

FLUJOS DE CARBONO, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA PARTE BAJA DEL RÍO EBRO

I. Muñoz & N. Prat

Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona.

RESUM

S'han estudiat, durant els anys 1986 i 1987, els darrers 60 km del riu Ebre per tal de conèixer el transport de nutrients dissolts i particulats, i les seves variacions estacionals. Els canvis en les concentracions dels nutrients estan determinats, principalment, per la regulació dels embassaments i per la intrusió d'una capa d'aigua salada que des del mar entra pel canal del riu, especialment en condicions de cabal baix. S'ha calculat el transport total anual de la mitjana dels nutrients que des del riu van cap al mar.

RESUMEN

Se han estudiado, durante los años 1986 y 1987, los últimos 60 km del río Ebro con el fin de conocer el transporte de nutrientes disueltos y particulados, así como sus variaciones estacionales. Los cambios en las concentraciones de nutrientes están determinados mayoritariamente por la regulación de los embalses y por la intrusión de una capa de agua salada que desde el mar entra por el canal del río, especialmente, en condiciones de bajo caudal. Se ha calculado también el transporte total anual medio de nutrientes que lleva el río hacia el mar.

ABSTRACT

We have studied the last 60 km of the river Ebro during two years (1986 and 1987). Our main purpose is to establish the particulate and dissolved nutrient transport of the river and its seasonal changes. Two aspects seem to be important, the effects of regulation and the appearance of a salt water layer under the river freshwater when the discharge is low. Reactive soluble phosphate is higher than $5 \mu\text{mol.l}^{-1}$ with minimum values in summer. Ammonia values are between 8 and $12 \mu\text{mol.l}^{-1}$ with maximum values ($90 \mu\text{mol.l}^{-1}$) at stations where anoxia is common. Nitrate is higher than $100 \mu\text{mol.l}^{-1}$ and nitrite is near $3 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Nearly 95% of particulate forms are in ultrafine forms, between 0.45-50 μm . The differences in particulate Phosphorous, Nitrogen and Carbon concentrations are related with the conditions of the river water. Total particulate and dissolved transport load has been calculated.

Key Words: Ebro, nutrients, POM, river regulation, salt wedge.

INTRODUCCIÓN

El estudio del curso inferior de los principales ríos españoles no ha tenido la atención debida hasta hace poco tiempo (Toja et al. 1986, Prat et al. 1987, 1988), en contraste con los cada vez más habituales trabajos que sobre estuarios se han realizado en muchos países (Nichols et al. 1986, Saliot et al. 1984, El-Habr y Golterman 1987, Jackson et al. 1987).

La importancia del sistema deltaico del río Ebro fue el factor determinante que llevó al desarrollo de un estudio pluridisciplinar en los años 1986 y 1987, del cual

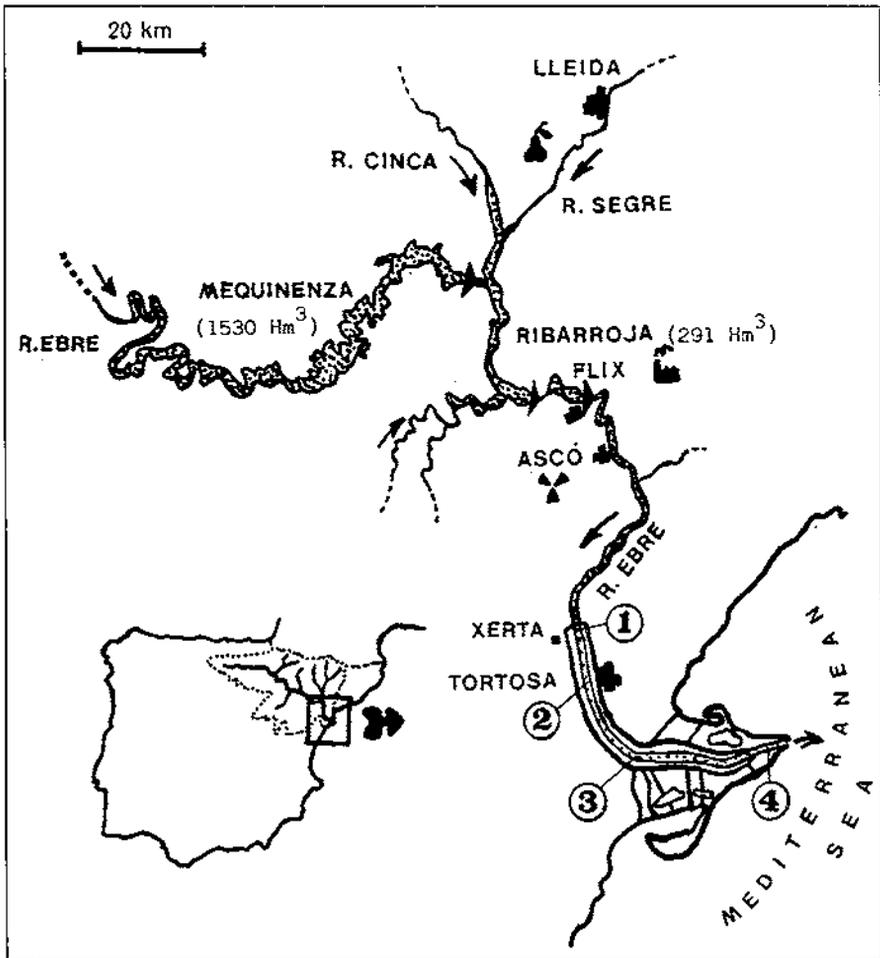


Figura 1. Situación geográfica del área de estudio y localización de las estaciones de muestreo.

Tabla 1. Cálculo de transporte anual total de Cn N y P particulados y del C, N y P disueltos, que entra en el Mediterráneo, procedente del río Ebro en 1986-1987.

	Transporte total (\bar{x}) 10 ³ Tm año ⁻¹	
	1986	1987
C orgánico particulado	11,50	9,85
N orgánico particulado	1,21	1,36
P particulado total	0,30	0,96
C orgánico disuelto	34,75	36,82
C inorgánico disuelto	287,20	302,60
N inorgánico disuelto	17,07	14,33
P inorgánico disuelto (RSP)	0,91	0,88

forman parte nuestros resultados junto a otros ya publicados anteriormente (Prat et al. 1987, 1988, Muñoz y Prat 1989). En estos trabajos la regulación del último tramo del río por los embalses y la interacción con el agua de mar en la desembocadura, parecen ser dos de los factores determinantes en el comportamiento del río.

