

EL CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN EL RÍO AGÜERA (NORTE DE ESPAÑA) EN CONDICIONES DE ESTABILIDAD HIDROLÓGICA

E. González y J. Pozo

Lab. Ecología. Dpto. Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco / E.H.U. Apto 644. 48080 Bilbao (España)

Palabras clave: carbono orgánico disuelto, ríos, norte de España.

Keywords: dissolved organic carbon, stream, Northern Spain.

ABSTRACT

DISSOLVED ORGANIC CARBON IN THE AGÜERA STREAM (NORTHERN SPAIN) UNDER HYDROLOGICAL STABILITY CONDITIONS.

Concentrations of dissolved organic carbon (DOC) were measured monthly from November 1992 to December 1993 at four sites of the Agüera stream (Northern Spain). Longitudinal differences in DOC seem to be related to the existing urban sewage and environmental disturbances, as well as the self-purifying capacity of the stream. In spite of the human disturbances, concentrations of DOC are low, about 2.9 mg l⁻¹ in headwaters and a mid reach, and about 3.6 mg l⁻¹ at sites after human settlements. From a temporal point of view, biological processes seem to be important in regulate the availability of DOC as increases mainly occurred in spring and summer. When concentrations of dissolved organic carbon and suspended particulate organic carbon (POC, fine fraction, < 1 mm) are compared, DOC appears as the main fraction of the transported carbon by the stream, although its relative importance decreases downstream. Our estimates of carbon export to the estuary result in three times more DOC than POC.

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas fluviales, la materia orgánica disuelta (MOD) representa la fracción mayoritaria en el transporte río abajo (FISHER & LIKENS, 1973; MCDOWELL & FISHER, 1976) constituyendo un importante componente de las vías heterotróficas. Aunque la mayor parte de este material lo constituyen los compuestos refractarios como ácidos húmicos y fúlvicos, la fracción lábil (carbohidratos y aminoácidos) juega un importante papel como fuente de energía para los microorganismos, nivel trófico esencial en numerosos procesos de los sistemas lóticos. Mientras que las bacterias heterotróficas son capaces de retirar la fracción lábil de la MOD en cuestión de horas (SPITZY & LEENHEER, 1991), los compuestos de difícil degradación pueden ser retirados por procesos abióticos como floculación, precipitación, adsorción, etc. Para la totalidad de la MOD, es decir, tanto para la fracción lábil como para la refractaria, estos mecanismos abióticos pueden llegar a constituir en ocasiones la vía prioritaria de retirada (FORD *et al.*, 1990). La conjugación de procesos bióticos y abióticos, no sólo en la retirada sino

también en la producción y origen (suelo, lavado del material particulado, exudados algales, procesos de descomposición, etc.) son capaces de establecer diferencias espaciales y temporales en la concentración de MOD dentro de una cuenca (KAPLAN *et al.*, 1980; GRUBAUGH & ANDERSON, 1989; GERHARDT 1992).

Las alteraciones producidas por el hombre dentro de las cuencas, como la tala de bosques y explotaciones agrícolas, parecen afectar a las concentraciones y a la exportación del carbono orgánico disuelto (COD) en los ríos (MEYER & TATE, 1983; MOORE & JACKSON, 1989; ECKHARDT & MOORE, 1990). Cambios en sus orígenes, como la disminución de las entradas de material particulado al río tras la retirada de la vegetación riparia, un incremento de la producción primaria, menor tiempo de residencia del agua en el suelo, o entradas adicionales de COD procedente de los vertidos urbanos, son solo algunos ejemplos de cómo las modificaciones producidas por el hombre pueden alterar las dinámicas naturales de la MOD.

