

Característiques hidrogeoquímiques de les aigües subterrànies i superficials del Montseny

**José María Carmona Pérez,
Xavier Font Cisteró,
Elena Bisbal González
i Albert Casas Ponsati**

*Departament de Geoquímica, Petrologia
i Prospecció Geològica
Facultat de Geologia
Universitat de Barcelona*

El massís del Montseny està format, principalment, per materials pel·lícics i detrítics amb intercalacions carbonàtiques i volcàniques del paleozoic inferior i mitjà. Aquests materials, a continuació d'haver estat plegats i d'haver sofert una intrusió de granitoides, van passar una etapa de peneplanització pretriàsica, després de la qual es van dipositar els materials triàsics que actualment afluïren al pla de la Calma i Figaró—conglomerats, gresos i argiles— i a Aiguafreda—calcàries amb intercalacions de margues i guixos.

La gran variabilitat espacial dels principals paràmetres fisicoquímics de les aigües subterrànies drenades per les fonts existents al massís, d'una banda, confirma l'elevada heterogeneïtat litològica—sobretot al sector meridional del Montseny— i, de l'altra, reflecteix l'elevada variació altitudinal de les zones de recàrrega. També ha quedat palès el caràcter fissural dominant del flux de les aigües subterrànies.

Pel que fa al grau de mineralització, les aigües subterrànies presenten, també, una variabilitat temporal, ja que indiquen una dilució més gran durant els mesos d'infiltració excedentària. El seu quimisme, en canvi, és força constant en el temps, encara que varia de bicarbonat calcicomagnèsic a sòdic, i amb tendència a sulfat potàssic en funció de la zona considerada. Els elements traça presenten, també, una gran variabilitat espacial, que és producte de trets anòmals de caràcter local: per exemple, Zn relacionat amb formacions de l'Ordovicià i As relacionat amb nivells d'esquistos negres, també de l'Ordovicià.

D'altra banda, el quimisme d'aquestes aigües subterrànies controla en gran manera el de les aigües superficials drenades pels diversos torrents i rieres. En efecte, el quimisme de les aigües superficials és el reflex d'un conjunt de característiques climàtiques i geomorfològiques particulars del massís, però també una conseqüència d'una sèrie de característiques estructurals, litològiques i litogeoquímiques que es veuen reflectides, precisament, en el quimisme de les aigües subterrànies. El quimisme d'aquestes aigües és, doncs, essencialment el mateix que el de les subterrànies, encara que el grau d'homogeneïtzació és més gran. Per la seva banda, la concentració depèn del grau de dilució adquirit.

Introducció

Objectius

L'objectiu del present treball és fer la caracterització espacial i temporal, i el control de la qualitat hidroquímica, de les aigües del massís del Montseny, tant des del punt de vista dels paràmetres fisicoquímics i elements majoritaris dissolts, com des del punt de vista dels elements traça transportats.

Tanmateix, aquest caràcter hidroquímic no es pot pas desvincular de la relació i interdependència existent entre les aigües superficials i les subterrànies—o aigües d'escolament subterrani, que corresponen a les que circulen a través de les formacions aquíferes des d'una zona de recarregament fins a la seva descàrrega natural per fonts o mitjançant captacions artificials. Tampoc no es pot desvincular del context geològic—estructura, litologia i indicis minerals— i fisiogràfic en què s'inscriu el Montseny.

Context geològic

El massís del Montseny es localitza en el context de l'herciniana de les serralades costaneres catalanes. Els materials que el formen són, principalment, metamòrfics—gneis, micasquistos i marbres del Cambrià-Ordovicià; fillites i pissarres negres amb tobres volcàniques intercalades de l'Ordovicià superior; pissarres negres i calcàries negres del silurià-devonià; i, finalment, fillites i grauwaques carboníferes. Tots aquests materials estan afectats per una aurèola de metamorfisme de contacte induïda per la intrusió de granodiorites. Per sobre de tots aquests materials del paleozoic, hi ha l'estrat del triàsic, format per conglomerats, gresos, argiles calcàries i, localment, guixos, i també graves, argiles i lloms neògens i quaternaris.

D'altra banda, els principals indicis minerals i jaciments són mineralitzacions filonianes posthercinianes de F-Ba-(Pb-Zn) i Ba-(Cu); dipòsits estratolligats del Cambrià-Ordovicià de Cu-Zn-(Cd)-Pb-Fe; dipòsits estratiformes de l'ordovicià superior de Fe; mineralitzacions filonianes de l'herciniana superior de Cu; i dipòsits hercinians de tipus skarn de W-Sn-(Pb-Zn-Cu), associats amb materials del Cambrià-Ordovicià i de l'Ordovicià superior.

