

Variación espacial de la carga de sedimentos en la cuenca del río Tordera en condiciones de estiaje *

Maria SALA⁽¹⁾ y Dennis WHEELER⁽²⁾

(1) Departament de Geografia Física, Universitat de Barcelona.
(2) Geography Department, Sunderland Polytechnic. Sunderland. U.K.

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en el examen de la cantidad de sedimento en disolución y suspensión, recogido a lo largo de algunos puntos de la red de drenaje de la cuenca del río Tordera durante el verano de 1984. El muestreo de estas aguas se llevó a cabo en base a las principales unidades litológicas del área, a fin de comprobar la contribución de cada una de ellas a la carga fluvial. Los resultados confirman la importancia atribuida al sustrato y muestran el grado de meteorización de las diferentes rocas: mínimo en las pizarras, algo mayor en la granodiorita, y elevado en los sedimentos no consolidados. Se aprecia la distorsión provocada por los asentamientos humanos, fundamentalmente en el caso del área sedimentaria. Las tasas de remoción de sedimento que se han hallado son bajas, en relación a la época de bajo caudal fluvial en que se llevó a cabo el muestreo, pero son sin embargo similares a la media producida por los ríos de las Islas Británicas, lo cual hace pensar en la posibilidad de que las medias para el Tordera sean superiores a las medias de países más húmedos. De ser así podría concluirse que en la meteorización el factor temperatura sería más importante que el factor precipitación.

Palabras clave: Meteorización. Carga en disolución. Variación espacial. Control litológico. Interferencia humana.

ABSTRACT

A study of the sediment characteristics of the Tordera river (north-east Spain) was undertaken in the late summer of 1984. Convenient geological sub-divisions within the basin invited spatial sampling frame based on those divisions. The results demonstrated clearly the strength of lithological controls on stream sediment loads, particularly on the dissolved component; human interference was also found

to be significant but only locally so. Summer sediment removal rates were found to be broadly similar to those established for the British Isles.

Keywords: Weathering. Dissolved solids. Spatial variation. Lithologic control. Human interference.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es el de estimar la importancia de los controles litológicos en la producción de sedimento de la cuenca del río Tordera. Dentro de esta área se encuentran unidades geológicas bien definidas, las cuales condicionan en gran manera la topografía y, a causa de ello, se ha generado un modelo igualmente diverso de ocupación humana del espacio. También la litología y los depósitos superficiales presentan una distribución espacial altamente dependiente de la estructura y asimismo tienen un papel condicionante en la topografía. Puesto que la toma de muestras se llevó a cabo durante el verano de 1984, los resultados reflejan solamente las diferencias espaciales generadas en un momento determinado del ciclo hidrológico anual, si bien se espera completar este reconocimiento con muestreos llevados a cabo en períodos húmedos. Otros estudios llevados a cabo en el área del Montseny se centran en la valoración del material disuelto en un punto determinado de la red fluvial a lo largo de un determinado período de tiempo (Rodà, 1983; Ferrés *et al.*, 1984; Avila & Rodà 1985).

* Trabajo presentado en forma de comunicación a la I Conferencia Internacional de Geomorfología.

EL ÀREA DE ESTUDIO

El Tordera drena 895 km² de territorio al norte de Barcelona, totalmente dentro del área de las Cordilleras Costeras Catalanas. La mayor parte de los principales aspectos del trazado de su curso están determinados por fallas, y su trayectoria rectilínea y angular es de un claro reflejo de este control estructural, así como de la subdivisión en tres unidades del conjunto del relieve: Cordillera Prelitoral, Depresión Prelitoral y Cordillera Litoral. En cuanto a la composición del roquedo de la superficie drenada por las aguas del Tordera puede, para el caso que nos ocupa, resumirse en tres grandes conjuntos litológicos: pizarras paleozoicas, más o menos metamorfizadas, en la parte este de la Cordillera Prelitoral; intrusiones graníticas post Hercinianas al oeste de esta Cordillera y en la mayor parte de la Cordillera Litoral; sedimentos Miocenos y Cuaternarios no consolidados rellenando la Depresión (IGME 1981), figura 1.

Está generalmente admitido (Solé y Llopis 1952) que en las Cordilleras Costeras Catalanas las condiciones climáticas de gran parte del Terciario dieron lugar a una profunda meteorización del sustrato. Durante el Cuaternario, seguramente a causa de procesos de naturaleza periglacial, la tendencia general fue la de una producción de gran cantidad de derrubios en las vertientes, conjuntamente con el lavado y movilización en masa de los mismos (Llobet, 1975; Sala, 1979).

