romanyà ( $P_0$  0,026), mentre que a Fitor la mateixa tendèn-

TAULA 5. Dades per al model EROSION 2-D.  
Data for the EROSION 2-D model.

<i>a</i>	Romanyà (granits)			
		Eucaliptus	Pineda	Sureda
	Distància a l'interfluvi (m)	26,000	50,000	35,000
	%Argila	5,000	5,000	5,000
	%Llim	10,000	10,000	10,000
	%Sorra	85,000	85,000	85,000
	Densitat (kg·m <sup>-3</sup> )	1109,800	992,400	1038,800
	Carboni.Orgànic (%)	2,300	2,400	3,600
	Humitat (%)	15,900	17,600	27,600
	Erosionabilitat (kg·m·s <sup>-2</sup> )	0,00005	0,00005	0,00005
	Rugositat s/Manning	0,045	0,050	0,040
	% Cobertura Vegetal	75,000	100,000	75,000

<i>b</i>	Fitor (pissarres)			
		Eucaliptus	Pineda	Sureda
	Distància a l'interfluvi (m)	56,000	25,000	26,000
	%Argila	10,000	10,000	10,000
	%Llim	20,000	20,000	20,000
	%Sorra	70,000	70,000	70,000
	Densitat (kg·m <sup>-3</sup> )	1306,000	797,400	1177,400
	Carboni.Orgànic (%)	5,000	6,600	7,200
	Humitat (%)	15,200	19,700	34,600
	Erosionabilitat (kg·m·s <sup>-2</sup> )	0,00005	0,00005	0,00005
	Rugositat s/Manning	0,035	0,050	0,045
	% Cobertura Vegetal	10,000	100,000	80,000

cia te un nivell de significació inferior (Po 0,074) a causa dels valors baixos en tots els casos.

### Variacions espacials

En aquest cas s'ha fet una anàlisi de les possibles diferències entre els col·lectors d'una mateixa parcel·la, és a dir, segons la posició que tingui al llarg del vessant.

En relació amb l'escolament a l'àrea de pissarres (Fitor), en la parcel·la d'eucaliptus hi ha diferències significatives entre l'escolament recollit en el conjunt dels diferents canals (P-Value 0,040), però es tracta d'una di-

ferència puntual; tal com es pot veure a la figura 5a, hi ha un punt d'escolament màxim recollit en el col·lector número 10 i les altres recollides en el mateix col·lector, la qual cosa fa pujar la mitjana i genera aquesta diferència significativa. A la pineda i a la sureda també hi ha diferències estadísticament significatives amb P-Values de 0,043, si bé les diferències no sempre són entre col·lectors de diferent nivell, ja que, per exemple, n'hi ha entre els col·lectors 9 i 10 que de fet haurien de recollir quantitats semblants ja que estan situats de costat. D'altre banda, es pot veure que els màxims no es registren en els col·lectors 1-2 o 3-4, situats a la part baixa del vessant, sinó als col·lectors situats al mig del vessant, com el 5

i el 6. En el cas de la sureda les diferències les produeixen el comportament dels col·lectors número 6 i 8, que tenen uns màxims que fan pujar molt la mitjana. A l'àrea de granits (Romanyà) s'han trobat diferències significatives a la parcel·la d'eucaliptus (P-Value 0,0002), i a la pineda (P-Value 0,000) causades principalment bé pels escolaments elevats d'un col·lector, precisament el que hauria de tenir registres més baixos ja que es troba a la part alta del vessant; bé per recollides molt baixes de la resta de col·lectors, sigui quina sigui la seva posició al llarg del vessant. A la sureda, no hi ha diferències significatives amb un P-Value de 0,644; tal com es pot veure en la figura 5b quasi tots els col·lectors han experimentat un pic.

