

PULSACION DIARIA DE LA CARGA SUSPENDIDA Y DISUELTA EN LA ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

Bernardo Alvera*
Juan Puigdefábregas*

RESUMEN

Se analiza el comportamiento de la carga suspendida y disuelta en una pequeña cuenca pirenaica (0,4 Km²) sobre flysch eoceno, a 1.800 m. s/M, frente a las fluctuaciones diarias del caudal de fusión. Durante cinco días despejados, representativos de la estación innivada, se recogieron muestras de agua en varios puntos de la cuenca, para determinar un conjunto de variables físicas y químicas. Los resultados muestran que el pulso diario dobla el caudal de base. La carga suspendida varía de forma paralela al caudal, la disuelta, la conductividad, el calcio, el sodio y los nitratos lo hacen de forma inversa, mientras que el potasio y el fósforo total disuelto presentan un comportamiento variable. El sector inferior, cóncavo, de la cuenca se convierte en la principal fuente de sedimentos gracias a la saturación producida por el flujo hipodérmico.

SUMMARY

The suspended and dissolved load behaviour along the daily pulse of melting has been analyzed in a small pyrenean catchment (0,4 Km²) at 1.800 m. altitude on eocene flysch. Along five clear days, representative of the snow season, samples of water were taken in several points of the catchment for measuring a number of physical and chemical variables. Results show that discharge peaks double the baseflow, suspended load grows with melting bursts, total dissolved load, conductivity, calcium, sodium and nitrate show dilution effects whereas potassium and total dissolved phosphate display a variable behaviour. The lower and concave sector of the catchment in the main sediment source owing to the saturation produced by subsurface runoff.

* Instituto Pirenaico de Ecología (C.S.I.C.) Jaca (Huesca).

La estimación de la descarga sólida y disuelta durante las avenidas requiere un conocimiento preciso de las relaciones entre la concentración de los distintos materiales y el caudal (Weber, 1978). Tales relaciones están mucho mejor documentadas para los episodios pluviales que para las crecidas por deshielo, más complejas debido a los ciclos diarios de fusión y a la progresiva retracción de la superficie innivada (Puigdefábregas y Alvera, 1983). El presente trabajo pretende analizar el comportamiento de algunos componentes de la descarga frente a la pulsación diaria del caudal así como la respuesta de los sectores cóncavos de las vertientes ante esa misma pulsación y ante la migración altitudinal del frente de fusión.

Material y métodos

Seleccionamos una pequeña cuenca expuesta al sur, sobre flysch eoceno, en la cabecera del río Lubierre, afluente del Aragón. Sus características topográficas se resumen en la Tabla I y en la figura 1. A diferencia de otras áreas del Pirineo axial, la fusión es precoz y progresiva, lo que puede dislocar temporalmente el manto nivoso en pleno invierno, favoreciendo un periglaciario mitigado. La cuenca está cubierta de un suelo profundo (50-100 cm.), arenolimoso que sustenta un pastizal compuesto, esencialmente, de *Nardus stricta* y *Trifolium alpinum*.

En la cuenca se distinguen dos sectores con pendientes relativamente suaves (16°), conectados hidrológicamente por el torrente principal y por la escorrentía subsuperficial que aflora en los manantiales localizados al pie de una zona algo más abrupta que separa ambas subcuencas; la inferior tiende a ser saturada por dicho flujo subcortical.

Se localizaron cuatro estaciones de muestreo. Dos en el torrente principal, a la salida de cada subcuenca (*S*, *I*), para discriminar la respuesta del sector saturado. Una tercera en un manantial (*F*) y una cuarta (*A*) en la escorrentía superficial generada por un nevero temporal sobre la subcuenca inferior, inmediatamente antes de su vertido al torrente. Un tubo piezométrico de 100 cm. de longitud se colocó en el sector inferior para controlar las variaciones del nivel freático.

Durante cinco días despejados, distribuidos desde diciembre de 1983 hasta abril de 1984 (Tabla II), se recogieron muestras de agua, cada dos horas y el caudal (este último sólo en el torrente principal). Durante los cinco meses que duró el muestreo se registró una precipitación de 518 mm. casi exclusivamente de nieve, con tres períodos secos (Fig. 2) que produjeron dislocaciones en el manto, a principios de enero, a mediados de febrero y a mediados de abril.

En el laboratorio se determinaron una serie de variables físicas y químicas, de las cuales, en el presente trabajo, consideraremos las siguientes:

ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

Sedimentos en suspensión, carga total disuelta, conductividad, y calcio, sodio, potasio, fósforo total, amonio, nitritos y nitratos disueltos. El amonio se determinó por colorimetría del azul de indofenol (ZADOROJNY *et al.*, 1973) y los nitratos, por reducción con cadmio a nitritos y colorimetría con naftilamina/ácido sulfanílico (*Standard Methods*, 1975). Los métodos para las restantes variables son los descritos por Puigdefábregas y Alvera (1983).

Resultados y discusión

Fluctuación de caudal

A igualdad de régimen energético, las características del pulso diario dependen, sobre todo, del estado del manto nivoso y de la situación del frente de fusión en la vertiente. Con manto isoterma a 0°C cubriendo toda la cuenca, tal como ocurre a principios de invierno y en primavera (Fig. 3), los picos pueden alcanzar el 150% del caudal de base, aunque sus valores absolutos son moderados (Tabla III), 50-100 l/Km², muy inferiores a las 400 l/m² registrados en áreas del Pirineo axial con fusión brusca y tardía (Lavandier y Mur, 1974; Puigdefábregas y Alvera, 1983). En primavera tardía, con la nieve relegada a la parte alta de las laderas, la estación inferior, alimentada esencialmente por escorrentía subcortical, registra fluctuaciones mínimas, del orden del 10%. En pleno invierno, con temperaturas negativas en el manto, también observamos pulsos moderados, rozando el 50% del caudal de base.