En la cuenca del río Agüera (Norte de España) se han llevado a cabo trabajos relacionados con la distribución

temporal y longitudinal de la materia orgánica tanto de la fracción gruesa como de la fina, sin embargo, existía una falta de conocimiento acerca de la dinámica e importancia que la fracción disuelta manifiesta en esta cuenca. Por ello, el presente trabajo se centra, por un lado, en las concentraciones de carbono orgánico disuelto en varios tramos del río Agüera con diferentes grados de intervención humana, con el objeto de evaluar la influencia del medio circundante en la cantidad y distribución de este recurso. Por otro, estudia si los cambios espaciales y temporales del COD son similares a los del carbono orgánico particulado (COP), es decir, si ambas variables están sujetas a los mismos patrones de variación. Por último, intenta cuantificar en qué grado el carbono orgánico disuelto es la forma mayoritaria de exportación de carbono en esta cuenca. Para ello se toma en cuenta la fracción particulada fina en suspensión como variable de referencia del carbono particulado. Un estudio de la materia orgánica particulada fina en suspensión en esta misma cuenca a diversas escalas espacio-temporales puede encontrarse en POZO *et al.* (1994a). La fracción gruesa en el transporte no ha sido considerada en este estudio, debido a que los resultados obtenidos por POZO *et al.* (1994b) en ese mismo río reflejan la poca importancia que esta fracción tiene frente a la fina, por lo que creemos que, con respecto al total transportado, la fracción gruesa puede tener poca entidad si no se consideran eventos hidrológicos de importancia (ej.: riadas).

ÁREA DE ESTUDIO

El río Agüera se halla localizado entre las provincias de Cantabria y Vizcaya al Norte de España. Es un río de corto recorrido (unos 30 km) que drena un área de 145 km². La población asentada en la cuenca asciende a unos 3000 habitantes, siendo los municipios de Villaverde, Trucíos y Guriezo los más importantes. Las prácticas agrícolas y forestales han modificado el entorno de la cuenca, aunque la parte alta de la misma todavía cuenta con alisedas y bosques de robles en buen estado de conservación. La caracterización físico-química de la cuenca en trabajos anteriores (ELOSEGUI & POZO, 1992; POZO *et al.*, 1994a; ELOSEGUI & POZO, 1995) permite distinguir río abajo cuatro tramos bien diferenciados. Por un lado se encuentran los tramos altos de la cuenca cuya perturbación humana es muy escasa y sus aguas presentan bajos valores de mineralización, contenido en nutrientes y material particulado en suspensión. El segundo tramo se caracteriza por presentar un incremento de la mineralización y eutrofización en una zona de sustrato calcáreo y núcleos

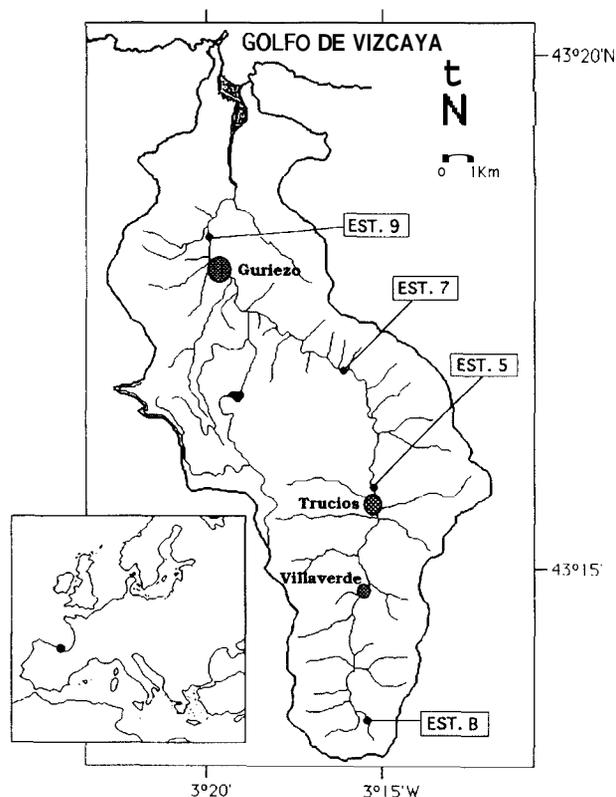


FIGURA 1. Localización de las estaciones de muestreo y de los municipios más importantes de la cuenca.
FIGURE 1. Location of the sampling sites and the main human settlements.

urbanos. El tercer tramo posee una alta capacidad de autodepuración que, unida a un descenso de vertidos urbanos, hace que la concentración de nutrientes y del material particulado descienda. Y por último, el cuarto tramo experimenta de nuevo incrementos en la concentración de nutrientes y de materia orgánica particulada fina (MOPF), asociados claramente a los vertidos de los municipios que el río atraviesa.