En relació amb l'erosió, a l'àrea de pissarres (Fitor), a la parcel·la d'eucaliptus no hi ha diferències significatives entre el sediment recollit en el conjunt dels diferents col·lectors, localitzats en diferents posicions al llarg del vessant (P-Value 0,608). A la pineda hi ha diferències estadísticament significatives amb un P-Value de 0,026, però es tracta d'una diferència puntual entre dos col·lectors i la resta (Figura 5c). A la sureda no hi ha diferències significatives, amb un P-Value de 0,861. A l'àrea de granits (Romanyà), a la parcel·la d'eucaliptus hi ha diferències significatives en l'escolament recollit en el conjunt dels diferents canals, amb un P-Value de 0,025; aquestes diferències són entre els col·lectors 1 i 8 i la resta, els quals, a pesar de tenir una posició diferent al llarg del vessant, han registrat dos màxims per sobre dels  $12 \text{ g m}^{-1}$  que fan pujar molt la mitjana. A la pineda no hi ha diferències estadísticament significatives en el conjunt dels components (P-Value de 0,268) ja que excepte els col·lectors 3 i 9 tots han recollit força sediment (Figura 5d). A la sureda tampoc s'han trobat diferències significatives (P-Value de 0,600) entre els col·lectors.

### Aplicació del model Erosion-2D

A la taula 5 es poden veure els valor de cada una de les variables a l'àrea de granits i a l'àrea de pissarres. Les estimacions per a la cobertura vegetal i la rugositat del vessant assoleixen valors elevats i, per tant, representen factors de protecció enfront de l'erosió. La textura franco-arenosa que es dona a cada àrea, per causa del seu grau de porositat, no és tampoc un factor que afavoreixi l'erosió, malgrat que sigui una textura amb pocs elements de cohesió, com són el relativament baix contingut d'argiles i de matèria orgànica. Quant a l'erosionabilitat, el valor utilitzat ha estat 0,00005, seguint el rang utilitzat en l'aplicació del model per Verdú *et al.* (2000), que és força baix.

Amb aquestes dades d'entrada, les taxes d'erosió/deposició obtingudes aplicant el model són quantitativament inexistentes, de l'ordre de 0,00000. Així doncs, mitjançant aquest model, originalment desenvolupat per àrees agrícoles, no s'aprecia erosió/deposició en aquests vessants, mentre que en les mesures de camp, si bé amb valors baixos, si que es registra un transport de sediment.

### Conclusions

Els resultats obtinguts a les diferents àrees d'estudi posen de manifest que al massís de les Gavarres, tant al sector de granits com al de pissarres, l'escolament i l'erosió naturals són poc importants. Les dades màximes recollides pel que fa a l'escolament han oscil·lat al voltant del 3 %, i en relació amb el sediment no han passat mai de  $5,6 \text{ g m}^{-1}$ .

Pel que fa als objectius específics del treball, es pot detectar que, tot i els valors baixos, en relació amb el substrat litològic l'escolament és més alt a l'àrea de pissarres, la qual cosa es pot atribuir al fet que la roca es