Los picos de caudal se retrasan de 5 a 9 horas respecto al mediodía. Los menores desfases se observan en primavera tardía, cuando una circulación eficiente ha podido desarrollarse en la base del manto (Braun y Slaymaker, 1981). La estación inferior también presenta una respuesta más rápida y una recesión más prolongada, debido a la formación de áreas saturadas en la parte baja de la cuenca. Con frecuencia observamos mesetas en los tramos de recesión debidas a ondas muy retrasadas del flujo hipodérmico que producen picos secundarios en el nivel freático (Fig. 4).

El caudal específico en el sector superior apenas alcanza el 10% del registrado por el conjunto de la cuenca. Sólo en primavera tardía, ese valor sube hasta el 30-40%, indicando en todo caso la importancia de la conexión hidrológica subsuperficial entre las dos subcuencas.

Sedimentos en suspensión

El material suspendido presenta siempre una fluctuación paralela al caudal (Tabla IV) aunque más efímera y con el pico algo adelantado (Fig.

4). Los valores máximos son moderados (50-100 mg/l.) y rápidamente descienden a niveles muy bajos (3-10 mg/l.). A veces se observan picos secundarios coincidentes con los registrados por el nivel piezométrico (Fig. 4). Estos hechos indican que la carga sólida viene limitada por las fuentes de sedimentos y que éstas se localizan principalmente en los cauces de la red de drenaje.

El análisis de la descarga específica, teniendo en cuenta que ambas subcuencas sólo están conectadas por el torrente principal y por el flujo subsuperficial, efectivo únicamente en el transporte de solutos pero no en el de material suspendido, permite concluir que el sector saturado inferior constituye la principal fuente de sedimentos. En efecto, su aportación por unidad de superficie puede llegar a centuplicar la de la subcuenca superior. Incluso en primavera tardía, con el frente de fusión en la parte alta, la descarga específica del sector inferior aún dobla a la del superior. A pesar de todo, los valores absolutos son bajos, oscilando entre 4 y 0,4 g/Km² que de mantenerse durante todo el año, supondrían pérdidas de 12-120 Tm/Km²/año, similares a las registradas en otros ambientes de alta montaña: 17-100 Tm. en Sierra Nevada de California (Leonard, *et. al.* 1979); 80 Tm. en las Rocas de Colorado (Caine, 1982).

Carga disuelta

La conductividad, la carga total disuelta y la concentración del calcio presentan un comportamiento similar que probablemente puede hacerse extensivo a los demás iones litofílicos que constituyen la mayor parte de las dos primeras. Sus descargas específicas reproducen las diferencias hidrológicas entre ambas subcuencas, observadas al analizar los caudales específicos. Los tres presentan una fluctuación inversa al caudal (Tabla IV), diluyéndose por efecto de la escorrentía superficial, y su concentración aumenta con la distancia recorrida en la vertiente. Todo ello nos indica que el agua adquiere progresivamente estos materiales a lo largo de su contacto con el suelo.

Tanto la conductividad (200 μ S/cm.) como la descarga en calcio (1-3 g/Km²/s) son muy elevadas, como corresponde al sustrato carbonatado del área de estudio. La descarga específica de material disuelto es también importante (3-7 g/Km²/s) cuadruplicando la de sedimentos en promedio e incluso decuplicándola cuando predomina la escorrentía subcortical.

El sodio se distingue de los anteriores porque su concentración apenas varía de un punto a otro de la cuenca. La entrada de este elemento por vía atmosférica es muy importante ya que su concentración en la nieve alcanza los dos tercios de la que encontramos en la escorrentía (Tabla V). La evapotranspiración o la facilidad con que es desplazada del complejo de cambio bastan para explicar su ligero aumento de concentración en la escorrentía.

ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

Las diferencias de concentración de nitrógeno inorgánico en los distintos componentes del sistema hidrológico revelan la complejidad de su quimismo y de sus mecanismos de transporte.

Por una parte, observamos una diferencia cualitativa entre el manto nivoso, con un 82% de nitrógeno en forma amoniacal y la escorrentía, donde el amonio permanece siempre bajo el umbral de detección, posiblemente gracias a su retención en el complejo de cambio del suelo. Reynolds (1983) observa también un enriquecimiento de $N-NH^4$ en la nieve vieja y lo atribuye a la volatilización de amoníaco a partir del mantillo subyacente.

Por otra parte constatamos (Tabla III) que las concentraciones altas se dan en los sectores próximos a las entradas hidrológicas, manto nivoso (0,255 mg/l.), salida de subcuenca superior *S* (0,228 mg/l.), manantial *F* (0,176 mg/l.) y las bajas, en la escorrentía superficial *A* (0,061 mg/l.) o a la salida de la subcuenca inferior *I* (0,085 mg/l.). Como consecuencia, las diferencias entre ambas subcuencas, en términos de descarga específica, son más reducidas para los nitratos que para el agua y aquéllos tienden a presentar fluctuaciones inversas al pulso diario del caudal (Fig. 4).

