

LA RECERCA HIDROLÒGICA EN PETITES CONQUES INSTRUMENTADES MÈTODES I UTILITAT APLICADA

Anna Àvila

*Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions
Forestals*

Francesc Gallart

*Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera,
CSIC*

Les petites conques instrumentades són una eina fonamental per a la recerca hidrològica. S'hi estudien els balanços d'aigua, de soluts i de sediments, s'hi duen a terme estudis sobre processos hidrològics, i s'hi desenvolupen i proven diversos tipus de models. Problemes tan importants com les conseqüències dels canvis ambientals i d'usos del sòl sobre la quantitat i la qualitat de les aigües aportades per les capçaleres de les conques són els que han impulsat a tot el món l'establiment de petites conques de recerca. A Catalunya els treballs de recerca en aquest tipus de conques es van iniciar el 1981, i ja han subministrat informació d'utilitat per a la gestió forestal, ambiental i hidrològica.

1

Base metodològica de les conques de recerca

La conca és una unitat geogràfica que respon a una definició hidrològica: l'aigua precipitada dins dels límits d'una conca ha de seguir una d'aquestes vies: 1) evapotranspiració, 2) drenatge superficial, 3) drenatge subterrani o 4) acumulació en un compartiment d'emmagatzematge (neu, sòl o aqüífer subterrani) (figura 1).

El drenatge superficial és fàcilment mesurable, però les altres vies de circulació presenten més problemes de quantificació. Malgrat això, en determinades condicions les dues darreres poden ser quantitativament poc importants. Per exemple, si es seleccionen conques amb un substrat impermeable, aleshores es minimitza el drenatge subterrani, i si es prenen períodes de temps en els quals les reserves d'aigua dins la conca són similars al principi i al final (l'anomenat any hidrològic), aleshores els canvis en l'emmagatzematge són mínims. Si s'acompleixen aquestes dues condicions, es pot considerar que l'aigua precipitada en la conca en aquest període de temps surt o bé per drenatge superficial o bé és evapotranspirada, i així, per diferència entre l'aigua precipitada i l'aigua drenada, podem estimar una variable de difícil mesura: l'evapotranspiració real a escala de paisatge o d'ecosistema.

En condicions de clima relativament humit, els fluxos de matèria van estretament lligats al flux d'aigua, ja sigui mitjançant el transport dissolt o en partícules. De manera que, al mateix temps que s'estableixen els balanços d'aigua, podem estudiar els balanços dels elements químics i de sediments. Els balanços d'elements químics ens indiquen quins elements són retinuts en la conca (quan les entrades són més grans que les sortides), quins elements tenen una exportació neta de la conca (quan les sortides són més grans que les entrades) o quins elements circulen per la conca amb sortides igual a les entrades, i això permet fer algunes deduccions del que passa en l'ecosistema-conca. Els balanços de sediment ens donen informació dels processos d'erosió, transport i deposició que ocorren a la conca.

Durant els anys seixanta, la UNESCO va estimular la cooperació internacional en hidrologia científica mitjançant el Decenni Hidrològic Internacional (1965-1975). Un dels resultats d'aquest esforç va ser la publicació de reculls metodològics entre els quals destaca el que fa referència al mètode de les conques representatives i experimentals (Toebe & Ouryvaev, 1970).

1.1

Conques representatives

La major part de treballs de recerca dissenyats per a estudiar els balanços d'aigua i matèria es realitzen en conques que es consideren representatives de determinats geoecosistemes, és a dir, de determinades condicions climàtiques, topogràfiques, litològiques, pedològiques, de formacions vegetals i d'ús del sòl. Aquestes conques han de ser necessàriament de dimensions reduïdes (uns pocs km² com a màxim) per tal d'assegurar suficient homogeneïtat.

Les primeres conques representatives es van instal·lar a Suïssa cap a l'any 1900, a fi de comparar la resposta hidrològica d'una conca boscosa amb la d'una ocupada principalment per pastures (McCulloch & Robinson, 1993). Els resultats obtinguts en aquestes conques van



Aspecte general d'una conca instrumentada al Montseny, coberta per un alzinar dens als vessants i per landes a les parts culminants. Una conca hidrogràfica pot considerar-se com una unitat discreta dins del paisatge. Si una conca compleix les condicions d'estar sobre un substrat impermeable i de presentar unes fronteres ben definides, aleshores la conca es pot tractar com a representació de l'ecosistema terrestre contingut dins de les seves fronteres. Aquest enfocament permet estudiar el comportament dels ecosistemes terrestres en condicions naturals i en relació amb canvis ambientals com, per exemple, la pluja àcida, la deforestació, els canvis en els usos del sòl o el canvi climàtic.

posar de manifest l'efecte beneficiós del bosc en la regulació dels cabals en àrees alpines (Keller, 1988).