Para el presente estudio se seleccionaron cuatro estaciones representativas de cada uno de los tramos anteriormente citados a lo largo del eje longitudinal. En la Fig. 1 puede verse su localización dentro de la cuenca y en la Tabla 1 sus características más importantes y variables medidas durante el periodo de estudio. La nomenclatura B, 5, 7 y 9 viene dada de trabajos anteriores.

Durante el periodo de estudio las precipitaciones mensuales ocurridas en la cuenca se situaron entre los 13,3 mm (Enero) y los 281 mm (Diciembre), siendo la precipitación anual de 1330 mm.

TABLA 1. Características principales de las estaciones de muestreo.
TABLE 1. Main characteristics of sampling sites.

	ESTACIONES			
	B	5	7	9
ORDEN	1	3	3	3
ALTITUD (m)	350	130	80	15
AREA DRENADA (ha)	184	4762	6906	11535
VERTIDOS URBANOS	No	SI	No	SI
VEGETACION	Bosque caducifolio	Cultivos	Eucaliptos	Prados
COBERTURA	Densa	Sin cobertura	Densa	Densa
ANCHURA MEDIA (m)	1	6	10	14
CAUDAL MEDIO (l/s)	40	770	1686	3141
T° MEDIA AGUA (° C)	10.7	12.7	12.5	12.6
pH MEDIO	6.8	8.0	7.9	7.4
CONDUCT MEDIA ($\mu\text{s/cm}$)	108	222	225	191

El régimen hidrológico que experimentó el río Agüera durante el periodo de estudio fue facilitado por la Confederación Hidrográfica del Norte. Las medidas diarias de la descarga fluvial corresponden a la estación 9 de nuestro estudio. Las crecidas más importantes durante el periodo de estudio ocurrieron en otoño y primavera con caudales cercanos a 90 m³ s⁻¹. De manera inusual, durante los meses de Enero y Febrero se dieron descargas muy bajas, aunque las mínimas se alcanzaron en Agosto con valores inferiores a 0,2 m³ s⁻¹.

MATERIAL Y MÉTODOS

El carbono orgánico disuelto (COD < 0,7 μm) y el carbono orgánico particulado (unicamente la fracción fina) en suspensión (0,7 μm < COP < 1 mm) fueron determinados con una periodicidad mensual entre Noviembre-92 y Diciembre-93. Todas las muestras fueron tomadas en condiciones de estabilidad hidrológica, es decir, cuando el río se encontraba con descarga basal.

El carbono orgánico disuelto se analizó en un TOC-5000 Shimadzu (combustión 680 °C) sobre muestras de agua filtrada con Whatman GF/F (0,7 μm de poro). En cada estación se tomaba una muestra de agua, pero en el laboratorio se analizaban tres réplicas de dos submuestras. Los resultados se expresan en mg C/l.

La muestra de agua destinada a calcular el COP en suspensión se filtraba primero a través de una malla de 1 mm de poro y, posteriormente, por filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F prepesados y calcinados. Tras ser secados en estufa a 70°C (24 h) y pesados, se calcinaban a 450°C (5 h). Los datos obtenidos que correspondían a materia orgánica particulada (MOP) se transformaban en carbono orgánico particulado a través de la igualdad $\text{COP} = 0,45 \times \text{MOP}$

(WHITTAKER & LIKENS, 1973; KULLBERG & PETERSEN, 1987).

RESULTADOS

Las concentraciones medias de carbono orgánico disuelto (COD) durante el periodo de estudio fueron inferiores a 3 mg l⁻¹ en las estaciones B y 7 y superiores a 3,5 mg l⁻¹ en las estaciones 5 y 9 (Tabla 2). Los resultados de un análisis de la varianza de una vía mostraron diferencias significativas entre estaciones que, con el test de Tukey (ZAR, 1984), resultaron ocurrir sólo entre la estación de cabecera (B) y la estación

TABLA 2. Rango de valores mínimos y máximos (entre paréntesis) y valor medio de COD, COP, COD/COP y % COD en las cuatro estaciones muestreadas.
TABLE 2. Range of minimal and maximal values (in parenthesis) and mean value of DOC, POC, DOC/POC, % DOC at the four sampling sites during the study period.

