

LA PRESA DE CELUPAL. SU IMPORTANCIA EN EL CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN DEL ESTUARIO DEL RÍO PALMONES

Antonio Avilés / Doctor en Biología. Gerente de la empresa SOCEAMB S.L.

F. Xavier Niell / Doctor en Biología. Catedrático de la Universidad de Málaga.

RESUMEN

Durante más de dos años se ha llevado a cabo en la zona baja del río Palmones, un estudio para caracterizar y cuantificar el efecto de una pequeña presa (presa de Celupal) en el control de los flujos de nutrientes al estuario. Los resultados muestran importantes cambios estacionales, asociados fundamentalmente, al régimen de precipitaciones-caudales, a los vertidos de aguas residuales de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Los Barrios y a la abundancia de fitoplancton.

Durante el periodo de muestreo, la presa redujo de media más del 25 % del fósforo total (TP) que llega a la zona represada desde los tramos medios y altos del río y la EDAR, alcanzando durante los meses de verano reducciones superiores al 55 % de TP y próximos al 80 % de nitrógeno total (TN).

De toda la carga de nutrientes que exporta el río Palmones a su estuario a través de la presa de Celupal, durante los meses de verano sólo exporta un 10 %, mientras que en un par de meses de fuertes precipitaciones a lo largo del periodo de muestreo exportó hasta el 65 % de todo el nitrógeno total.

En general, se puede concluir que la presa de Celupal tiene una gran importancia, actuando como un gran acumulador de nutrientes que impide que éstos lleguen al estuario durante los meses de verano (reduciendo la eutrofización del sistema) y contribuyendo a su liberación (incluso fuera del estuario) durante las avenidas.

Palabras Clave: Eutrofización, nutrientes, presa Celupal, río Palmones

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras en todo el mundo, sobre todo los estuarios, se ven sometidas cada vez más a presiones antrópicas que producen un incremento de la eutrofización y la reducción de la calidad ambiental de dichas zonas.

Los procesos que ocurren en los estuarios tienen una gran importancia desde el punto de vista ecológico, geoquímico, económico y recreativo (Zwolsman, 1994). Esto ha propiciado que en las últimas décadas se incremente el interés por caracterizar estos espacios y cuantificar las cargas de nutrientes que les llegan (e.g. Nedwell *et al.*, 2002; Avilés & Niell, 2007).

Algunos trabajos han probado la importancia de las marismas y pequeñas presas en la reducción de nutrientes y sólidos en suspensión, al actuar como trampas (e.g. Paul *et al.*, 1998; McKergow *et al.*, 2003). En ambos casos, se produce un incremento importante en el tiempo de retención hidráulico (HRT) que aumenta la sedimentación de partículas, favorece la interacción entre el agua y el sedimento e incrementa la retirada de nutrientes del agua por parte de los organismos.

En el ámbito local del Campo de Gibraltar, existe una pequeña presa en la parte baja del río Palmones (presa de Celupal) que actúa como una barrera para el agua salobre del estuario, permitiendo sólo la descarga de agua dulce. Esta presa ha propiciado el embalsamiento de una gran masa de agua que incrementa notablemente el HRT y por tanto, la posibilidad de retirar nutrientes del agua. Además, en esta zona embalsada es donde vierte sus aguas la depuradora de aguas residuales (EDAR) de los Barrios, produciendo importantes cambios en las características del agua y sedimento (Avilés, 2002).

La hidrología del río Palmones se caracteriza por un caudal escaso durante la mayor parte del año, con cortos periodos de intenso caudal (avenidas). Los caudales en verano pueden hacerse prácticamente nulos, mientras que los de la depuradora se incrementan por el efecto del turismo estival.

Desde hace unos años, se está contemplando la posibilidad de quitar la presa de Celupal y permitir que la marea llegue más arriba, volviendo el sistema a un estado más natural, que incrementa el prisma de marea y por tanto, el volumen de agua de mar que penetra en el estuario.