El principal objetivo de este trabajo es determinar la evolución en el espacio y en el tiempo de la concentración de nutrientes (C, N y P) tanto en sus formas disueltas como particuladas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de muestreo se sitúa en los últimos 60 Km del río Ebro. Se recogieron muestras mensuales y quincenales (verano de 1987) en cuatro estaciones distribuidas a lo largo del río (Fig. 1), desde febrero de 1986 hasta octubre de 1987. La estación número 1 estaba situada a la altura de Xerta a unos 60 Km de la desembocadura; la estación número 2, a 10 Km de la anterior, justo antes de entrar en la ciudad de Tortosa. En estas estaciones el río es poco profundo (0,5-3 m) y presenta una velocidad de corriente media de 1 m.s⁻¹. Las estaciones 3 y 4 estaban situadas en el área deltaica donde el río se hace más ancho y profundo (4-8 m) y la velocidad es más lenta (0,2 m.s⁻¹).

En cada estación se medía «in situ» la temperatura, conductividad, oxígeno y PH, se recogía agua de superficie, y en las estaciones 3 y 4 se recogía también agua de fondo. Las muestras de agua se congelaban inmediatamente para el análisis de nitrógeno inorgánico y fósforo reactivo soluble. Los análisis se realizaron en un autoanalizador Technicon de acuerdo con los métodos descritos en Grasso et al. (1983).

El material particulado se analizó, después de filtrar un volumen conocido de agua, a través de filtros precalcinados de fibra de vidrio tipo Whatmann GF/F (0,45 μm). El carbono y nitrógeno orgánicos particulados se analizaron en un analizador elemental Carlo Erba y el fósforo particulado tras una predigestión con persulfato potásico (Grasso et al., 1983).

RESULTADOS

Formas disueltas

Los valores medios de nitrato varían entre 50 y 200 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Fig. 3) en la superficie de las cuatro estaciones, con valores mínimos a finales de verano. En la estación número 3 se alcanzan en el fondo valores mínimos en agosto y septiembre de 1986 y a finales de junio y principios de julio de 1987. En la estación 4 los valores mínimos en el fondo se distribuyen a lo largo de todo el verano. Los mínimos en la concentración de nitratos en estas estaciones coinciden con máximos de conductividad (Fig. 2).

Los nitritos varían entre 1 y 4 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ en superficie (Fig. 4). En las estaciones de fondo los mínimos no se corresponden con máximos de conductividad como en el caso de los nitratos. Sólo en el verano de 1986 y en la estación 4 se observan mínimos que no se vuelven a presentar en el año 1987.

Los valores medios de amonio varían poco estacionalmente en las tres primeras estaciones de superficie, mientras en la desembocadura (estación 4) se observan oscilaciones muy marcadas entre campaña y campaña (Fig. 5). Si los valores en superficie varían entre 1 y 25 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, en el fondo llegamos a valores superiores a 100 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ en la estación 3, en los meses donde la conductividad en el fondo también es elevada (Fig. 2). En la estación 4 no se alcanzan en profundidad concentraciones tan altas y los máximos se distribuyen a lo largo de todo el verano.

La concentración de fosfatos tampoco presenta diferencias o un patrón estacional determinado en las estaciones de superficie, pero de nuevo se alcanzan máximos en la estación 3 en profundidad en los dos veranos muestreados (Fig. 6), por ejemplo se pasa de concentraciones de 4 a 18 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ de la superficie al fondo en el mes de septiembre de 1986. En la desembocadura las concentraciones no son mayores durante el verano de 1986 y sí ligeramente mayores en algunos meses del verano de 1987.

Los valores medios de la concentración de carbono inorgánico disuelto, calculado a partir de las ecuaciones de Arkan (1988) son próximos a 38 mg.l^{-1} con muy pocas diferencias a lo largo de los años muestreados.