Els aquífers

La permeabilitat dels materials del Montseny és, en general, molt baixa, i el flux subterrani es produeix, principalment, a través de la xarxa de fissuració existent. Tot i així, es poden diferenciar els sistemes aquífers següents:

a) Aquífers en què el flux subterrani es produeix fonamentalment a través d'un medi fracturat

Flux a través d'un aquífer lliure format per uns quants metres de materials paleozoics i triàsics fracturats i meteoritzats, i pel sòl superficial. Allà on la fracturació és més intensa, la transmissivitat de l'aquífer és més gran. Aquest fet es veu incrementat quan la zona més transmissiva és la canal de la riera i quan aquesta coincideix amb una gran fractura. La riera actua com a eix drenant tant per a aigües superficials com per a aigües subterrànies.

b) Aquífers en què el flux subterrani es produeix fonamentalment a través d'un medi porós

Flux a través d'un aquífer lliure o confinat format per materials detrítics neògens i quaternaris. La transmissivitat

pot ser molt variable en funció de les característiques dels materials i de la seva potència. Es poden trobar en connexió hidràulica entre si i amb els aqüífers anteriors. Se situen a les parts baixes del massís.

Principals característiques de l’escolament en relació amb el clima i amb les formacions geològiques existents al Montseny

Com que la permeabilitat de tots els materials existents a la regió és, en general, molt baixa i com que el flux subterrani es produeix principalment a través de la xarxa de fissuració existent, la infiltració es veu dificultada, mentre que és afavorit l’escolament directe. Per aquesta causa, des del punt de vista del tipus d’escolament dominant, es poden distingir al llarg de l’any les èpoques següents:

- Durant els mesos excedentaris, domina l’escolament directe sobre l’escolament subterrani: elevada precipitació i baixa evapotranspiració, sobretot a cotes elevades.
- Durant els mesos d’estiatge, a les rieres només hi ha flux basal, el qual és, al cap i a la fi, aigua d’escolament subterrani, i representa el buidatge dels aqüífers en èpoques en què la recàrrega és inexistent.

L’existència d’aquest flux s’explica per la dificultat que tenen els aqüífers per drenar les seves aigües a causa de la baixa permeabilitat, la qual cosa provoca, normalment, un continu drenatge a partir de nombroses fonts de petit cabal, al llarg de tot l’any. Aquest flux basal és més important a cotes més baixes a causa de l’acumulació dels cabals individuals de totes les fonts existents.

El flux basal és més o menys continu al llarg de l’any, però sempre de molt petita magnitud (taula 1), encara que més important al final de les èpoques excedentàries, com per exemple al maig respecte del març, en què es drena com a conseqüència de l’aigua infiltrada a partir dels excedents del final de l’hivern i el començament de la primavera. A l’estiu i la tardor, les aigües drenades són conseqüència directa de les infiltrades durant la primavera. A l’hivern, les que són drenades ho són com a conseqüència de les infiltrades a la tardor.

Taula 1. Cabals típics de les fonts i rieres de la regió (l/s).

Litologia drenada	Any de registre	Tributari	Rang de cabals	Observacions respecte als cabals de descàrrega
Esquistos	1990	Coll Formic	0,001-0,03	maig > març
Esquistos	1990	Avencó	0,007-0,3	maig > març
Calcàries	1990	Aiguafreda	0,07-0,1	maig > març
Esquistos	1991	Valformers	0,015-0,6	màxim entre 1 i 3 l/s
Calcàries	1991	Figaró	> 0,1	Cabal a cota petita > cota gran
Esquistos	1992	Avencó	0,04-0,4	

Les conques hidrogràfiques

La pluviometria mediterrània, juntament amb la reduïda permeabilitat dels materials que formen el massís, permet classificar el règim fluvial existent com de tipus torrencial típicament mediterrani, amb una gran irregularitat anual i estacional:

- Cabals màxims a la primavera i la tardor, amb fortes avingudes.

- Petits cabals a l’hivern i, sobretot, a l’estiu. En anys secs, l’estiatge pot durar fins a cinc o sis mesos.

Com a conseqüència d’això, la xarxa fluvial del Montseny està constituïda per cursos de règim intermitent –torrents, sots i torreneres– i per cursos de règim permanent –rieres i rius.

D’altra banda, les característiques litològiques i estructurals del massís condicionen el relleu i, per tant, també la xarxa hidrogràfica. El relleu és enèrgic, per la qual cosa la xarxa fluvial és jove i molt ben desenvolupada, encara que amb conques de recepció petites.

Les rieres més importants, amb pendents mitjans molt elevats, presenten una marcada tendència a orientar-se en les direccions NW-SE i NNW-SSE, coincidents amb les principals direccions de fracturació del massís.

Aquestes característiques fisiogràfiques fan que les aigües caigudes es dispersin cap a tres conques importants: la Tordera, el Ter i el Besòs. La major part de les aigües es dirigeixen cap a la Tordera, que neix al peu de les Agudes a la vall de Sant Marçal, i que recull totes les del vessant oriental, de manera que el seus principals tributaris són les rieres de Campins, de Gualba, de Breda i d’Arbúcies. Al nord del Matagalls, les aigües s’escolen cap a la riera Major i el riu Gurri, que més tard arriba al Ter. Per la seva banda, les aigües superficials que finalment van a parar al Besòs són les del vessant occidental i meridional. Al vessant occidental, les aigües es dirigeixen cap al Congost, que circula pel marge meridional del massís. Inclou tots els tributaris entre Aiguafreda i la Garriga, els principals dels quals són la riera de l’Avencó –a Aiguafreda– i la de Vallcàrquera –a Figaró. Al vessant sud, els principals tributaris són les rieres de Cànoves, de Volart i de Vilamajor, les quals drenen a la riera de Mogent, que aigües avall s’uneix al Congost per formar el Besòs.