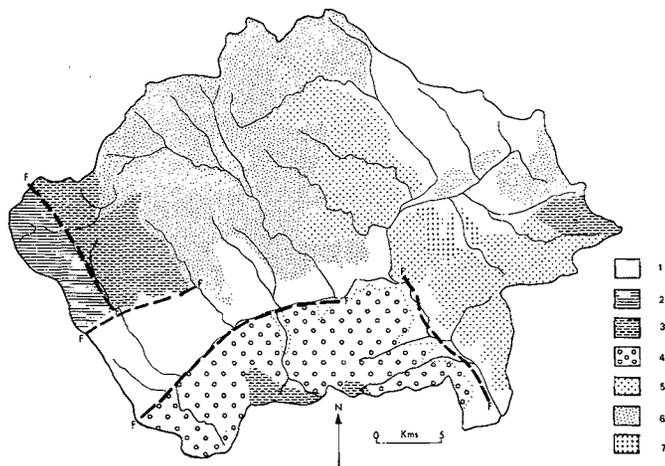


Figura 1.- Geología de la cuenca del Tordera, con las principales líneas de falla (simplificada a partir de IGME 1982); 1, sedimentos del Cuaternario y final del Terciario; 2, Pizarras ordovícicas; 3, Esquistos ordovícicos; 4, Granito; 5, Adamellita; 6, Granodiorita; 7, Basalto.

Figure 1.- The simplified geology of the Tordera basin (after IGME 1981). Major fault lines are indicated. Key: 1, late tertiary and Quaternary sediments; 2, Ordovician Shales; 3, Ordovician Slates; 4, granite; 5, adamellite; 6, granodiorite; 7, basalt.

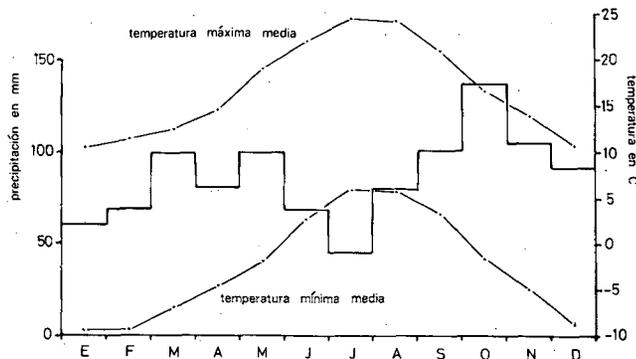


Figura 2.- Precipitación media anual y temperaturas medias mensuales máximas y mínimas en el Turó de l'Home, a 1.708 m de altitud. Los datos se refieren al período 1941-1970.

Figure 2.- Bar chart of mean annual rainfall for Turó de l'Home, 1.708 m above sea level. Mean monthly maximum and minimum temperatures are also shown. All observations refer to the period 1941-1970.

El clima de la región es claramente mediterráneo pero está modificado por los efectos del relieve, por lo que las condiciones clásicas mediterráneas sólo prevalecen cerca del nivel del mar. La precipitación es bundante pero estacional, con medias anuales de 1000 mm en las cimas de la Cordillera Prelitoral, de 700 mm en la Litoral y de 800 mm en la Depresión (Plus, 1968). Las temperaturas medias varían a lo largo del año entre 14.7°C (julio) y 0.1°C (febrero) en la cumbre del Montseny (Turó de l'Home), y entre 23.8°C (julio) y 7.1°C (enero) en la Depresión (Breda). Las variaciones mensuales entre máxima y mínima registradas en la estación del Turó de l'Home son notables (figura 2), y lo son todavía más las variaciones absolutas en esta misma estación.

El régimen de precipitaciones controla de forma muy estrecha el régimen fluvial, tal como queda demostrado en el gráfico que contiene los datos hidrológicos procedentes de la estación de aforos de Sant Celoni (figura 3). Los flujos reducidos de verano y los máximos de otoño y primavera son la característica común de todos los ríos del noroeste de la Península Ibérica. A pesar de todo, en tales climas las cifras promedio esconden condiciones extremas muy importantes y significativas. En el Turó de l'Home por ejemplo se registraron 571 mm de lluvia en octubre de 1965 a pesar de que la media para este mes es de 137 mm. Los totales en un solo día son todavía más extraordinarios: el 4 de abril de 1969 se cayeron 175 mm de lluvia, siendo

que la media mensual para este mes es de 82 mm. A estos valores corresponden volúmenes también extremos de escorrentía fluvial; por ejemplo, 72 m³/s de caudal instantáneo en Sant Celoni el 6 de enero de 1977, con ocasión de una precipitación de 97 mm, mientras que en contrapartida, durante los meses de verano los cursos fluviales pueden llegar a estar completamente secos. Finalmente hay que tener presente la importancia del factor nieve en las cumbres de uno a tres meses invernales.