1.2

Conques experimentals

La comparació del funcionament de dues conques presenta el problema que és pràcticament impossible aïllar un sol factor, de manera que no es pot assegurar que es comparen dos tipus de formació vegetal, sinó que realment es comparen dues unitats complexes.

El mètode de les conques experimentals (o també conques bessones) es basa a seleccionar un parell de petites conques de característiques molt similars per, després de comparar durant alguns anys el seu comportament hidrològic, modificar la cobertura vegetal en una d'aquestes (per exemple, tallar el bosc), i estudiar-ne les conseqüències utilitzant la conca no modificada com a unitat de referència.

El primer parell de conques experimentals es va establir l'any 1911 a Colorado (EUA) a fi d'estudiar les conseqüències hidrològiques de la tala forestal. Uns quans anys després, el 1934, es van iniciar els treballs del Laboratori Hidrològic de Coweeta (Carolina del Nord, EUA) dedicats a veure els efectes de diferents sistemes de gestió del sòl en la producció hídrica. Els primers tractaments en conques començaren a Coweeta el 1939 i el laboratori és operatiu encara avui en dia. L'interès d'estudis de llarga durada, com és

el cas del seguiment hidrològic d'algunes de les conques de Coweeta, rau en el fet que permeten posar de manifest l'efecte de fenòmens poc freqüents o tendències de variació gradual lenta.

1.3

Estudis i modelització de processos

Els resultats obtinguts tant en les conques representatives com experimentals han estat fonamentals per al desenvolupament de la hidrologia, però tenen l'inconvenient de la seva dificultat de generalització. Els estudis que prenen la conca com a unitat no deixen de ser estudis de casos particulars. En realitat els mètodes d'anàlisi de la informació obtinguda en aquests treballs eren bàsicament estadístics i hi havia un gran desconeixement dels processos implicats.

No va ser fins al final dels anys setanta que el desenvolupament de la micrometeorologia, la física dels sòls, l'ecofisiologia i l'observació de camp dels fenòmens hidrològics va permetre iniciar una hidrologia científica que considerava l'estudi dels processos hidrològics o de les relacions de causalitat en el funcionament dels sistemes hidrològics.

Dins d'aquesta nova perspectiva, actualment es parla menys de conques representatives o experimentals que de conques instrumentades o de recerca. És a dir, unitats dins de les quals es porten a terme estudis dels diversos processos hidrològics mitjançant instruments que permeten mesurar independentment les principals

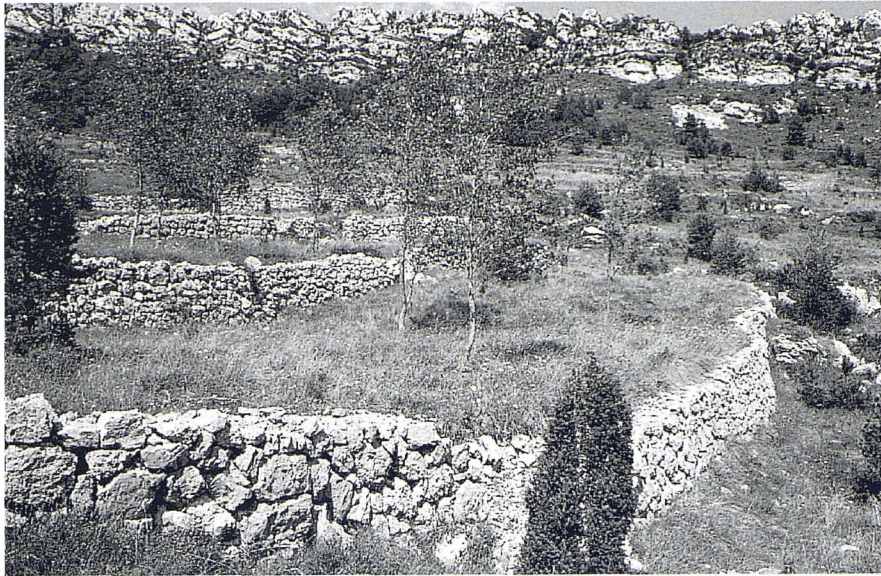
entrades, sortides i magatzems del sistema (precipitació, evaporació, transpiració, intercepció, infiltració, reserva d'aigua en el sòl, escolament). També s'hi duen a terme mostreigs dels diversos fluxos de matèria dissolta o en partícules per a estudiar-ne les fonts, les transferències, els engorjaments i les sortides.