Factors que condicionen el caràcter químic de les aigües

En el caràcter químic de les aigües subterrànies, el factor decisiu és la seva capacitat per interaccionar amb la roca. És per això que té tanta importància no sols la litologia dels materials travessats per les aigües tant superficials com subterrànies, sinó també la composició de l’aigua d’infiltració original. Per això, també, són determinants tant el quimisme de les aigües de precipitació, de retenció i d’escolament hipodèrmic, com el grau de desenvolupament del sòl a la zona de recarregament i la seva interacció amb les aigües d’infiltració.

Per la seva banda, en el grau de mineralització d’aquestes aigües el factor més important és el temps que ha estat en contacte amb una determinada formació geològica o –el que sol ser equivalent– la distància recorreguda des de la zona en què l’aigua s’ha infiltrat en el terreny.

Quant al contingut en elements traça, aquest depèn del caràcter de cada element en concret, ja que n’hi ha que són presents a escala regional com a fons litogeoquímic de les formacions travessades, i d’altres que són característics d’anomalies locals provocades per l’existència d’indicis minerals i jaciments.

Per la seva banda, les aigües superficials són una barreja entre l’aigua subterrània que emergeix a la superfície, normalment a través de les fonts existents a la conca, i l’aigua d’escolament superficial procedent directament de la

pluja. Per tant, la concentració d'aquestes aigües depèn del grau de dilució adquirit. Pel que fa al seu quimisme, aquest serà essencialment el mateix que el de les aigües subterrànies existents als aqüífers de la conca.

Principals característiques hidrogeoquímiques de les aigües del massís

Aigües subterrànies

a) Quimisme de les aigües subterrànies en funció dels materials travessats

El quimisme d'una aigua determinada és, a grans trets, la proporció relativa en la concentració dels diferents elements majoritaris en dissolució. Depèn, en gran manera, de l'agressivitat de l'aigua envers la composició química de les formacions geològiques travessades. A títol d'exemple, a les taules 2 a 8 es mostren els valors de diversos paràmetres fisicoquímics i elements majoritaris, determinats en diferents fonts del massís. De l'anàlisi d'aquestes taules, destaquen els fets següents:

Taula 2. Valors determinats l'any 1992.

Litologia drenada	Granits	
Zona	Àrea d'Arbúcies	
Altura (m)	1.200	300
Tª (°C)	7	14
Conductivitat (µS/cm)	75	300
SiO₂ (ppm)	10	31

Taula 3. Valors determinats l'any 1992.

Litologia drenada	Granits	
Zona	Àrea de Viladrau	
Altura (m)	1.150	830
HCO₃ (ppm)	50	100
SO₄ (ppm)	5	16
Cl (ppm)	2,4	5,6
NO₃ (ppm)	0,6	5,4

Taula 4. Valors determinats l'any 1992.

Litologia drenada	Esquistos del cambrià-ordovicià		
Zona	Riera de Vallforners		
Altura relativa	Divisiória d'aigües	Capçalera	Aigües avall
HCO₃ (ppm)	23	92	153
SO₄ (ppm)	10	10	50
Cl (ppm)	3,4	5,4	7,3
NO₃ (ppm)	0,6	1	nd
Ca (ppm)	4	22	60
Mg (ppm)	1,8	3,8	6,3
Na (ppm)	7	8	8,2
K (ppm)	0,3	0,7	1,8

nd: no determinat

- El quimisme i grau de mineralització d'aquestes aigües varia en funció de la litologia drenada:
 - Granits: aigües bicarbonatades càlciques amb tendència sodicopotàssica.
 - Esquistos del Cambrià-Ordovicià: aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques o bicarbonatades amb tendència sulfatada, calcicomagnèsiques i/o sodicopotàssiques.
 - Calcàries paleozoiques: aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques.
 - Gresos i lutites del permotrias i triàsiques: aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques amb tendència sòdica o bicarbonatades-sulfatades calcicomagnèsiques.
 - Calcàries triàsiques: aigües bicarbonatades amb tendència sulfatada, calcicomagnèsiques o bicarbonatades calcicomagnèsiques.
 - Materials detrítics neògens: aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques amb tendència sòdica.
 - Materials detrítics quaternaris: aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques.
- Els continguts són variables en clorurs, però sempre baixos en totes les litologies. El seu origen es relaciona,

Taula 5. Paràmetres fisicoquímics a la riera de l'Avencó.

