

ESTADO TRÓFICO DEL RÍO PALMONES

*Antonio Avilés Benítez / Sonia Moreno Corrales / Laura Palomo Ríos
María Carrasco Sierra / Ricardo Figueroa / F. Xavier Niell Castanera*

Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga

RESUMEN

El río Palmones es un buen ejemplo de cuenca de pequeño tamaño, característica que comparte con la totalidad de cursos fluviales del Campo de Gibraltar. Durante más de dos años se tomaron ocho muestreos en diez estaciones representativas, con el fin de poder caracterizar el estado trófico este río. A los aportes de nutrientes procedentes de la litología de la cuenca y de la lluvia, hay que sumarle el efecto que tiene la intensa actividad humana en el curso medio-bajo, con vertidos puntuales de aguas residuales urbanas e industriales y otros vertidos difusos derivados de las explotaciones agrícolas. Todas estas causas, condicionan el estado trófico del río Palmones como eutrófico en general y hipereutrófico en las estaciones más próximas a la desembocadura.

ABSTRACT

Palmones river is a well example of small catchment area, main characteristic of the south Spain rivers. Eight sampling date were taking at ten different stations during more than two years, in order to characterized the trophic level of Palmones river. The principal sources of nutrients to this catchment are the lithology and the rain precipitation, link to the great anthropogenical activities in the medium-lower part of the river (wastewater, industrial activities, agriculture...). All these factors make the Palmones river as eutrophic in general and hypertrophic in the stations near the mouth.

Key words: Eutrophication; nutrients; Palmones river

INTRODUCCIÓN

Los ríos, además de ser sistemas que transportan al mar agua y sustancias disueltas y en suspensión, albergan numerosas reacciones biogeoquímicas, alterando a lo largo de todo su recorrido las características del agua y de los compuestos que transporta. Se caracterizan por ser sistemas bajo tensión, manteniendo un ciclo relativamente acelerado y estar sobrealimentados, exportando parte de sus materiales hacia el mar. Son sistemas que se pueden considerar eutróficos; afectados por procesos de deriva y explotación aguas arriba y por acumulación de materiales aguas abajo (Margalef, 1983).

Para conocer el estado trófico de un sistema, se ha de tener en cuenta variables biológicas, así como aquellas variables químicas que condicionan en mayor o menor grado la producción y respiración del sistema, destacando en este apartado los nutrientes limitantes (fósforo y nitrógeno).

La importancia del fósforo, radica en que está considerado como el nutriente limitante de la producción primaria en aguas dulces (Margalef, 1991), siendo el nitrógeno el segundo nutriente en importancia en los ríos (pudiendo ser el limitante en estuarios) y al igual que el fosfato, su concentración depende de un gran número de procesos. En los ríos y estuarios, la dinámica de estos nutrientes en el agua superficial está influenciada por una gran cantidad de procesos, destacando: la naturaleza litológica de la cuenca, hidrología, efectos antropogénicos, interacciones con los organismos y los procesos de intercambio con el sedimento (e.g. Wood *et al.*, 1984; Clavero *et al.*, 1991; 1999; 2000; Fernández *et al.*, 1997; House & Denison, 1997).

El río Palmones, debido al reducido tamaño de su cuenca, a la climatología impredecible de la zona y a la existencia de espacios naturales bien conservados con otros sometidos a una importante presión antropogénica, hacen de este río un buen ejemplo para la realización de estudios biogeoquímicos.

El presente estudio pretende caracterizar el estado trófico de toda la cuenca del río Palmones, prestando especial atención a las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua superficial.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El río Palmones se localiza en el SE de la provincia de Cádiz, con una longitud total de 42'3km y una cuenca de recepción de 302km². Nace en la sierra de Montecoche en el alto de las Presillas, desembocando en la bahía de Algeciras, entre la pedanía de Palmones (Los Barrios) y Algeciras. El río, se encuentra regulado por la presa del embalse de Charco Redondo, ubicada a unos 23km de su desembocadura. Construida a mitad de los ochenta, recoge el agua de un tercio del total de la cuenca. Otra estructura reguladora es el azud presente en la zona baja del río a 5'6km de la desembocadura. Esta estructura frena bruscamente el ascenso de agua salina, afectando al desarrollo del estuario.

