

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL ESTUARIO DEL RÍO PAS (CANTABRIA)

L. Pérez & J.C. Canteras

Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros, s.n. 30005. Santander.

RESUM

S'ha estudiat en l'estuari del riu Pas (Cantàbria, Espanya) les relacions entre la concentració de clorofil·la-a, la concentració de nutrients i els paràmetres hidrogràfics, durant un cicle anual i en els diferents estats de la marea.

El cabal del riu i l'amplitud de la marea constitueixen les principals fonts de variació dels paràmetres estudiats. El riu va ser el principal agent fertilitzant de l'estuari.

En el cicle anual varen aparèixer dues situacions ambientals diferents i contràries. D'una banda les masses d'aigua més salades i més calentes varen estar associades a concentracions més petites de nutrients i de l'oxigen dissolt; d'altra banda les masses d'aigua més fredes i amb menys quantitat de sal varen estar associades amb majors concentracions de nutrients i d'oxigen. La clorofil·la-a va disminuir amb la marea i va presentar correlacions negatives amb els nutrients.

RESUMEN

Se ha estudiado en el estuario del río Pas (Cantabria, Spain) las relaciones entre la concentración de clorofila-a, la concentración de nutrientes y los parámetros hidrográficos, a lo largo de un ciclo anual y en distintos estados de marea.

El caudal del río y la amplitud de la marea constituyeron las fuentes principales de variación de los parámetros estudiados. El río fue el principal agente fertilizante del estuario.

En el ciclo anual aparecieron dos situaciones ambientales diferentes y opuestas: las masas de aguas más salinas y más cálidas estuvieron asociadas a menores concentraciones de nutrientes y de oxígeno disuelto, frente a las masas de aguas más frías y menos salinas, asociadas a mayores concentraciones de nutrientes y de oxígeno. La clorofila-a disminuyó con la marea y presentó correlaciones negativas con los nutrientes.

ABSTRACT

The relations between the concentration of chlorophyll-a, the concentration of nutrients and hydrographics parameters, all through an annual cycle and in different tide states, have been studied in the river Pas estuary (Cantabria, Spain). The river flow and the tide amplitude were the main sources of the studied parameters variation. The river was the main fertilizer agent of the estuary. During the annual cycle appeared two different and opposite environmental situations: the water masses saliner and warmer were associate with less concentrations of nutrients and of dissolver oxygen, as contrasted with water masses colder

and less saline associated with main concentrations of nutrients and of concentrated oxygen. The chlorophyll-a decreased with the tide and showed negative correlations with the nutrients.

Key words: Cantabria, estuary, hydrography, nutrients, tide.

INTRODUCCIÓN

Los estuarios constituyen una pequeña parte del volumen total de la hidrosfera marina. Sin embargo, juegan un papel importante en el desarrollo de poblaciones marinas.

Cantabria cuenta con una franja costera de 279 kilómetros, de los cuales aproximadamente 52 corresponden a estuarios. Sin embargo, los estudios de estos ecosistemas, en Cantabria, se limitan prácticamente a la Bahía de Santander (Cendrero et al., 1981; Reguera, 1982) y a la del estuario del Pas (Pérez, 1987).

El objetivo de este trabajo fue el estudio de la dinámica espacio-temporal de la concentración de clorofila-a y su relación con la concentración de nutrientes y distintos parámetros hidrográficos del estuario.

ÁREA DE ESTUDIO

El estuario del río Pas presenta una geomorfología típica de ría. El caudal principal del estuario circula por un canal, a cuyos lados se extienden unas superficies que son inundadas con la entrada de la marea. No presenta una circulación lateral importante, ya que se trata de un cauce estrecho.

El máximo prisma de marea actual es de 4550000 m³ (Canteras et al., 1986). Las mareas son de tipo semidiurno con un intervalo de 12 h 25'.

