

Balanç hidroquímic d'una conca mediterrània en estat seminatural: el cas de la riera d'Arbúcies

R. BATALLA. M.SALA

G.R.A.M. Grup de Recerca Ambiental Mediterrània
Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional
Universitat de Barcelona. c/ Baldiri i Reixac s/n. 08028 Barcelona

RESUM

Es presenta un balanç hidroquímic de la riera d'Arbúcies, una conca mediterrània semi-natural, després del primer any de monitorització. La producció anual de material dissolt per a cadascun dels ions, s'ha determinat utilitzant les corbes de correlació entre fluxe i concentració, i la taula de freqüència de cabals. El balanç químic de la riera d'Arbúcies mostra que tots els elements presenten un balanç positiu, fet que demostra que l'exportació neta positiva ha de provenir de fonts internes al sistema. La taxa de denudació catiònica obtinguda és de 5,24 keq/ha/any, en contrast amb les taxes inferiors obtingudes en conques sobre pissarres i filites. Això és degut a la intensa meteorització química de la granodiorita, que allibera gran quantitat de cations i els deixa en situació de ser transportats. Aquest fet és conseqüència de les elevades temperatures i l'alta disponibilitat hídrica al llarg de l'any en aquesta conca. Des d'un punt de vista geomorfològic es demostra la importància fonamental del control litològic en la càrrega de sediment dels rius, particularment sobre la part en dissolució.

ABSTRACT

A study of hydrochemical characteristics of the Arbúcies river (a seminatural mediterranean basin) has been undertaken during 1991. Mean solute yield for each ion has been determined using the correlation curves between discharge and concentration, and the flow duration curve. The hydrochemical budget of the Arbúcies drainage basin shows that the basin is a net source for all the elements. The cationic denudation rate obtained in this granitic basin is 5.24 keq/ha/year. This high rate is due to the intensive chemical weathering of the granodiorite, that delivers an important amount of cations which will release to be transported. The results demonstrate clearly the strength of lithological control on stream loads, particularly on the dissolved component.

Paraules clau: Balanç hidroquímic, meteorització química, carga en dissolució, taxa de denudació catiònica, control litològic.

Keywords: Hydrochemical budget, chemical weathering, dissolved load, cationic denudation rate, lithological control.

INTRODUCCIO

Encara són pocs els treballs que centren l'atenció en el material transportat en dissolució pels rius en conques de drenatge Mediterrànies. Pel que fa a balanços hidroquímics en conques no alterades en ecosistemes forestals mediterranis i per la proximitat geogràfica a l'àrea d'estudi que aquí presentem, cal destacar els portats a terme per Rodà (1983), Avila (1986), i Avila & Rodà (1988) en alguns ecosistemes forestals del massís del Montseny. Així mateix, cal fer esment dels treballs realitzats a les Muntanyes de Prades per Escarré et al. (1984) i Bellot & Escarré (1989).

Des d'un punt de vista científic, tenir informació sobre la càrrega de material dissolt pot ser d'una gran utilitat alhora d'evaluar taxes d'erosió i meteorització i de descriure la importància relativa dels processos químics de denudació (Walling, 1984).

En àrees humides i subhúmedes, és a dir en conques ampliament cobertes per bosc, l'exportació de material dissolt fora de la conca per l'acció de l'aigua és sovint el principal factor que domina el procés de denudació (Avila & Rodà, 1988).

Les sortides d'elements químics dissolts en l'aigua són el resultat tant de les entrades provinents de l'atmosfera, incloent-hi la precipitació i la deposició seca (Meybeck, 1983), de la meteorització del sòl i la roca mare (Drever, 1982) i (Sala & Wheeler, 1988), dels processos bioquímics que es desenvolupen en l'interior de la conca, (Escarré et al. 1984) i en el cas de conques on l'activitat humana hi és present, dels processos que d'aquesta acció se'n puguin derivar, en especial de tipus forestal, agrícola i/o industrial (Petts & Foster, 1985).