Litologia drenada	Esquistos de l'ordovicià i del cambrià-ordovicià		
Zona: riera de l'Avencó	Altura relativa		
Paràmetres	Any de registre	Capçalera	Voltants d'Aiguafreda
pH	1990	7,5-8,2	
Conductivitat (µS/cm)	1990	235	470
HCO₃ (ppm)	1990	113	256
SO₄ (ppm)	1990	20	26
Cl (ppm)	1990	5	7
NO₃ (ppm)	1990	0,8	2,1
Ca (ppm)	1990	20	35
Mg (ppm)	1990	7	17
Na (ppm)	1990	9,1	17
K (ppm)	1990	0,7	1,7
pH (ppm)	1992	7,1-7,5	
Conductivitat (µS/cm)	1992	224	720
HCO₃ (ppm)	1992	230	460
Ca (ppm)	1992	20	85
Mg (ppm)	1992	7	45

Taula 6. Valors determinats l'any 1990.

Litologia drenada	Gresos Buntsandstein	
Zona	Collformic	
Altura: 1.150 m	Rang de variació	
pH	7,3	7,8
Conductivitat (µS/cm)	50	170
HCO₃ (ppm)	30	98
SO₄ (ppm)	4	8,5
Cl (ppm)	2,5	4
NO₃ (ppm)	0,2	1,7
Ca (ppm)	3,5	35
Mg (ppm)	0,2	3,5
Na (ppm)	5	6,4
K (ppm)	0,04	0,6

Taula 7. Valors determinats l'any 1990.

Litologia drenada	Calcàries muschelkalk	
Zona	Aiguafreda	
Altura: 400-450 m	Rang de variació	
pH	7,7	8,1
Conductivitat (µS/cm)	800	
HCO ₃ (ppm)	330	445
SO ₄ (ppm)	40	140
Cl (ppm)	11	16
NO ₃ (ppm)	3,4	16
Ca (ppm)	76	91
Mg (ppm)	45	48
Na (ppm)	9	11
K (ppm)	1,7	4,6

fonamentalment, amb l'esprai d'origen marí. No passa el mateix amb el sodi, que té la seva font principal en els silicats que formen els materials.

Aquesta diversitat de quimisme és indicativa de l'elevat grau d'heterogeneïtat litogeoquímica que presenten els materials, i alhora reflecteix l'elevada variació altitudinal de les zones de recarregament.

b) Grau de mineralització de les aigües subterrànies en funció de l'altura de surgència

El grau de mineralització d'una aigua determinada, a grans trets, és la concentració total en elements dissolts que presenta. És indicatiu de la distància recorreguda per l'aigua des de la seva zona d'infiltració i del temps que ha estat interaccionant amb les formacions geològiques que troba al llarg del seu recorregut. Aquesta mineralització està indicada, fonamentalment, per la conductivitat elèctrica de les aigües i per la concentració en ions majoritaris (fonamentalment, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i K⁺).

Les taules de la 2 a la 8 mostren –a més dels valors de diferents paràmetres fisicoquímics i d'elements majoritaris– la cota de surgència de les fonts. Cal destacar els fets següents:

- L'increment en el grau de mineralització de les aigües drenades a mesura que disminueix la cota de surgència de les fonts demostra que les principals zones de recàrrega són a les cotes més elevades, i indica, també, que el flux subterrani es produeix, a tot el massís, des d'aquestes cotes més elevades cap a les inferiors.
- L'augment del grau de mineralització des de les divisòries d'aigües de les diferents rieres cap al seu eix drenant, evidència que el flux també es produeix en aquest sentit, de manera que les rieres també actuen com a línies drenants de les aigües subterrànies, sobretot si la riera coincideix amb una zona de fractura més transmissiva.
- El grau de mineralització també és diferent en funció de la litologia drenada: menor en granits, i més gran en calcàries.
- El grau de mineralització també varia d'una època a l'altra i d'un any a l'altre, encara que normalment en poca mesura. Això és fruit de la variació existent en la magnitud de la infiltració en funció de la precipitació.
- Continguts variables en nitrats i sense relació amb la

Taula 8. Valors determinats l'any 1991.

Zona	Figaró	
Litologia drenada	Calcàries	
Altura: 350-400 m	Paleozoic	Muschelkalk
HCO ₃ (ppm)	237	360
SO ₄ (ppm)	21	23
Cl (ppm)	6,7	10
NO ₃ (ppm)	0,7	0,2
Ca (ppm)	55	79
Mg (ppm)	15	43
Na (ppm)	12	4,8
K (ppm)	1,1	1,2

cota de surgència. Segurament, a causa, en part, de les aportacions externes –amb valors punta de fins a 6,5 i 13,5 ppm.

c) Relació entre la litologia drenada i el contingut en elements traça

El total d'elements traça analitzats en les aigües subterrànies és limitat; però, tot i l'existència de valors per sota del límit de detecció de les tècniques analítiques emprades, hi ha zones en què els metalls base i altres elements tòxics (com ara Ni, Co, Cd, As, Se, etc.) hi poden ser presents –tal com mostren les campanyes de prospecció de sediments en xarxes de drenatge que s'han fet al llarg dels anys: Ferrer (1983), Font (1983), Alcalde (1984), Font i col·l. (1989); Viladevall i col·l. (1989).