Aquesta informació permet desenvolupar i provar models de funcionament dels diversos processos hidrològics i biogeoquímics. Amb aquests models, alternatius a la simple comparació, es pretén predir les conseqüències de canvis en l'ús del sòl, en la gestió forestal o en variables ambientals (contaminació atmosfèrica, canvi climàtic...) sobre el funcionament dels sistemes i sobre la qualitat i la quantitat d'aigua subministrada per les capçaleres de les conques fluvials.

2

Exemples de resultats aplicables obtinguts a Catalunya

A Catalunya, malgrat la migradesa del suport institucional en la seva consolidació, es disposa actualment d'una xarxa de conques de recerca comparable a les dels països europeus més actius en aquests temes. A continuació es resumeixen alguns exemples dels resultats científics obtinguts en aquesta xarxa que són susceptibles de ser aplicats a la gestió hidrològica i ambiental, així com a la previsió de la disponibilitat dels recursos d'aigua.



Les conseqüències hidrològiques de l'abandonament de la muntanya mitjana i, especialment, la pèrdua de recursos d'aigua que pot comportar la forestació d'antics conreus i pastures, és un dels aspectes principals estudiats a les conques experimentals de l'Alt Berguedà.

2.1

Àrees seminaturals de muntanya mitjana pre-litoral (Prades i Montseny)

A les conques d'alzinar dens de rebrot de Prades la precipitació mitjana anual és de 548 mm (període 1981-1988). D'aquesta quantitat, les conques només en drenen un 8% (45 mm), la resta és consumida per l'evapotranspiració (503 mm). L'evapotranspiració potencial en aquesta zona és més alta que la quantitat d'aigua que arriba en la precipitació. Això fa que l'evapotranspiració real estigui limitada per l'aigua disponible, i que els anys més humits augmenti molt més l'evapotranspiració que no pas l'escolament: a escala anual, hi ha una correlació positiva entre precipitació i evapotranspiració però no hi ha una relació significativa entre precipitació i drenatge (figura 2). El fet que hi hagi més o menys drenatge en diferents anys depèn de la distribució de les precipitacions durant l'any (Piñol, 1990).

Els resultats de les conques de Prades semblen indicar que l'alzinar es troba, aquí, molt proper al límit pel que fa a disponibilitat d'aigua per al seu manteniment. Si en el futur ens movem cap a un canvi climàtic en què augmenti la temperatura i disminueixi la precipitació, fet que es traduiria en una major demanda evaporativa, aleshores les condicions ambientals serien massa seques per a poder mantenir l'actual cobertura de l'alzinar dens de Prades, i de fet s'ha observat que en anys de sequera important (com els estius de 1989 i 1994) es produïa una

gran mortalitat de fulles a les alzines de la qual resultava molt costós recuperar-se.

Al Montseny, una conca a la zona de landes i pastures de la Calma que rep uns 850 mm de precipitació anual, drena un 40% d'aquesta precipitació (366 mm, període 1983-1985), mentre que una conca a poca distància de l'anterior, però a menys altitud i totalment coberta d'alzinar, drena un 33% de la precipitació (287 mm, període 1984-1994). Aquestes dades són coherents amb el fet que una major cobertura forestal (conca d'alzinar) consumeix més aigua en la transpiració i té una major intercepció que una cobertura arbustiva (conca de landa). No obstant això, hi ha diferències importants entre les dues conques en topografia i altitud que fan que la diferència hidrològica no es pugui atribuir únicament a les diferències en vegetació.