La mayor concentración de la subcuenca superior y del manantial pueden explicarse por el predominio en éstas, del flujo hipodérmico, cuya mayor riqueza en nitratos, al drenar la zona del suelo con mayor actividad nitrificante, está bien documentada (Hubbard y Sheridan, 1983). El descenso de concentración al atravesar la subcuenca inferior y en la escorrentía superficial, puede atribuirse a la absorción de nitratos por algas bénticas y a la desnitrificación bacteriana en sedimentos de los cauces y áreas saturadas. Ambos factores han sido señalados, aunque la mayoría de los autores (Hill, 1981; Swank y Caskey, 1982) otorgan mayor importancia al segundo. El vertiginoso descenso de la concentración de nitratos en la escorrentía superficial (estación *A*) desde el invierno hasta fines de abril, pasando de 0,126 a 0,010 mg/l., sugiere la trascendencia de los procesos biológicos, dependientes de la temperatura, en la eliminación de nitratos.

Tales mecanismos permiten explicar el comportamiento variable de los nitratos frente a las fluctuaciones de caudal. Cuando se producen crecidas con predominio de escorrentía subcortical sobre un flujo muy empobrecido en nitratos, éstos se concentran al aumentar el caudal (Leonard *et al.*, 1979, Lavandier y Mur, 1974). Cuando las fluctuaciones se deben a la escorrentía superficial discurriendo sobre áreas saturadas, predominan los efectos de dilución.

El fósforo y el potasio presentan irregularidades en sus relaciones con la escorrentía. Además las proporciones entre la subcuenca superior y la total, para las respectivas descargas específicas, son semejantes a las registradas para los caudales. El sector inferior saturado no se constituye pues en fuente o sumidero, como ocurría para los sedimentos en suspensión o los nitratos respectivamente.

El fósforo presenta concentraciones muy bajas. Incluso los picos, excepto en un caso (Fig. 5), son inferiores a la concentración de la nieve. (0,017 mg/l.). Los valores más altos se dan en la escorrentía superficial (*A*) y los mínimos, en el flujo hipodérmico (*F*, *S*). Durante el invierno y primavera temprana, el fósforo evoluciona de manera paralela a los pulsos de caudal (Fig. 4), pero en la última parte del período de fusión, cuando la infiltración deviene predominante, las concentraciones se reducen drásticamente y se independizan de las fluctuaciones hidrológicas (Fig. 5).

Estos resultados sugieren que, como indican otros autores (Lavandier y Mur, 1974; Leonard *et al.*, 1979), la precipitación es una de las principales fuentes de fósforo disuelto. En el suelo, existen mecanismos biológicos y químicos muy efectivos para separar el fósforo de la solución y que pueden explicar el descenso de concentración en el flujo hipodérmico. La escorrentía superficial, cuando genera el pulso de caudal, ocasiona a la vez un pico en la concentración de fósforo. La evolución diaria en la segunda parte del período de fusión (Fig. 5) ilustra esta interpretación, observándose que la escorrentía superficial en el sector saturado (*A*) es la única que presenta un pico definido. En el torrente, sobre todo a la salida de la subcuenca inferior (*I*), los picos se ven enmascarados por la tendencia general decreciente impuesta por la progresiva instalación del régimen subsuperficial.

La concentración de potasio en las aguas de drenaje no presenta grandes diferencias de un punto a otro (Tabla III). Viene a doblar la que encontramos en la nieve, siendo algo más elevada en la escorrentía superficial (*A*) que en la hipodérmica (*F*). Esta última experimenta un descenso a lo largo de la temporada, pasando de 0,43 mg/l. a principios de invierno, a 0,29 mg/l. —cerca de los 0,22 mg/l. de la nieve— a fines de abril. A pesar del comportamiento variable del potasio respecto al caudal, se observan algunas regularidades. La escorrentía superficial (*A*) presentó siempre picos coincidentes con los pulsos de fusión. La escorrentía hipodérmica (*F*), a principios de temporada, exhibe un efecto de dilución y más tarde se hace independiente del caudal.

En un trabajo anterior (Puigdefábregas y Alvera, 1983) distinguimos dos fuentes de potasio para la escorrentía, la materia orgánica del mantillo y la fracción arcillosa del suelo. La primera tendería a concentrar el drenaje superficial. La segunda, operando a corto plazo por medio del complejo de cambio, diluiría los pulsos de escorrentía subcortical, sufriendo un progresivo agotamiento a lo largo de la temporada. La combinación de tales efectos opuestos produciría ese comportamiento irregular del potasio, según la proporción relativa de los flujos superficial e hipodérmico.

ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que durante la época invernal, en un pasto de alta montaña, sobre suelo profundo, predomina el flujo subcortical. La escorrentía superficial se restringe al frente de fusión y a las áreas saturadas que se forman en las zonas cóncavas. Gracias a ello, la evacuación de solutos es muy superior —4 a 30 veces— a la de materia particulada y los sectores temporalmente saturados se convierten a la vez, en fuente principal de sedimentos y en sumidero de nitratos.

La carga suspendida varía de forma paralela al caudal. La total disuelta, la conductividad, el calcio, el sodio y los nitratos sufren efectos de dilución, mientras que el potasio y el fósforo presentan comportamientos variables que dependen de las proporciones relativas entre los flujos superficial y profundo. En particular, los picos de descarga de fósforo asociados a la fusión nival parecen deberse, más que al lavado a partir del sustrato, a una incapacidad del sistema para retener el fósforo de la nieve, durante los episodios de escorrentía superficial.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por la CAICYT y el CSIC, y no hubiera podido realizarse sin la ayuda de G. del Barrio, R. Galindo, M. Mairal, S. Pérez y E. Ubieto en el trabajo de campo y laboratorio.

