

# COMPOSICION QUIMICA DE LOS ARROYOS DEL MONTSENY (BARCELONA).

Anna Avila i Castells

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona

Palabras clave: Streamwater chemistry, Montseny flowing waters (Spain)

## ABSTRACT

### STREAMWATER CHEMISTRY IN MONTSENY (N.E. SPAIN)

An extensive sampling of mountain streams on silicate bedrock in the Montseny mountains (Barcelona NE Spain) was carried on 7-6-81, 21-12-81 and 21-1-82. These dates resumed very different hydrological conditions. 7-6-81 was the beginning of a dry period, 21-12-81 was just before the end of this period, and 21-1-82 was after big rainstorms. Sodium,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  were high at lowflow, and low after the storms. Sodium was less diluted at highflow, probably due to  $\text{Na}^+$  accumulation by evapotranspiration during the dry period. Potassium had an efficient regulation since its concentration varied between 6-12  $\mu\text{eq/L}$  throughout the study. Ammonium and  $\text{PO}_4^{3-}$  were very low, at the limit of analytical resolution (0.9 and 0.3  $\mu\text{eq/L}$  respectively) Nitrate had a relationship with land use and vegetation type in the watershed. Nitrate concentrations in evergreen oak watersheds were lower than in beech watersheds. As the evergreen oak litterfall is richer in N than the beech litterfall in Montseny forests, our result in  $\text{NO}_3$  concentration in streams oppose the findings of Vitousek *et al.*, (1982). Chloride concentration was higher at sites with high evapotranspiration (low altitude, high radiation, densely forested watersheds).

## INTRODUCCION

La composición química de los arroyos es una expresión del estado de las cuencas. En este sentido, diferentes autores (p. ej. Christophersen & Seip, 1982; Likens *et al.*, 1977; Verstraten, 1977 y Vitousek, 1977) han utilizado dicha composición para explicar distintos procesos que ocurren a nivel de cuenca.

Desde hace algunos años se está trabajando en el Montseny sobre ciclos biogeoquímicos en ecosistemas terrestres. Actualmente hay una cuenca experimental en funcionamiento en las landas desforestadas de la parte alta del macizo, y otra en proyecto en una cuenca de encinar.

El presente trabajo pretende dar un marco de referencia con que comparar los resultados obtenidos en el estudio intensivo de estas dos cuencas.

En concreto, los objetos del trabajo son: (1) esta-

blecer la gama de variación de la composición química de arroyos sobre sustrato silicatado y con poca o nula ocupación humana en el Montseny, (2) relacionar el quimismo con características de las cuencas y, (3) comparar la composición química en condiciones hidrológicas muy distintas.

El Montseny pertenece a la Sierra Prelitoral Catalana y se halla a unos 40 Km. al N-NE de Barcelona. Su altitud máxima es de 1707 m. (Turó de l'Home). Está formado principalmente por pizarras y granitos y está cubierto por landas y prados en las partes culminales, y por encinar montano y hayedo en las laderas. Hay masías y campos de cultivo dispersos hasta unos 900-1000 metros.

Las cuencas fueron seleccionadas atendiendo a su accesibilidad; los arroyos muestreados siguen una ruta que comienza en Sant Marçal, continúa por Santa Fe, Coll de Santa Elena, Fontmartina, La Costa, Mont-

seny, La Castanya y termina pasado Collformic.

Por condicionamiento del recorrido, la vegetación y la litología de las cuencas era heterogénea en muchos casos. En algunas cuencas se incluyen campos y alguna casa.

## MATERIAL Y METODOS

Las muestras se recogían en botellas de polietileno de 500 ml lavadas con HCl diluído y con abundante agua destilada. En el momento de la recogida se lavaban 3 veces con el agua a muestrear. Se recogía la muestra en un tramo donde hubiera corriente. Si el caudal era muy bajo, se usaba una jeringa de 60 ml.

En el laboratorio se medía la conductividad y se filtraban las muestras turbias. A continuación se distribuía la muestra en botellas independientes para los análisis de: (1) cationes, (2) cloruro, y (3) nitrato y ortofosfato soluble. Los cationes eran analizados por el Servicio de Espectroscopía de la Universidad de Barcelona. Nitrato y  $\text{PO}_4^{3-}$  se analizaban mediante métodos estándar con un Technicon AAI. El  $\text{Cl}^-$  se analizó por colorimetría manual, con el método del tiocianato mercuríco.

Como variables topográficas de las cuencas se midieron el área, la altitud media, la pendiente (desde el punto más alto de la cuenca a la salida), el azimut, y el número de orden (Strahler). La litología se obtuvo del mapa del Plan Especial del Parque Natural del Montseny (1:20.000).