A partir dels resultats de diverses campanyes de mostratge d'aigües de fonts, s'observa que hi ha una gran irregularitat de continguts en els elements traça determinats. Aquesta irregularitat es relaciona amb els elements següents:

- El diferent grau de dilució existent segons l'època de l'any considerada.
- La gran heterogeneïtat de tipus local sobreposada al caràcter litogeoquímic de fons –abundància de filons i nivells estratol·ligats mineralitzats.
- Es presenten a continuació els elements que han permès caracteritzar les aigües en funció dels diferents materials que travessen, ja sigui pels seus continguts anòmals o per un estret rang de variació (s'adjunten entre claudàtors els valors màxims admissibles segons el Reial decret 1138/1990):
 - Granits: caracteritzats per continguts elevats en fluor, fins a valors de 6 mg/l [1,5 mg/l]; relacionats tant amb el fons litològic elevat propi d'aquest material com amb l'existència de filons de fluorita-baritina.
 - Esquistos del Cambrià-Ordovicià: a causa de l'elevada heterogeneïtat litològica que presenten aquests materials, es troben valors anòmals en un gran nombre d'elements, per exemple:
 - El zenc i el ferro relacionats amb formacions estratol·ligades de l'ordovicià.
 - L'arsènic amb valors de fins a 200 microgr/l [50 microgr/l], el seleni amb valors d'11,5 microgr/l [10 microgr/l] i el cadmi amb 28 microgr/l [5 microgr/l], tots relacionats amb nivells de sulfurs en esquistos negres de

l’Ordovicià i detectats en un pou de la urbanització de Can Volart.

– Calcàries paleozoiques: no hi ha elements traça que permetin discriminar-les respecte a les aigües d’altres litologies.

– Gresos permotriàsics i del Buntsandstein: caracteritzats per continguts elevats en fluor, fins a valors de 5,5 mg/l [1,5 mg/l], i de bari, fins a 900 microgr/l [100 microgr/l]. Relacionats tant amb les mineralitzacions filonians de fluorita-baritina, com amb ciments de baritina en els gresos. També, continguts elevats de Ba i Mn.

– Calcàries del Muschelkalk: les aigües que drenen aquesta litologia presenten fons amb concentracions molt elevades de fòsfor i d’estronci.

– Materials detrítics neògens: les aigües que circulen per aquests materials poden presentar continguts elevats en manganès, amb valors que arriben fins a 0,4 mg/l [0,05 mg/l].

– Materials detrítics quaternaris: les aigües que circulen per aquests materials poden presentar continguts elevats en alumini, amb valors de 0,215 mg/l [0,2 mg/l], i ferro, amb valors que arriben a 1 mg/l [0,2 mg/l].

Es pot afirmar que, en línies generals, els valors anòmals trobats en les aigües recollides en els materials paleozoics i mesozoics són molt probablement d’origen natural, tal com mostren els continguts trobats en sediments de la xarxa de drenatge.

Pel que fa als valors anòmals trobats en les aigües que circulen a través dels materials quaternaris i neògens, fins ara no es disposa d’arguments que permetin afirmar que aquests siguin naturals; en canvi, la possibilitat que siguin causats per contaminació d’origen antròpic no és descartable.

Aigües superficials

A través dels paràmetres hidrogeoquímics fonamentals (pH, T, conductivitat, elements majoritaris i traces, etc.), no és possible caracteritzar individualment cadascun dels torrents i rieres del Montseny, encara que sí que s’observa una estreta relació amb els diferents materials travessats.

D’altra banda, el règim pluviomètric i la petita permeabilitat dels materials que formen el subsòl d’aquesta regió fan que durant la major part de l’any les aigües superficials circulants pel massís del Montseny corresponguin, fonamentalment, a flux basal, és a dir, a aigües procedents de la descàrrega de les diferents fonts existents. Per tant, el quimisme de les aigües subterrànies drenades a partir d’aquests fonts marca en gran manera el quimisme de les aigües superficials del Montseny, si bé és cert que s’observa un major grau d’homogeneïtzació en el seu quimisme respecte del de les subterrànies, a causa de la barreja que té lloc en emergir a la superfície.

Aquesta homogeneïtzació pot ser aguditzada durant les èpoques de pluja, quan les aigües d’escolament directe són importants i es produeix una dilució de les aigües de les fonts i un rentat de tota la superfície del terreny.

a) Elements majoritaris

A les taules 9, 10 i 11, es presenten diverses dades corresponents al quimisme i al grau de mineralització d’aquestes aigües. La comparació amb les dades de quimisme de les aigües subterrànies mostra que presenten un caràcter similar.

Taula 9. Ions majoritaris. Estiu de 1972 (Casas, 1972).