	ESTACIONES			
	B	5	7	9
COD (mg.l ⁻¹)	(1,868-3,696) 2,822	(2,255-4,893) 3,515	(2,042-4,409) 2,961	(1,950-5,851) 3,677
COP (mg.l ⁻¹)	(0,393-1,395) 0,770	(0,589-2,168) 1,449	(0,695-2,300) 1,363	(0,807-3,521) 1,656
COD/COP	(2,081-7,976) 4,151	(1,089-4,789) 2,679	(1,084-4,447) 2,376	(1,045-5,053) 2,637
% COD	(67,55-88,86) 78,55	(52,15-82,73) 70,75	(52,02-81,64) 68,24	(51,12-83,48) 68,70

situada al final de la cuenca (9) (Tabla 3). Por otro lado, el carbono orgánico particulado registró concentraciones medias muy similares entre las tres estaciones de mayor entidad de cauce (5, 7 y 9), siendo la estación de cabecera (B) la que registró concentraciones significativamente menores. Debido a esto, el cociente COD/COP alcanzó el valor medio más elevado en la estación B, resultando una clara diferenciación entre el cociente registrado en la estación de cabecera y los de las estaciones 5, 7 y 9. Los porcentajes medios de COD obtenidos en cada una de las estaciones parecen indicar que a medida que el agua transcurre río abajo la contribución de la fracción disuelta disminuye en favor de la particulada.

En la Fig. 2 aparecen representadas las dinámicas temporales seguidas por las concentraciones de COD y COP durante la época de estudio en las cuatro estaciones muestreadas, y el régimen hidrológico experimentado por el río Agüera. Como puede observarse, a lo largo de todo el año el COD es el componente mayoritario del carbono orgánico transportado por el río en todas las estaciones (más del 50% en

TABLA 3. Resultados del análisis de la varianza de una vía (ANOVA) para las variables COD, COP, COD/COP y % COD. Las comparaciones múltiples fueron realizadas con el test de Tukey. Las líneas agrupan estaciones que no presentan diferencias significativas entre sí.

TABLE 3. Results from one way analysis of variance (ANOVA) of DOC, POC, DOC/POC, % DOC. Multiple comparisons were made by using the Tukey test. Underlining indicates no significant differences.

	F - test	P	Comparaciones entre estaciones
COD	3,54	0,0208	<u>9</u> <u>5</u> <u>7</u> B
COP	8,24	0,0001	<u>9</u> <u>5</u> <u>7</u> > B
COD/COP	4,93	0,0044	B > <u>5</u> <u>9</u> <u>7</u>
% COD	4,1	0,0111	B <u>5</u> <u>9</u> <u>7</u>

todas las ocasiones). Su dinámica temporal es más clara que la del COP, con una época de máximas concentraciones que comienza a mediados de la primavera y se mantiene hasta el final del verano. No se han encontrado relaciones significativas ni con el caudal, ni con el COP, lo que indica por una parte, que su distribución temporal esta condicionada además por otros factores y, por otra, que la fracción disuelta y la particulada no parecen regirse por los mismos mecanismos.

En un intento de estimar las exportaciones anuales de COD y COP por la cuenca al estuario se establecieron regresiones entre el caudal y la carga orgánica calculada a partir de la

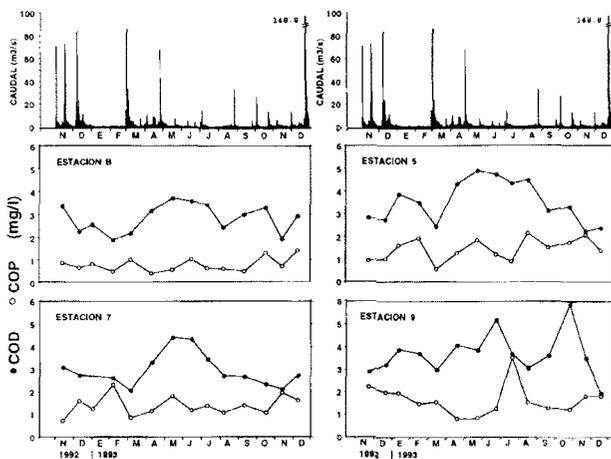


FIGURA 2. Dinámicas temporales de las concentraciones de COD y COP en las cuatro estaciones muestreadas. En la parte superior se muestra el régimen hidrológico (datos diarios de la estación (9 de la cuenca durante el periodo de estudio).