Per tant, la càrrega de material dissolt que surt d'una conca reflexa tots els processos naturals i antròpics que en ella hi tenen lloc, i és, per tant, un indicador molt sensible de les condicions actuals de la conca. Els canvis que es produeixin en el transport del material dissolt poden proporcionar un valuós coneixement sobre les alteracions dins del sistema conca (Walling & Webb, 1981) i (Walling, 1984). Per exemple, Peck (1976) ha descrit l'increment de la salinitat dels rius al sud d'Australia com a conseqüència de la substitució del bosc tradicional per pastures i conreus; Farley & Werritty (1989) han estudiat la influència de la deforestació sobre el balanç hidroquímic de tres petites conques al sudoest d'Escòcia; Llorens (1991) ha evaluat les exportacions

de material dissolt d'una conca al Pre-Pirineu afectada per l'abandonament dels camps de conreu.

En aquest estudi ens plantejem establir un balanç hidroquímic d'una conca mediterrània semi-natural, amb clima subhúmid i substrat granític, situada entre el Montseny i les Guilleries, després del primer any de monitorització.

L'AREA D'ESTUDI

La conca de la riera d'Arbúcies forma part de la conca del riu Tordera, essent-ne un dels principals afluents. Es troba situada (Figura 1) al vessant oriental del massís del Montseny (41°50'N, 2°30'E). Recull les aigües provinents de la part oriental d'aquest massís, així com les de part del massís de les Guilleries. Aigües amunt de l'estació d'aforament nº56 (km.4 carretera Hostalric-Arbúcies) la conca té una superfície de 106 km², elevant-se des d'aquest punt 100 m. (s.n.m.) fins als 1430 m. del Coll Pregón, amb un pendent mitjà del 5% al llarg de 27 quilòmetres (un 22% entre els km 1-3 i un 2,9% els altres 24 km restants).

El principal material que forma el subsòl de la conca és la granodiorita biotítica de gra mitjà, que representa un 80% de la superfície total de la conca (IGME, 1981). Està formada sobretot per: SiO₂ 69,10% i Al₂O₃ 14,74%, a més de Fe₂O₃ 3,28%, CaO 2,53%, MgO 0,86%, K₂O 4,36%, i Na₂O 3,54%, i a part d'altres elements químics (Viladevall, 1975). També s'hi troben àrees d'esquistos, micaesquistos i gneis quarfeldespàtics (5% de la superfície) amb petites àrees de marbres intercalades, i alguns filons de composició variada (pòrfids, aplites, etc.)

Els dipòsits quaternaris de la conca d'Arbúcies consisteixen en tres nivells de terrassa Holocènics, constituïdes per sorres, graves, llims i argiles en proporcions variables, encara que les graves, sobretot les de mida petita, (2-4 mm) i les sorres hi són predominants (Sala, 1978).

La precipitació anual pot variar substancialment d'un punt a un altre i d'un any a l'altre en una conca d'aquestes dimensions, sent la mitjana anual de 980 mm (precipitació mesurada al poble d'Arbúcies, entre els anys 1969 i 1981, segons dades de l'Institut Nacional de Meteorologia).

La conca està en la seva major part coberta per un alzinar típic mediterrani amb algunes rouredes, substi-