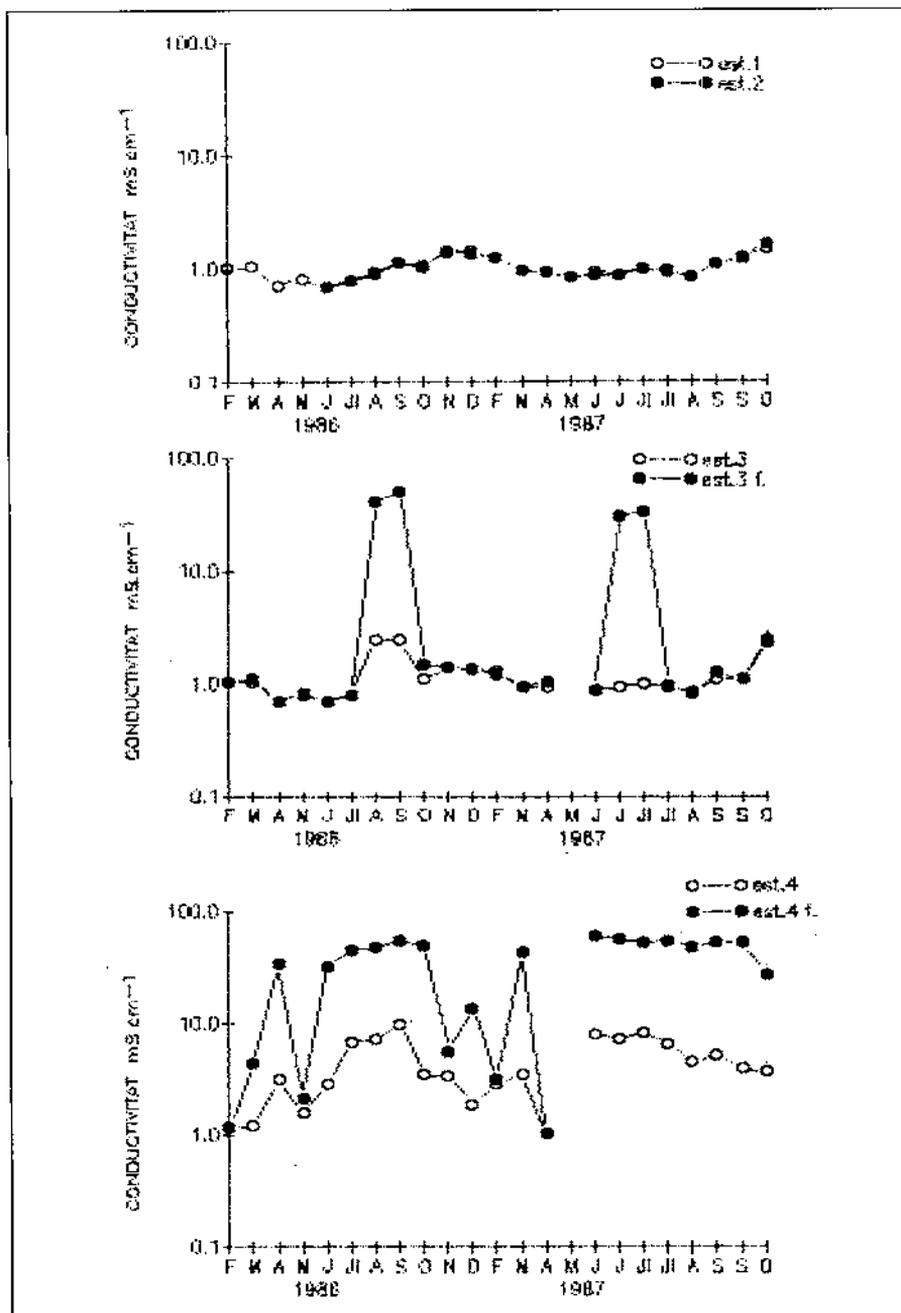


Figura 2. Evolución de la conductividad durante el período de estudio en las 4 estaciones de muestreo.

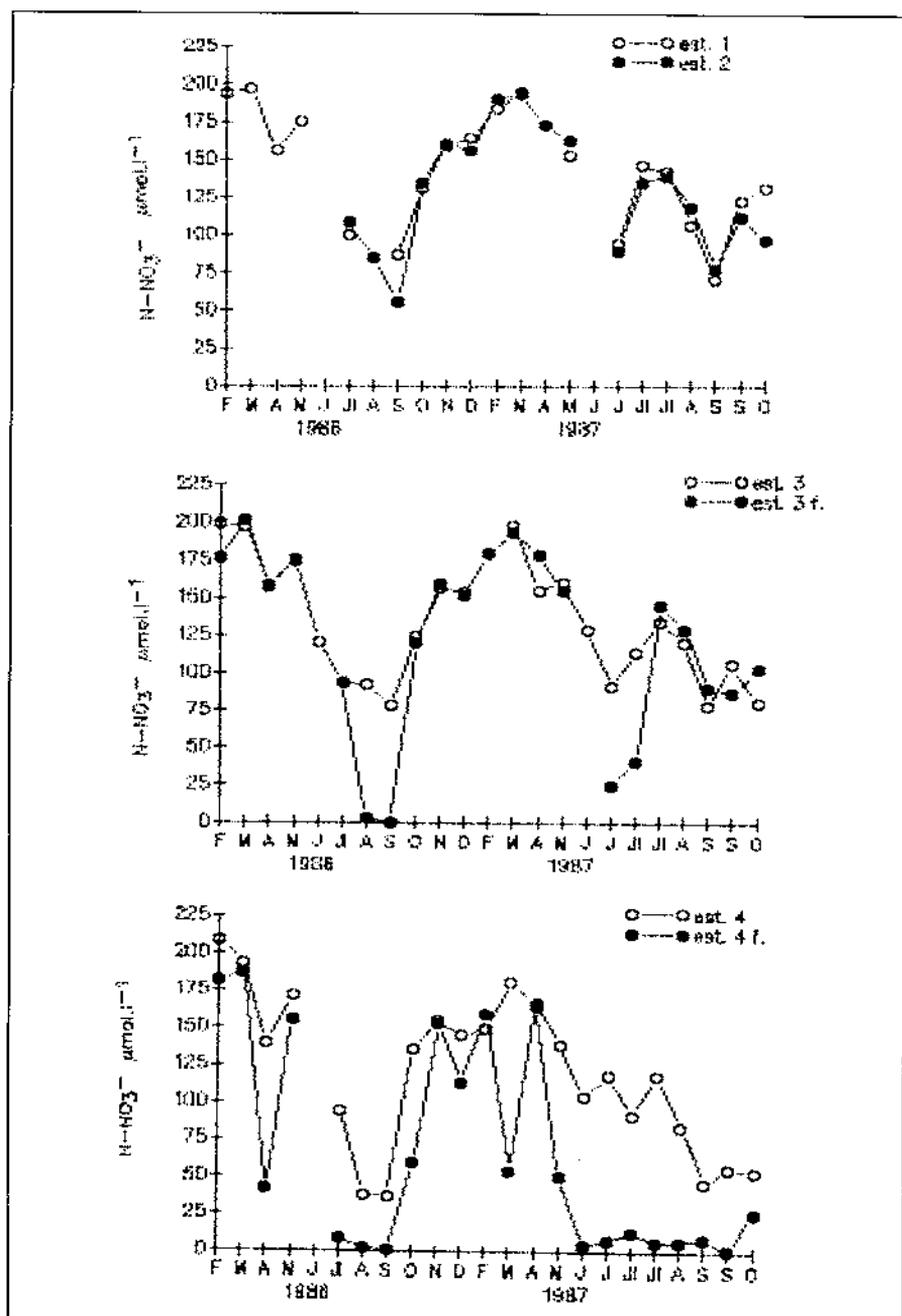


Figura 3. Concentración de nitratos ($N-NO_3^-$) en cada estación durante el período de estudio.