FIGURE 2. Dynamics of FOC and POC concentrations in the four sampling sites. The hydrologic regime (daily data from site 9) during the study period are shown at the top.

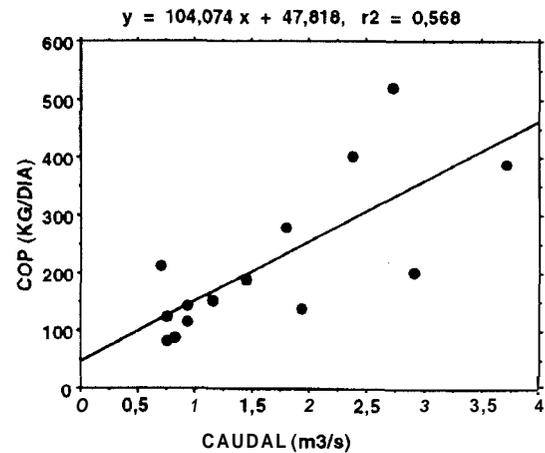
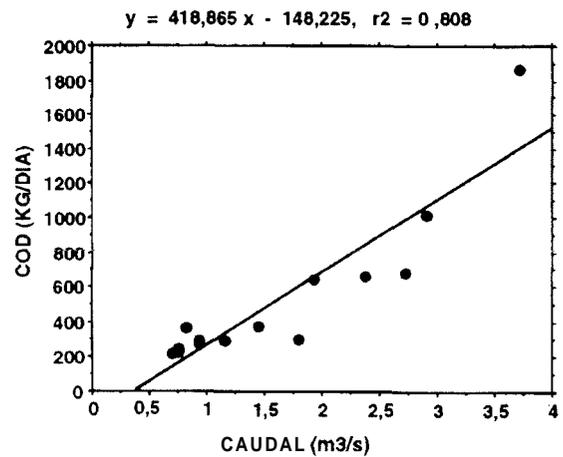


FIGURA 3. Regresiones entre la carga (kg/día) de COD y COP y el caudal (m³/s) en la estación 9.

FIGURE 3. Regressions between the load (kg/d) of DOC or POC and the flow (m³/s) at site 9.

concentración y el caudal del día de muestreo en la estación 9 (Fig. 3). El registro diario de caudal permitió estimar, a partir de las regresiones, las cargas diarias de ambas variables (se asume una subestima de las exportaciones al no haberse medido las variables en situaciones de riada). De ahí se obtuvo que durante el año 1993 la cuenca del río Agüera exportó un total de 480 T de COD y 150 T de COP. Es decir, el 76% del carbono orgánico que recibió el estuario fue en forma disuelta.

DISCUSIÓN

El río Agüera, es un río que presenta bajas concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD) en sus aguas. Sus valores

medios son inferiores a la media de los ríos del mundo que según MEYBECK (1982) ronda los 5 mg l⁻¹. Las concentraciones de COD registradas en la cuenca se hallan dentro del rango (1-12 mg l⁻¹) asignado a los ríos que discurren por cuencas forestadas con suelos bien drenados (CLAIR & FREDMAN, 1986; MOORE, 1989), aunque se sitúan claramente en la parte inferior del rango.

Las diferencias longitudinales que la concentración de COD manifiesta a lo largo del río Agüera, parecen estar estrechamente relacionadas con el grado de intervención humana de cada tramo. Las mayores concentraciones de COD se registran en las estaciones más afectadas por los vertidos urbanos y en las que el bosque potencial ha sido reemplazado por cultivos agrícolas (estaciones 5 y 9). La deforestación parece ser un fenómeno que incrementa las concentraciones de COD en el agua del río incluso después de 8-10 años de ocurrir la tala, debido a cambios en el origen del COD, en el movimiento del agua y en las características del canal (MOORE & JACKSON, 1989). El drenaje de las tierras de cultivo (ECKHARDT & MOORE, 1990) y los vertidos urbanos también parecen ser responsables de incrementos importantes de las concentraciones de COD en los tramos afectados por estos factores, que disminuyen río abajo a medida que la influencia de estos va siendo menor. En el río Agüera, el tramo situado entre la estación 5 y la 7 experimenta descensos tanto de COD como de COP debido a la ausencia del factor perturbador (vertidos urbanos) y a la alta capacidad de autodepuración que este tramo presenta (POZO *et al.*, 1994a; ELOSEGUI & POZO, 1995). Sin embargo, en este tramo, el grado de disminución de ambas variables no es de la misma magnitud. Mientras el COD recupera concentraciones semejantes a las registradas en la estación de cabecera, la disminución de COP es muy leve. Esto indica que en este tramo existe una retirada más efectiva del COD que de COP. Sin embargo, no podemos discernir si esto es debido a una asimilación por parte de la comunidad microbiana o a procesos abióticos como podrían ser la floculación, la adsorción, etc...