Tabla I. Características topográficas de las cuencas

	superficie (km ²)	H _M (m)	H _m (m)	L (m)	relieve (m)	pendiente (°)
Sector superior	0,2167	1995	1770	725	225	17
Total	0,3976	1995	1580	1225	415	19

Tabla II. Características climáticas de los cinco días seleccionados

Fecha	27/18/83	12/2/84	6/4/84	12/4/84	24/4/84
Superficie innivada (%)	100	83	100	63	25
Temperatura media del aire (°C) a 1700 m. S/m.	10	-2	2	6	11

Tabla III. Características de la escorrentía (concentraciones medias aritméticas y descargas específicas) durante los días seleccionados

			27/12	12/2	6/4	12/4	24/4	media
CAUDAL ESPECIFICO (l/km ² .s)	Punto de aforo superior	media máxima	6,15	2,11	2,64	14,7	7,72	6,66
		desfase (*)	6,92	2,58	3,37	20,4	11,3	9,51
	Punto de aforo inferior	media máxima	6,5	7	9	7	3,5	6,6
		desfase (*)	62,9	17,1	29,1	42,6	27,3	35,8
CARGA SUSPENDIDA	concentración (mg/l.)	S	7,0	3,0	8,8	23,9	6,5	9,8
		I	39,1	9,3	8,8	12,1	6,8	15,2
	descarga (mg/km ² .s)	A	30,1	17,4	17,2	10,9	2,8	15,7
		F	3,5	1,1	0,4	1,7	0,1	1,4
		S	39,1	6,6	24,6	412	52,7	107
		I	1891	171	255	572	191	616
		I _i (+)	4109	368	531	764	357	1226
CARGA DISUELTA	concentración (mg/l)	S	79,1	104,4	104,5	93,8	81,1	92,6
		I	126,1	152,9	158,5	142,7	164,2	148,9
	descarga (mg/km ² .s)	A	20,4	95,2	90,9	78,0	123,0	81,5
		F	119,1	148,6	150,6	139,6	127,9	137,2
		S	503	220	266	1315	579	577
		I	7939	2587	4596	5886	4499	5101
CONDUCTIVIDAD (μ S/cm a 25°C)		S	139	185	166	129	143	152
		I	193	252	247	207	236	227
		A	80	149	146	129	189	139
		F	214	246	238	205	217	224
NITROGENO (NO ₃)	concentración (mg/l)	S	0,241	0,234	0,214	0,229	0,220	0,228
		I	0,092	0,076	0,075	0,097	0,083	0,085
	descarga (mg/km ² .s)	A	0,061	0,126	0,081	0,026	0,010	0,061
		F	0,153	0,182	0,119	0,149	0,275	0,176
		S	1,58	0,49	0,45	3,20	1,58	1,46
		I	5,88	1,29	2,14	4,11	2,30	3,14
FOSFORO	concentración (mg/l.)	S	0,0102	0,0060	0,0044	0,0120	0,0029	0,0071
		I	0,0087	0,0058	0,0054	0,0148	0,0028	0,0075
	descarga (mg/km ² .s)	A	0,0147	0,0090	0,0077	0,0146	0,0024	0,0097
		F	0,0112	0,0063	0,0051	0,0086	0,0046	0,0072
		S	0,061	0,013	0,012	0,172	0,020	0,056
		I	0,561	0,104	0,166	0,571	0,073	0,295
CALCIO	concentración (mg/l.)	S	30,6	35,3	35,3	30,6	33,5	33,1
		I	46,9	53,9	53,3	37,7	54,9	49,3
	descarga (mg/km ² .s)	A	16,4	28,9	34,5	31,7	42,9	30,9
		F	47,2	52,0	50,3	43,5	50,3	48,9
		S	193	73	91	442	251	210
		I	3041	908	1528	1570	1492	1708
SODIO	concentración (mg/l.)	S	0,93	1,00	0,77	0,73	0,65	0,82
		I	0,90	1,07	0,84	0,85	0,93	0,92
	descarga (mg/km ² .s)	A	0,53	0,83	0,74	0,65	0,84	0,72
		F	0,97	1,10	0,90	0,91	0,93	0,96
		S	5,9	2,1	2,0	10,3	4,8	5,0
		I	56,5	17,9	24,3	35,4	25,6	31,9
POTASIO	concentración (mg/l.)	S	0,63	0,40	0,37	0,35	0,32	0,41
		I	0,50	0,39	0,37	0,35	0,41	0,40
	descarga (mg/km ² .s)	A	0,75	0,48	0,20	0,47	0,43	0,47
		F	0,43	0,38	0,32	0,30	0,29	0,34
		S	3,8	0,8	1,0	5,1	2,4	2,6
		I	31,4	6,5	10,3	15,1	11,1	14,9

(*) Horas de retraso del máximo de caudal respecto al mediodía.

(+) I_i descarga específica referida a la superficie de la subcuenca inferior.

S. punto de aforo superior; I, punto de aforo inferior; A, afluente; F, fuente.

Tabla IV. Relaciones de las variables, en el conjunto de los dos puntos de aforo y los cinco días seleccionados, con el caudal (número de casos en tanto por uno)

	+	-	0
carga suspendida	1	0	0
carga disuelta	0	1	0
conductividad	0	1	0
N-NO ₃	0	0,9	0,1
P	0,5	0,1	0,4
Ca	0	0,8	0,2
Na	0	0,8	0,2
K	0,3	0,2	0,5

+ , caudal y concentraciones varían directamente.
 - , varían inversamente.
 0 , no hay relación.