Se realizaron tres campañas: en la 1ª campaña (7-6-81) se recogieron 29 muestras de arroyos y 6 de fuentes. Los arroyos bajaban con un caudal de base. Era el principio de un largo estiaje que terminaría con unas lluvias torrenciales a mediados de enero de 1982. En la 2ª campaña (21-12-81) se recogieron 23 muestras de arroyos y 2 de fuentes. Los caudales eran muy bajos y muchos cursos estaban secos por la prolongada sequía. En la 3ª campaña (21-1-82) se recogieron 50 muestras de arroyos y 3 de fuentes. Los caudales eran extremadamente altos tras las lluvias citadas de mediados de enero (300 mm en 6 días).

Por impedimentos analíticos, en la 1ª campaña no se analizó el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{NH}_4^+$  y en la tercera no se midió la conductividad.

La tabla 1 muestra los estadísticos principales para las variables topográficas de las cuencas comunes a todos los muestreos.

Tabla I.- Estadísticos principales de las variables topográficas de las cuencas (datos de las cuencas comunes a los 3 muestreos).  
Watershed topographical statistics (data from common streams in the sampling dates)

	n	x	c.v.(%)	máx.	mín.	mediana
Area (ha)	15	123	134	656	2.2	52.8
Alt. media (m)	15	1192	12.9	1446	944	1180
Pendiente (°)	15	21.4	17.9	27.7	15.5	21.6
Azimut (°)	15	164	48.1	270	45	180
Nº orden	15	2.5	36.4	4	1	—

## RESULTADOS

De la observación de los resultados de la 1ª campaña se vió la necesidad de dividir el conjunto de arroyos en 3 grupos: (1) grupo general, (2) grupo de arroyos de Sant Marçal, y (3) grupo de arroyos contaminados.

A continuación describiremos el comportamiento de estos grupos en las distintas campañas.

### Primera campaña

La tabla 2 muestra la media de la composición química por grupos de los arroyos muestreados en la 1ª campaña.

Tabla II.- Media de la composición química de los arroyos del Montseny, por grupos. Datos de la 1ª campaña.  
Mean chemical concentrations of Montseny streams (data from the 7-6-81 sampling)

Grupos de arroyos	n	Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}^*$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$
			$\mu\text{eq}/\text{L}$					
Gr. general	21	53.4	197	8.48	215	142	12.9	0.33
Gr. St. Marçal	4	116	160	32.2	948	178	8.1	0.47
Gr. contaminados	3	106	304	28.7	407	302	201	0.76

\*  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20°C

### Grupo general

El grupo general tiene conductividades y concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  moderadas. Concentraciones más altas pueden darse en regiones de sustrato más meteorizable, o con mayor evapotranspiración (que concentraría las sustancias disueltas), o con contaminaciones. Concentraciones menores son típicas de climas fríos y en zonas silicatadas, como por ejemplo en Hubbard Brook y en el Shenandoah National Park (USA) con conductividades medias anuales ponderadas de 26'7 y 14'9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20°C (Likens *et al.*, 1977; Shaffer, 1982) respectivamente.

Los arroyos del Montseny son relativamente ricos en  $\text{Na}^+$ , cuyo valor medio no difiere mucho del de  $\text{Ca}^{2+}$ .

(tabla II). Observando las concentraciones por arroyos individuales, destacan los de las vertientes del Turó de l'Home por tener más  $\text{Na}^+$  que  $\text{Ca}^{2+}$ .

La concentración de  $\text{K}^+$  es muy baja (6-12  $\mu\text{eq/L}$ ) en comparación con la de los demás cationes metálicos analizados.

Por lo que se refiere a los aniones, en esta campaña sólo se analizó  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{NO}_3^-$ . El fosfato se encuentra en concentraciones muy bajas que rayan el límite de detección del método (0.3  $\mu\text{eq/L}$ ).

El nitrato tiene concentraciones más altas y elevada variación (C.V.  $\pm 91\%$ ).

La conductividad está muy correlacionada con  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , y muy poco con  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , y  $\text{PO}_4^{3-}$ .

	Alta correlación	Baja correlación
Coefficientes de correlación	Cond- $\text{Na}^+$ = 0.85	Cond- $\text{K}^+$ = 0.13
n = 21	Cond- $\text{Ca}^{2+}$ = 0.96	Cond- $\text{NO}_3^-$ = 0.30
	Cond- $\text{Mg}^{2+}$ = 0.94	Cond- $\text{PO}_4^{3-}$ = 0.35

La escasa correlación entre conductividad y  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , y  $\text{PO}_4^{3-}$  se debe a que son iones de poca importancia cuantitativa en el agua de los arroyos, y a que no van asociados a las variaciones de los iones principales.