Muestreos y técnicas analíticas

Para la elaboración de este estudio, se eligieron un total de diez estaciones distribuidas a lo largo del cauce principal del río Palmones y del arroyo del Tiradero. Las siete primeras son estaciones dulceaquícolas, mientras que las tres últimas se localizaron en el estuario (Figura 1). La estación 1 se sitúa en la zona alta del río a 7km del nacimiento en el Parque Natural Los Alcornocales. La estación 2 se localiza a 3km de la estación anterior y a menos de 1km de la cola del embalse de Charco Redondo, estando la estación 3 a menos de 200 metros, aguas abajo de la presa de Charco Redondo. La estación 4 se tomó en el arroyo del Tiradero, a 2km de la unión con el río Palmones y a 4km de la estación siguiente (E5). La estación 6 está aguas arriba

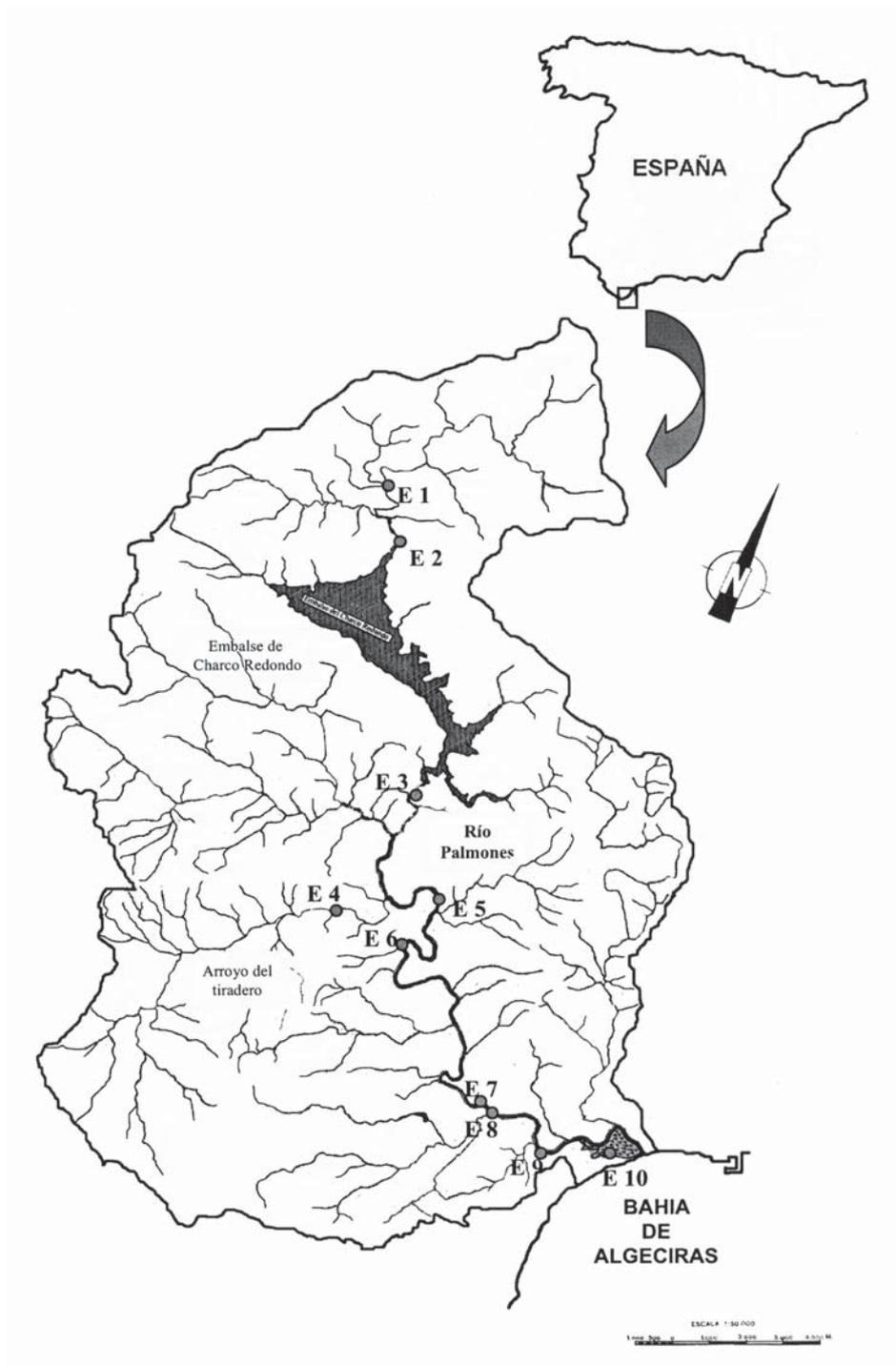


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Palmones, incluida las estaciones de muestreo.

del pueblo de Los Barrios, a 3km de la estación anterior. La estación 7 es la última estación de agua dulce. Ésta se localiza entre el punto de vertido de la depuradora de Los Barrios y el estuario, justo unos metros antes del azud de CELUPAL. La estación 8 es la primera tomada en el estuario, a unos metros del azud. En la zona media del estuario se localiza la estación 9, justo debajo del puente de la carretera N-340 y a pocos metros del punto de vertido de la depuradora de El Acebuchal. Por último, la estación 10 se tomó próxima a la desembocadura en el margen derecho del cauce principal en el Canchón de las Conchas.

Se realizaron un total de ocho muestreos en un periodo de más de dos años, desde abril de 1999 a junio de 2001, incluyendo muestreos estacionales y otros tomados tras fuertes precipitaciones.

Para el análisis de las variables del agua superficial, se tomó el agua a pocos centímetros de la superficie en todas las estaciones. El agua, recogida en botes de polietileno, era colocada en neveras refrigeradas hasta la llegada al laboratorio. Posteriormente, se filtraba usando filtros Whatman GF/F congelándose parte del volumen de agua, así como los filtros, hasta su posterior análisis.