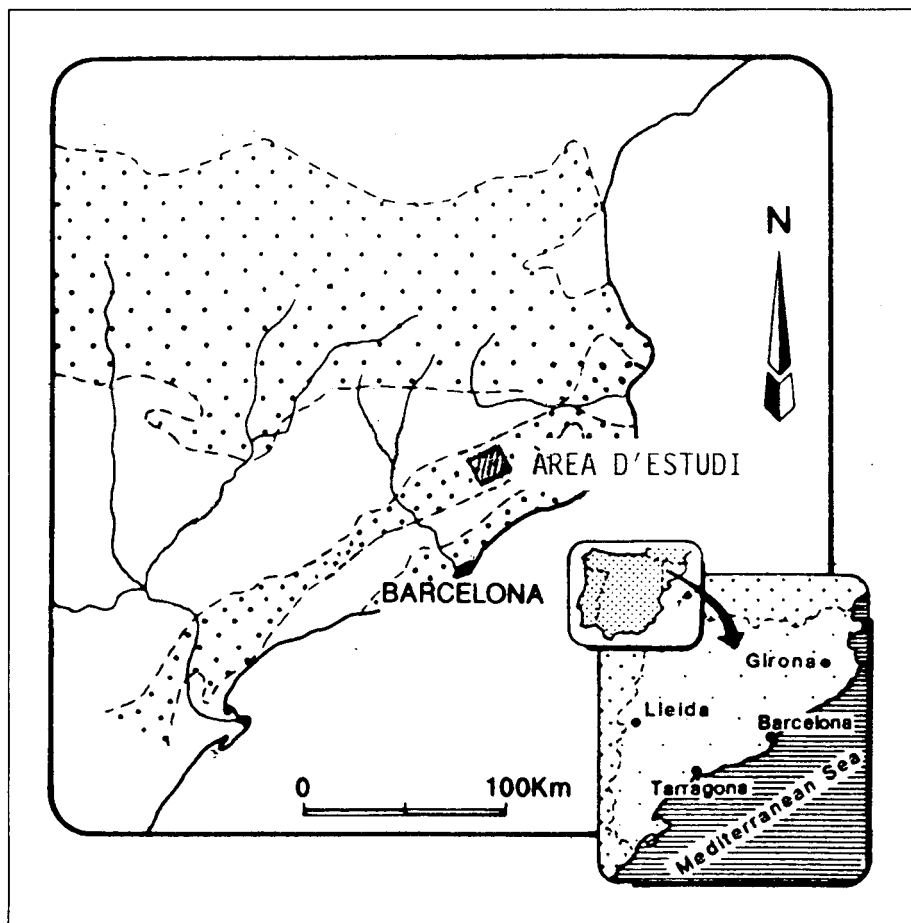


Figura 1. Situació de l'àrea d'estudi

Figure 1. Location of the study area

tuit per plantacions d'arbres de ribera prop dels cursos fluvials.

Les anàlisis dels registres de cabals del període 1967-1987 mostren que el cabal d'aigua a la sortida de la conca és continu, excepte un 2% del temps, o el que és el mateix, una mitjana de 6-7 dies de sequera per any.

En la conca es troba la vila d'Arbúcies, (3.415 habitants el 1986), a més a més de petits nuclis de població i d'algunes massïes aïllades. En el poble hi han petites indústries relacionades amb l'automòbil, el tèxtil i l'elaboració de productes càrnics. La vila també compta amb una depuradora per a la retirada de fangs i per a la reoxigenació les aigües residuals. Cal no oblidar tampoc la importància de l'agricultura ubicada sobretot a la plana al·luvial aigües avall del nucli urbà i a la superfície d'erosió del Pla de les Arenes.

METODES I RESULTATS

El cabal d'aigua de la riera es registra continuament a l'estació d'aforament nº 56 des de l'any 1967 (Anuario de Aforos MOPU 1983-84 / Anuari Junta d'Aigües 1986-87) amb pocs trencaments de la sèrie de dades. La quantitat de precipitació es mesura setmanalment mitjançant un pluviògraf estàndar tipus Hellmann situat al centre de la conca. El treball de recerca es basa en la presa setmanal de mostres d'aigua, així com també durant les crescudes, a fi de copsar els canvis en el químic de les aigües durant aquests episodis.

Durant el període comprès entre el gener de 1991 i el desembre del mateix any es van prendre 75 mostres d'aigua a l'estació d'aforament nº 56, de les quals se'n ha determinat les principals característiques físiques i químiques, segons la metodologia descrita per Brown et al. (1972).

Es determinen in situ la temperatura, la conductivitat i el pH de l'aigua. El pH es manté força constant en totes les mostres analitzades, amb una mitjana de 7,32 i amb un coeficient de variació del 2,8%. La conductivitat elèctrica específica mitjana a 25°C és de 311,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$ amb un coeficient de variació del 20,8%. La correlació entre la conductivitat elèctrica (SC en $\mu\text{S cm}^{-1}$) i la concentració de sòlids dissolts (TDS en mg l^{-1}) a la riera d'Arbúcies, queda definida per la següent equació, (estadísticament significativa al 0,99):

$$\text{TDS} = (\text{SC} * 0,434) + 82,13$$

El valor del coeficient de regressió varia d'acord amb la composició iònica de la mostra i la seva concentració. Generalment aquest factor de conversió es troba entre 0,5 i 0,75 (Hem, 1970).