Sodio,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Mg}^{2+}$  también están muy correlacionados entre sí (coeficientes de correlación superiores a 0.75).

#### Grupo de Sant Marçal

Este grupo se distingue por su elevada conductividad, relacionada con concentraciones altas de  $\text{Ca}^{2+}$ . También destaca por sus elevadas concentraciones de  $\text{K}^+$  (tabla II). Ello se debe probablemente a la litología de la zona, formada por granito gris-rosado que tendría más facilidad en meteorizar minerales que contienen  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  (plagioclasa cálcica y ortosa) que las pizarras y granodioritas del resto del macizo.

Tabla III.- Mediana de los arroyos comunes J las 3 campañas Datos del grupo general

Median of common streams in the 3 sampling dates Data from general group

Campañas	Gond. $\mu\text{S/cm}^*$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$
				$\mu\text{eq/L}$				
1ª campaña 7-6-81	15	54.0	211	7.9	220	151	14.0	--
2ª campaña 21-12-81	15	68.0	221	10.9	255	193	6.6	11.0
3ª campaña 21-1-82	15	--	193	10.5	142	114	17.6	--

\*  $\mu\text{S/cm}$  a 20°C.

Grupo de arroyos contaminados.

Los arroyos contaminados se caracterizan por sus altas conductividades y elevadas concentraciones de todos los iones (excepto  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Su rasgo más distintivo es su elevado contenido de  $\text{NO}_3^-$  (> 100  $\mu\text{eq/L}$ ) y también sus altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{K}^+$  (tabla II). Se ha de destacar que la contaminación por casas y cultivos no se manifiesta en concentraciones altas de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

#### Segunda campaña

La tabla III muestra la mediana de las variables químicas en las 3 campañas elaborada a partir de los arroyos comunes a los 3 muestreos del grupo general.

Las medianas de la conductividad y los cationes aumentan en la 2ª campaña respecto a la primera. En porcentajes, estos números son: 26% para la conductividad, 4.7% para  $\text{Na}^+$ , 38% para  $\text{K}^+$ , 16% para  $\text{Ca}^{2+}$ , y 28% para  $\text{Mg}^{2+}$ . El  $\text{K}^+$  aumenta en 3  $\mu\text{eq/L}$ , pero este pequeño incremento absoluto representa un elevado porcentaje por tratarse de concentraciones muy bajas.

El porcentaje de aumento de  $\text{Na}^+$  es bajo, pero es significativo según el test de observaciones apareadas de Wilcoxon. De un total de 15 arroyos, el  $\text{Na}^+$  aumenta en 13 y disminuye en 2.

El  $\text{NO}_3^-$ , contrariamente a los cationes, disminuye (tabla III) y  $\text{PO}_4^{3-}$  sigue hallándose en torno al límite de detección.

En este muestreo se analizó el  $\text{Cl}^-$  que presenta muy poca variación espacial (coeficiente de variación del 15%), con unos valores alrededor del 110  $\mu\text{eq/L}$ .

Los arroyos de Sant Marçal y los contaminados presentan en esta 2ª campaña las mismas características comentadas en la 1ª campaña, con unos aumentos de concentraciones de cationes de acuerdo con la tónica descrita para el grupo general.

#### Tercera campaña

Los cationes, excepto el  $\text{K}^+$ , disminuyen. El  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  disminuyen en porcentajes similares (44 y 41% respectivamente), mientras que el  $\text{Na}^+$  disminuye mucho menos (13%). El  $\text{K}^+$  se mantiene en los mismos niveles de concentración (tabla III). El  $\text{NH}_4^+$  presenta concentraciones muy bajas al igual que en la anterior campaña (mediana de 0.88  $\mu\text{eq/L}$ ). Es interesante destacar esta constancia del  $\text{NH}_4^+$  y del  $\text{K}^+$  en condiciones hidrológicas tan diferentes.

El nitrato aumenta en 10 arroyos y disminuye en 4, y  $\text{Cl}^-$  también aumenta en la mayoría de los arroyos. El

$\text{PO}_4^{3-}$  sigue alrededor del límite de detección.

El grupo de Sant Marçal sigue la pauta descrita para el grupo general, pero  $\text{Na}^+$  aumenta ligeramente y  $\text{K}^+$  disminuye de modo apreciable. La concentración del grupo de arroyos contaminados no varía mucho excepto para el  $\text{NO}_3^-$  que aumenta de manera extraordinaria.

Variación de las correlaciones entre campañas.