Tres son los objetivos prioritarios de este trabajo: a) caracterizar el agua y sedimento de la zona embalsada, b) el efecto de la presa dentro del balance de nutrientes del sistema y c) las posibles consecuencias que produciría su eliminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

En 1955 se construye la presa de Celupal a 5,5 Km de la desembocadura del río Palmones con el propósito de suplir de agua dulce una planta de tratamiento de papel. Hoy en día, a pesar de que ha dejado de tener dicha utilidad, sigue impidiendo el ascenso natural del agua de mar, permitiendo solo el vertido de agua del río al estuario. Aguas arriba de la presa, se ha producido el embalsamiento de una gran cantidad de agua con un volumen de 0,21 Hm³, una longitud aproximada de 8,6 Km y una anchura media de 30 m, lo que le otorga las dimensiones suficientes para ser considerado como un pequeño embalse (tabla 1). Además, en esta agua embalsada se produce el vertido de aguas residuales de la EDAR de los Barrios.

Pendiente media (%)	0,15
Longitud (km)	8,6
Anchura media (m)	32
Profundidad media (m)	0,75
Volumen embalsado (Hm ³)	0,21
Caudal del río (m ³ s ⁻¹)	0,0 – 57,8
Tiempo de retención hidráulico (h)	1 - >1,000

Tabla 1.- Algunos datos de la masa de agua embalsada.

Muestras y técnicas analíticas

La estrategia de muestreo seguida para la realización de este trabajo, se basó en la cuantificación y caracterización “aguas arriba – aguas abajo” de los nutrientes del agua y sedimento, para lo cual se tomaron tres estaciones (figura 1). El punto 1 (St.1) se localizó aguas arriba de la zona embalsada, actuando como punto de control y permitiendo cuantificar las entradas de nutrientes desde el curso medio del río. El segundo punto (St. 2) se encuentra en la zona embalsada a pocos metros de la presa. Este punto se empleó para caracterizar el agua embalsada tras la EDAR y cuantificar el vertido de agua del río al estuario. Y por último, St.3 que se tomó a pocos metros aguas abajo de la presa.

Desde abril de 1999 a mayo de 2001 se realizaron 8 toma de muestras con una frecuencia de muestreo condicionada por el caudal del río. La estimación de los aportes de nutrientes procedentes de la EDAR de los Barrios, se basó en los datos suministrados por la Delegación de Medio Ambiente de Cádiz.

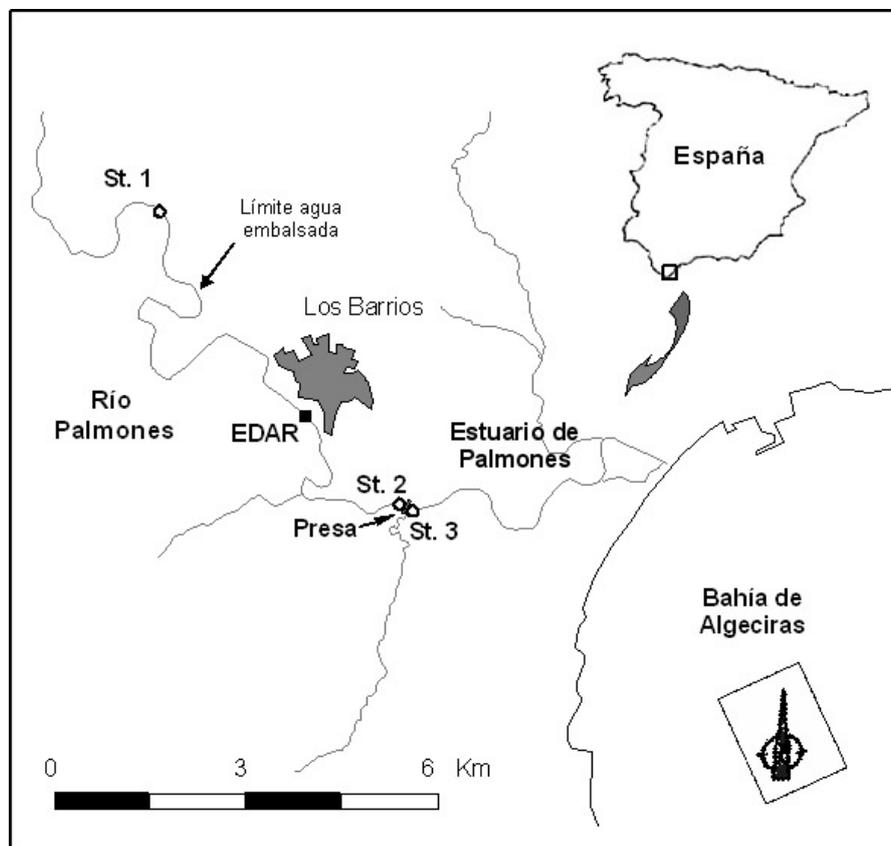


Figura 1.- Mapa de la zona baja del río Palmones con la localización de las estaciones de muestreo.