El caudal del río guarda una estrecha relación con las precipitaciones (Fig. 1). Los caudales medios máximos se dieron en marzo (27,2 m³/s) y los mínimos en septiembre (1,99 m³/s).

Al no existir ningún tipo de trabajo publicado sobre la ría del Pas, se efectuaron una serie de muestreos exploratorios con el fin de acotar la zona de estudio y situar las estaciones de muestreo. Se diseñó para ello un retículo de muestreo (Fig. 2). Con los resultados obtenidos (Tabla 1), y teniendo en cuenta el volumen de muestras a obtener y tratar, se determinó establecer 3 estaciones (E1, E2, E3). Su ubicación se aprecia en la Figura 2. La profundidad media de la ría en la E3 es de 4 m, disminuyendo ésta a medida que se acerca a la desembocadura.

En cada una de las estaciones se tomó agua en las orillas, litoral derecho (LA) y litoral izquierdo (LB) y en el punto central en 3 profundidades, superficie (S), medio (M) y fondo (F), excepto en la E-1 en bajamar, debido a la escasa profundidad sólo se recogieron muestras en superficie y fondo.

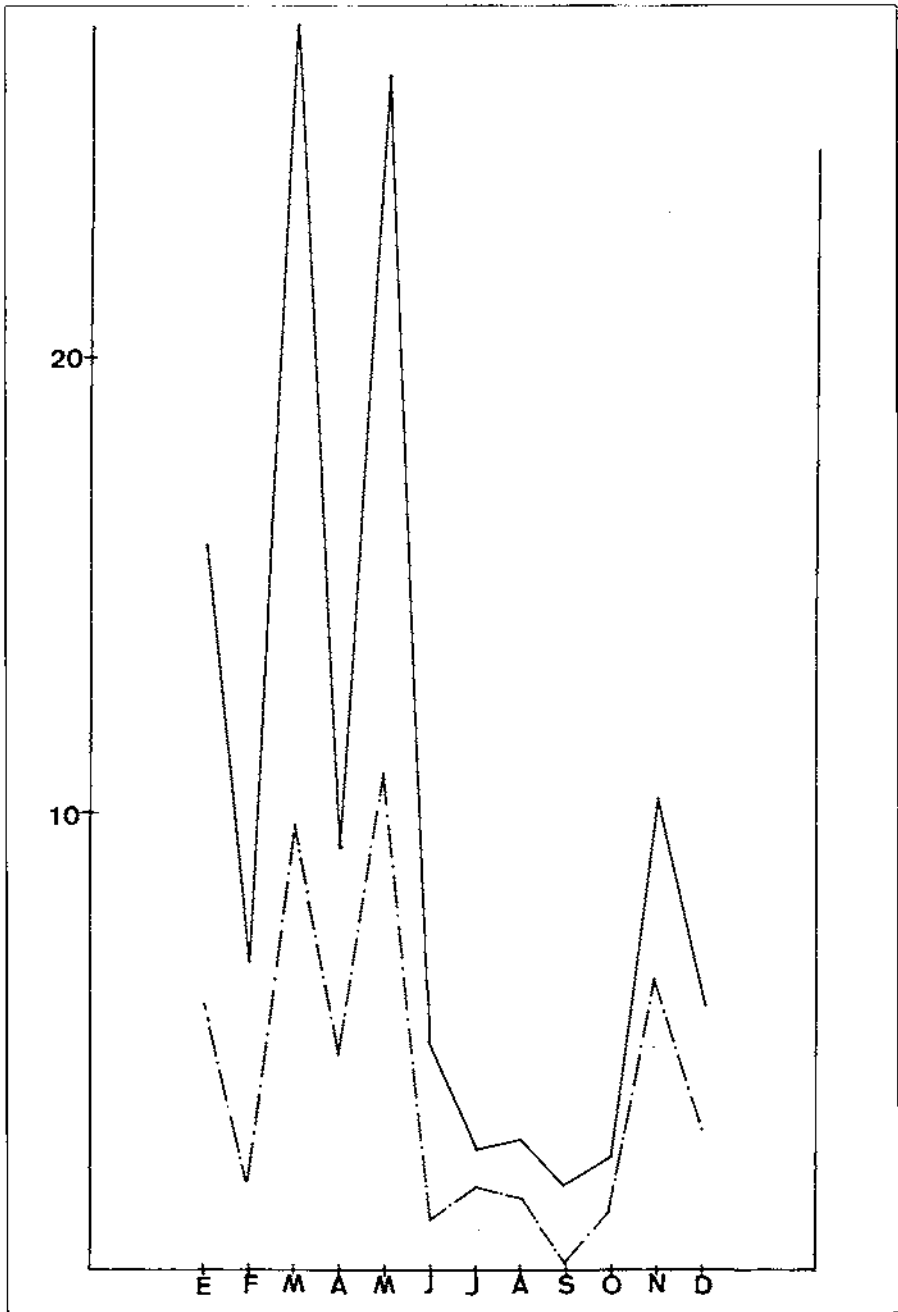


Figura 1. Precipitaciones (mm) durante 1985 facilitadas por el Servicio Meteorológico de Santander; y caudal del río (m³/sg).

MÉTODOS

La campaña de muestreo se extendió de febrero a diciembre de 1985. La periodicidad con que se llevaron a cabo los muestreos fue quincenal. Cada uno consistió en:

1. Obtención de muestras de agua y medidas de parámetros «in situ», a lo largo del ciclo mareal (las muestras se recogían cada 3 horas: bajamar, media marea, pleamar).

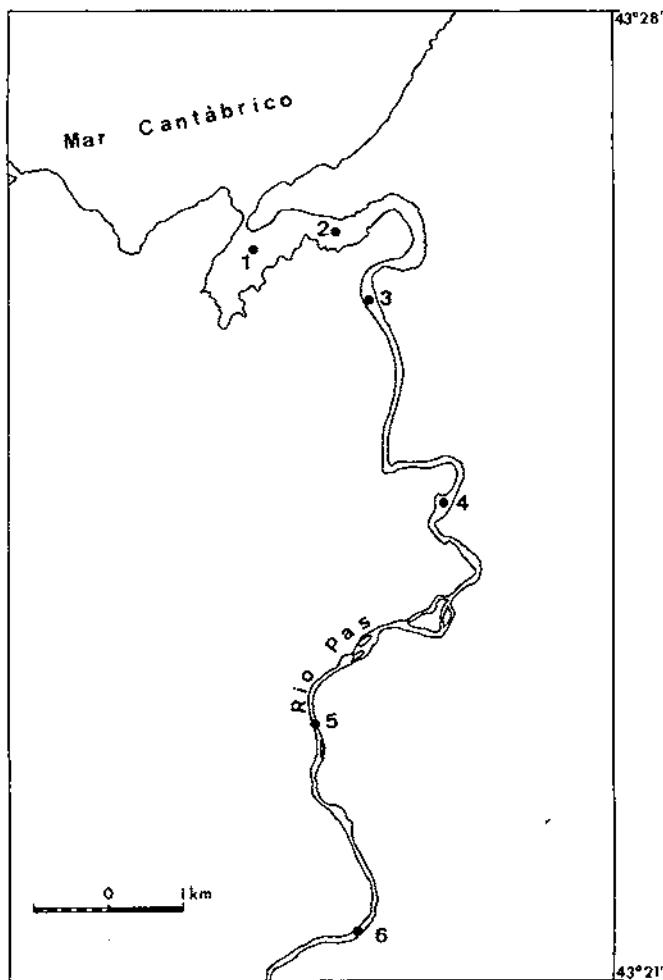


Figura 2. Localización de las estaciones de estudio para acotar la zona. De los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de realizar el estudio en las estaciones 1, 2 y 3.