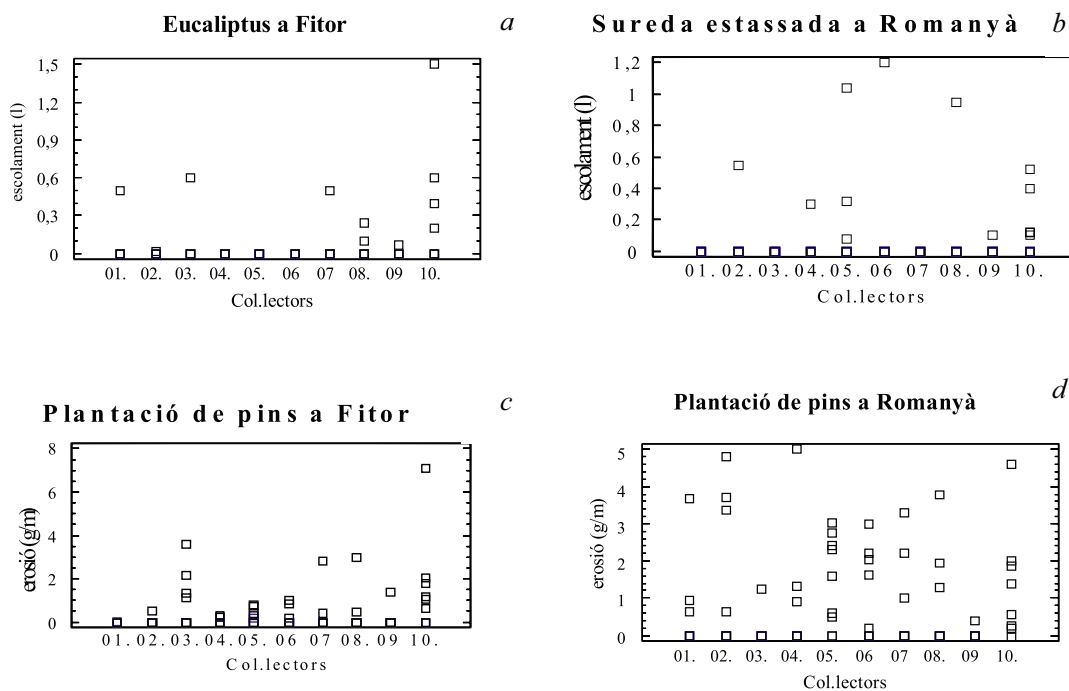


FIGURA 5. Variacions espacials en escolament i erosió entre els col·lectors situats al llarg de les parcel·les. Spatial variations in runoff and erosion between traps located along the plots.

troba a pocs centímetres de la superfície, en comparació amb l'àrea de granits on el mantell d'alteració és més potent i, per tant, la capacitat d'absorció d'aigua més elevada. En canvi, l'erosió és lleugerament més alta a l'àrea de granits, i això també es pot explicar per la major disponibilitat de material erosionable. Aquestes diferències sols són estadísticament significatives en el cas de les pinedes.

Quant a l'impacte dels diferents usos forestals del sòl, mentre que en relació amb l'escolament no es detecta un comportament clarament diferenciat, possiblement perquè el factor determinant és el pendent, pel que fa a l'erosió els valors més alts s'han trobat a les plantacions d'eucaliptus.

No s'han trobat variacions espacials, ni en escolament ni en erosió, en funció de la posició dels col·lectors al llarg del vessant. Les variacions han tingut un caràcter aleatori, possiblement relacionades amb aspectes microtopogràfics o de condicions puntuals del sòl i de la vegetació. És a dir, que el model de comportament d'aquests vessants és el de resposta variable i no el model de Horton, en el qual es produeix una acumulació progressiva d'aigua i sediment vessant avall.

Finalment, pel que fa a la mesura de l'erosió mitjançant el model Erosion-2D, ha quedat ben palès amb els resultats obtinguts que no és adequat per avaluar aquestes taxes en àmbits forestals, ja que dona valors nuls.

## Agraïments

Des d'aquí volem agrair les facilitats donades pel senyor Joan Botey per a la instal·lació de parcel·les experimentals a la seva finca de Fitor, també agraim el suport dels projectes MEDCHANGE de la Unió Europea (ERB-IC-CT97-0147) i RESEL del Ministerio de Medio Ambiente.

## Bibliografia

- DUNNE, T. 1978. Field studies of hillslope flow processes. In: *Hillslope hydrology* (M. J. Kirkby Ed.). John Wiley & Son Chichester. p. 227-294 .
- SALA, M. 1988. Slope runoff and sediment production in two Mediterranean mountain environments. *Catena*, Supp. 12: 13-29.
- SALA, M. 1984. Mecanismos de la erosión por el agua en las vertientes. *Notes de Geografia Física*, 11: 31-38. Departament de Geografia Física, Universitat de Barcelona.
- SALA, M. 1982. Metodología para el estudio y la medición de los procesos de erosión actuales, *Notes de Geografia Física*, 8: 39-56. Departament de Geografia Física, Universitat de Barcelona.
- SALA, M. 1979. *L'Organització de l'espai natural a les Gavarres*. Dalmau Ed. Barcelona.
- Schimdt, J. 1991. A mathematical model to simulate rainfall erosion. *Catena*, Supp. 19: 101-109.
- ÚBEDA, X. 1994. Caracterització del sòl i quantificació del transport de sediment en un bosc mediterrani (les Gavarres, Massís Litoral Català). *Notes de Geografia Física*, 23: 31-38. Departament de Geografia Física, Universitat de Barcelona.
- VERDÚ, J. M.; BATALLA, R. & POCH, R. M. 2000. Dinámica erosiva y aplicabilidad de modelos físicos de erosión en una cuenca de montaña mediterránea (Ribera Salada, cuenca del Segre). *Pirineos* (acceptat).