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 sedimento se tomó en cada uno de los puntos empleando cores para mantener su estructura vertical.

El caudal se estimó 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. El fósforo total se analizó empleando el mismo método, con la diferencia de tener que realizarse previamente una digestión con nítrico-perclórico. El nitrato y nitrito se determinaron empleando un autoanizador de flujo automatizado (Shinn, 1941) y las concentraciones de amonio se obtuvieron con el mismo autoanizador (Slawyk & MacIsaac, 1972). Al material recogido en los filtros se le determinó la concentración de clorofila a, midiendo la absorbancia de las muestras a 664.5 nm con un espectrofotómetro (Beckman DU-7).

Para las fracciones de fósforo del sedimento se empleó el protocolo propuesto por (Pardo *et al.*, 1999), mientras que el nitrógeno total se obtuvo por combustión en un autoanalizador Parking Elmer modelo 2400 °C. La materia orgánica se determinó por diferencia de peso tras su ignición en una mufla a 500 °C durante 3 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El río Palmones está sometido a importantes cambios en su caudal, asociados a cortos intervalos de intensas precipitaciones y a largos periodos de estiaje que condicionan notablemente las características del agua y del sedimento. En la figura 2, se representa las concentraciones de los principales nutrientes (fosfato, nitrato y amonio) frente a los caudales obtenidos en la estación St. 2.

Los resultados muestran una gran variabilidad estacional con mínimos estivales y máximos asociados a caudales más altos y en meses menos favorables para el crecimiento del fitoplancton, lo cual refleja la importancia de estos organismos en la concentración (y por tanto carga) de nutrientes.

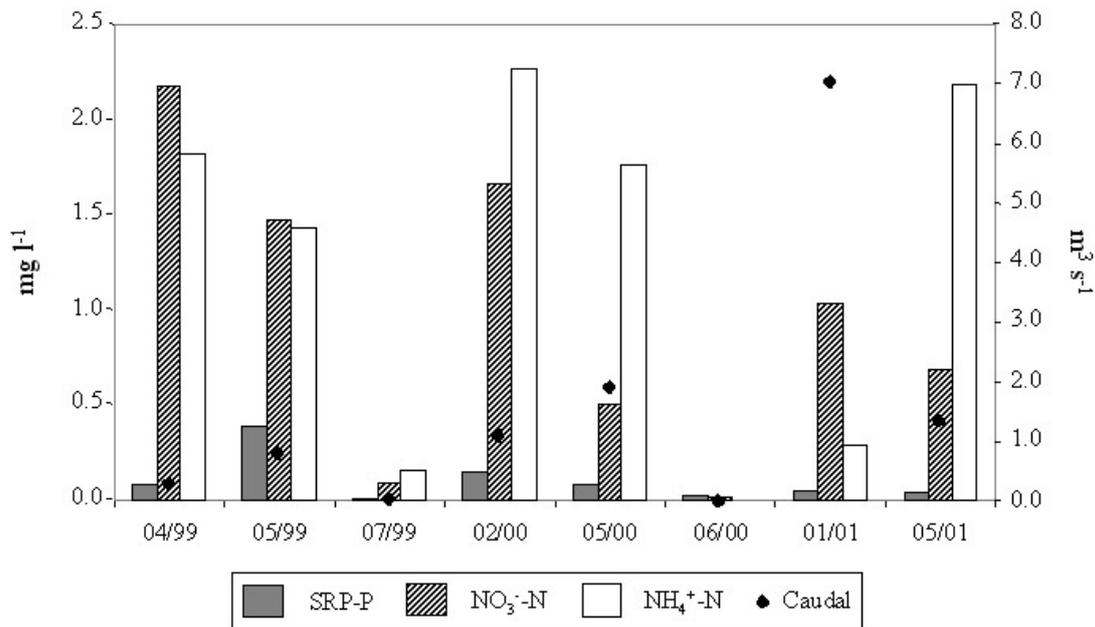


Figura 2.- Variación estacional del caudal y las concentraciones de fosfato, nitrato y amonio en la estación St. 2.