A les conques del Montseny, el consum per la transpiració no està limitat per l'evapotranspiració potencial en la mateixa mesura que a les conques de Prades, atès que al Montseny l'evapotranspiració potencial s'assembla a la pluviositat mitjana. Això fa que en els anys de major pluviositat augmenti més l'escolament que no pas l'evapotranspiració real i en resulti una bona correlació entre precipitació anual i drenatge anual.

L'aigua que drena a les conques del Montseny ho fa principalment a l'època humida, després que els sòls hagin augmentat el seu contingut d'humitat. Les crescudes estivals, malgrat que poden produir cabals punta força

importants, només drenen un petit percentatge de la precipitació (1-2%), i aquesta quantitat correspon amb tota probabilitat a la precipitació damunt del canal de drenatge (Àvila 1988). Això indica, que en condicions anteriors seques, pràcticament tota l'aigua de la precipitació és retinguda en els sòls de la conca i testimonia que en conques boscoses no es produeix escolament superficial als vessants, sinó que l'aigua s'infiltra molt fàcilment en el sòl. Això és important en tant que l'escolament superficial és el responsable de l'erosió dels vessants: en conques amb una bona cobertura vegetal, i especialment si són boscoses, les pèrdues erosives particulades són mínimes.

2.2

Àrees de muntanya mitjana prepirinenca en procés d'abandonament rural (Alt Berguedà)

Les terrasses de conreu tenen un paper protector del sòl molt eficaç, però juntament amb les canalitzacions realitzades per protegir els conreus de l'escolament i del negament han modificat dràsticament el funcionament hidrològic d'aquestes àrees. Durant l'estiu, els sòls gruixuts de les terrasses són capaços d'absorbir completament els ruixats intensos, i, fins i tot, frenar l'escolament i l'erosió produïts en petites àrees degradades. Durant la resta de l'any, les terrasses funcionen com un sistema de captació de l'aigua subterrània, de manera que afavoreixen la formació d'àrees saturades i la torrencialitat de les



El funcionament hidrològic i l'erosió de les zones aixaragallades és un altre dels principals temes de recerca a les conques experimentals de l'Alt Berguedà.

crescudes. Les canalitzacions sofreixen un gran esforç durant les crescudes i són la font principal dels sediments aportats a la xarxa fluvial. Després de l'abandonament, el principal problema observat en les estructures és que les canalitzacions es malmeten, de manera que l'aigua té tendència a recuperar els camins naturals, provocant l'erosió de les feixes (Llorens, 1991; Llorens et al., 1992; Gallart et al., 1994.).

Les àrees aixaragallades subministren quantitats importants de sediment a la xarxa fluvial (unes 140 t ha⁻¹ any⁻¹), així com cabals líquids condicionats quasi solament a les precipitacions. Això origina que a l'estiu els cabals que circulen pels torrents vinguin quasi únicament dels xaragalls, ja que les àrees cobertes per bosc o prat absorbeixen les precipitacions estivals. Les concentracions de sediment en les aigües dels torrents són, doncs, màximes durant l'estiu i disminueixen a la tardor per dilució amb les aigües subministrades per les àrees estables (Regüés, 1995).

El principal problema hidrològic plantejat per l'abandonament del conreu i pasturatge d'aquestes àrees de muntanya mitjana és el canvi en el balanç d'aigua causat per la reforestació, espontània i afavorida, pel pi rojalet principalment. Les clapes de pineda densa intercepten un 24% de la pluja i originen un menor contingut d'aigua en el sòl en comparació amb els prats (Llorens *et al.* en premsa). El canvi de pastura a pineda de tota una conca pot representar en aquestes àrees la reducció d'un 30% dels cabals d'aigua subministrats a la xarxa fluvial (Llorens, 1995), essent aquesta una

estimació conservadora si la comparem amb els resultats experimentals obtinguts arreu del món (Bosch & Hewlett, 1982).

3 Balanç de nutrients

Si les conques compleixen els requisits de tenir un substrat impermeable i una delimitació ben definida es poden calcular els balanços d'elements a partir de les seves entrades atmosfèriques (per la pluja i deposició seca) i les seves sortides en l'aigua de drenatge. Els primers treballs usant aquesta metodologia es van portar a terme a l'estació de Hubbard Brook (Nou Hampshire, EUA) al final dels anys seixanta i es revelaren molt adequats per estudiar les conseqüències en els ecosistemes terrestres d'uns fenòmens que s'havien posat de manifest en la mateixa època: la precipitació àcida i la deposició de contaminants (Likens i Bormann, 1974).