El caudal se estimó tomando la anchura y profundidad media, multiplicando la sección por la velocidad de la corriente que se midió usando un molinete modelo 2030 General Oceanic. Para la determinación de fosfato, se empleó el método del verde malaquita (Fernández *et al.*, 1985) en su versión automatizada, empleando un autoanalizador Technicon AAII. El fósforo total se analizó empleando el mismo método del verde malaquita, con la diferencia de tener que realizarse previamente una digestión con nítrico-perclórico. El nitrato se determinó empleando un autoanalizador de flujo automatizado BRAN & LUEBBE Technicon TRACCS 800 según el *Industrial method N° 818-87T* basado en Shinn (1941) y las concentraciones de amonio se obtuvieron con el mismo autoanalizador empleado para la medida de nitrato, utilizando el *Industrial method N° 786-86T* basado en Slawyk & MacIsaac (1972). Al material recogido en los filtros se le determinó la concentración de clorofila *a*, midiendo la absorbancia de las muestras a 664.5nm con un espectrofotómetro (Beckman DU-7).

RESULTADOS

El caudal es, sin duda, la variable más determinante para comprender el funcionamiento de un sistema fluvial. Los cambios del caudal observados a lo largo de todo el periodo de muestreo en todas las estaciones, se explican atendiendo a la variabilidad de las precipitaciones recogidas en la zona y a la escasa predictibilidad de éstas (Figura 2), existiendo claras diferencias entre verano y otoño-invierno y entre el caudal medido en un mismo mes en diferentes años (e.g. mes de mayo). Estos cambios en el régimen de caudales junto a variaciones estacionales de temperatura e irradiancia solar, producen importantes cambios en las concentraciones de los principales nutrientes en el agua superficial. Así, en la figura 3, se muestra las concentraciones de amonio en los diferentes muestreos y estaciones. Las concentraciones en las seis primeras estaciones, presentaron valores inferiores a $200\mu\text{mol l}^{-1}$ en todos los casos, seguido de un fuerte incremento en la estación 7, con valores superiores a $120\mu\text{mol l}^{-1}$. En el estuario, representado con diferente escala, las concentraciones de amonio fueron superiores a las obtenidas en las estaciones de agua dulce, con un máximo generalizado en la estación media del estuario, donde se llegaron a alcanzar valores próximos a $3.000\mu\text{mol l}^{-1}$.