Les anàlisis químiques es realitzen després de filtrar la mostra a través d'un filtre Milipore amb porositat de 0,45 micres. La determinació dels carbonats a partir de l'alcalinitat s'obté per titració. El silici es determina per plasma inducció. A partir de mostres convenientment emmagatzemades es determinen els cations principals (K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+) per plasma inducció, i els anions principals (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) per cromatografia iònica.

Totes les dades químiques setmanals han estat subjectes a un balanç iònic (en eq l^{-1}) per establir-ne el corresponent control de qualitat. El resultat d'aquest balanç és el següent:

Sumatori cations / sumatori anions:

Mitjana aritmètica = 1,02

Desviació típica 0,24

N=75

Coefficient de variació (%) = 23,63

Si tenim en compte les concentracions mitjanes de tots els elements (Taula I), veurem que la composició química de l'aigua a la sortida de la Rra. d'Arbúcies (Figura 2) està dominada pel bicarbonat (35,8%) i el calci (24,9%), seguit del sodi (13,0%) i bastant més lluny de la resta d'elements com el magnesi (8,3%), clorurs (6,2%), sulfats (6,0%), silici (2,4%) i nitrats i potasi com a minoritaris (1,2% i 0,7% resp.).

En aquesta taula no hi figuren altres elements químics, com per exemple fosfats, al.lumini i ferro (amb mitjanes aritmètiques de 19,81, 10,82, 21,94 eq l^{-1} resp.) ja que el seu pes en el balanç és poc significatiu.

La producció anual de material dissolt per cadascun dels ions, s'ha determinat utilitzant les corbes de correlació amb una relació significativa ($p > 0,99$) entre fluxe i concentració (Taula II). A partir d'aquests valors i la taula de freqüència de cabals (Figura 3), obtinguda mitjançant l'anàlisi estadística de 17 anys de registres diaris s'ha obtingut la producció mitjana anual per a cada ió de la següent manera: primer, el registre de cabals s'ha subdividit en vint-i-dos classes de freqüències, i després, la càrrega de material dissolt per a cada classe s'ha calculat com el producte del cabal associat amb el punt intermig de la classe corresponent, per la concentració estimada per aquell cabal a partir de la correlació anteriorment establerta i per la duració total del fluxe d'aquella classe (Walling, 1984). Cal remarcar, que encara que les correlacions entre concentracions i cabal són estadísticament significatives, presenten r^2 moderats, i que per tant tenen un error estandar de estimació relativament elevat.

Com es pot veure en la taula II, hi ha una correlació negativa, estadísticament significativa, entre el cabal i els següents ions: magnesi, calci (Figura 4), bicarbonats, sodi i sulfats. La correlació és una mica més baixa entre el cabal i la sílice, i entre el cabal i els clorurs. No existeix una relació significativa entre el cabal i el potasi ($r^2 = 0,0008$) i el cabal i els nitrats ($r^2 = 0,05$), com es pot observar a la figura 4.

Per aquells elements que no tenen una correlació estadísticament significativa (i.e. potasi i nitrat), s'ha obtingut la seva respectiva producció anual multiplicant la concentració mitjana anual pel cabal mig total registrat durant el període.

Donada la manca de dades pròpies, fins al moment, sobre entrades de material dissolt en l'aigua de pluja a la riera d'Arbúcies, farem referència, en aquest treball (Taula III), als resultats obtinguts a la riera de la Castanya, situada a pocs quilòmetres de la conca d'Arbúcies (Avila & Rodà, 1988) durant el període 1984-1985. Cal indicar que en el treball esmentat les entrades per deposició seca no han estat quantificades. Part de les sortides netes de SO_4^{2-} i Cl^- podrien deures a aquest fluxe no quantificat, fins i tot vàlid pel Na^+ (procedent de NaCl marí).