Sodio,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , muy correlacionados como hemos visto en la 1ª campaña, presentan la siguiente variación de correlaciones en las distintas campañas (datos del grupo general):

	1ª campaña	2ª campaña	3ª campaña
$\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$	0.82	0.67	0.84
$\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}$	0.75	0.56	0.76
$\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$	0.86	0.93	0.84
n	21	19	41

La única variable topográfica con correlación significativa con las variables químicas es la altitud, cuyos coeficientes de correlación con los principales cationes son:

	1ª campaña	2ª campaña	3ª campaña
$\text{Na}^+-\text{Alt}$	-0.82	-0.84	-0.91
$\text{Ca}^{2+}-\text{Alt}$	-0.76	-0.59	-0.79
$\text{Mg}^{2+}-\text{Alt}$	-0.72	-0.57	-0.70
n	21	19	41

## DISCUSION

Efectos del estiaje.

La comparación entre la 1ª y la 2ª campaña nos indica los cambios producidos por un largo período de estiaje en la composición química de los arroyos. Tal como se ha comentado en el apartado anterior, la conductividad y la concentración de cationes ha aumentado. Ello se debe a que el agua que sale en estos momentos ha permanecido largo tiempo en la cuenca y se ha enriquecido en estos cationes por meteorización de los silicatos.

La correlación entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se mantiene alta en la 2ª campaña (ver apartado anterior), pero la de  $\text{Na}^+$  con  $\text{Ca}^{2+}$  y con  $\text{Mg}^{2+}$  desciende respecto a la 1ª campaña. Hemos visto que el  $\text{Na}^+$  aumenta un 5%, mientras que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  aumentan un 16 y 28% respectivamente. Ello parece indicar que el quimis-

mo del  $\text{Na}^+$  vendría regulado por distintos procesos que los del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

El  $\text{NO}_3^-$  disminuye en la 2ª campaña, lo que puede ser debido a la demanda biológica durante el período vegetativo.

Efectos de una crecida

La comparación entre la 2ª y la 3ª campaña nos muestra los cambios tras una gran crecida de caudales.

Los cationes, excepto el  $\text{K}^+$ , disminuyen. La divergencia de comportamiento de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ , por una parte y  $\text{K}^+$  por otra, ha sido comentada por distintos autores (Vitousek, 1977; Johnson *et al.*, 1969), que la atribuyen a un control biológico del  $\text{K}^+$  frente a un control litológico de los demás cationes.

En nuestro caso, el hecho de que las concentraciones de  $\text{K}^+$  sean bajas, y muy constantes en el conjunto de todos los arroyos y en las distintas condiciones hidrológicas sugiere la existencia de un eficaz mecanismo de regulación para este elemento. La regulación se efectuaría no tanto por intercambio catiónico (aplicable también para  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) como por el establecimiento de un equilibrio con una fase sólida, como pueden ser arcillas o micas (illita o moscovita, en la región estudiada).

El  $\text{NO}_3^-$  aumenta en la mayoría de los arroyos. En caudal de base, estos arroyos tienen bajas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ . Cuando llueve, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  de los arroyos tiende a parecerse a la del agua de la lluvia (19  $\mu\text{eq/L}$  de media en el Montseny; Rodà, 1983), con lo que se manifiesta un aumento en las concentraciones. Inversamente, en arroyos con niveles altos de  $\text{NO}_3^-$  hay una disminución de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  tras una lluvia importante. El ión cloruro, la evapotranspiración y los aportes marinos.

El  $\text{Cl}^-$  es un ión que interviene poco en los ciclos biológicos y que no procede de la meteorización. Por lo tanto, en sistemas no perturbados, los flujos de entrada de  $\text{Cl}^-$  han de ser iguales a los de salida. Como en las cuencas hay una pérdida de agua por evapotranspiración, la concentración de  $\text{Cl}^-$  en las aguas de salida de una cuenca resulta aumentada por un factor dependiente de la importancia de la evapotranspiración. El aumento que se observa en la 3ª campaña sería el resultado de un lavado por el agua de la lluvia del  $\text{Cl}^-$  acumulado en el suelo por la evapotranspiración durante el estiaje precedente a las lluvias.

La distribución del  $\text{Cl}^-$  en el Montseny se relaciona con la evapotranspiración. La concentración de  $\text{Cl}^-$  es

baja en las cuencas altas, con mucha pendiente y poca vegetación (poca evapotranspiración) y es alta en cuencas bajas, con vastas superficies de derrubios de pendiente y situadas en la solana (alta evapotranspiración).

Dos ejemplos concretos de la variación del Cl según factores relacionados con la evapotranspiración son los siguientes:

- 1) Factor orientación: TM 11 (umbría): 141  $\mu\text{eq/l Cl}$   
TM 13 (solana): 177  $\mu\text{eq/l Cl}$   
(muestreo 21-1-82)
- 2) Factor vegetación: Ramal del Torrent de la Bessa (hayedo): 36.0  $\mu\text{eq/l Cl}$   
Ramal del Torrent de la Bessa (prado): 16.6  $\mu\text{eq/l Cl}$   
(muestreo 9-3-83)

Ambas comparaciones se realizaron en cuencas de características similares, que variaban principalmente en el factor a estudiar.