En general, las concentraciones de los nutrientes y del contenido de clorofila *a*, presentaron similares tendencias, con máximos en la última estación de agua dulce y en las tres del estuario (Tabla 1). Las concentraciones medias de fosfato y amonio presentaron diferencias de más de dos órdenes de magnitud, con valores de fosfato y amonio de 0.27 a $1770\mu\text{mol l}^{-1}$ y de 1.34 a $6852\mu\text{mol l}^{-1}$, respectivamente. Las concentraciones de fósforo total, fueron en todos los casos superiores a

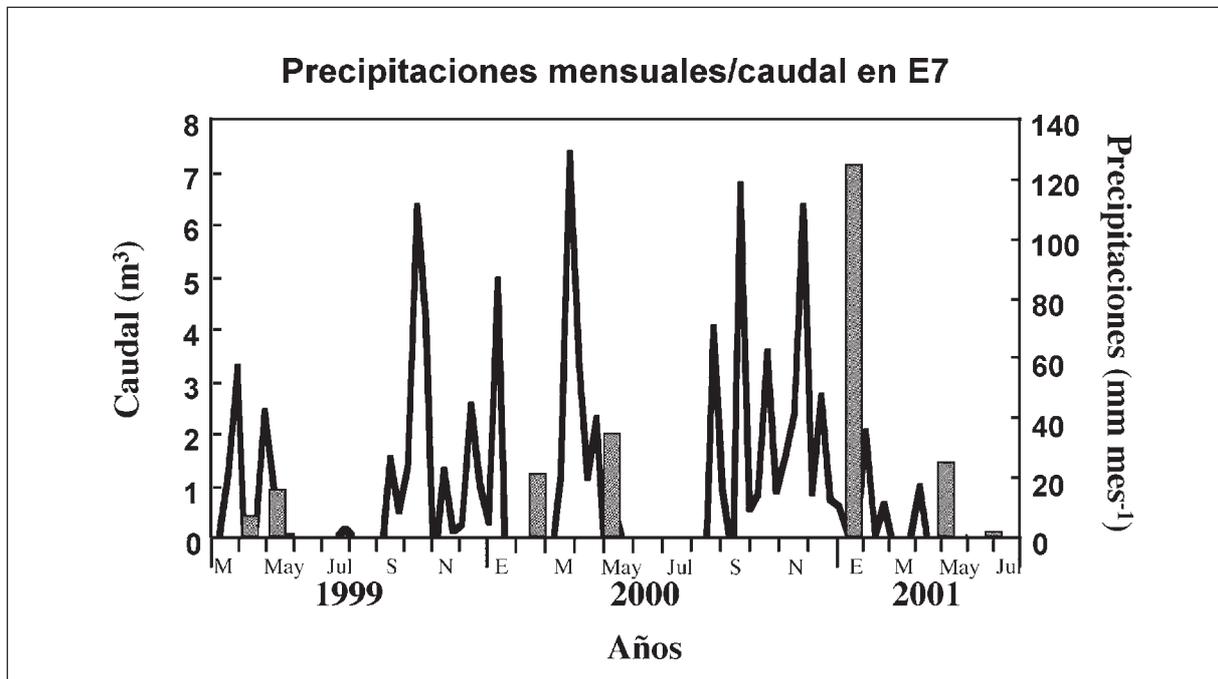


Figura 2. Precipitaciones mensuales en la cuenca del río Palmones y caudal del río en la estación 7.