Estas características climáticas crean, en toda la cuenca, condiciones favorables a la meteorización. Los procesos de tipo químico se hallan indudablemente favorecidos por las altas temperaturas estivales, mientras que la lluvia, a pesar de su estacionalidad, tiene asimismo un papel no desdeñable. Tanto Ollier (1962) como Raiswell *et al.* (1980) han puesto de manifiesto la necesidad de condiciones cálidas y húmedas para una meteorización química eficiente. En la montaña, las fluctuaciones diarias alrededor de los ceros grados centígrados son el factor que propicia la existencia actual de una meteorización física. El potencial erosivo de las crecidas fluviales en relación a determinados volúmenes de precipitación, si bien por el momento su valor exacto no puede ser determinado, debe ser sin embargo notable, especialmente respecto a la movilización de la carga de fondo (Wolman & Miller 1960).

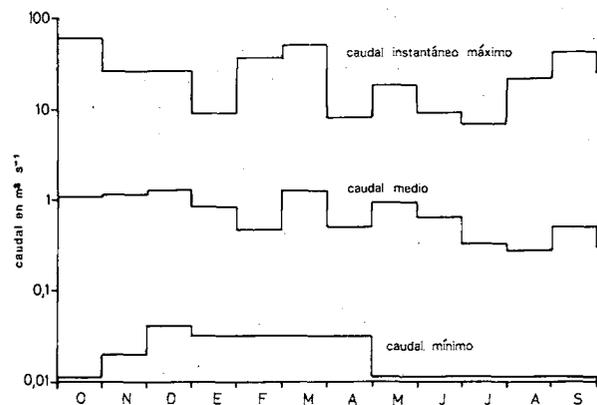


Figura 3.- Caudales del río Tordera en la estación de aforos de Sant Celoni. En área de drenaje en este punto es de 125 km². El porcentaje de escorrentía media anual en función de la precipitación es del 36% (período 1925-1973).

Figure 3.- Discharge data for the Sant Celoni gauging station on the Tordera river in the Prelittoral Depression. Drainage area at this point is 125 km². The average annual runoff, as a percentage of rainfall, is 36% (1925-1973).

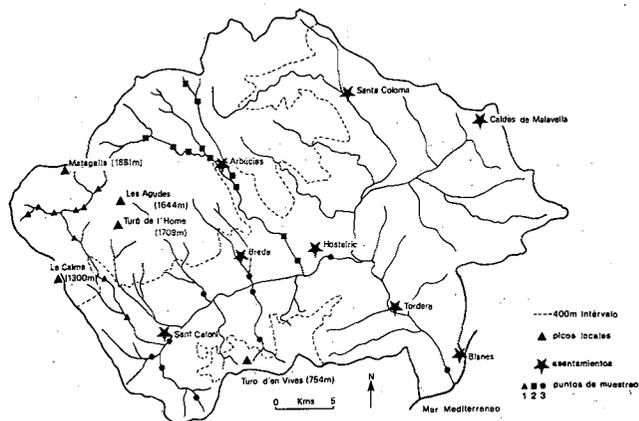


Figura 4.- Poblaciones y principales cumbres de la cuenca del Tordera. La localización de los puntos de muestreo es la siguiente: sub-muestra 1: Tordera Alto; sub-muestra 2: Riera de Arbúcies; sub-muestra 3: Depresión Pre-Litoral y sectores antropizados de la Cordillera litoral.

Figure 4.- Settlements and principal peaks in the Tordera basin. The location of the sub-sample points are indicated thus: sub-sample 1: the Tordera headwaters reaches; sub-sample 2: the Arbúcies tributary basin; sub-sample 3: the Prelittoral Depression.

PLAN DE MÉTODOS DE TRABAJO

El plan de muestreo se basa en las tres áreas litológicas de la cuenca (figura 4):

a) *la cuenca alta del Tordera*, aguas arriba de la falla que delimita la Depresión Prelitoral, constituida por pizarras del Ordovícico, sólo parcialmente metamorfozadas en los límites orientales de la zona.

b) *la cuenca de la riera de Arbúcies*, también en su parte al norte de la falla principal y por tanto constituida enteramente de granodiorita de grano grueso.

c) *la Depresión Prelitoral*, en el sector del curso bajo de las anteriores cuencas, del curso medio del Tordera y de algunos fondos de valles de la Cordillera Litoral, todo ello constituido por sedimentos Miocenos y Cuaternarios.