Se puede observar como el Cl<sup>-</sup> es mayor en la cuenca de solana (mayor radiación, mayor evapotranspiración) y en la cuenda de hayedo (mayor superficie forestada, mayor evapotranspiración). Sin embargo, para generalizar sobre la relación cloruro-evapotranspiración se necesita estudios más detallados.

En las aguas de lluvia del Montseny, el Na<sup>+</sup> y el Cl<sup>-</sup> se hallan en una proporción parecida a la del agua del mar (Na/Cl=0.84, en equivalentes; cociente obtenido a partir de las medias ponderadas de cada ión; Roda,

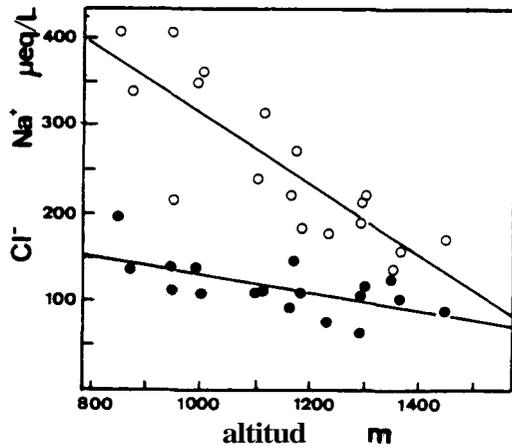


Figura 1.- Distribución de sodio (○) y cloruro (●) respecto a la altitud en la 2ª campaña. Unidades de los iones =  $\mu\text{eq/L}$ , de la altitud = m. Se representan las rectas de regresión  
Concentration of: sodium (○) and chloride (●) versus altitude  
Data from the 2nd. sampling. Concentrations in  $\mu\text{eq/L}$ , altitude in m. Regression lines are represented.

1983), por lo tanto, el Na<sup>+</sup> además de un origen litológico local, tiene un origen marino.

Tanto el Cl<sup>-</sup> como el Na<sup>+</sup> presentan correlaciones inversas significativas con la altitud y sus rectas de regresión son : (unidades de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> =  $\mu\text{eq/L}$ ; Alt = m)  $\text{Cl}^- = 237 - 0.11 \text{ Alt}$  y  $\text{Na}^+ = 720 - 0.41 \text{ Alt}$ ;  $n=18$ ;  $r = -0.63$  y  $-0.84$  respectivamente. Tal como se muestra en la fig. 1 y como se puede observar en las regresiones, la pendiente del Na<sup>+</sup> en valor absoluto es mayor que la del Cl<sup>-</sup>. Esta diferencia en su comportamiento respecto a la altitud se explica porque mientras el Cl<sup>-</sup> es exclusivamente marino, el Na<sup>+</sup> tiene además un origen litológico. En el caso del Na<sup>+</sup> actúan 2 procesos inversamente relacionados con la altitud: meteorización y evapotranspiración, mientras que en el caso del Cl<sup>-</sup> sólo actúa la evapotranspiración.

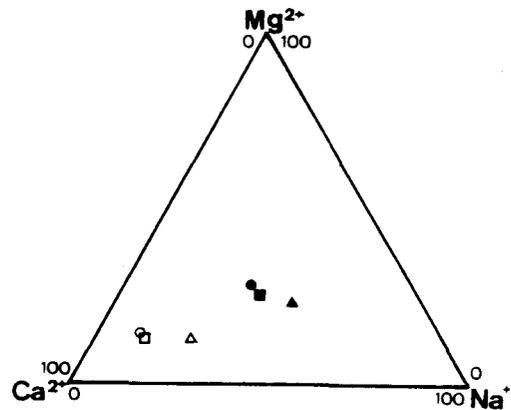


Figura 2 - Diagrama triangular de proporciones catiónicas, para los arroyos del grupo Sant Marçal y del grupo general. Se indica la media de las proporciones catiónicas en las 3 campañas  
Triangular diagram of cationic proportions. Mean cationic proportions for St. Marçal group and general group are represented

- 1ª Campaña ■ grupo general □ grupo St. Marçal
- 2ª Campaña ● grupo general ○ grupo St. Marçal
- 3ª Campaña ▲ grupo general △ grupo St. Marçal

El hecho de que el Na<sup>+</sup> tenga 2 orígenes podría explicar una menor correlación con Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en algunos casos.