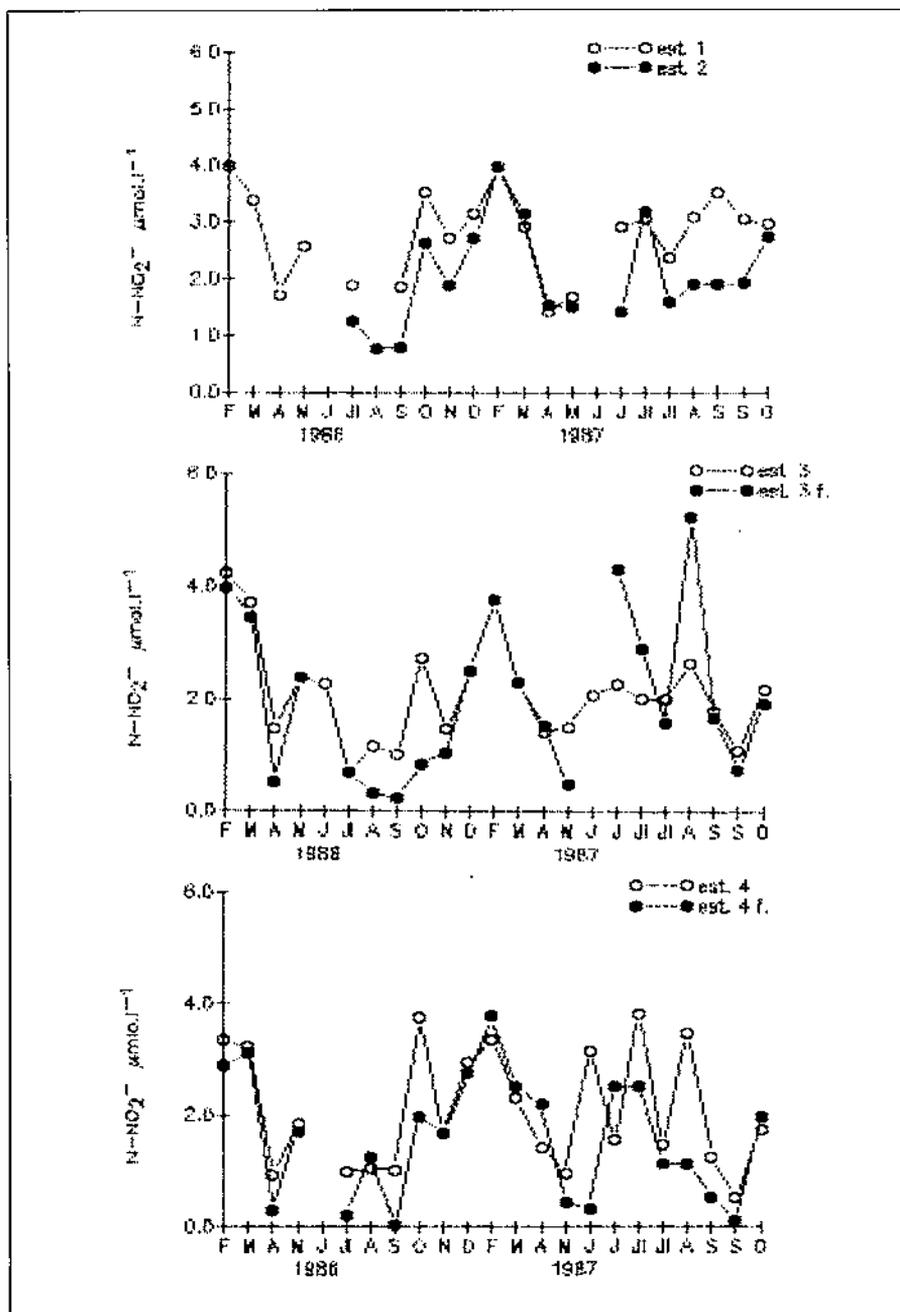


Figura 4. Concentración de nitritos (N-NO₂⁻) en cada estación durante el período de estudio.