Esta relación entre la concentración de nutrientes y el caudal, se explica mejor atendiendo al tiempo de retención hidráulica (HRT). Esta variable depende de los caudales de entrada y salida y del volumen de la masa de agua embalsada. Por tanto, a mayores caudales, menor tiempo para retirar nutrientes por los microorganismos, interaccionar con el sedimento y favorecer la sedimentación de los sólidos en suspensión y las formas particuladas de los nutrientes. Al hacer una correlación entre las variables, comprobamos que el HRT está significativa y directamente correlacionado con las formas particuladas de fósforo (TPP) y nitrógeno (TPN) y especialmente con la concentración de fitoplancton.

Los máximos de clorofila a obtenidos en St. 9 (98,2 $\mu\text{g l}^{-1}$) se registraron en junio de 2000, coincidiendo con un escaso caudal, elevada temperatura y altas dosis de radiación lumínica (Avilés & Niell, 2007). Sin embargo, había que comprobar si esos altos valores (comparables con sistemas tan eutróficos como la Albufera de Valencia) se registraban en toda la masa de agua embalsada o por el contrario, estaban condicionados por el vertido de la EDAR de los Barrios.

El estudio del contenido en nutrientes y clorofila a en la zona embalsada (figura 3) mostró que las concentraciones antes del punto de vertido de la EDAR de los Barrios eran prácticamente indetectables y a los pocos metros del vertido, se habían incrementado en más de un orden de magnitud, alcanzando concentraciones de clorofila a de 230 $\mu\text{g l}^{-1}$ o de nitrato de 0,68 mg l^{-1} . Los resultados también probaron el gran efecto depurador de la presa de Celupal, al obtenerse en St. 2 concentraciones similares a las existentes antes del vertido (salvo para la clorofila a). Esta gráfica permite imaginar fácilmente el efecto de estos vertidos sin la existencia de la presa. Prácticamente, todos los nutrientes y materia orgánica alcanzarían el estuario del río Palmones en unas tres horas desde el vertido, incrementando la eutrofización del sistema y la aparición de blooms de dinoflagelados (mareas rojas).

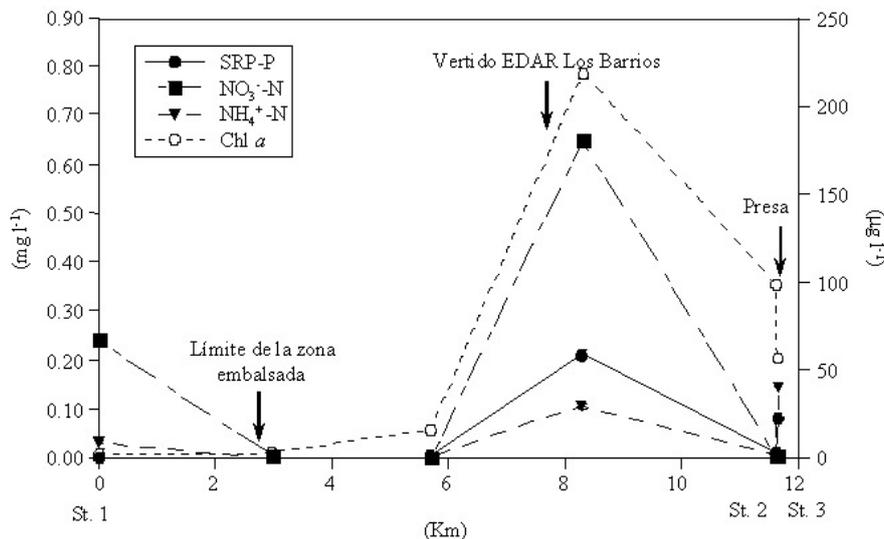


Figura 3.- Variabilidad espacial de las concentraciones de fosfato, nitrato, amonio y clorofila a en la masa de agua embalsada durante el muestreo de junio de 2000.