DISCUSSIO DE RESULTATS

En estudis de denudació química com el present, és important aïllar el component no-denudacional de la càrrega de material dissolt que el riu transporta, la qual

	n	X	Std	%
SiO ₂	75	135,1	13,7	10,1
K ⁺	74	41,4	11,5	28,1
Na ⁺	63	719,3	192,7	26,8
Ca ²⁺	75	1374,3	349,7	25,4
Mg ²⁺	75	461,1	112,5	24,4
HCO ₃ ⁻	24	1973,4	445,7	22,5
Cl ⁻	74	346,0	168,5	48,7
NO ₃ ⁻	74	70,8	47,5	67,1
SO ₄ ²⁻	74	330,2	77,7	23,5

Taula I. Concentracions mitjanes de les aigües a la sortida de la Riera d'Arbúcies (Gener-Desembre 1991) en eq l⁻¹.

Table I. Mean concentrations of water at the end of Riera d'Arbúcies (January - December, 1991) in eq l⁻¹.

	Equació regressió	r ²
SiO ₂	(-0,17*Q)+8,55	0,22
Na ⁺	(-0,94*Q)+14,34	0,34
Ca ²⁺	(-2,45*Q)+33,97	0,62
Mg ²⁺	(-0,48*Q)+6,88	0,64
Cl ⁻	(-1,30*Q)+17,09	0,19
SO ₄ ²⁻	(-0,95*Q)+18,38	0,33
HCO ₃ ⁻	(-11,50*Q)+152,3	0,63
TDS	(-14,30*Q)+240,9	0,73

Taula II. Relacions entre concentració i cabal estadísticament significatives (p>0,99)

Table II. Statistically significant relationship between concentration and discharge (p>0,99).

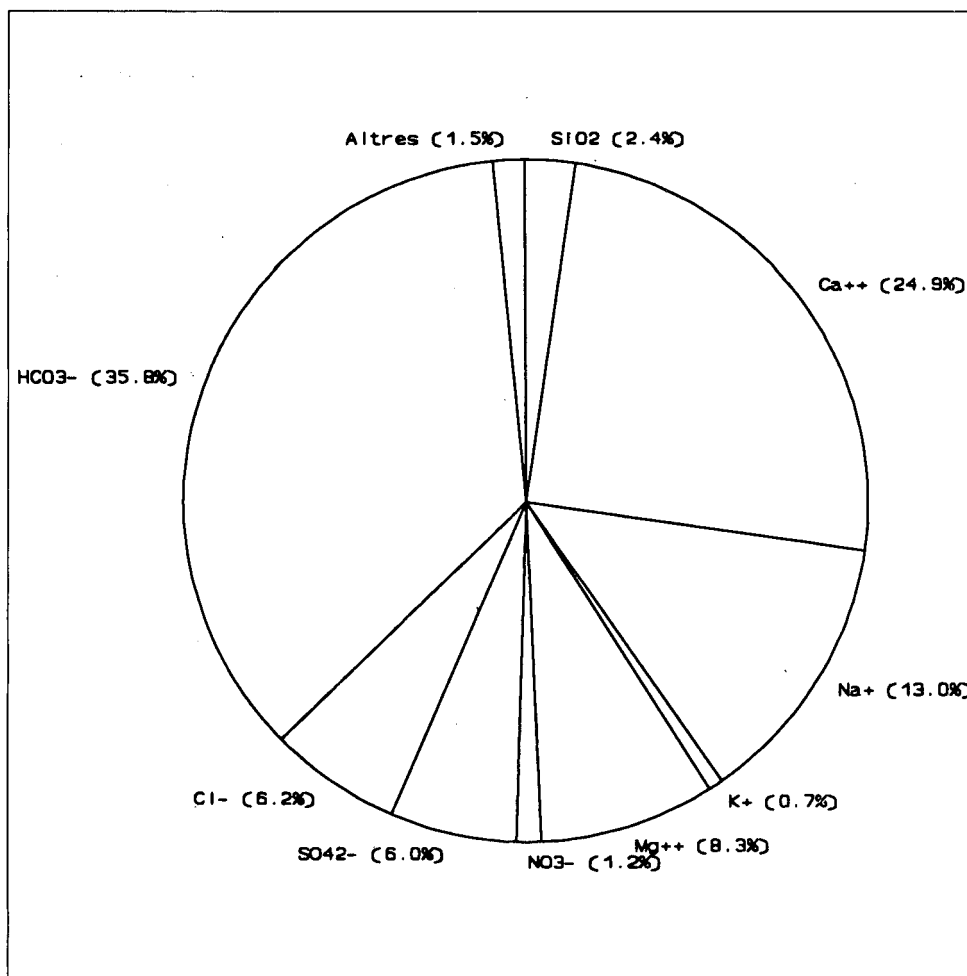


Figura 2. Percentatge de cations i anions principals a la sortida de la Rra. d'Arbúcies (estació n° 56).