El trabajo de campo llevado a cabo en los puntos de muestreo consistió en la evaluación del caudal instantáneo (mediante la obtención de la velocidad con un molinete y el cálculo de la sección mojada) y la medición de la conductividad específica y la temperatura. Para el análisis en el laboratorio del sedimento en suspensión y disolución se tomaron muestras de un litro, de las que se obtuvieron las concentraciones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ por el método de titración con EDTA, y las concentraciones de Na⁺ y K⁺ por fotómetro de llama. En los casos en que el sedimento en suspensión

aparecía suficientemente importante se llevó a cabo su evaluación mediante el filtrado de la muestra con membranas Millipore.

Ni durante el período de estudio ni en las semanas anteriores al mismo (septiembre 1984) cayeron cantidades apreciables de lluvia, y el caudal, en cualquiera de los cursos fluviales, no experimentó cambios, por lo que las condiciones hidrológicas del trabajo pueden considerarse como constantes y las muestras pueden contemplarse como de una toma simultánea. En todo caso la alimentación fluvial procedía del caudal subterráneo y de la humedad subsuperficial del suelo, por lo que el agua de los cursos venía del contacto directo con la capa de meteorización y los horizontes del suelo.

DATOS OBTENIDOS

El análisis de los resultados obtenidos en la valoración del contenido de solutos en las tres áreas muestreadas revela claramente las diferencias en la concentración de iones en cada una de las zonas (tabla 1) y son un reflejo de la impresión que se tiene al observar en el campo las tres áreas: concentraciones altas en los sedimentos sueltos de la Depresión y en las áreas urbanizadas de la misma y de aguas abajo de las cuencas del Tordera y Arbúcies, y bajas concentraciones en las cuencas de montaña situadas sobre roca resistente. Pero además, las subunidades de montaña presentan claras diferencias entre sí: la cuenca esencialmente granodiorítica de Arbúcies, con un relieve suave, menor elevación y un notable manto de alteritas en las vertientes presenta concentraciones más altas que el área metamórfica, de relieve todavía abrupto y vertientes con gruesos derrubios. La noción de que el material granítico es menos resistente a la meteorización que el de la cuenca metamórfica adyacente viene confirmado por los resultados del presente análisis.

Aunque el sedimento en suspensión no pudo evaluarse en todos los casos dada su escasa presencia, a causa en parte de la poca turbulencia de las aguas, presenta sin embargo contrastes similares entre las tres áreas, es decir, menor concentración en el sector de pizarras, algo mayor en el sector granítico y valores máximos en los sedimentos de la Depresión y áreas antropizadas.

ENSAYO DE INTERPRETACIÓN

Origen del sedimento

La granodiorita de la cuenca de Arbúcies es una roca de grano grueso cuya estructura masiva favorece la

fisuración por descompresión; la importancia en la zona de la meteorización física por la alternancia de hielo y deshielo ya ha sido mencionada al tratar de las condiciones generales climáticas del área de estudio. De esta manera se hace posible que el agua pueda penetrar el tejido de la roca y llevar a cabo la tarea de la meteorización química. El ataque químico actúa no tanto sobre la roca como un todo sino en diferentes grados según los diversos minerales constituyentes de la misma. Esta granodiorita contiene feldespatos potásicos y plagioclasas cálcico sódicas. El primero reacciona con el agua de lluvia, acidificada tanto por contacto con el dióxido de carbono atmosférico como por el del suelo, produciendo carbonatos de potasio, la mayoría de los cuales son absorbidos por la raíces de las plantas. Los feldespatos con plagioclasa tienen un 22-35% de anortita (IGME 1981) la cual al meteorizarse libera calcio y bicarbonato sódico solubles. La biotita, también presente en esta roca, se meteoriza dando lugar, entre otros compuestos, a bicarbonato de magnesio (Chorley, 1969). De esta manera queda explicada en parte la química de las aguas locales. De todos estos procesos, la hidrólisis de los minerales de feldespato es probablemente la más rápida. También puede ser que tenga lugar alguna solución de la sílice, pero probablemente a un nivel de concentración mucho más bajo que no ha sido analizado. En las áreas de montaña, debido a la no existencia de una estación enteramente seca, hay poca oportunidad para que los óxidos de hierro hidratados se deshidraten a Fe (III) y den su distintiva coloración ocre al suelo, la ausencia de la cual, en este caso, no excluye la posibilidad de la oxidación ferrosa de las micas ferromagnéticas. Así pues esta roca es susceptible de una profunda meteorización, lo cual a lo largo de su historia geológica ha dado lugar, como puede verse claramente en los cortes de las carreteras, a una tal degradación que la roca ceda a la presión de los dedos y presenta sólo unos pocos núcleos de material intacto. Este material residual, grueso y compuesto en su mayoría por granos de cuarzo, proporciona la base para el desarrollo de los suelos locales, y la abundancia de partículas sueltas puede ser la causa de la alta concentración relativa de sedimento en suspensión en área inmediatas.