3.1 Balanços de nutrients a les conques de Prades i del Montseny

A les conques de Prades i del Montseny, els elements retinguts, és a dir, els que tenen unes sortides menors a les entrades, són l'hidrogen i el nitrogen. El ió hidrogen és el responsable de la pluja àcida. A la pluja de localitats del nord d'Europa i d'Amèrica del Nord l'hidrogen domina les càrregues positives i està acompanyat pels ions sulfat i nitrat en les càrregues negatives. A Catalunya, no obstant això, la mitjana anual de

la pluja no és àcida, malgrat que sí que hi ha episodis clarament àcids (Àvila 1996). Per exemple, a les localitats rurals de les muntanyes de Prades i del Montseny, el pH mitjà anual és de 6,8 i 6,4 respectivament (Rodà et al.) i hi ha una incidència de pluges àcides (de pH inferior a 4.5) del 12% i 25% respectivament. Malgrat això, el pH de l'aigua que drena les conques de Prades i del Montseny encara és més alt, al voltant de 7,5 a les dues localitats. Això ens indica que hi ha una neutralització dels hidrogenions en el sòl, per intercanvi amb el complex de bescanvi del sòl i per consum en l'hidròlisi dels silicats en la meteorització.

La retenció del nitrogen en aquestes conques densament boscoses respon al fet que aquest element és un nutrient important per a la vegetació: l'entrada atmosfèrica, que es situa sobre els 5 kg N ha/any a Prades i al Montseny, suposa, de fet, una fertilització. En zones del nord d'Europa i Amèrica del Nord les entrades de nitrogen són molt més grans (30-50 kg N ha/any), la qual cosa distorsiona el funcionament biogeoquímic dels ecosistemes amb conseqüències d'estrès important en els ecosistemes.

L'exportació neta d'elements (en aquells que no tenen una fase gasosa en el seu cicle, com per exemple els cations bàsics) significa que hi ha algun procediment de generació dels elements dins la conca. La meteorització de la roca és el principal procés d'alliberament d'elements i l'exportació neta de cations bàsics s'ha utilitzat com a mètode d'estimació de les taxes de meteorització de les roques (Àvila i Rodà 1988). Aquesta metodologia ens permet, doncs, conèi-

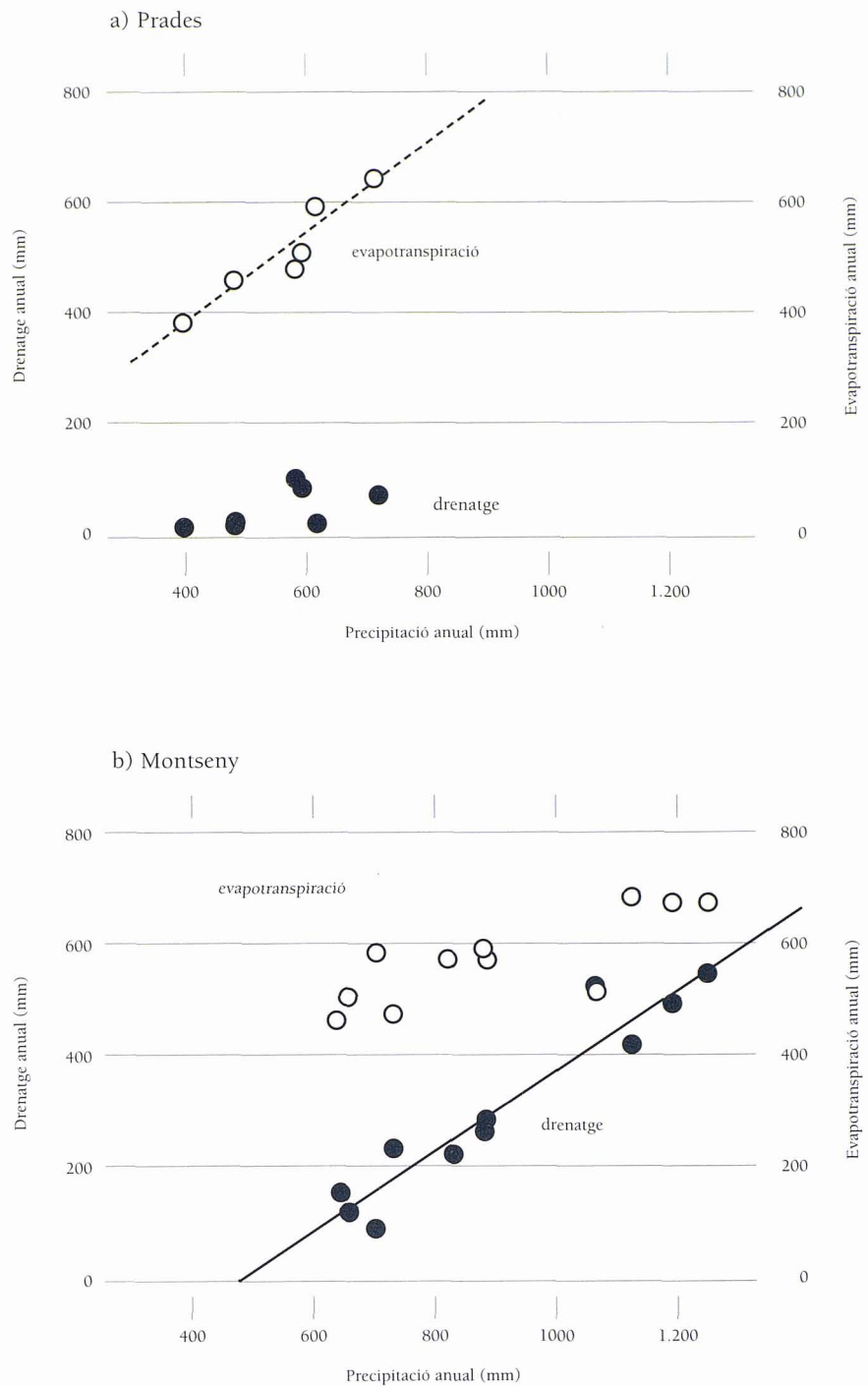
er les taxes d'aquest important procés de formació del sòl.