Figure 2. Percentage of cations and anions at the outlet of Rra. d'Arbúcies (station n° 56).

comprèn inputs de precipitació, inputs artificials i d'altres relacionats amb l'activitat biològica (Petts & Foster, 1985).

Més del 80% de la càrrega de material dissolt que transporten els rius està generalment composta per quatre elements: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{++} i SiO_2 , encara que cadascun d'aquests components pot prendre una importància diferent depenent de la naturalesa de la conca, del seu règim hidrològic, i de les activitats antròpiques. Segons Walling (1984), els rius amb concentracions mitjanes situades entre 100 i 1000 mg l^{-1} , es troben dominats pels inputs provinents de la meteorització de la roca i el sòl. Les aigües d'aquests rius estan caracteritzades pel predomini del bicarbonat càlcic, com és el cas que es dona a la riera d'Arbúcies, en la qual el 61% de la concentració mitjana està dominada per aquests dos elements.

El balanç químic de la riera d'Arbúcies mostra que tots els elements presenten un balanç positiu (Taula III). Per tant, és clar que l'exportació neta positiva ha de provenir, en la majoria dels elements, de fonts internes del sistema. Cal remarcar que en aquesta conca l'activitat humana i els inputs químics que d'ella se'n puguin derivar queda especialment centrada en l'agricultura.

	Entrades*	Sortides	Balanç
SiO_2	—	23,3	23,3
K^+	1,4	5,1	3,7
Na^+	6,7	33,0	26,3
Ca^{2+}	19,0	76,8	57,8
Mg^{2+}	1,8	15,5	13,7
Cl^-	3,1	41,8	28,7
NO_3-N	2,8	14,1	11,3
$\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$	8,6	43,8	35,2
HCO_3-C	—	337,7	337,7

* Dades d'Avila i Rodà, 1988, Inputs atmosfèrics de la Rra, de la Castanya (Montseny) 1984-1985.

Taula III. Producció química neta de la Riera d'Arbúcies (sortides menys entrades en kg/ha/any).

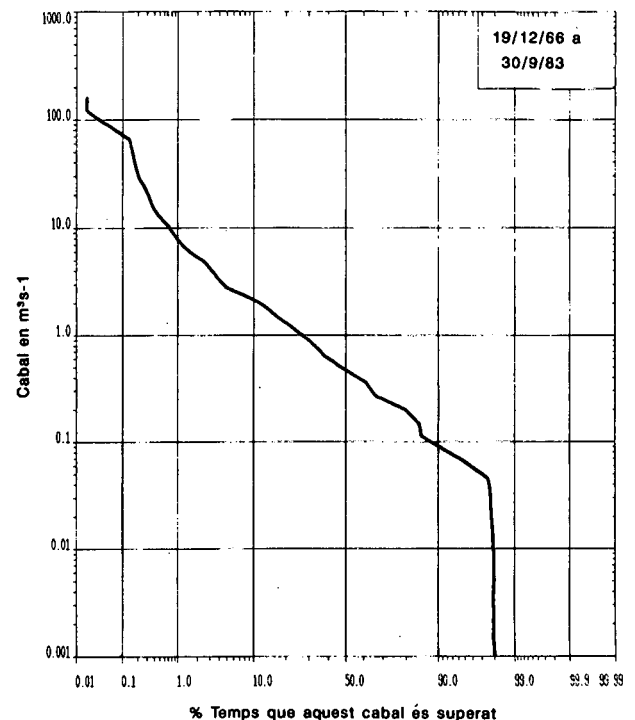
Table III. Net chemical production of the Riera d'Arbúcies (outputs minus inputs in kg/ha/year).