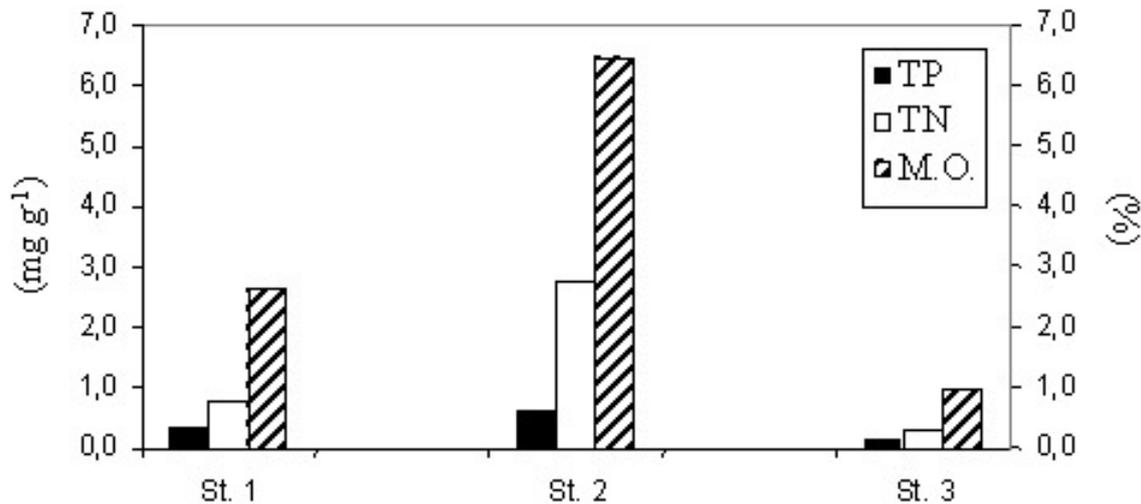


Figura 4.- Heterogeneidad espacial de las concentraciones de fósforo total (TP), nitrógeno total (TN) y materia orgánica (O.M.) en el sedimento.

La concentración de nutrientes en el sedimento también muestra una variabilidad espacial entre las estaciones, con máximos en la estación St. 2 seguidos de un significativo decremento (figura 4). Así, las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y materia orgánica se multiplican por 2 a lo largo de los 8 km de longitud de la zona embalsada y con posterioridad, basta la existencia de la presa para reducir en un mayor porcentaje estas concentraciones, haciendo que en la cabecera del estuario se registren concentraciones inferiores a las existentes en St. 1.

La instalación de pequeñas presas (pre-dam) antes de embalses o cualquier otra masa de agua, tiene la finalidad de reducir la carga de nutrientes, materia orgánica y sólidos en suspensión para evitar la colmatación por sedimentos y reducir la eutrofización del sistema receptor (Paul, 2003). Este mismo autor obtiene en sus trabajos que el efecto depurador de fósforo total (TP) de estas pequeñas presas apenas alcanza el 25 % en verano y durante el resto del año, este valor es notablemente inferior.

Un resumen de la carga anual de fósforo y nitrógeno total que entra en la masa de agua embalsada por la presa de Celupal y sale por St. 2 se muestra en la tabla 2. Entre la St. 1 y la EDAR de Los barrios, al sistema embalsado le llegan 15,1 TonsP a⁻¹ de TP y 71,9 TonsN a⁻¹, mientras que por St. 2 salen 11,3 TonsP a⁻¹ de TP y 72,1 TonsN a⁻¹. Así, el porcentaje de fósforo total que se retira anualmente debido a la presa de Celupal es superior al 25 %, mientras que durante el periodo de estudio no se obtuvo una depuración neta de nitrógeno total. La depuración media obtenida para el TP, en comparación con los resultados de Paul (2003), reflejan el gran efecto depurador de esta presa. Al igual que ocurre con las características del agua a lo largo del tiempo, las cargas sufren importantes variaciones temporales. Así, en julio de 1999, la presa de Celupal redujo las cargas de TP y TN en más de un 95 %, mientras que en enero de 2000, sólo se produjo una reducción del 13% de TP e incluso, un incremento en las cargas de TN del 14%.

Durante el periodo de estudio, el río aportó al estuario una carga media al año de TP y TN de 11,3 TonsP a⁻¹ y 72,1 TonsN a⁻¹, respectivamente. A pesar de que estos valores son significativamente inferiores a los obtenidos en otras cuencas con tamaños similares (Nedwell *et al.* 2002) su efecto sobre el estuario es importante. Así, el incremento de nutrientes en el estuario de Palmones ha producido la desaparición de algas (*Gracilaria bursa-pastoris*) y poliquetos (*Hedistis diversicolor*) (Carreira *et al.*, 1995) y la drástica reducción de las capturas de especies de gran interés económico como la almeja *Venerupis decussata*.