3.2

Models biogeoquímics

El coneixement dels fluxos principals d'entrada i sortida d'elements en l'ecosistema-conca ha permès el desenvolupament de models biogeoquímics, els quals reproduïen els principals processos hidrològics i biogeoquímics responsables de la dinàmica dels elements a la conca. A més de contribuir a entendre els processos hidroquímics que ocorren en els ecosistemes terrestres, els models biogeoquímics permeten predir la resposta dels ecosistemes terrestres en diferents escenaris de simulació i a llarg termini (una centena d'anys). En concret, els models biogeoquímics han estat d'enorme interès per a predir els canvis en el sòl i en les aigües de drenatge en simulacions d'augment de la pluja àcida i de canvis d'usos del sòl, com per exemple en les tals. Una tala seguida de reforestació pot ser un procés acidificant important si hi ha una exportació de cations bàsics en la biomassa talada a una taxa més ràpida que la de subministrament de cations per la meteorització i per les entrades atmosfèriques.

El model MAGIC (Model of Acidification of Groundwaters in Catchments, Cosby *et al.* 1985) s'ha aplicat a les conques de Prades i del Montseny per explorar els efectes sobre la química del sòl i de les aigües de drenatge de diferents escenaris de deposició àcida i de gestió de tala de l'alzinar. Els resultats de l'aplicació del model al Montseny indiquen que amb el règim tradicional de tals (rotació d'uns 40 anys, extracció del 30% de la biomassa), l'alteració de la qualitat del sòl i de les aigües és mínima i no constitueix un problema ambiental important (Neal *et al.* 1995). A Prades, simulant una gestió molt més dràstica de tala de tot l'alzinar, tampoc no s'han detectat canvis importants en el contingut de bases del sòl ni en la qualitat de les aigües (Bellot *et al.* 1994). Aquestes simulacions ens permeten concloure que, al nostre país, la tala dels alzinars no alteraria de forma important la qualitat de les aigües, fet que contrasta amb els resultats de les simulacions (i els resultats experimentals) en boscos del nord i del centre d'Europa, on les tals produeixen un deteriorament molt considerable del contingut de bases del sòl i de la qualitat de les aigües de drenatge. Això no vol dir que les tals estiguin exemptes d'efectes ambientals perjudicials a casa nostra: de resultats de les tals es poden produir processos erosius importants amb la destrucció dels horitzons superficials del sòl.