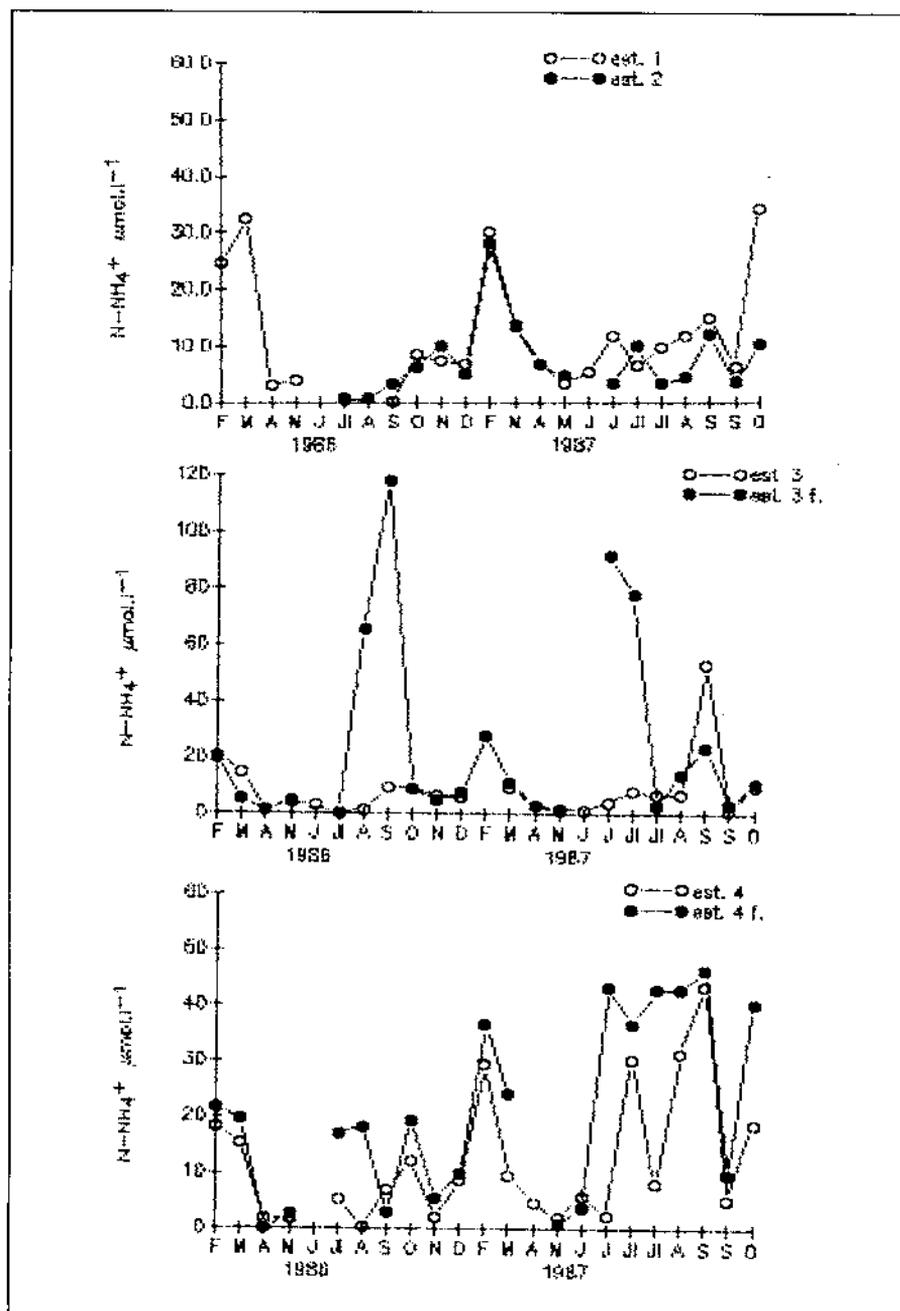


Figura 5. Evolución de la concentración de amonio ($N-NH_4^+$).

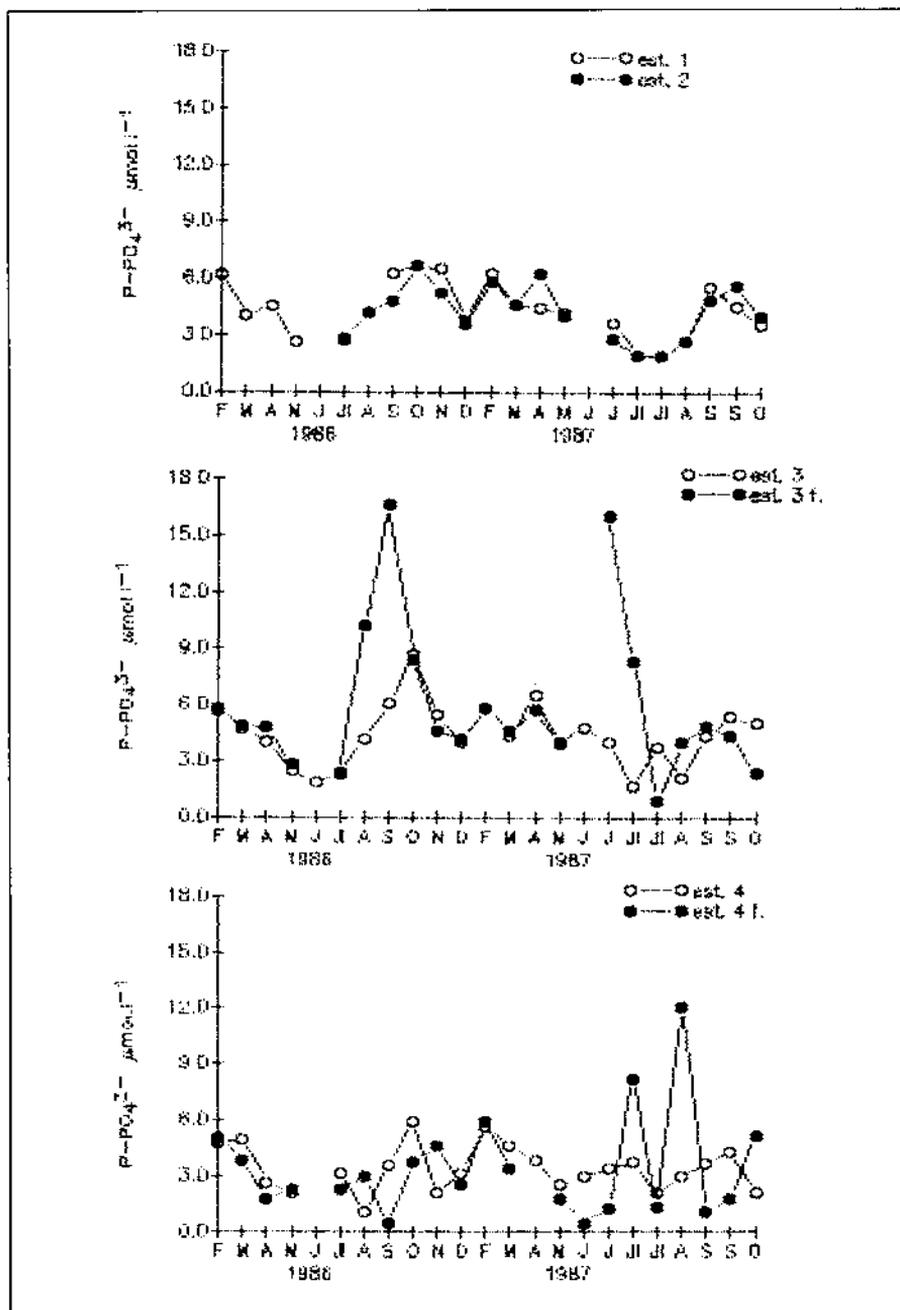


Figura 6. Evolución de la concentración de fosfato reactivo soluble ($P-PO_4^{3-}$).

Material particulado

Las variaciones estacionales siguen un patrón muy similar en todas las estaciones para las formas de carbono, nitrógeno y fósforo particulado. La estación que en general presenta unas concentraciones más bajas es la estación 4 (Fig. 7, 8, 9).

Durante los muestreos con presencia de agua salada en profundidad en las estaciones 3 y 4, hay cierta acumulación de material particulado en el fondo, especialmente en la estación 3, donde la concentración es del orden del doble de la de superficie. En cambio no hay acumulación en el caso de la estación 4, más próxima al mar. Cabe señalar además, la diferencia que hay en la concentración de fósforo particulado entre los dos años, el año 1987 presenta concentraciones mucho más importantes que el 1986 (Fig.9).

Tampoco hay una relación clara entre máximos en la descarga del río y máximos en la concentración de material particulado (Muñoz y Prat, 1988).

Si comparamos las formas disueltas con las particuladas tenemos que en el caso del nitrógeno la concentración en las formas disueltas es unas cien veces mayor a la de la forma particulada. La relación fósforo disuelto, fósforo particulado es de 4 a 1,5 en el año 1986, pero en 1987 ambas concentraciones son del mismo orden. En el caso del carbono algunos análisis realizados de carbono orgánico disuelto muestran que su concentración ($430 \mu\text{mol.l}^{-1}$) es unas tres veces mayor que el carbono orgánico particulado.