En la 3ª campaña, la disminución del Na<sup>+</sup> es menor que la de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. En el diagrama de proporciones catiónicas se puede ver un desplazamiento de la media hacia la derecha (fig. 2) indicando una mayor proporción de Na<sup>+</sup> que de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. Ello se debería al lavado del Na<sup>+</sup> acumulado por la evapotranspiración durante el estiaje.

Atendiendo a la proporción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en la lluvia del Montseny citada anteriormente ( $\text{Na}/\text{Cl}=0.84$ ) se distinguió la proporción de  $\text{Na}^+$  procedente de aportes atmosféricos, de la de meteorización. Las figs. 3 y 4 muestran los porcentajes de  $\text{Na}^+$  de meteorización para la 2ª y la 3ª campaña. Podemos destacar:

- (1) la 2ª campaña (tras un estiaje) presenta unos porcentajes de  $\text{Na}^+$  de meteorización mucho más elevados que la 3ª (tras lluvias).
- (2) los arroyos de la zona de Santa Fe tienen menores porcentajes de  $\text{Na}^+$  de meteorización que el resto. Ello se debe a que los vientos procedentes del mar penetran en el valle de Santa Fe, abierto hacia S-SE, sin ningún obstáculo orográfico.
- (3) las fuentes tienen porcentajes de  $\text{Na}^+$  de meteorización más altos y más constantes que los arroyos:

	2ª campaña	3ª campaña
Font del Vilar	78.5%	73.9%
F. de St. Jordi	72.4%	83.6%
F. de Passavets	--	69.3%

El agua de las fuentes, bien porque se encuentre en acuíferos de gran volumen, bien porque procede de zonas profundas, queda poco afectada por el agua reciente y mantiene una mayor constancia química y mayor contenido de  $\text{Na}^+$  de meteorización, que se debería al enriquecimiento por su largo contacto con la roca.

### Nitrato

El  $\text{NO}_3^-$  se comporta de una manera distinta a los otros iones y presenta concentraciones muy variables de unas cuencas a otras según el uso del suelo y del tipo de vegetación de la cuenca (tabla 4). Las cuencas con cultivos tienen concentraciones más altas que las forestadas y las cuencas con landas. Entre las cuencas forestadas, hay más  $\text{NO}_3^-$  en el hayedo que en el encinar.

Hill (1978) en un estudio de las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en cuencas cultivadas en Ontario (Canadá), encontró una correlación positiva elevada entre el porcentaje de área cultivada y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el agua de drenaje. Para cuencas con 10-20% de cultivos encontró valores de 30-70  $\mu\text{eq/L}$  de  $\text{NO}_3^-$ , no

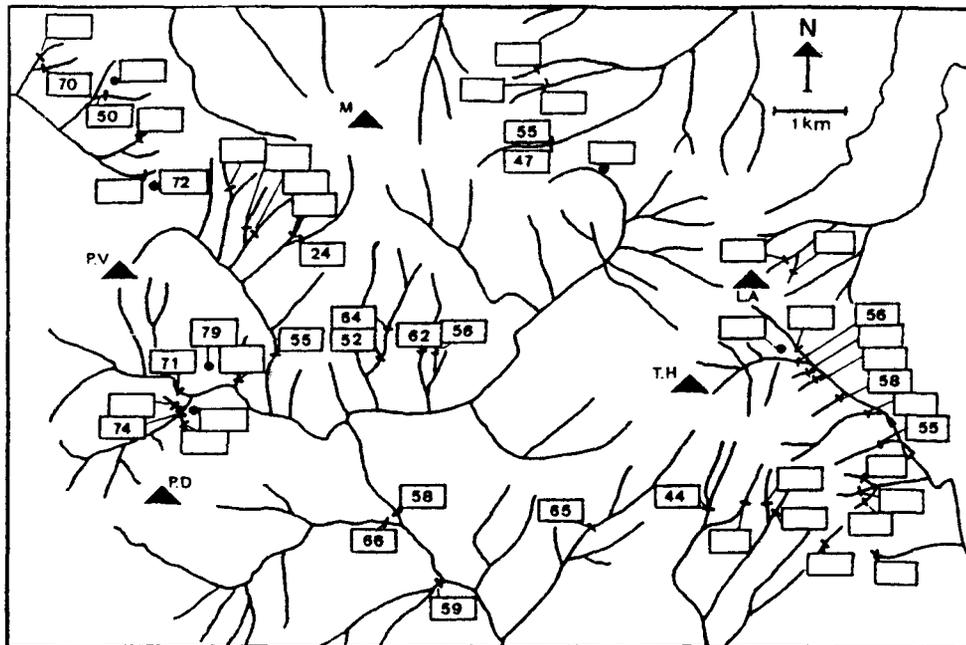


Figura 3 - Porcentaje de sodio de meteorización en la 2ª campaña.  
Percentage of sodium from meteorization. Data from the 2nd sampling

muy diferentes de nuestras observaciones.