Los valores del cociente CODICOP obtenidos en la cuenca del río Agüera presentan un rango entre 1 y 8, ajustándose a los que HOPE *et al.* (1994) asignan a cuencas pequeñas de bosque templado. Estos mismos autores señalan que, en general, el cociente CODICOP varía enormemente, pero que hay una tendencia a que la importancia relativa de COP aumente con el tamaño del río. En el río Agüera, de presentarse este modelo estaría enmascarado por la influencia de los vertidos urbanos, alternando valores en función de los procesos de perturbación y autodepuración (POZO *et al.*, 1994a).

Las dinámicas temporales de las concentraciones de COD en los ríos no se ajustan a un modelo fijo. KAPLAN *et al.* (1980) encontraron incrementos considerables de COD durante el verano y el otoño y los asignaban a que el aumento de las temperaturas favorecía el desarrollo microbiano, los mecanismos de descomposición y la producción de algas. Otros autores como NAIMAN (1982); MOORE & JACKSON (1989) y FORD *et al.* (1990) también obtuvieron las máximas concentraciones de COD hacia el verano. Sin embargo, MCDOWELL & FISHER (1976) y GRUBAUGH & ANDERSON (1989) encontraron incrementos de COD durante el otoño e invierno, coincidiendo con la época de máxima entrada de hojarasca que origina grandes cantidades de COD debido al lixiviado del material. Según la dinámica temporal del COD en el río Agüera, los procesos bióticos parecen cobrar relevancia en la generación de COD durante el verano, pero no podemos evaluar su importancia con relación a otras posibles fuentes como pueda ser el lixiviado del material. La dinámica temporal seguida por el COD fue mucho más clara que la del COP por lo que el COD podría ser un recurso más predecible que el COP en el río Agüera.

Según MULHOLLAND & WATTS (1982), del carbono orgánico total que entra en los ríos del mundo el 25% es procesado en los mismos, el 25% es almacenado y el 50% es transportado hasta los océanos. La exportación anual de carbono orgánico en la mayor parte de las cuencas se halla entre 10 y 100 Kg C ha⁻¹ año⁻¹, con una media de 56,2 Kg C ha⁻¹ año⁻¹ (HOPE *et al.*, 1994). Nuestras estimas muestran que la cuenca del río Agüera exporta alrededor de 55 Kg C ha⁻¹ año⁻¹, de los que 42 Kg C ha⁻¹ año⁻¹ pertenecen a la fracción disuelta y 13 Kg C ha⁻¹ año⁻¹ a la particulada. Estos datos nos sirven para reflejar que el estuario recibe bastante más COD que COP del río y en cantidades parecidas a las obtenidas por otros autores recopilados en el trabajo de HOPE *et al.* (1994). Sin embargo, deben tomarse con cautela ya que se basan en registros de un solo año tomados en condiciones de estabilidad hidrológica. JONES *et al.* (1996) muestran que tanto las concentraciones medias anuales como la exportación de COD pueden variar en gran medida en función del régimen de descargas, por lo que sería necesario planificar estudios a más largo plazo que incluyesen eventos de crecida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de los proyectos de investigación DGICYT PB 92-0459 y UPV 118.310-EA 043/93, y a una Beca de Formación de Personal Investigador del Gobierno Vasco concedida a E. González.