La relación N particulado/P particulado en los meses de invierno toma valores alrededor de 4 y durante el verano la relación es del orden de 8 en 1986 y cercano a la unidad en 1987. Al contrario del material particulado, la relación N inorgánico disuelto/P inorgánico disuelto es siempre muy superior a 1 (del orden de 50 en invierno y de 25 en verano) excepto en las estaciones de fondo cuando se presenta la cuña salina, donde este cociente pasa a tener valores de 7.

En verano la relación C particulado/N particulado decrece aguas abajo, desde 10-15 en las estaciones 1 y 2 hasta 7-8 en la 3 y 4. Estas diferencias están relacionadas con el porcentaje de fitoplancton en el agua respecto a la contribución de detritus no orgánicos (Ward y Twilley, 1986), siendo la relación menor cuando mayor es la importancia del fitoplancton.

Podemos calcular el transporte total de carbono, nitrógeno y fósforo, utilizando las concentraciones medias anuales de cada nutriente y multiplicándolas por la descarga total del Ebro, que se estima en 7555 Hm^3 en 1986 y de 8000 Hm^3 en 1987. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

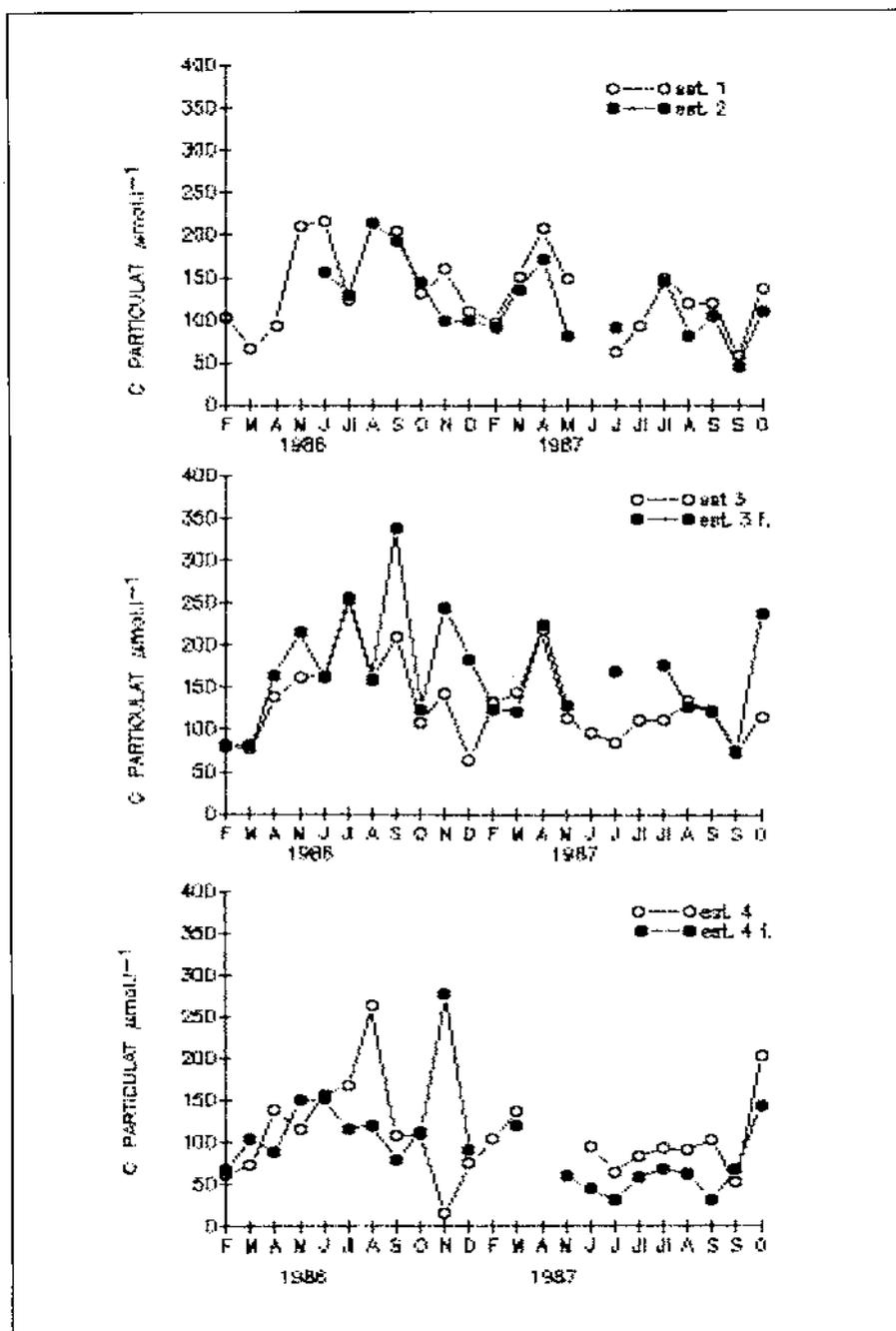


Figura 7. Evolución de la concentración de carbono.