$1.5 \mu\text{mol l}^{-1}$. Sólo las concentraciones medias de nitrato en el curso medio, fueron altas en casi todas las estaciones, con valores similares a los obtenidos en el estuario. La clorofila *a*, como indicador de la actividad fitoplanctónica en el agua superficial, presentó concentraciones medias excepcionalmente altas en las estaciones 7, 8 y 9, con valores superiores a $28 \mu\text{g l}^{-1}$.

A pesar de las diferencias temporales tan altas existentes en todas las variables tróficas analizadas, con desviaciones del mismo orden de magnitud que los valores medios, se aprecia una clara heterogeneidad espacial. Salvo excepciones (e.g. valores altos de nitrato en las estaciones 3, 5 y 6), las concentraciones en las seis primeras estaciones son inferiores a las obtenidas en las cuatro últimas.

Estación ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Cl <i>a</i> ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	Fosfato ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	Fósforo total ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	NO_3^- ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	NH_4^+
E 1	4.33±9.34	0.28±0.15	1.81±0.81	0.84±1.18	3.22±3.60
E 2	1.64±2.45	0.27±0.16	1.57±0.70	1.72±2.49	1.34±1.57
E 3	4.39±3.58	0.27±0.17	2.42±0.83	14.40±10.11	3.93±1.72
E 4	1.28±1.19	0.32±0.17	2.12±1.18	6.70±5.05	3.24±3.10
E 5	14.51±35.48	0.83±1.24	3.22±1.74	17.60±8.12	3.68±3.04
E 6	3.03±3.24	0.36±0.20	3.04±1.58	18.81±13.51	4.16±3.05
E 7	41.34±38.33	3.40±3.70	14.63±11.84	15.36±11.61	68.81±48.83
E 8	28.36±28.33	4.18±2.81	9.68±3.91	15.25±10.92	53.49±40.78
E 9	29.38±24.91	17.70±16.49	41.73±25.87	11.08±7.01	685.2±1020.2
E 10	7.92±5.80	12.58±9.95	19.33±10.88	27.47±18.66	50.55±44.32

Tabla 1. Concentraciones medias de clorofila *a* y de los principales nutrientes en el agua superficial del río Palmones.

DISCUSIÓN

Según Boulton & Suter (1986), las zonas áridas y semiáridas se caracterizan hidrológicamente por poseer un sistema de drenaje formado principalmente por cauces temporales que fluyen intermitentemente. Sin embargo, en este caso, dada la disposición del río en el Campo de Gibraltar, a caballo entre el Atlántico y el Mediterráneo, éste presenta un patrón de caudales intermedio entre los ríos propiamente mediterráneos (típicos de zonas áridas o semiáridas) y los atlánticos (ríos con caudales más constantes). La variabilidad estacional tan alta existente en el río Palmones, hace que sea imposible abordar cualquier estudio de caracterización físico-química o trófica de este sistema sin tener una gran cantidad de datos tomados en diferentes fechas del año. Existen numerosos trabajos que relacionan las concentraciones de las principales variables físico-químicas del agua y el caudal existente (e.g. Webb & Walling, 1983; Muraoka & Hirata, 1989; House & Warwick, 1998). Así, Avilés (2002) presenta una relación inversa entre el caudal y el contenido en sales en el río Palmones, obteniéndose los máximos en los muestreos estivales. Estas relaciones estacionales, sin embargo, no se obtuvieron de manera tan clara en los nutrientes, debido a la mayor complejidad de los procesos en los que éstos intervienen.

La clorofila *a*, presentó correlaciones significativas de signo positivo con el amonio y fosfato, siendo éstos por tanto, los que rigen el metabolismo del sistema (Avilés, 2002). En la figura 4, se presenta un esquema que explica las relaciones existentes entre los nutrientes y el fitoplancton. Las relaciones positivas obtenidas entre los nutrientes y la *Chl. a*, indica que un incremento en la concentración de los nutrientes, produce un aumento de la producción primaria, incrementándose la eutrofización del sistema. Mientras que un descenso de los nutrientes, ya sea por reducciones en los vertidos o por agotamiento por consumo fitoplanctónico, conlleva una disminución de los valores de clorofila, pasando el sistema a unas condiciones más oligotróficas.