Para comparar la variabilidad estacional de las cargas aportadas al estuario, se compara en la Tabla 3 las cargas estimadas entre junio y septiembre de los distintos años (el 31 % del tiempo total muestreado) y entre enero y abril de 2001 (apenas el 11 % del tiempo total). Así, en el primero de los intervalos, sólo se aportó al estuario el 8 y 5 % respectivamente de TP y TN, mientras que en sólo 4 meses se exportó el 23,6 % de TP y el 64,5 % de TN.

Se puede concluir que la presa de Celupal tiene una gran importancia en la regulación de las cargas de nutrientes que el río Palmones exporta al estuario, reduciendo los aportes durante los meses de verano (lo que contribuye a controlar la aparición de blooms de *Gyrodinium sp* en el estuario) y liberando grandes cantidades de nutrientes durante las avenidas, muchos de los cuales llegan a la bahía de Algeciras, saliendo fuera del sistema (Avilés & Niell, 2005).

	Inputs	Outputs	Removal
	Site 1+ STW	Site 2	%
TP (TonsP y ⁻¹)	15,1	11,3	25,2
TN (TonsN y ⁻¹)	71,9	72,1	-0,3

Tabla 2.- Porcentaje promedio anual de depuración de TP y TN por la presa de Celupal.

St. 2	Total	Bajo caudal	Alto caudal
	Tons	%	%
TP	26,3	7,7	23,6
TN	168,7	4,4	64,5

Tabla 3.- Carga total de TP y TN exportada al estuario por el río Palmones durante el periodo de estudio y porcentaje del total exportado entre los meses de junio y septiembre (bajo caudal) y en enero y abril de 2001 (alto caudal).

Agradecimientos

Esta investigación se pudo realizar gracias a los proyectos AMB99-1088 y REN2002-00340/MAR del Ministerio Español de Ciencia y Tecnología. Así mismo, quisiéramos agradecer a Eduardo Briones toda la ayuda prestada a lo largo de estos años.

BIBLIOGRAFÍA

- AVILÉS A. y F.X. Niell: "Pattern of phosphorus forms in a Mediterranean shallow estuary: Effects of flooding events", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64, (2005), pp. 786-794.
- AVILÉS A. y F.X. Niell: "The control of a small dam in nutrient inputs to a hypertrophic estuary in a Mediterranean climate", *Water Air and Soil Pollution*, 180, (2007), pp. 97-108.
- AVILÉS A.: *El papel del sector fluvial en la biogeoquímica del río Palmones*. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, (2002), pp. 191.
- CARREIRA, J.A. y otros: "Eutrophication progresses in the estuaries site at the end of small catchment areas", in P. Kamermans and P. H. Nienhuis (eds.), *Eutrophication and macrophytes*, Netherland, Kamermans and Nienhuis (1995), pp. 113-116.
- FERNÁNDEZ J.A. y otros: "A rapid and sensitive automated determination of phosphate in natural waters", *Limnology and Oceanography*, 30, (1985), pp. 227-230.
- MCKERGOW L.A. y otros: "Before and after riparian management: sediment and nutrient exports from a small agricultural catchment, Western Australia", *Journal of Hydrology*, 270, (2002), pp. 253-272.
- NEDWELL D.B. y otros: "Variation of the nutrient loads to the mainland U.K. estuaries: Correlation with catchment areas, urbanization and coastal eutrophication", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 54, (2002), pp. 951-970.
- PARDO P. y otros: "Study of the stability and extractable phosphate content in a candidate reference material using modified Williams extraction procedure", *Analyst*, 124 (1999), pp. 407- 411.
- PAUL L. K. y otros: "Phosphorus elimination by longitudinal subdivision of reservoirs and lakes", *Water Science and Technology*, 37-2, (1998), pp. 235-243.
- PAUL L.: "Nutrient elimination in pre-dams: results of long term studies", *Hydrobiologia*, 504, (2003), pp. 289-295.
- 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. Fisheries Research Board of Canada, (1941), pp. 310.
- SLAWYK G. y J.J. MacIsaac: "Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling". *Deep-Sea Research*, 19, (1972), pp. 521-524.
- ZWOLSMAN J.J.C.: "Seasonal variability and biochemistry of phosphorus in the Scheldt Estuary, South-west Netherlands", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 39 (1994), pp. 227-248.