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en las cuencas forestadas del Montseny se encuentran entre los valores más bajos en la bibliografía. Según Vitousek (1977), los bosques en estado de sucesión acumularían nutrientes en la biomasa, con lo que las concentraciones en el agua de escorrentía serían muy bajas. Los bosques del Montseny han sufrido frecuentes talas y aún están sujetos a explotación y los arroyos tienen concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  relativamente bajas, lo cual es consistente con la hipótesis de Vitousek.

Según Vitousek *et al.* (1982), la mineralización (paso de N orgánico a  $\text{NH}_4^+$  por los organismos descomponedores) y la nitrificación (paso de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  por bacterias nitrificantes) son mayores en bosques cuya hojarasca es rica en N. En nuestro caso, el encinar tiene mayores aportes de N en la hojarasca que en el hayedo (A.M.C. Verdú, com. pers.) y sin embargo, y contrariamente a Vitousek, sus arroyos tienen menor concentración de  $\text{NO}_3^-$ , como ya hemos señalado.

Otro punto importante y que requiere más atención

es el referente a la circulación de  $\text{NO}_3^-$  dentro del encinar. Las entradas de este ion en la lluvia son de 19  $\mu\text{eq/L}$  (media ponderada por volumen en el encinar; Rodà, 1983). Al pasar por las copas de los árboles, el

Tabla IV - Media de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  según el uso del suelo y la vegetación de la cuenca. En  $\mu\text{eq/L}$ .

Mean  $\text{NO}_3^-$  concentration according to land use and vegetation in the watershed. In  $\mu\text{eq/L}$ .

		7-6-81	21-12-81	21-1-82
Cultivos	$\bar{x}$	23.7	22.3	52.9
	$S_{\bar{x}}$	4.4	6.1	15.0
	n	9	11	13
Prados y landas	$\bar{x}$	6.3	7.3	18.8
	$S_{\bar{x}}$	3.7	4.5	8.1
	n	5	4	6
Hayedo	$\bar{x}$	9.3	3.7	9.8
	$S_{\bar{x}}$	2.9	2.1	2.5
	n	8	3	12
Encinar	$\bar{x}$	2.2	0.2	1.3
	$S_{\bar{x}}$	1.7	0.1	0.7
	n	3	2	6

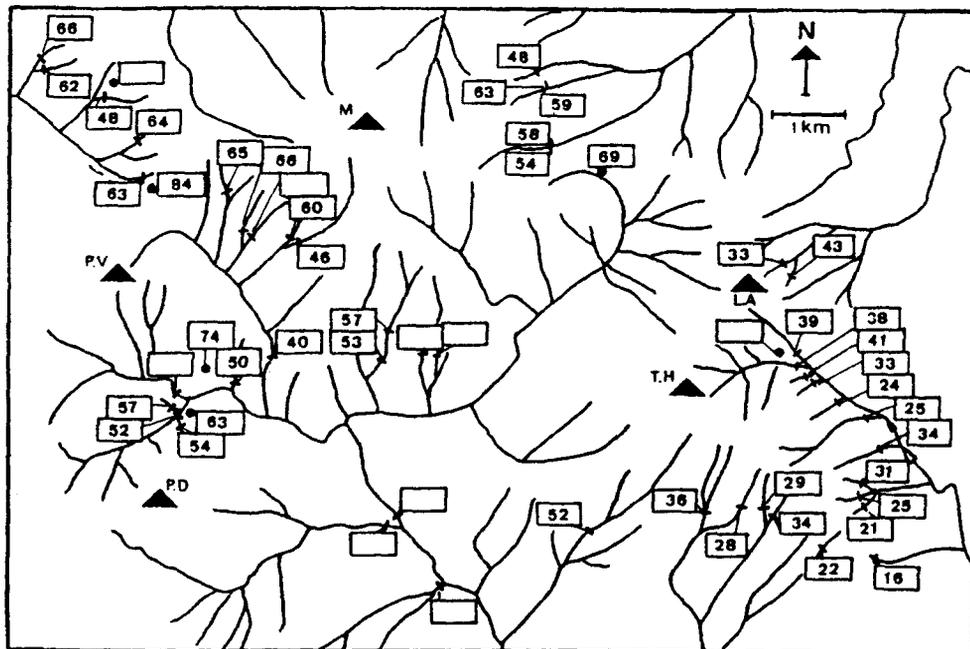


Figura 4 - Porcentaje de sodio de meteorización, en la 3ª campaña  
Percentage of sodium from meteorization. Data from the 3rd sampling