Comportament hídric de dues conques d'igual vegetació (alzinar), però amb règims climàtics lleugerament diferents: la conca de les muntanyes de Prades es troba en unes condicions més xèriques que les del Montseny. A Prades, el drenatge anual és sempre molt inferior a les quantitats evapotranspirades i hi ha una relació significativa entre la precipitació anual i l'evapotranspiració anual. Al Montseny, amb un règim de precipitacions més elevat, la conca drena més aigua i la variable que està relacionada significativament amb la precipitació és el drenatge, mentre que l'evapotranspiració oscil·la al voltant dels 600 mm. Això ens indica que l'alzinar del Montseny pot satisfer generalment la seva demanda evaporativa i que l'excés de precipitació per sobre d'aquesta s'exporta en el drenatge de la riera. En general, a escala anual, l'aigua que entra en una conca de substrat impermeable pot sortir-ne en forma de drenatge o ser evapotranspirada i, segons el tipus de clima i de vegetació, el repartiment de la pluja en drenatge o evapotranspiració és diferent.

En resum, en aquestes ratlles es posa de manifest que el millor coneixement dels processos hidrològics i biogeoquímics dins d'unitats terrestres ben definides (les conques) pot contribuir a una gestió més eficient dels recursos com l'aigua, el bosc i el sòl ■