Los nutrientes de los sistemas acuáticos proceden fundamentalmente de tres fuentes externas: la interacción con la litología de la zona, la atmósfera y las actividades antropogénicas (Prairie & Kalff, 1988; Holloway *et al.*, 1998). Las concentraciones medias de fosfato, nitrato y amonio recogidas en el agua de lluvia durante el periodo de muestreo fueron de 0'5, 8'0 y 1'9 $\mu\text{mol l}^{-1}$, respectivamente. Estos valores son parecidos a los obtenidos en las primeras estaciones, con lo que se puede concluir que las precipitaciones son la principal fuente de nutrientes en la zona alta de la cuenca, seguida de las interacciones con la litología. El efecto antropogénico sobre las variables tróficas en el río Palmones, es evidente con el embalse de Charco Redondo y los puntos de muestreo de las depuradoras de Los Barrios y de El Acebuchal. El primero, además de reducir considerablemente el caudal tras la presa, incrementa el contenido de nitrato en más de seis veces, con respecto a las concentraciones obtenidas en la estación anterior al embalse. Sin embargo, el efecto más claro de la presión antropogénica, se observa en aquellas estaciones tomadas tras puntos de vertido (E 7 y E 9), donde se alcanzaron las mayores concentraciones de fosfato y amonio (Tabla 1). El vertido de aguas residuales, con concentraciones medias de estos nutrientes superiores a 50 y 1.600 $\mu\text{mol l}^{-1}$ de fosfato y amonio, respectivamente; es sin duda la fuente alóctona que más cantidad de estos nutrientes aporta al sistema, aunque sea en puntos muy localizados. Si a esto le sumamos el efecto que el fosfato y el amonio tienen como limitantes de la producción primaria y bacteriana en ríos (e.g. Horner & Welch, 1981; Stanley & Hobbie, 1981; Hart & Robinson, 1990), los vertidos de aguas residuales se presentan como el principal agente regulador del estado trófico en la zona baja de la cuenca.

Los estuarios son zonas de acumulación ricas en nutrientes, debido a los aportes procedentes del río y del mar. Sin embargo, apenas se obtuvieron diferencias entre las estaciones anterior y posterior al azud de CELUPAL, lo que pone de manifiesto el efecto tan importante que depuradora de Los Barrios tiene en el estado trófico de la zona baja del río, haciendo que sea la estación 7 tan rica en nutrientes como las estaciones del estuario.

Según Vollenweider (1968), un lago se considera eutrófico si la concentración de fósforo total es mayor de $0.97 \mu\text{mol l}^{-1}$ y hipereutrófico si supera $3.22 \mu\text{mol l}^{-1}$. Si bien, las concentraciones de los nutrientes son más elevadas en sistemas lóticos, ¿dónde establecer los límites tróficos en dichos sistemas acuáticos? Aunque estos límites sean cuestionables, sin duda las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo totales existentes, permiten considerar al río Palmones como eutrófico en todo su cauce, con valores de hipereutrófia en la estación 7 y en las estaciones del estuario.