agua se enriquece en  $\text{NO}_3^-$  y el suelo del encinar llegan  $33.7 \mu\text{eq/L}$ . Datos de lisímetros de succión instalados en el encinar revelan que la solución del suelo es rica en  $\text{NO}_3^-$ :  $48.0 \mu\text{eq/L} \pm 12.5$  (S, ) (media de 62 observaciones). Sin embargo la concentración en los arroyos de encinar es bajísima ( $0-3 \mu\text{eq/L}$ ). El lugar donde se efectúa la retención de  $\text{NO}_3^-$  es desconocido, pero podemos acotarlo. Ha de hallarse por debajo de la profundidad alcanzada por los lisímetros (40 cm aprox.) y antes de aflorar al arroyo. puesto que datos de una surgencia subsuperficial que afluye a un arroyo de encinar dan concentraciones inferiores a  $2 \mu\text{eq/L}$ .

## CONCLUSIONES

El estudio comparativo en el Montseny revela que:

- (1) diferencias en el quimismo de los arroyos van asociados a diferencias en la litología, como pone de manifiesto la peculiar composición de los arroyos de Sant Marçal.
- (2) la existencia de granjas en las cuencas produce altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  ( $> 100 \mu\text{eq/L}$ ) en los arroyos que las drenan. Las cuencas con cultivos tienen también mayores concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  que las cuencas forestadas.
- (3) Las bajas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en las cuencas forestadas se deberían a una acumulación de este nutriente en la biomasa creciente (Vitousek, 1977) La retención de  $\text{NO}_3^-$  se efectuaría en algún punto del perfil del suelo por debajo de la profundidad de los lisímetros y antes de aflorar a los arroyos.
- (4) Sodio,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tienen correlaciones elevadas entre sí. El comportamiento del Na<sup>+</sup> se separa en algunos momentos del de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , indicando distinto control. Mientras que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , tienen predominantemente un control litológico, Na<sup>+</sup> tiene además aportes marinos atmosféricos.
- (5) Sodio,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tienen correlaciones inversas con la altitud. El Na<sup>+</sup> presenta la correlación más negativa.
- (6) La concentración de  $\text{K}^+$  es muy baja y muy constante, lo que sugiere un mecanismo de regulación de este elemento en el agua del suelo.
- (7) Amonio y  $\text{PO}_4^{3-}$  se encuentran en concentraciones muy bajas en todos los arroyos y en las distintas condiciones hidrológicas.
- (8) El cloruro está relacionado con la evapotranspiración: presenta una relación inversa con la altitud, y datos preliminares apuntan hacia concentraciones más elevadas en cuencas forestadas y con mayor radiación.

## BIBLIOGRAFIA

- Christophersen, N. & Seip, H.M., 1982. A model for streamwater chemistry in Birkenes Norway Water Resources Research, 18: 977-996
- Hill, A.R., 1978. Factors affecting the export of nitrate-nitrogen from drainage basins in southern Ontario Water Research, 12: 1045-1057
- Johnson, N.M., Likens, G.E., Bormann, F.H., Fisher, D.W. & Pierce, R.S., 1969. A working model for the variation in stream water chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire Water Resources Research, 5: 1353-1363
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton J.S. & Johnson, N.M. 1977. Biogeochemistry of a forested watershed Springer-Verlag New York
- Martin, C.W., 1979. Precipitation and stream water chemistry in an undisturbed forested watershed in New Hampshire Ecology, 60: 16-42
- Rodà, F. 1983. Biogeoquímica de les aigües de pluja i de drenatge en alguns ecosistemes forestals del Montseny Tesis doctoral Dept Ecologia. Universidad Autònoma de Barcelona
- Shaffer, P., 1982. Precipitation and streamwater chemistry input and output budgets in the SWAS watersheds, in: J.N. Galloway, G.M. Hornberger & K.J. Beven Eds: Shenandoah Watershed Acidification Study: Three Year Summary Report, V appendix Dept Environmental Sciences University of Virginia Charlottesville Virginia
- Verstraten, J.M., 1977. Chemical erosion in a forested watershed in the Oesling. Luxemburg. Earth Surface Processes, 2: 175-184.
- Vitousek, P.M., 1977. The regulation of element concentrations in mountain streams in the northeastern United States Ecological Monographs, 47: 65-87
- Vitousek, P.M., Gosz, J.R., Grier, Ch. C., Melillo, J.M., & Reiners, W.A., & Todd, R.L., 1979. Nitrate losses from disurbed ecosystems Science 204: 469-474
- Vitousek, P.M., Gosz, J.R., Grier, Ch. C., Melillo, J.M. & Reiners, W.A., 1982. A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. Ecological monographs, 52: 155-177.