Ions	Mitjana (ppm)	Valor màxim (ppm)
Cl	5,6	19,5
Na	24,7	65
NO ₃	1,7	4,9

Taula 10. Paràmetres determinats en els tributaris del riu Besòs al Montseny. Dades de 1985 (Argemí, Sánchez i Tornos, 1991).

Paràmetres	Valor	Tributari
pH	7,4	Avencó
Conductivitat (µS/cm)	100	Avencó
SO ₄ (ppm)	< 15	Avencó
Cl (ppm)	7	Avencó
Ca (ppm)	50	Avencó
Mg (ppm)	1,2	Avencó
Na (ppm)	6,5-62	Avencó
K (ppm)	0,73	Avencó
Al (ppb)	252	Cànoves
SiO ₂ (ppm)	12,4	Avencó
PO ₄ (ppm)	< 0,03	Avencó
NH ₄ (ppm)	< 5	Avencó, Cànoves i Carbonell

Taula 11. Relacions iòniques que discriminen la litologia travessada per les aigües superficials; r = meq/l (Casas, 1972).

Litologia	(SiO ₂ / total) · 10	rNa ⁺ / rCa ²⁺	rSO ₄ ²⁻ / (rCa ²⁺ – rMg ²⁺)
Granits	1 a 2,5	1,5 a 2,5	0,2 a 0,5
Esquistos,			
gresos i lutites	1 a 3	2 a 5	0,5 a 1,5
Calcàries	0,2 a 0,5	0,5 a 1,5	0,2 a 0,5

Respecte al grau de mineralització, aquest és molt variable –com ho demostra la seva conductivitat, que varia des de 50 fins a 945 microS/cm. D’una banda, depèn de la dilució soferta i, de l’altra, de l’alçada topogràfica considerada i, per tant, de la distància recorreguda.

Quant al contingut aniònic, el 70% de les aigües són bicarbonatades, i la resta, bicarbonatades-sulfatades. El fet que totes siguin bicarbonatades és demostratiu d’una clara influència de les aigües subterrànies, ja que la font principal de producció de HCO₃⁻ en aquest cas es troba en el sòl, durant la infiltració de les aigües. Pel que fa al contingut catiònic, són fonamentalment calcicosòdiques, encara que també n’hi ha de calcicomagnèsiques i sòdiques, sempre en funció de la litologia travessada.

Per tant, els materials travessats caracteritzen, també, el quimisme de les aigües superficials, bé per influència de les aigües subterrànies drenades, bé per rentatge dels materials de superfície:

– Els continguts de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i HCO₃⁻ disminueixen en passar dels granits als esquistos, fenomen que va acompanyat d’un dèbil augment de SO₄²⁻.

– Quan les aigües travessen un terreny calcari, augmenten els seus continguts en Ca²⁺, Mg²⁺ i HCO₃⁻.

– Les aigües procedents de terrenys triàsics aporten Ca²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ i SO₄²⁻.

– A les conques en què no hi ha contrastos litològics,

s'observa una forta disminució en el HCO_3^- i un notable augment de Cl^- i de SO_4^{2-} a mesura que s'incrementa la distància respecte a la capçalera.

- El descens en el HCO_3^- es produeix per pèrdua de CO_2 i precipitació de calcita quan les aigües de les fonts sorgeixen a la superfície. L'absència de contrastos litològics dificulta l'existència de noves fonts i, per tant, noves aportacions de bicarbonat.

- Els augments de Cl^- i de SO_4^{2-} són fruit de simple acumulació, dissolució i noves aportacions a mesura que augmenta la distància recorreguda.

- Els valors del pH oscil·len de 6,3 a 8,6, amb una majoria entre 7,2 i 7,8. Els valors més elevats corresponen als materials predominantment calcaris.

- Totes les aigües són oxidants, amb valors d'Eh entre + 380 i + 560 mV.

Tot i l'homogeneïtzació de les aigües superficials, s'ha trobat una relació entre el seu quimisme i els materials travessats a partir de l'estudi de diverses relacions iòniques (Casas, 1972). A la taula 11, s'hi presenten aquestes relacions, les quals permeten distingir tres tipus de litologies: granítica, metamòrfica pel·lítica i calcariodolomítica.

b) Elements traça

A la taula 12, es presenten dades de contingut en Fe i Zn de diverses rieres. No s'hi observen grans diferències respecte als valors que presenten les aigües subterrànies, probablement perquè l'època de mostreig ha estat l'estiu i, per tant, tota l'aigua circulant superficialment era, de fet, aigua d'escolament subterrani que formava el flux basal. Tot i així, són destacables els valors de Zn, comparables, i fins i tot superiors, als de les aigües subterrànies. Aquest element prové de la lixiviació natural de nivells estratol·ligats de Zn relacionats amb formacions d'origen vulcanoclàstic (Carmona, 1986).

Taula 12. Elements traça. Estiu de 1972 (Casas, 1972).