Figura 3. Corba de freqüència de cabals. Riera d'Arbúcies. Estació d'aforament n° 56.

Figure 3. Discharge frequency curve. Riera d'Arbúcies. Gauging station n° 56.

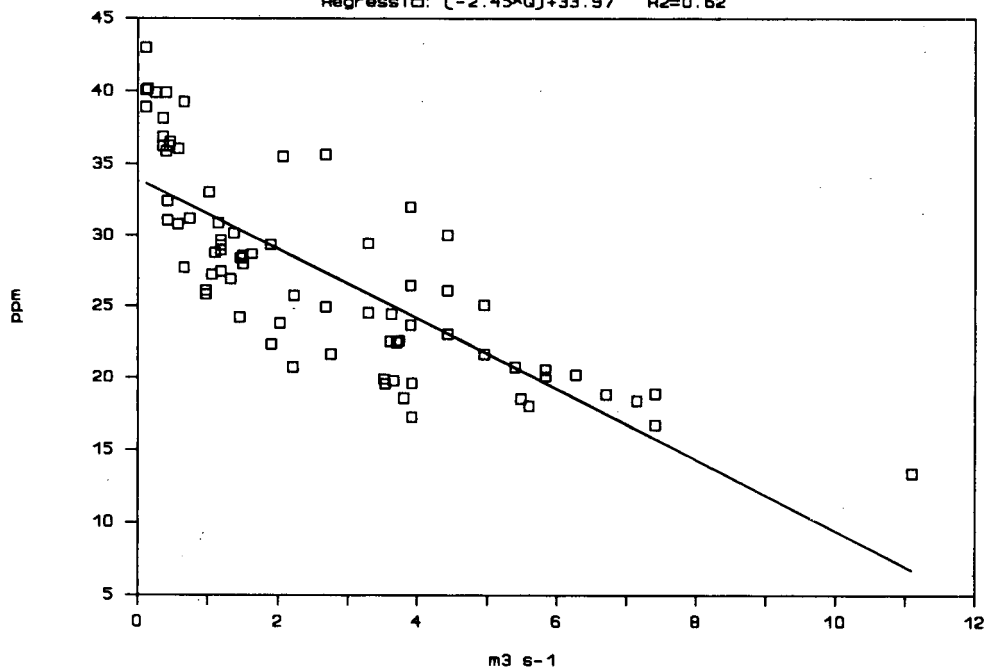
En àrees no calcàries com la riera d'Arbúcies, el bicarbonat deriva, gairebé de manera total, de les reaccions del diòxid de carboni de l'atmosfera i del sòl, (procedent del metabolisme dels organismes vegetals i animals). No obstant, l' HCO_3^- té interès geomorfològic ja que està directament involucrat en reaccions de meteorització. El CO_2 produït per la respiració de organismes (animals i vegetals) produeix, per hidratació, H_2CO_3 , que és un important donador de protons en la hidròlisi dels silicats, passant a HCO_3^- . La hidròlisi dels silicats és el principal mecanisme de meteorització química i per tant, és la responsable de la producció de cations metàl·lics i de HCO_3^- .

Una gran proporció dels nitrats continguts en la càrrega dissolta transportada pels rius, està associada al sistema sòl-planta, ja que prové de la mineralització de la matèria orgànica, i de l'aplicació d'adobs-N en el conreu de cereals. Els inputs atmosfèrics de nitrats en la precipitació i la fixació biològica del nitrògen atmosfèric poden ser també significatius, encara que la major font d'aquest element està relacionada amb les activitats agrícoles (Walling & Webb, 1981). En el cas de la riera d'Arbúcies, amb 466 d'hectàrees dedicades a l'agricultura, una part important de les quals dedicada al conreu de cereals, l'elevada exportació neta de nitrats (11,3