REFERENCIAS

- CLAIR, T. A. & B. FREEDMAN, 1986. Patterns and importance of dissolved organic carbon in four acidic brownwater streams in Nova Scotia, Canada. *Water Air Soil Pollut.*, 31: 139-147.
- ECKHARDT, B. W. & T. R. MOORE, 1990. Controls on dissolved organic carbon concentrations in streams, southern Québec. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 1537-1544.
- ELOSEGUI, A. & J. POZO, 1992. Physico-chemical characteristics of the Agüera river (Spain) during an unusual hydrologically period. *Annls. Limnol.*, 28: 85-96.
- ELOSEGUI, A.; X. ARANA; A. BASAGUREN & J. POZO, 1995. Self-purification processes along a medium-sized stream. *Environ. Manag.*, 19: 931-939.
- FISHER, S. G. & G. E. LIKENS, 1973. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol. Monog.*, 43: 421-439.
- FORD T. E.; S. A. FORD; M. A. LOCK & R. J. NAIMAN, 1990. Dissolved organic carbon concentrations and fluxes along the Moise River, Quebec. *Freshwat. Biol.*, 24: 35-42.
- GERHARDT, A., 1992. Qualitative and quantitative investigations on the detritus content of the Breitenbach (Eastern Hessen, FRG). *Arch. Hydrobiol.*, 124: 35-51.
- GRUBAUGH J. W. & R. V. ANDERSON, 1989. Upper Mississippi River: seasonal and floodplain forest influences on organic matter transport. *Hydrobiologia*, 174: 235-244.
- HOPE, D.; M. F. BILLETT & M. S. CRESSER, 1994. A review of the export of carbon in river water: fluxes and processes. *Environ. Pollut.*, 84: 301-324.
- JONES, J. B.; S. G. FISHER & N. B. GRIMM, 1996. A long-term perspective of dissolved organic carbon transport in Sycamore Creek, Arizona, USA. *Hydrobiologia*, 317: 183-188.
- KAPLAN, L. A.; R. A. LARSON & T. L. BOTT, 1980. Patterns of dissolved organic carbon in transport. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 1034-1043.
- KULLBERG A. & R. C. PETERSEN, 1987. Dissolved organic carbon, seston and macroinvertebrates drift in an acidified and limed munic stream. *Freshwat. Biol.*, 17: 553-564.
- MCDOWELL W. H. & S. G. FISHER, 1976. Autumnal processing of dissolved organic matter in a small woodland stream ecosystem. *Ecology*, 57: 561-569.
- MEYBECK M., 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci.*, 282: 401-450.
- MEYER, J. L. & C. M. TATE, 1983. The effects of watershed disturbance on dissolved organic carbon dynamics of a stream. *Ecology*, 64: 33-44.
- MOORE, T. R., 1989. Dynamics of dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand. 1. Maimai. *Water Resour. Res.*, 25: 1321-1330.
- MOORE T. R. & R. J. JACKSON, 1989. Dynamics of dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand. 2. Larry river. *Water Resour. Res.*, 25: 1331-1339.
- MULHOLLAND, P. J. & J. A. WATTS, 1982. Transport of organic carbon to the oceans by rivers of North America: a synthesis of existing data. *Tellus*, 34: 176-186.
- NAIMAN, R. J., 1982. Characteristics of sediments and organic carbon export from pristine boreal forest watersheds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 1699-1718.
- POZO, J., A. ELOSEGUI & A. BASAGUREN, 1994a. Seston transport variability at different spatial and temporal scales in the Agüera watershed (North Spain). *Wat. Res.*, 28: 125-136.
- POZO, J., A. BASAGUREN & A. ELOSEGUI, 1994b. Transport and benthic coarse particulate organic matter in the Agüera stream (North Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25: 1723-1726.
- SPITZY, A. & J. LEENHEER, 1991. Dissolved organic carbon in rivers. In: *Biogeochemistry of Major World Rivers..* (E. T. DEGENS, S. KEMPE & J. E. RICHEY, eds.). pp. 213-232. John Wiley & Sons Ltd. New York.
- WHITTAKER, R. H. & G. E. LIKENS, 1973. Carbon in the biota. In: *Carbon and the Biosphere.* (WOODWELL G. & E. PECAN, eds). United States Atomic Energy Commission (pp 281-302). Springfield, VA.
- ZAR, J. H., 1984. *Biostatistical Analysis*, 2nd edition. Prentice-Hall International, New Jersey.