Tabla V. Concentraciones medias (y error típico) en el manto nivoso (en mg/l.; conductividad en S/cm a 25°C)

conductividad	14,1	(1,21)
N-NO ₃ ⁻	0,055	(0,0074)
N-NO ₂ ⁻	0,0010	(0,00014)
N-NH ₄ ⁺	0,209	(0,032)
P	0,0169	(0,0023)
Ca	0,3	(0,06)
Na	0,66	(0,088)
K	0,22	(0,037)

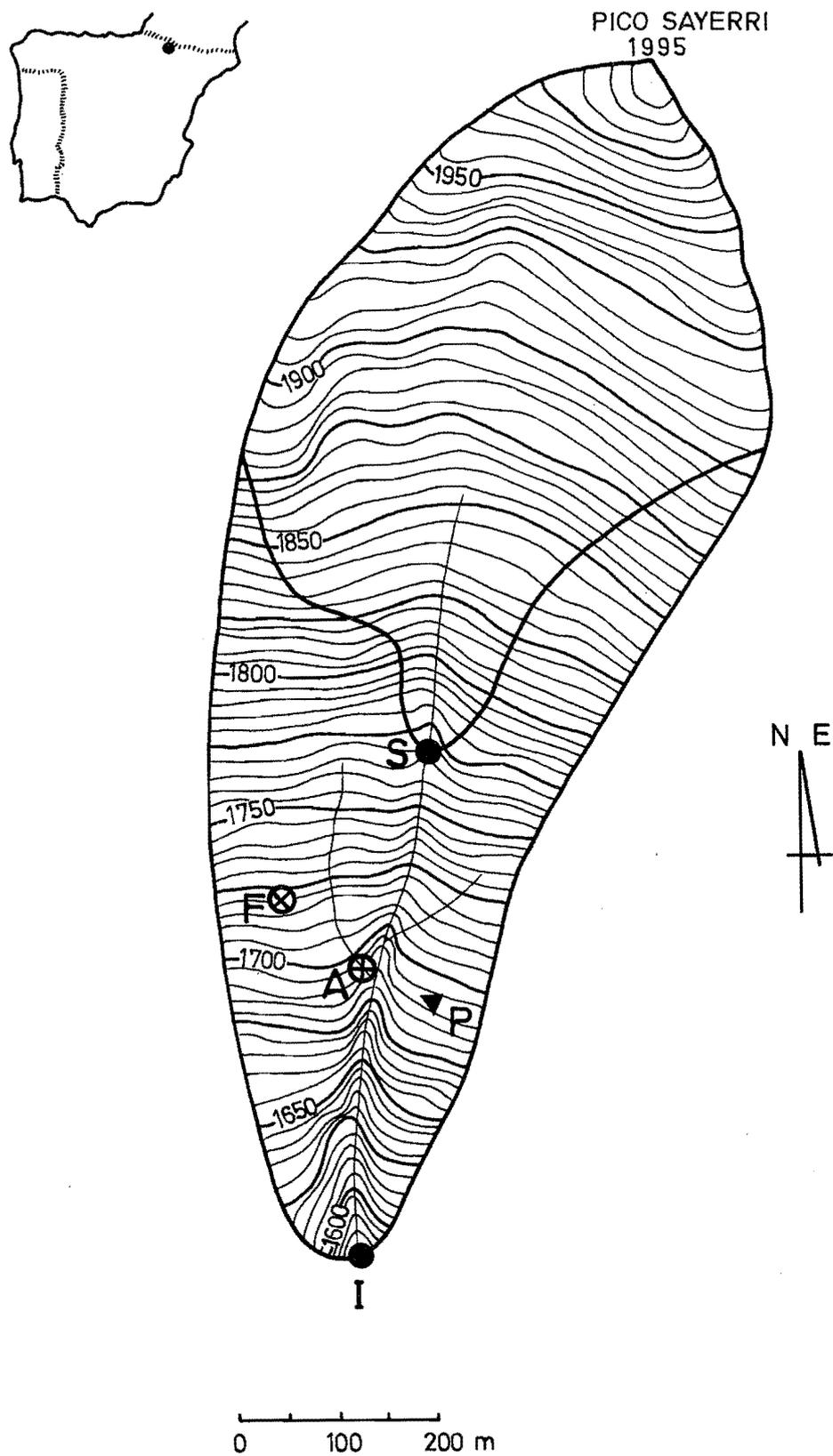


Figura 1
 Localización y mapa de la cuenca estudiada (S e I, puntos de aforo superior e inferior, respectivamente; A, afluente; F, fuente; P, piezómetro).