BIBLIOGRAFÍA

- AVILÉS A. "El papel del sector fluvial en la biogeoquímica del río Palmones". Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, (2002), pp. 191.
- BECERRA J. "Fósforo y abundancia fitoplanctónica en el atlántico oriental (trayecto AMT-6: 33°S-42°N)". Tesis de Licenciatura, Universidad de Málaga, (2001), pp. 97.
- BOULTON A. J. y P. J. Suter. "Ecology of a temporary streams. An Australian perspective". *Limnology in Australia* (Decker P. & W.D. Williams, eds) 313-327. CSIRO/ Dr. Junk. Melbourne, (1986).
- CLAVERO V., J. A. Fernández y F. X. Niell. "Effects of *Nereis Diversicolor* (O. F. Muller) abundance on the dissolved phosphate exchange between sediments and overlying water in Palmones River estuary (Southern Spain)". *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 33 (1991), pp. 193-202.
- CLAVERO V., F. X. Niell y J. A. Fernández. "The influence of tidal regime on the phosphate accumulation in a shallow small estuary (Palmones River, southern Spain)". *Sci. Mar.*, 61 (1997), pp. 37-43.
- CLAVERO V., J. J. Izquierdo, J. A. Fernández y F. X. Niell. "Influence of bacterial density on the exchange of phosphate between sediment and overlying water". *Hydrobiologia*, 392 (1999), pp. 55-63.
- CLAVERO V., J. J. Izquierdo, J. A. Fernández y F. X. Niell. "Seasonal fluxes of phosphate and ammonium across the sediment-water interface in a shallow small estuary (Palmones River, southern Spain)". *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 198 (2000), pp. 51-60.
- FERNÁNDEZ J. A., F. X. Niell y J. Lucena. "A rapid and sensitive automated determination of phosphate in natural waters". *Limnol. Oceanogr.*, 30 (1985), pp. 227-230.
- HART D.D. y C. T. Robinson. "Resource limitation in a stream community: phosphorus enrichment effects on periphyton and grazers". *Ecology*, 71 (1990), pp. 1494-1502.
- HOLLOWAY J. M., R. A. Dahlgren, B. Hansen y W. H. Casey. "Contribution of bedrock nitrogen to high nitrate concentrations in stream water". *Nature*, 395 (1998), pp. 785-788.
- HORNER R. R. y E. W. Welch. "Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients". *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38 (1981), pp. 449-457.
- HOUSE W. A. y F. H. Denison. "Nutrient dynamics in a lowland stream impacted by sweater effluent: Great Ouse, England". *Sci. Total Environ.*, 205 (1997), pp. 25-49.
- HOUSE W. A. y M. S. Warwick. "Hysteresis of the solute concentration/discharge relationship in rivers during storms". *Wat. Res.*, 8 (1998), pp. 2279-2290.
- LOICZ. "Implementation plan". J.C. Peretta & J.D. Willians(eds), (1995). Report nº 33.
- MARGALEF R. "Limnología". Omega, Barcelona, (1983), PP. 1010.
- MARGALEF R. "Ecología". Ediciones Omega. Barcelona, (1991).
- MURAOKA K. y T. Hirata. "Streamwater chemistry during rainfall events in a forested basin". *J. Hydrol.*, 102 (1988), pp. 235-249.
- PRAIRIE Y. T. y J. Kalf. "Dissolved phosphorus dynamics in headwater streams". *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45 (1988), pp. 210-215.
- SHINN J. A. "Ind. Eng. Chem.". (Annual edition), 13:33. En Stricklan J.D.H. and Parson T.R. A practical approach handbook of seawater analysis. Ottawa. *Fish. Res. Bd. Can.*, (1941), pp. 310.
- SLAWYK G. y J. J. MacIsaac. "Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling". *Deep-Sea Res.*, 19 (1972), pp. 521-524.
- STANLEY D. W. y J. E. Hobbie. "Nitrogen recycling in a North Carolina coastal river". *Limnol Oceanog.*, 26 (1981), pp. 30-42.
- VOLLENWEIDER R. A. "Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication". *Rep. Organization for economic cooperation and development DAS/CSI*. Paris. 68.27 (1968), pp. 192.
- WEBB B. W. y D. E. Walling. "Stream solute behaviour in the river Exc basin, Devon, UK". *Dissolved loads of rivers and surface water quantity/quality relationships* (proceedings of the Hamburg Symposium, August, 1983). International Association of Hydrological Sciences Publication. Wallingford, UK, 141 (1983), pp. 153-169.
- WOOD T., F. H. Bormann y G. K. Voigt. "Phosphorus cycling in a northern hardwood forest: biological and chemical control". *Science*, 223 (1984), pp. 391-393.