Element	Mitjana (ppb)	Valor màxim (ppm)	Localitat
Fe	38,6	88	Avençó
	15,8	32	Sot del Socau (Figaró)
		48	Vallcàrquera (Figaró)
Zn		81	Can Cruells
		81	Sot del Socau

No s'han estudiat altres elements, tret de l'F, en aquestes aigües superficials, encara que cal esperar que, igual que en els casos del Fe i el Zn, no s'allunyin gaire –excepte una certa dilució en èpoques de pluges– dels valors corresponents als de les aigües subterrànies.

Cal fer una menció a part respecte al fluor contingut en les aigües superficials del Montseny –pels estudis dedicats a aquest element. A la taula 13, es presenten –per a cada litologia travessada–, a títol de resum, els valors de fons hidrogeoquímic de la regió i els valors llindar d'anomalia a partir del qual es considera la proximitat d'un índex de mineralització de fluorita.

Al llarg de tot el Montseny i les Guílleries, s'han descrit els següents tipus de mineralitzacions filonianes de fluorita (Font, 1983):

Taula 13. Valors de fluor en aigua superficial (ppm). Dades de 1979 (Font, 1983).

Litologia travessada	Oscil·lació dels valors de fons	Màxim		Anomalies a partir de:
		Valor	Localitat	
Granits	0,24 a 0,40			>1,1
Esquistos	0,15 a 0,26			>0,78
Gresos i lutites del triàsic	0,24 a 0,41	5,6	Can Cruells (Figaró)	>1,40

- Encaixades en granits: F-Pb (Cu), F-Ba (Pb, Cu) i Cu (Fe), destaquen les importants explotacions de Tagamanent.

- Encaixades en esquistos: F-Pb i F (Pb, Zn), i de Ba (Cu, Pb) i skarns de Fe (Pb, Zn) que de vegades presenten fluorita.

El F és, en aquest sentit, un indicador de la presència, també, de Cu, Pb, Zn, Ba i Fe en les aigües. No obstant això, en el cas dels granits, el F també s'origina per la desestabilització de les biotites, la qual cosa pot donar lloc a un augment progressiu en aquest element aigües avall. I, en el cas dels gresos i les lutites del Permotriàs i del Buntsandstein, la gran dispersió de valors i els continguts tan elevats existents són causats pels elevats continguts presents a la mateixa roca.

Evolució química temporal de les aigües del Montseny

Pel que fa a l'evolució hidroquímica d'aquestes aigües durant els darrers anys, s'han comparat entre si totes les dades disponibles, i no s'ha observat pas una manifesta variació dels valors enregistrats que pugui fer pensar en l'existència de processos de contaminació generalitzada.

Així, quant a elements majoritaris, no s'han observat durant aquests anys, a escala global, ni variacions anormals ni continguts anòmals respecte als límits de potabilitat establerts pel Reial decret 1138/1990, a banda de les variacions normals de caràcter estacional i de caràcter espacial en el sentit que varien en funció de la litologia travessada, incrementant la concentració amb la distància recorreguda i amb el temps de residència dins l'aqüífer.

No obstant això, a escala local sí que s'han pogut trobar concentracions més elevades en certs paràmetres, com és el cas del NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} i K^+ , els quals han pogut augmentar els seus continguts durant aquest període (s'han enregistrat valors, respectivament, de fins a 230, 800, 65 i 27 mg/l, mentre que els valors màxims admissibles són, respectivament, 50, 250, 50 i 12 mg/l).

La causa d'aquestes concentracions tan elevades s'ha de trobar en les activitats d'origen agrícola i ramader que es duen a terme a l'interior del massís, especialment sobre terrenys quaternaris i neògens (majoritàriament localitzats en zona de preparc), com també en els petits nuclis habitats que hi ha a la zona. Tanmateix, no es descarta, en certa manera, una causa estacional relacionada amb la degradació de la matèria orgànica pròpia de l'activitat biològica.

Respecte als elements traça, els estudis que s'han fet

fins ara en aigües subterrànies són també molt preliminars i es limiten a un nombre reduït d'elements. Es tracta de dades molt disperses dels últims deu anys (encara que es tenen dades de zinc i de fluor en aigües superficials d'estiatge dels anys 1972 i 1981-1982). Tot i així, es pot afirmar que, en general, hi ha una clara relació amb la litologia travessada.

A banda d'aquests elements, s'ha detectat algun cas de continguts anòmals de crom, cadmi, plom i altres metalls pesats adsorbits en la fracció argilosa dels sediments de la riera d'Arbúcies, situada la major part de la seva conca en zona de preparc.

Amb les dades disponibles i considerant tot el que s'acaba d'exposar, es pot concloure que, durant els últims anys, les aigües superficials i subterrànies del massís del Montseny han conservat en gran manera el seu caràcter hidroquímic original, tant des del punt de vista dels elements majoritaris com dels elements traça.

Conclusions

Les dades de quimisme disponibles fins ara de les principals fonts i rieres que drenen el massís del Montseny han permès caracteritzar el quimisme de les seves aigües.