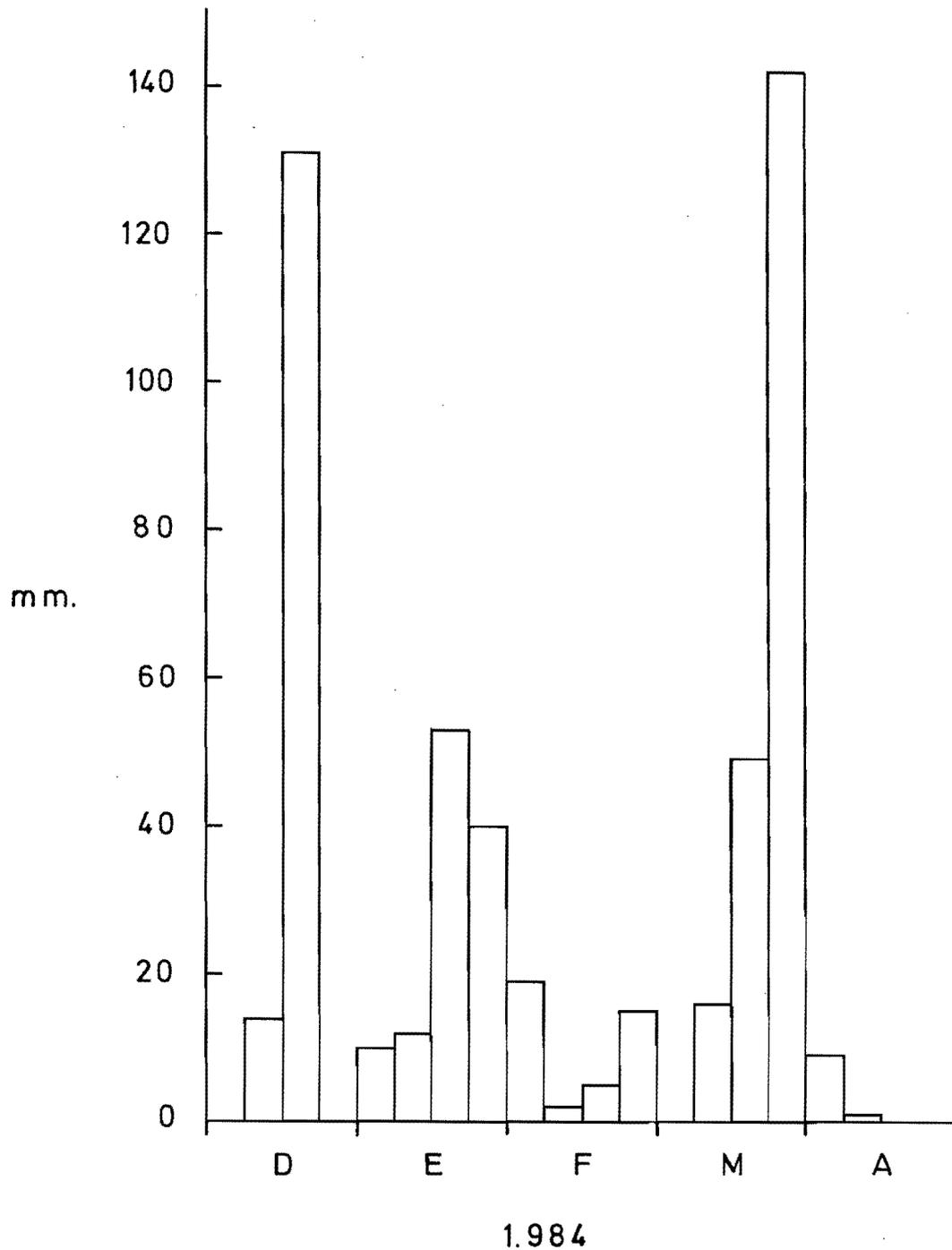


Figura 2
Distribución de la precipitación semanal en la cuenca estudiada (1.700 m s/M)
durante el período de referencia.

ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

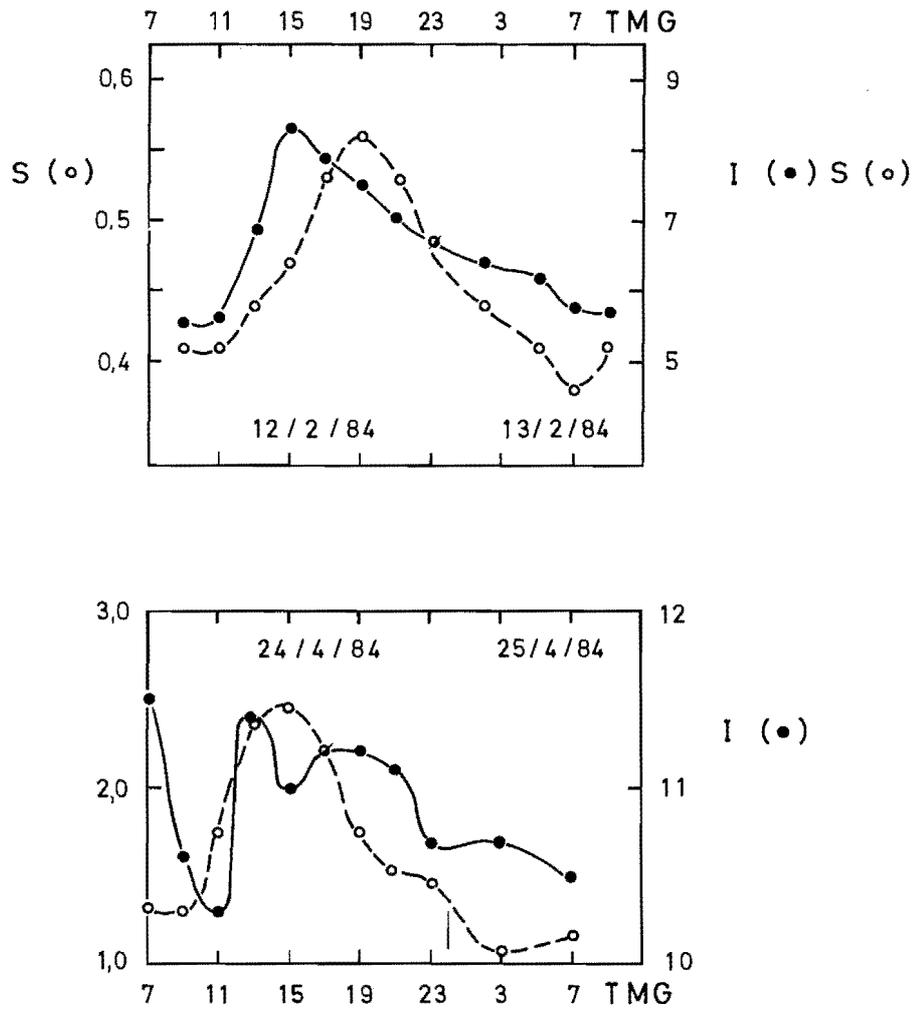


Figura 3
Pulsación diaria de la escorrentía (1/s) en invierno y al final de la temporada de fusión
(S, estación de aforo superior; I, estación de aforo inferior).