En la cuenca alta del Tordera la litología dominante son las pizarras, si bien con algún núcleo de materiales más metamórficos. La fisiografía de este valle es bastante diferente al de Arbúcies; las vertientes son escarpadas, los torrentes están fuertemente incididos y es aquí donde se localizan los núcleos más elevados de la Cordillera. Pero a pesar de estas indicaciones sobre la dureza y resistencia de la roca, el paisaje está revestido de un manto de derrubios y colonizado por un bos-

que de robles y encinas. Las concentraciones de sedimento, tanto disuelto como en suspensión, fueron aquí más bajas que en ningún otro lugar del área muestreada. Sin duda el grano fino y la mayor impermeabilidad explican el carácter resistente de esta roca. No existen diferencias marcadas en la química de las aguas en las áreas a uno y a otro lado del valle. Si bien las rocas más metamórficas presentan una estructura esquistosa débil, a pesar de todo la alteración parece haber sido baja. La escasa profundidad del frente de meteorización queda reflejada en el poco sedimento en suspensión registrado en este valle. Esto, y la ausencia de concentraciones importantes de material disuelto, hacen pensar en una ausencia de minerales poco estables. Los estudios mineralógicos llevados a cabo en áreas colindantes, especialmente los de Van der Sijp (1952) indican que las principales rocas metamórficas son los esquistos biotíticos los cuales a menudo contienen un cierto número de vetas de cuarzo, si bien ésta última está poco representada en el área de estudio. Dentro de la composición de los esquistos el cuarzo es el mineral dominante, seguido de la biotita; los feldespatos de plagioclasa son también abundantes, mientras que los feldespatos potásicos son menos frecuentes. Por tanto, en función de la composición mineralógica del sustrato podrían darse aquí una serie de procesos químicos similares a los que actúan en la granodiorita, fundamentalmente la hidrólisis de los feldespatos, la oxidación del hierro y la biotita y, posiblemente, la solución de la sílice. Sin embargo no es este el caso según indica la baja concentración de cationes en las aguas locales. Esto puede ser atribuible a las características físicas de la roca, que le permiten resistir a la penetración del agua y la hacen menos sujeta al tipo de desintegración granular que tiene lugar en la granodiorita de grano grueso. A pesar de los bajos niveles de sedimento en suspensión encontrados, los valles poseen lechos con abundantes cantos rodados de hasta 1 m de diámetro los cuales, juntamente con lo elevado del nivel del agua en períodos de crecida, dan fe del potencial de estas corrientes fluviales.

En la Depresión la situación es bastante diferente. Puede verse como todos los cationes aparecen en mayor cantidad aquí que en las áreas de montaña, lo cual, si bien puede en parte explicarse por las condiciones del sustrato, no hay que olvidar la incidencia antrópica y la consiguiente polución en el área, aunque por el momento no nos sea posible determinar la importancia relativa de cada uno de estos factores en la carga de sedimentos de este tramo del Tordera. Más que la mineralogía del sustrato, que de todas formas es altamente heterogénea por tratarse de un sedimento detrítico, es importante su carácter suelto. Por ello la me-

teorización de los feldespatos arcóscicos es seguramente mucho más importante que la de los feldespatos de la granodiorita. Sin embargo aquí el factor dominante en la carga de sedimentos de los cursos fluviales depende más de la acción antrópica que de la litología. Así, mientras en las cuencas de montaña la interferencia humana es baja, dado que las prácticas de cultivo sólo son posibles en algunos rellanos cubiertos por depósitos superficiales y los asentamientos humanos son pocos y dispersos (Llobet, 1947), en la Depresión la situación es notablemente diferente. Esta zona plana con suelo fértil es el mayor foco de interés humano de la región y en ella se localizan las mayores explotaciones agrarias, así como núcleos urbanos e industriales. Teniendo en cuenta trabajos tales como los de Douglas (1976), no debe sorprender el hecho de que, a pesar del poco grosor de la formación superficial de las vertientes, la carga de sedimentos sea tan alta. Aquí los efectos fundamentales no son los de la geología sino los del hombre, y en verano, debido a la sequía, las concentraciones de solutos se ven altamente incrementadas debido a la menor capacidad de dilución del río.