Característiques dels aquífers i de l'escolament subterrani en relació amb el quimisme

– La permeabilitat dels materials de la regió és, en general, molt baixa, i el flux subterrani es produeix, principalment, a través de la xarxa de fissuració existent. La baixa permeabilitat dificulta la infiltració i afavoreix l'escolament directe.

– Des del punt de vista del tipus d'escolament dominant, es poden succeir al llarg de l'any mesos excedentaris durant els quals domina l'escolament directe, i mesos d'estiatge en què només hi ha flux basal: drenatge continuat a partir de nombroses fonts de petit cabal.

– El quimisme està condicionat per la litologia, i la seva composició és, fonamentalment, bicarbonatada calcicomagnèsica amb una certa tendència sulfatada i/o sodicopotàssica.

– La gran variabilitat espacial dels paràmetres fisicoquímics principals de les aigües de les fonts confirma l'heterogeneïtat litològica del massís i reflecteix l'elevada variació altitudinal de les zones de recarregament i el caràcter de fissuració dominant que té el flux de les aigües subterrànies del massís.

– La gran variabilitat espacial dels elements traça reflecteix característiques litogeoquímiques anòmales de caràcter local que confirmen l'existència de zones anòmales detectades mitjançant mètodes de geoquímica de sediments.

– El grau de mineralització que presenten les aigües varia de baix a mitjà i depèn de la distància recorreguda des de la zona de recarregament. La seva variabilitat temporal reflecteix una més gran dilució durant els mesos excedentaris.

Característiques químiques de les aigües superficials

– La baixa permeabilitat dificulta la infiltració i afavoreix l'escolament directe durant els mesos excedentaris. En aquests mesos, les aigües superficials són una barreja d'aigua drenada per fonts i escolament directe.

– El quimisme és similar al de les aigües subterrànies, però el seu grau de mineralització és menor a causa de la dilució soferta.

– En mesos deficitaris, les aigües superficials corresponen al flux basal, i, per tant, essencialment el seu quimisme i el seu grau de mineralització són els de les aigües subterrànies.

– Així doncs, el quimisme de les aigües subterrànies de les fonts controla en gran manera el quimisme de les aigües superficials. No obstant això, el grau d'homogeneïtzació de les primeres és més gran.

Bibliografia

Alcalde, C. *Prospección táctica de los recursos minerales del área de Cànoves - Sant Pere de Vilamajor (Montseny, Barcelona)*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1984 [tesi de llicenciatura].

Argemí, E.; Sánchez, R.; Tornos, T. *Estudi físicoquímico de les aigües superficials de la conca del Besòs*, 1985. Granollers: Museu de Granollers, 1991.

Carmona, J. M.; Casas, A.; Viladevall, M.; Font, X. «Caracterització geoquímica dels materials paleozoics del sector sud-occidental del Montseny». *II Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1989, 59-61 (Monografies; 18).

Carmona, J. M.; Font, X.; Casas, A. *El riu Besòs no contaminat: característiques hidrogeològiques i hidrogeoquímiques de les aigües dels seus tributaris en el massís del Montseny*. Consorci per la Defensa del riu Besòs, 1996.

Carmona, J. M. *Caracterización geoquímica del tránsito ordovícico-silúrico de las cadenas costeras catalanas*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1986 [tesi doctoral].

Carmona, J. M.; Baró, A. *Mapa geològic del sector meridional del Montseny: Pla de la Calma i riera de l'Avençó*. Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya, 1983.

Casas, A. *Características geoquímicas de las aguas superficiales del macizo del Montseny*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1972 [tesi de llicenciatura].

Casas, A. *Estudio litogeoquímico del paleozoico del macizo del Montseny y su aplicación a la prospección minera*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1979 [tesi doctoral].

Fernández, F.; Visa, C. *Estudio hidrogeológico y de la contaminación por As de la riera de Canovas (Barcelona)*. Barcelona: 24è Curs Internacional d'Hidrologia Subterrània (Barcelona), 1990 [treball inèdit].

Ferrer, A. *Prospección geoquímica estratégica del sector occidental del macizo del Montseny (Barcelona)*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1983 [tesi de llicenciatura].

Font, X. *Estudio de las mineralizaciones del macizo del Montseny-Guilleries (Barcelona y Girona) y su aplicación en la prospección geoquímica de redes de drenaje*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1983 [tesi doctoral].

Font, X.; Carmona, J. M.; Viladevall, M. «Resposta geoquímica del substrat litològic en els sediments del sector sud-occidental del Montseny». *II Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1989, 55-57 (Monografies; 18).

Font, X.; Viladevall, M.; Casas, A.; Vaquer, R. «Geo-

chemical exploration in the Montseny Mountains (NE Spain)». *Act. Geol. Hisp.*, 19, 3 (1984), 193-197.

Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya. *Inventari de pous de la xarxa de control hidrològic de Catalunya*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 1995.

Viladevall, M.; Font, X.; Carmona, J. M.; Alcalde, C. «Anomalies d'arsènic i seleni en els sediments de riu del sector de Cànoves i Sant Pere de Vilamajor». *II Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1989, 51-54 (Monografies; 18).