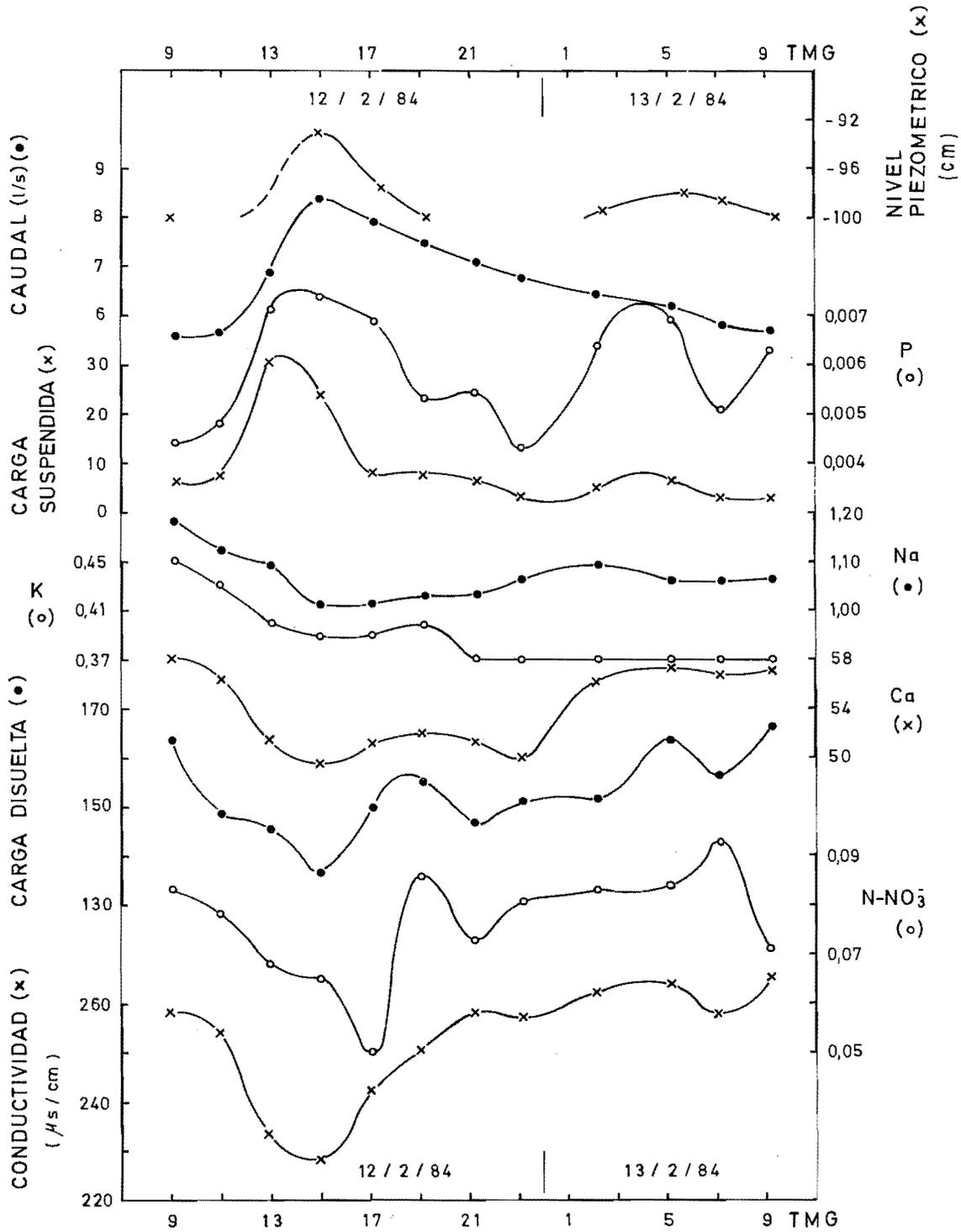


Figura 4

Fluctuación diaria de la escorrentía y de su composición a la salida de la cuenca estudiada (concentraciones en mg/l.)