Conductividad

Otros contrastes entre las muestras procedentes de la zona de montaña y las de los valles se pueden detectar a través de la conductividad específica de sus aguas. La conductividad es un parámetro útil tomado como una primera aproximación a la estimación total de sólidos disueltos (TSD), y la tabla 1 muestra el grado en el que difieren las submuestras; en la Depresión el valor es casi el doble que en las otras dos cuencas. También es de interés la relación entre conductividad específica y caudal. En muchos estudios temporales, basados en observaciones hechas en un mismo punto a lo largo del año, la conductividad específica o TSD muestra una variación escasa, o bien se reduce con el incremento del caudal. En el presente muestreo espacial los dos parámetros se correlacionan positiva y significativamente para el conjunto de los 31 datos ($r = +0.43$), un resultado que confirma la diferencia entre estudios de base temporal y de base espacial. Pero como puede verse en la figura 5, aparecen otra vez diferencias si analizamos la correlación por submuestras. Sólo en el caso de los datos procedentes de las tierras bajas surge algún grado significativo de asociación; en las dos cuencas de montaña la conductividad aumenta sólo mínimamente con el caudal, lo que sugiere que las aguas adicionales procedentes de afluentes o cloacas llevan concentraciones similares de solutos. De esta manera puede decirse que los aumentos de caudal no dan lugar a ningún cambio en la concentración de solutos. En la Depresión la asociación entre caudal y conducti-

TABLE I.- Concentraciones y conductividades específicas medias de las muestras de agua. También se incluyen los resultados del sedimento en suspensión para un número más reducido de muestras. Los valores de Ca^{++} y Mg^{++} obtenidos por titración han sido ajustados después de calibrarlos con resultados obtenidos por absorción atómica.

TABLE I.- Average concentrations and specific conductance of water samples. Results for the smaller sample of suspended sediments loads are also given. Ca^{++} and Mg^{++} values are corrected from figures obtained by titration after calibration against atomic absorption results.

	conductividad especifica specific conductance (μmhos)	Ca^{++} conc. (ppm)	Mg^{++} conc. (ppm)	K^+ conc. (ppm)	Na^+ conc. (ppm)	sedimento en suspensión suspended sediment (mg/l)
Area montañosa de pizarras y esquistos (n = 10) Slate and shale uplands (n = 10)	115	29.7	21.3	1.3	9.1	4.70 (3)
Area montañosa de granodiorita (n = 11) Granodiorite uplands (n = 11)	231	81.9	24.9	1.4	10.7	6.52 (6)
Depresión Pre- litoral (n = 10) Prelitoral depression (n = 10)	426	108.79.0	3.2	28.0	8.30 (2)	

vidad específica es más fuerte; el carácter suelto de la litología puede esperarse que de lugar en general a mayores concentraciones, pero ha de ser seguramente más importante la progresiva introducción de desechos domésticos e industriales, que contrapesan y anulan los efectos dilutorios de cualquier incremento de caudal. Además, aunque en líneas generales puede decirse que el caudal se incrementa con el área, tiende sin embargo a hacerlo de manera errática. Mientras que el incremento es gradual para las cuencas de montaña, los efectos combinados de una mayor infiltración sobre los sedimentos no consolidados y la extracción para usos antrópicos hacen que el caudal disminuya en algunos sectores aguas bajo de la depresión, hasta incluso desaparecer en algunos de los afluentes principales. A causa de esto la capacidad de dilución de la carga del río queda fuertemente restringida en un tiempo ya de por sí seco como es el verano.