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ÀVILA, A. (1988) *Balanç d'aigua i nutrients en una conca d'alzinar al Montseny*. Estudis i Monografies, 13. Diputació de Barcelona. 219 pàg.
- ÀVILA, A (1996) *Time trends in the precipitation chemistry at a mountain site in Northeastern Spain for the period 1983-1994*. Atmospheric Environment, 30: 1363-1373.
- ÀVILA, A & PIÑOL J. (1991) *La pluja àcida a Catalunya*. Medi Ambient, 2:71-73.
- ÀVILA, A. & RODÀ, F (1988) *Export of dissolved elements in an evergreen-oak forested watershed in the Montseny mountains (NE Spain)*. Catena supàgament, 12:1-11.
- ÀVILA, A. & RODÀ, F (1990) *Water budget of a broadleaved sclerophyllous forested catchment*. In: *Hydrological Research Basins and the Environment*. J.C. Hoogart, C.W.S. Posthumus & P.M.M. Warmerdam (Eds.). The Netherlands Organization for Applied Scientific Research. The Hague. pàg 29-40.
- BALASCH, J.C.; CLOTET, N., GALLART, F.(1988) *Validación a escala temporal de tasas de erosión en áreas de badlands (Prepirineo Catalán)*. Com. II Congr. Nac. Geol. VI, pàg. 359-362.
- BELILLAS, C.M., RODÀ, F. (1991): *Nutrient budgets in a dry heathland watershed in northeastern Spain*. Biogeochemistry, 13:137-157.
- BELLOT, J., MELIÀ, N & TELLO, E. (1994) *Calibración y aplicación del modelo MAGIC a las cuencas de encinar mediterráneo de Prades (Tarragona)*. Studia Oecologica, 10-11:51-61.
- BORMANN F.H. & LIKENS G.E. (1967) *Nutrient cycling*. Science, 155: 424-429.
- BOSCH, J.M. & HEWLETT, J.D. (1982): *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. J. Hydrology, 55: 3-23.
- CASTELLTORT, X. (1995). *Erosió, transport i sedimentació fluvial com a integració dels processos geomorfològics d'una conca*. (Conca de cal Rodó, Alt Llobregat). Tesis doctoral, Dpt. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona.
- COSBY, B.J., WRIGHT, R.F., HORNBERGER, G.M. & GALLOWAY, J.N.(1985) *Modelling the effects of acid deposition: estimation of long-term water quality responses in a small forested catchment*. Water Resour. Res., 21: 1591-1601.
- GALLART, F. (1993): *Los efectos del abandono de cultivos: el bosque y el río, una relación incierta*. La Vanguardia, Suplemento de Ciencia y Tecnología, 6 de Febrero de 1993: 8.
- GALLART, F., LLORENS, P., LATRON, J. (1994): *Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a Mediterranean small mountainous basin*. Journal of Hydrology, 159:291-303.
- GALLART, F., LATRON, J., LLORENS, P. RABADÀ, D. (in press, a): *Hydrological functioning of Mediterranean mountain basins in Vallcebre, Catalonia: some challenges for hydrological modelling*. Hydrological Processes.
- GALLART, F., LATRON, J., REGÜES, D. (in press,b): *Hydrological and sediment transport processes in the research catchments of Vallcebre (Pyrenees)*. In: *Modelling Erosion by Water*, J. Boardman & D. Favis-Mortlock (Eds.). ANSI NATO Series.
- KELLER, H. (1988) *European Experiences in Long-Term Ecological Research*. In: *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*, W.T. Swank and D.A. Crossley (Eds.). Springer.
- LIKENS, G.E. & BORMANN, F.H. (1974) *Acid rain: a serious regional environmental problem*. Science, 184:1176-1179.
- LLORENS, P. (1991). *Resposta hidrològica i dinàmica de sediments en una petita conca pertorbada de muntanya mediterrània*. Tesis doctoral, Dpt. Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, 277 pàg.
- LLORENS, P. (1995): *Hydrological implications of afforestation of abandoned lands: Water balance simulation of a small Mediterranean mountainous basin*. In: *Assessing Hydrological Changes*. P.Llorens & F.Gallart (Eds.) Acta Geologica Hispanica, 28: 131-138
- LLORENS, P., LATRON J., GALLART, F. (1992). *Analysis of the role of agricultural abandoned terraces on the hydrology and sediment dynamics in a small mountainous basin*. Pirineos, 139, 27-46.
- LLORENS, P., GALLART, F. (1992) *Small basin response in a Mediterranean abandoned farming area: research design and preliminary results*. Catena 19: 309-320.
- LLORENS, P., POCH, R., LATRON, J. & GALLART, F. (in press): *Rainfall interception by a Pinus sylvestris forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area*. In: *Monitoring desing and results down to the event scale*. J. Hydrology
- Mc CULLOCH, J.S.G. & ROBINSON, M (1993). *History of forest hydrology*. J. Hydrology, 150: 189-216.
- NEAL, C., ÀVILA, A. & RODÀ, F (1995) *Modelling the long term impact of atmospheric pollution deposition and repeated forestry cycles on streamwater chemistry for a holm oak forest in northeastern Spain*. J. Hydrology, 168: 51-71.
- PIÑOL, J. (1990). *Hidrologia i biogeoquímica de conques forestades de les Muntanyes de Prades*. Tesis doctoral. Dpt. Ecologia. Fec. de Biologia. Universitat de Barcelona.
- PIÑOL, J., LLEDÒ, M.J.& ESCARRÉ, A. (1991): *Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments (Prades, northeast Spain)*. Hydrological Sciences Journal 36: 95-107.
- PIÑOL, J., TERRADAS, J., ÀVILA, A. and RODÀ, F (1995) *Using Catchments of Contrasting Hydrological Conditions to Explore Climate Change Effects on Water and Nutrient Flows in Mediterranean Forests*. In: J.M. Moreno and W. C. Oechel (Eds.) *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*. Springer.
- RABADÀ, D. (1995). *Dinàmica hidrològica d'una petita conca pirenaica de camps abandonats amb pinedes en expansió (Alt Berguedà, Barcelona)*. Tesis doctoral, Dep. de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Fac. Geologia, Universitat de Barcelona.
- REGÜES D. (1995) *Meteorización física en relación con los procesos de producción y transporte de sedimentos en un área acarcavada*. Tesis doctoral, Dpt. de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Fac. de Geologia, Universitat de Barcelona.
- RODÀ, F., BELLOT, J., ÀVILA, A., ESCARRÉ, A., PIÑOL, J. & TERRADAS, J. (1993) *Saharan dust and the atmospheric inputs of elements and alkalinity to Mediterranean ecosystems*. Water, Air and Soil Poll., 66:277-288.
- SALA, A. (1992) *Water relations, canopy structure and canopy gas exchange in a Quercus ilex forest: variation in time and space*. Tesis doctoral, Dpt. Ecologia, Fac. de Biologia, Universitat de Barcelona.
- TCEBES, C. & OURYVAEV, V. (1970) *Les bassins représentatifs et expérimentaux. Guide international des pratiques en matière de recherche*. Etudes et rapports d'hydrologie, 4, UNESCO, Paris, 380 pàg.