ESCORRENTIA DE FUSION NIVAL

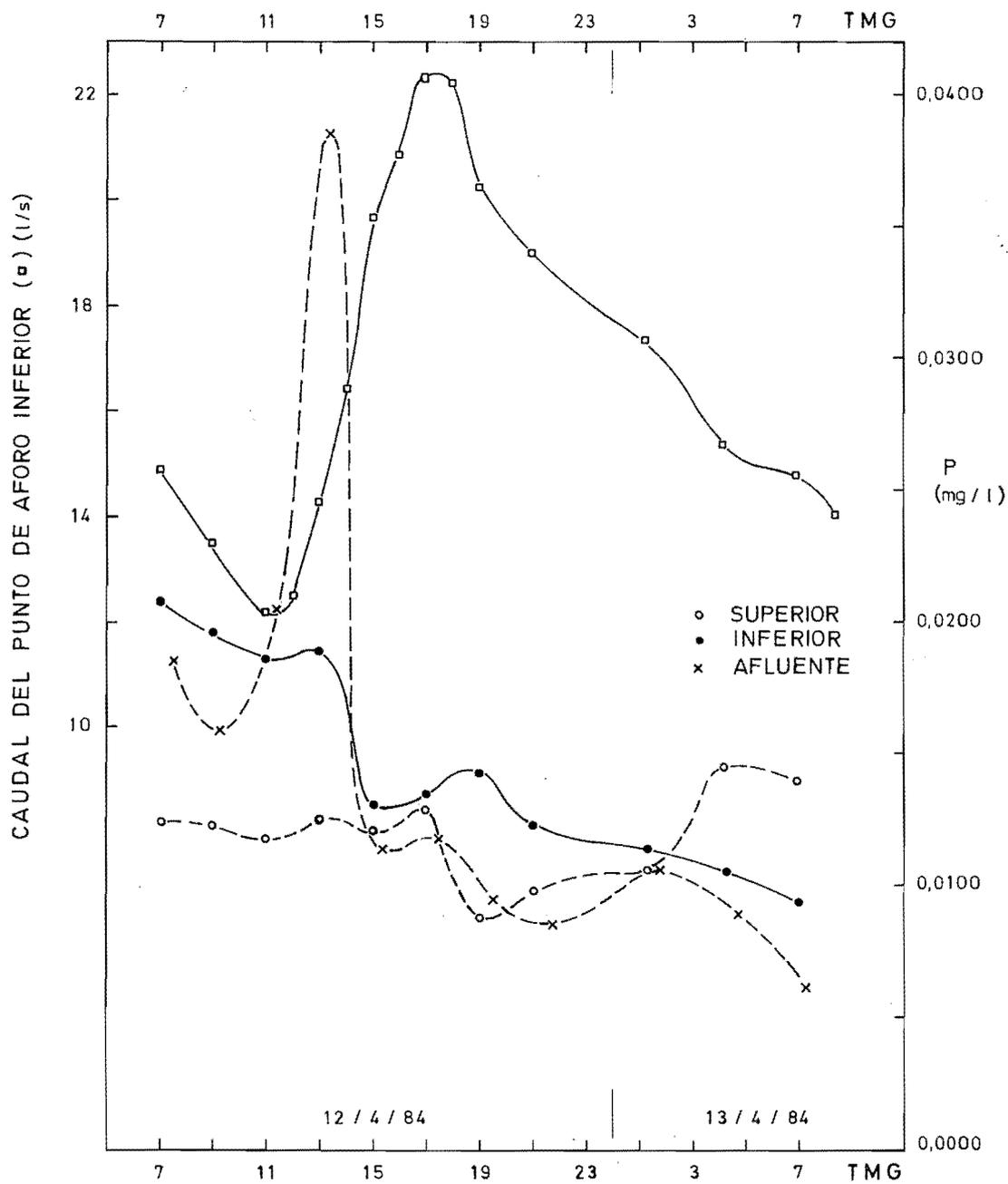


Figura 5
Fluctuaciones de la concentración de fósforo total disuelto en diversos puntos de la cuenca estudiada.

Bibliografía

- BRAUN, L.N. y SLAYMAKER, H.O., 1981. Effect of scale on the complexity of snowmelt systems. *Nordic Hidrol.*, 12 (4/5): 225-234.
- CAINE, N., 1982. Water and sediment flows in the Green Lakes Valley, Colorado Front Range. En *Ecological Studies in the Colorado Alpine: A festschrift for John W. Marr*. (J.C. Halpenny, ed.), Univ. Colorado, Inst. Artic & Alpine Res. Occ. Paper 37: 13-22.
- HILL, A.R., 1981. Nitrate-nitrogen flux and utilization in a stream ecosystem during low summer flows. *Can. Geogr.*, 25 (3): 225-239.
- HUBBARD, R.K. y SHERIDAN, J.M., 1983. Water and nitrate-nitrogen losses from a small, upland, Coastal Plain watershed. *J. Environ. Qual.*, 12 (2): 291-295.
- LAVANDIER, P. y MUR, C., 1974. Écologie d'un torrent pyrénéen de haute montagne. II. Caractéristiques chimiques. *Annls. Limnol.*, 10 (3): 275-309.
- LEONARD, L.L., KAPLAN, L.A., ELDER, J.F., COATS, R.N. y GOLDMAN, C.R., 1979. Nutrient transport in surface runoff from a subalpine watershed, Lake Tahoe basin, California. *Ecol. Monographs*, 49 (3): 281-310.
- PUIGDEFABREGAS, J. y ALVERA, B., 1983. Particulate and dissolved matter in snowmelt runoff from small watersheds. Int. Symp. "The role of geomorphological field experiments in land and water management", *Z. Geomorph.*, N.F. (en prensa).
- REYNOLDS, B., 1983. The chemical composition of snow at a rural upland site in Mid-Wales. *Atmos. Environ.*, 17 (9): 1849-51.
- "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER", 14.^a ed. (1975). Amer. Pub. Health Assn., Washington, D.C.
- SWANK, W.T. y CASKEY, W.H., 1982. Nitrate depletion in a second-order mountain stream. *J. Environ. Qual.*, 11 (4): 581-584.
- WEBER, H., 1978. Comparaison des methodes d'évaluation des debits massiques. Tesis doc. Université du Quebec/INRS: 109 pp.
- ZADOROJNY, C., SAXTON, S. y FINGER, R., 1973. Spectrophotometric determination of ammonia. *J. Water Poll. Control Fed.*, 45 (5): 905-912.