Tasas de remoción

La conversión de los datos obtenidos en tasas de remoción (tabla 2) permite una comparación aproximada con valores obtenidos en otras regiones. Walling y

Webb (1981) han recogido trabajos sobre ríos británicos que muestran como valor medio un nivel similar al hallado para Cataluña en verano. El modelo de las concentraciones individuales de iones es también similar, con Ca^{++} y Mg^{++} dominando sobre Na^+ , pero con concentraciones mucho más bajas de K^+ . De todas maneras no hay que olvidar que en el presente estudio las tasas de remoción se han obtenido en un período del año en que la falta de humedad hace que probablemente los procesos de meteorización y erosión estén en su efectividad mínima a causa de la ausencia de agua. Estas tasas puede ser muy bien que se vean incrementadas en las estaciones más húmedas, cuando las concentraciones más bajas son más que compensadas por caudales más altos. La deducción evidente es que la media anual de las tasas de remoción, como mínimo en solución, han de ser más altas que en los climas de latitud media. Precisamente los resultados obtenidos por Avila y Rodà (1985) apuntan claramente en esta dirección pues encuentran que las tasas de erosión halladas para una pequeña cuenca en la cabecera del Tordera, sobre la zona de pizarras, son un 50% más elevadas que las que se encuentran para esta misma litología tanto en bosques boreales como en bosques de la zona templada. Teniendo en cuenta que esta roca parece ser menos susceptible a la meteorización que la

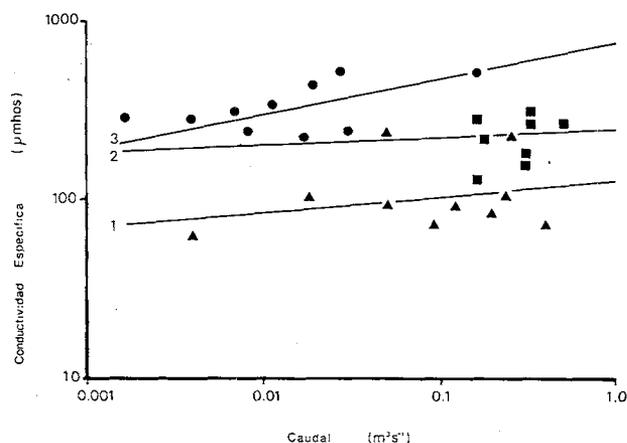


Figura 5.- Gráfico de la conductividad específica en relación al caudal para las tres sub-muestras. Se ha buscado la mejor línea de regresión de los tres conjuntos de datos, pero sólo en el caso de la sub-muestra 3 (Depresión Pre-Litoral) la asociación aparece como significativa; sub-muestra 1: $r = +0.25$; sub-muestra 2: $r = +0.32$; sub-muestra 3: $r = +0.73$.

Figure 5.- Plot of specific conductance against discharge in relation to the three sub-samples. The best-fit regression line through all three sets of data are shown but only in the case of sub-sample 3 (the pre-littoral Depression) is the association significant. Sub-sample 1: $r = +0.25$; sub-sample 2: $r = +0.32$; sub-sample 3: $r = +0.73$.

TABLA 2.- Tasas de remoción de solutos en $\text{ton km}^{-2} \text{año}^{-1}$. Los resultados están basados en los valores medios que figuran en la tabla 1 y en la estimación del área de drenaje. Los datos de la Depresión Prelitoral no están incluidos debido al grado de interferencia humana que los afecta.

TABLE 2.- Removal rates of cations expressed in $\text{ton km}^{-2} \text{y}^{-1}$. Figures are based on the mean data in table 1 and the relevant drainage areas. Because of the degree of human interference data for the Prelittoral Depression are not included.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
Area montañosa de pizarras y esquistos Slate and shale uplands	13.48	9.66	0.59	4.13
Area montañosa de granodiorita Granodiorite uplands	49.90	15.17	0.85	6.52

granodiorita de la cuenca de Arbúcies, el contraste entre tasas de meteorización en latitudes mediterráneas y latitudes medias puede que sea incluso más alta.

La incidencia de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Na⁺ ha sido atribuida a la meteorización de las rocas locales aunque, como ha demostrado Gibbs (1970), el Na⁺ abunda asimismo en el agua de lluvia, especialmente en las áreas costeras, y Avila y Rodà (1985) han encontrado que también el Ca⁺⁺ está presente en notable proporción en el agua de lluvia del área del Tordera. El K⁺, que deriva también del sustrato, tiene una conducta subsecuente compleja, relacionada más íntimamente con la actividad de las plantas que la de los otros cationes. Johnson et al. (1970) afirman que un 60% del potasio potencialmente disponible para el agua fluvial es sin embargo captado por las plantas durante el período estival; esto podría explicar su relativa escasez en este estudio. En contraste con los otros iones, es claramente menos abundante en las aguas del Tordera que en casi todos los ríos británicos. Avila y Rodà (1985) encuentran que es el Na⁺ el cation más abundante, seguido por el Ca⁺⁺ y el Mg⁺⁺, mientras que el K⁺ presenta valores muy bajos. Comparado con los datos hallados en el presente reconocimiento es posible sugerir que no solo se dan variaciones estacionales del conjunto de los solutos sino que se dan también diferencias notables en el comportamiento de determinados iones ya que aquí el cation más importante es el calcio seguido del magnesio. Los valores de Ca⁺⁺ encontrados por Avila y Rodà (1985) en el agua de precipitación parecen notablemente altos comparados con los de Gibbs (1970).

CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido ver a grandes rasgos las diferencias espaciales en la carga de sedimento en disolución, y en menor medida en suspensión, a lo largo de las principales áreas litológicas de la cuenca del río Tordera. Estas variaciones se deben en primer lugar al control litológico y en segundo lugar a la interferencia humana. Por lo que se refiere al control litológico, en la cuenca granítica, con predominio de feldespatos, las tasas de meteorización son más altas que en la cuenca de pizarras. Además de la composición mineralógica del sustrato no pueden olvidarse las características físicas del mismo, puesto que por ejemplo la granodiorita, por su grano grueso, permite una mayor penetración del agua mientras que en las pizarras la compacidad de la roca hace el proceso más difícil. En la Depresión, la no consolidación del material permite una percolación extraordinariamente fácil del agua, y además algunos de los sedimentos, como las arcosas, contienen un elevado porcentaje de feldespatos, es decir una composición similar a la de la granodiorita, pero en este caso más sensible a la meteorización. En lo que se refiere al sedimento en suspensión, los bajos niveles registrados a causa del estiaje y la ausencia de turbulencia no han permitido llegar a una valoración más matizada del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se ha contado con la ayuda del British Geomorphological Research Group, de la Royal Meteorological Society, de la Universitat de Barcelona y del Sunderland Polytechnic.

BIBLIOGRAFÍA

- AVILA, A., & RODÀ, F., 1985: Variaciones del quimismo del agua de arroyada durante las crecidas en una cuenca de encinar montano. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 11: 21-31.
- CHORLEY, R.J., 1969: The role of water in rock desintegration in Chorley, R.J. ed. *Water Earth and Man*. Methuen, London.
- DOUGLAS, I., 1967: Man, vegetation and sediment yield of rivers. *Nature*, 215: 925-928.
- FERRÈS, L., RODÀ, F., VERDÚ, A.M.C. & TERRADAS, J., 1984: Circulación de nutrientes en algunos ecosistemas forestales del Montseny. *Mediterranea*, Serie Biológica, 7: 139-166.
- GIBBS, R.J., 1970: mechanisms controlling world water chemistry. *Science*: 170: 1088-1090.
- IGME, 1981: Mapa Geológico de España. Escala 1:200000, 34: Barcelona. Madrid, Serv. Publ. Ministerio Industria.
- JOHNSON, N.K., LIKENS, G.E., BORMANN, F.H., FISHER, D.W. & PIERCE, R.S., 1969: A working model for the variation in stream water chemistry at Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, *Water Resources Research*, 5: 1353-1363.

- LLOBET, S., 1947: *El medio y la vida en el Montseny. Estudio Geográfico*, C.S.I.C., Madrid.
- LLOBET, S., 1975: Materiales y depósitos periglaciares en el macizo del Montseny. Antecedentes y resultados. *Revista de Geografía*, IX: 35-58.
- OLLIER, C.D., 1962: *Weathering*. Oliver and Boyd, Edinburg.
- PLUS, B., 1968: *Premières données sur l'hydrogéologie du cours supérieur et moyen du rio Tordera*. Thèse 3ème cycle, Paris.
- RAISWELL, R.W., BRIMBLECOMBE, P., DENT, D.L. & LISS, P.S., 1980: *Environmental Chemistry*. Arnold, London.
- RODÀ, F., 1983: *Biogeoquímica de les aigües de pluja i de drenatge en tres ecosistemes forestals del Montseny*. Tesi Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- SOLÉ SABARÍS, L., & LLOPIS LLADÓ, N., 1952: Geografía Física: el relieve in Terán, M. ed. *La Península Ibérica*, vol. I, Mun-taner y Simón, Barcelona.
- VAN DER SIJP, J.W.C.M., 1952: Petrofabric analysis of some me-tamorphic rocks from the Guillerics. *Proc. Konink. Neder. Aka-demien van Metenschappen*, 55: 51-58.
- WALLING, D.E. & WEBB, B.H., 1981: Water quality in: Lewin, J. ed., *British Rivers*, George, Allen and Unwin, London.
- WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P., 1960: Magnitude and frequency of forces in geomorphological processes. *J. Geology*, 68: 54-74.

Recibido, febrero 1987