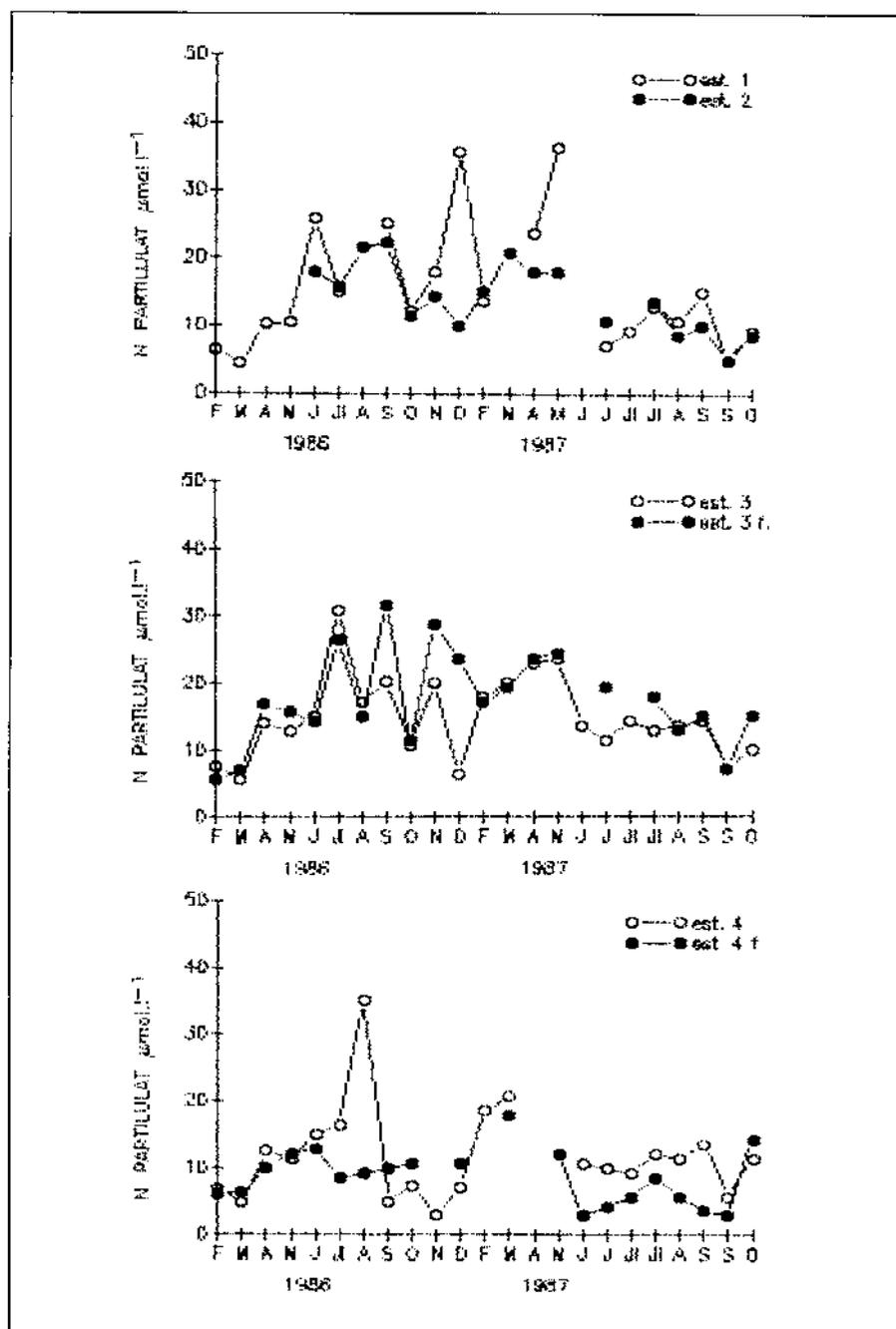


Figura 8. Evolución de la concentración de nitrógeno particulado.

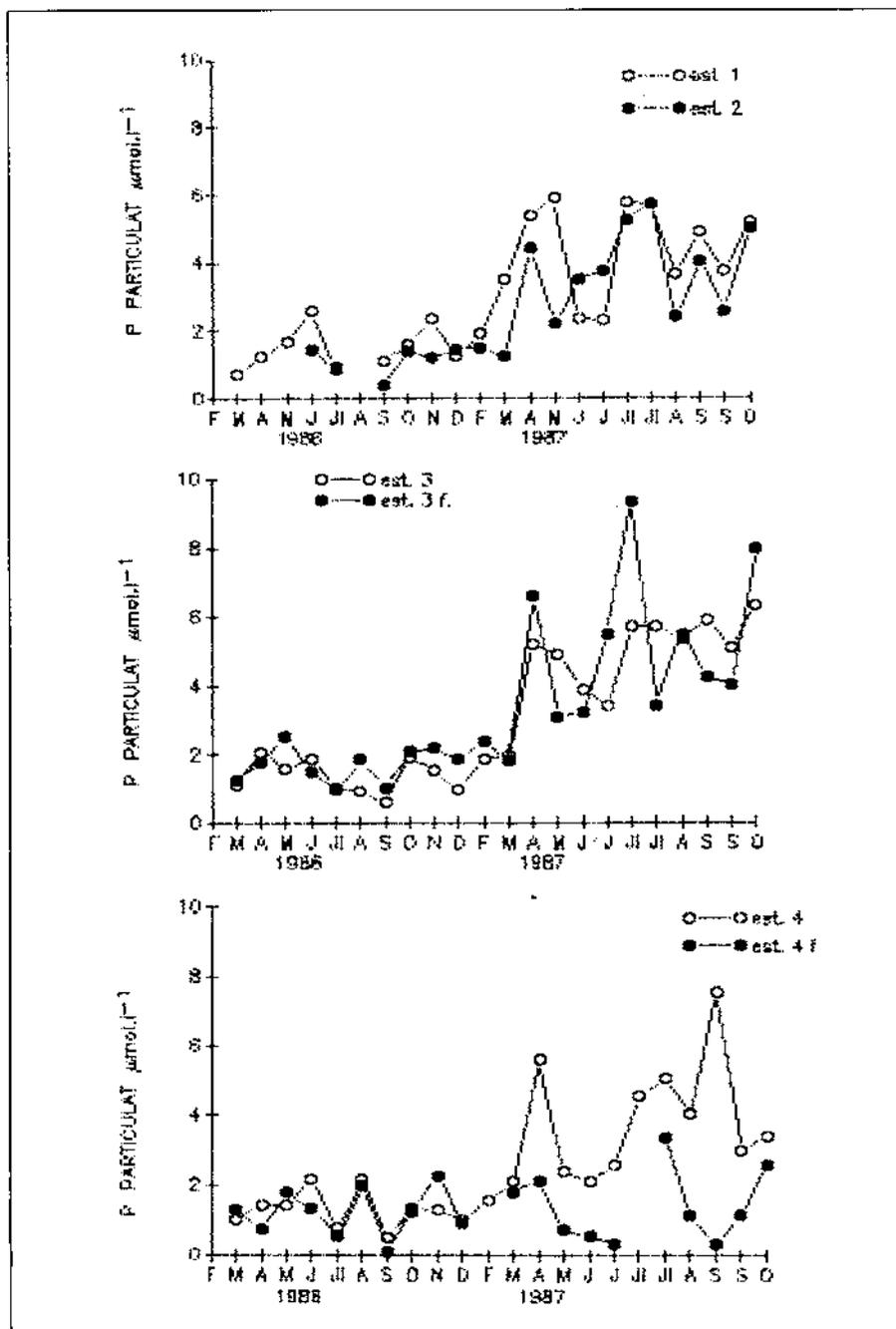


Figura 9. Evolución de la concentración de fósforo particulado.