CALCI / CABAL

Regressió: $(-2.45 \times Q) + 33.97$ $R^2=0.62$



NITRAT / CABAL

$R^2=0.05$

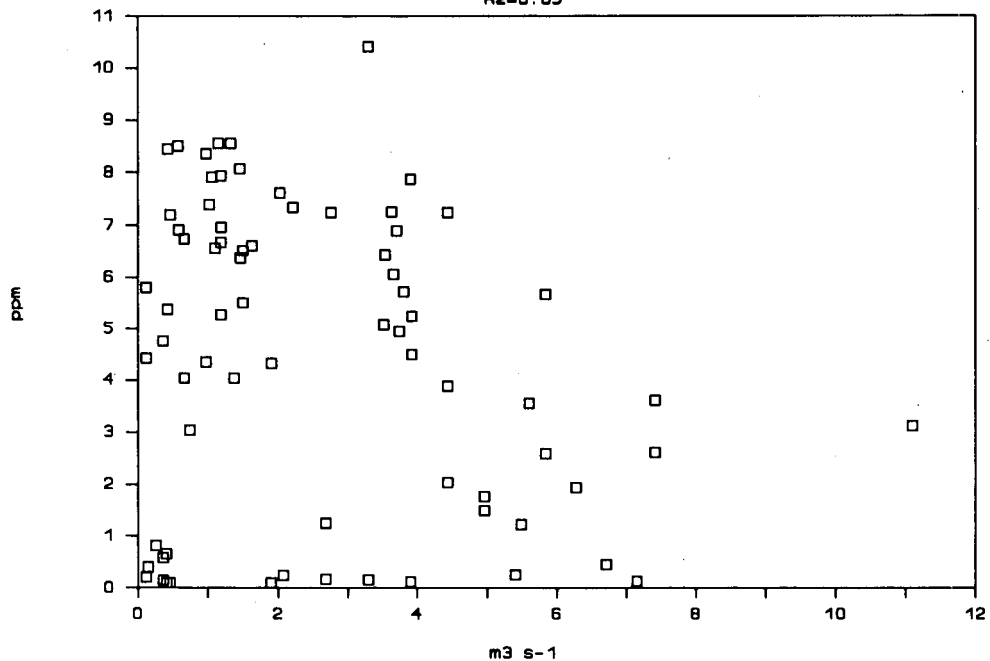


Figura 4. Relacions entre alguns elements químics i el cabal. Riera d'Arbúcies. Estació nº 56.

Figure 4. Relationships between different chemical elements and discharge. Riera d'Arbúcies. Station nº 56.

- IGME, 1981: Mapa geològic de Espanya. Escala 1:200000, n°34: Barcelona. Madrid, Serv. Publ. Ministerio de Industria, 124 p., 1 mapa pleg.
- LLORENS, P., 1991: *Resposta hidrològica i balanç de sediments en una petita conca perturbada de muntanya mediterrània*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- MEYBECK, M., 1983: Atmospheric inputs and river transport of dissolved substances. *Proceedings of the Hamburg Symposium*. IAHS, 141.
- PECK, A.J., 1976: Interaction between vegetation and stream water quality in Australia. *Proceedings of the Fifth Workshop of the United States/Australia Rangelands Panel*, 149-155.
- PETTS, G. & FOSTER, I., 1985: *Rivers and landscape*. London, Ed. Arnold, 274 p.
- RODA, F., 1983: *Biogeoquímica de les aigües de pluja i de drenatge en tres ecosistemes forestals del Montseny*. Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SALA, M., 1978: *La cuenca del Tordera. Estudio Geomorfológico*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- SALA, M. & WHEELER, D., 1988: Variación espacial de la carga de sedimentos en la cuenca del río Tordera en condiciones de estiaje. *Acta Geológica Hispánica*, v.23, n°3, 209-216.
- VILADEVALL, 1978: *Estudio petrológico y estructural de las rocas metamórficas y graníticas del sector N-oriental del Macizo del Montseny (resumen)*. Secret. Public. Univ. Barcelona. 12 pp.
- WALLING, D.E., 1977: Suspended sediment and solute response characteristics of the River Exe, Devon, England. *Proceedings of the Fifth Guelph Symposium on Geomorphology*. 169-198.
- WALLING, D.E. 1984: Dissolved loads and their measurement. In: *Hadley, R.F. & Walling, D.E. Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modelling*. 111-173.
- WALLING, D.E. & WEBB, B.W., 1981: Water quality. In: *Le-win, J.: British Rivers*. 126-169.