DISCUSIÓN

La entrada de agua de mar por debajo de la capa de agua dulce, principalmente en las épocas de estiaje, es una de las principales causas que determinan el comportamiento de los nutrientes en la parte baja del río Ebro. La presencia de esta cuña salina está favorecida por los bajos caudales que se dan especialmente a lo largo de todo el verano, determinados por las necesidades hídricas reguladas por los embalses. La cuña salina puede alcanzar cotas máximas de unos 30 Km aguas adentro según las limitaciones del propio perfil del río (Verdaguer, 1985).

En verano especialmente, la velocidad baja de la corriente, la temperatura, las condiciones favorables de luz y el enriquecimiento de nutrientes que proceden de los embalses eutróficos de Mequenza y Ribarroja, favorecen una producción importante de fitoplancton en la superficie de la parte más baja del río: estaciones 3 y 4 (Muñoz y Prat, 1988). Esto se traduce en un consumo de nutrientes; por ello el fósforo disuelto disminuye en los meses de verano y pasa a formas particuladas, como se observa en las diferencias en la relación NP/PP.

Esta producción en superficie lleva consigo además, una importante sedimentación en el fondo, situación que provoca cambios que pueden conducir a la anoxia en el fondo, lo que explica las concentraciones máximas de fosfatos (Salot et al. 1984) y amonio y mínimas de nitratos y nitritos. Cuanto más cerca del mar abierto nos encontremos (estación 4) se hace menos evidente esta acumulación y la anoxia; el propio hidrodinamismo de esta zona hace más fácil la renovación del agua, imposible en la estación 3, situada a 20 km de la desembocadura. Por lo que sabemos, sólo los últimos 5 km del río parecen tener una tasa de renovación suficiente para impedir los procesos de anoxia del verano, mientras una zona amplia (variable según el flujo del río) es anóxica varios meses al año, cuando el caudal es inferior a $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

También cabe destacar la irregularidad de la concentración de los nutrientes disueltos y particulados del río, lo que hace difícil generalizar. No existe tampoco ninguna correlación con el caudal del río como muestran otros autores para ríos de características similares. Las diferencias entre las cuatro estaciones de superficie no son significativas, es decir, aparte del proceso de sedimentación y cambio relacionado con los cambios de salinidad, no hay consumo o aportes importantes en el tramo del río estudiado. La dinámica de los nutrientes viene fijada por las características que adquiere el río después de su regulación en los embalses de Mequenza y Ribarroja.

La mayor parte de la concentración de carbono y nitrógeno que llegan al Mediterráneo transportados por el río Ebro lo hacen en las formas disueltas, mientras en el caso del Fósforo la concentración de la forma particulada puede ser más importante que la disuelta, especialmente en verano. Las concentraciones medias anuales son diferentes entre los dos años y una descarga total anual mayor, como ocurre en 1987, no implica un mayor transporte de nutrientes.

La descarga anual de C orgánico total ha sido calculada para muchos ríos de todo el mundo. Según una aproximación de Schlesinger y Melack (1981) el trans-

porte de carbono orgánico para el río Ebro debería ser del orden de 10000 Tm por año, valor que es inferior al que hemos calculado durante el período estudiado (46000 Tm por año). La eutrofia del río puede ser responsable de esta diferencia.

Bibliografía

- ARIKAN, A. (1988). Wateq-Basica revision of wateqf for IBM personal computers. *Ground water*, 26, 2.
- EL-HABR, H. & GOLTERMAN, H.L. (1983). Input of nutrients and suspended matter into the Golfe du Lion and the Camargue by the river Rhône. *Sciences de l'eau*, 6: 393-402.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. & KREMLING, K. (1983). *Methods of seawater analysis*. (2nd ed.) Verlag Chemie GMBH. Weinheim.
- JACKSON, R.H.; WILLIAMS, P.J. le B. & JOINT, I.R. (1987). Freshwater phytoplankton in the low salinity region of the river Tamar estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 25: 299-311.
- MUÑOZ, I. & PRAT, N. (1988). Effects of river regulation on the lower Ebro river (NE Spain). *Regulated rivers* (en prensa).
- NICHOLS, F.H.; CLOERN, J.E.; LUOMA, S.N. & PETERSON, D.H. (1986). The modification of an estuary. *Science*, 231: 567-573.
- PRAT, N.; MUÑOZ, I.; CAMP, J.; COMÍN, F.A.; LUCENA, J.R.; ROMERO, J. & VIDAL, M. (1987). Seasonal changes in particulate organic carbon and nitrogen in the river and drainage channels of the Ebro Delta. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24.
- PRAT, N.; CAMP, J.; COMÍN, F.A.; LUCENA, J.R.; MUÑOZ, I.; ROMERO, J. & VIDAL, J. (1988). Nitrogen fluxes in the Ebro Delta (NE Spain) aquatic systems. *Proc. Int. Symp. on Hydrology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions*, 139-142. Junta Andalucía. Ag. Medio Ambiente. Sevilla.
- SALJOT, A.; LORRE, A.; MARTY, J.C.; SCRIBE, P.; TRONCZYNSKI, J.; MEYBECK, M. et al. (1984). Biogéochimie de la matière organique en milieu estuarien: stratégies d'échantillonnage et de recherche élaborées en Loire (France). *Oceanol. acta*, 7 (2): 191-207.
- SCHLESINGER, W.H. & MELACK, J.M. (1981). Transport of organic carbon in the world's rivers. *Tellus*, 33: 172-187.
- TOJA, J.; LÓPEZ, T.; GUISANDE, C. & BRIEVA, C. (1986). Ecología del estuario del río Guadalquivir. *II Simposio sobre el agua en Andalucía*, 523-532.
- VERDAGUER, A.; SERRA, J. & CANALS, M. (1985). L'interaction fluviale et marine dans le cours inférieur de l'Ebre: conséquences sedimentologiques. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29 (2): 185-187.
- WARD, L.G. & TWILLEY, R.R. (1986). Seasonal distributions of suspended particulate material and dissolved nutrients in a coastal plain estuary. *Estuaries*, 9: 156-168.