Tabla I. Resultados obtenidos al realizar el retículo de muestreo para la localización de las estaciones de estudio.

| | E-6 0 m | E-5 0 m | E-4 0 m | E-4 0,5m | E-4 1,5m | E-4 6 m | E-3 0 m | E-3 0,5m | E-3 1 m | E-3 2 m | E-3 2,5m | E-3 3 m | E-2 0 m | E-2 0,5m | E-2 1 m | E-1 0 m |
|-------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| pH | 7,3 | 6,9 | 9,6 | 10,3 | - | - | 8,8 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| T° | 8,5 | 8,5 | 8,9 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 10,0 | 9,6 | 9,8 | 10,4 | 12,0 | 12,1 | 11,0 | 11,4 | 11,8 | 11,5 |
| Conduct. | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 6,3 | 8,9 | 11,8 | 22,6 | 43,1 | 43,6 | 11,2 | 18,4 | 30,0 | 15,5 |
| Turbidez | 6,0 | 9,0 | 44,0 | 51,0 | - | 48,0 | 5,0 | 6,3 | 35,4 | 96,0 | 60,0 | 31,0 | 23,0 | 24,0 | 24,0 | 17,0 |
| O.D. | 10,4 | 10,7 | 6,4 | 7,6 | 8,1 | 10,0 | - | - | - | - | - | - | 14,6 | 11,2 | - | 15,2 |
| Salinidad | 0,03 | 0,04 | 0,05 | - | - | - | 5,8 | - | - | - | - | - | 7,7 | - | - | 12,8 |
| NO ₃ ⁻ | 21,9 | 49,0 | 50,0 | - | - | - | 44,0 | - | - | - | - | - | 37,0 | - | - | 41,0 |
| NO ₂ ⁻ | 0,03 | 0,04 | 0,04 | - | - | - | 0,05 | - | - | - | - | - | 0,04 | - | - | 0,06 |
| PO ₄ ³⁻ | 1,4 | 0,9 | 1,2 | - | - | - | 1,4 | - | - | - | - | - | 1,2 | - | - | 1,7 |
| AT | 1,2 | 1,2 | 1,2 | - | - | - | 1,4 | - | - | - | - | - | 1,5 | - | - | 1,6 |

T° = Temperatura; Conduct. = Conductividad (µS); O. D. = Oxígeno disuelto (mg/l); NO₃⁻ = Nitratos (µgat/l); NO₂⁻ = Nitritos (µgat/l); PO₄³⁻ = Fosfatos (µgat/l); AT = Alcalinidad total (mequiv/l).

2. Medida «in situ» de la producción primaria en momentos de bajamar y de pleamar.

Los parámetros medidos y analizados a partir de las muestras de agua tomadas fueron los siguientes:

a. Físicos «in situ»: pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, intensidad de luz. Se utilizaron métodos electrométricos.

b. Químicos: cloruros, salinidad, nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, silicatos, alcalinidad, oxígeno disuelto. Los métodos utilizados fueron los descritos en Strickland y Parsons (1972).

c. Biológicos: clorofila-a (Strickland & Parsons, 1972)

En un muestreo de estas características (que se extendió a lo largo del tiempo y del espacio y en diferentes condiciones de marea) cada variable estudiada puede diferir según tres factores o fuentes de variación (espacio, tiempo, ciclo mareal). Se realizó para cada variable un análisis factorial jerarquizado sobre el que se efectuó el análisis de la varianza (Graybill, 1961; Ching Chu Li, 1969).

Para trazar las dependencias e independencias entre variables medidas, se calculó el coeficiente de correlación simple de Pearson.

RESULTADOS

En la Fig. 3 se muestra la variación estacional de la salinidad en el punto central de las tres estaciones estudiadas y en distintos estados de marea (bajamar, media y pleamar). La salinidad varió en todas ellas marcadamente. Se observó una épo-

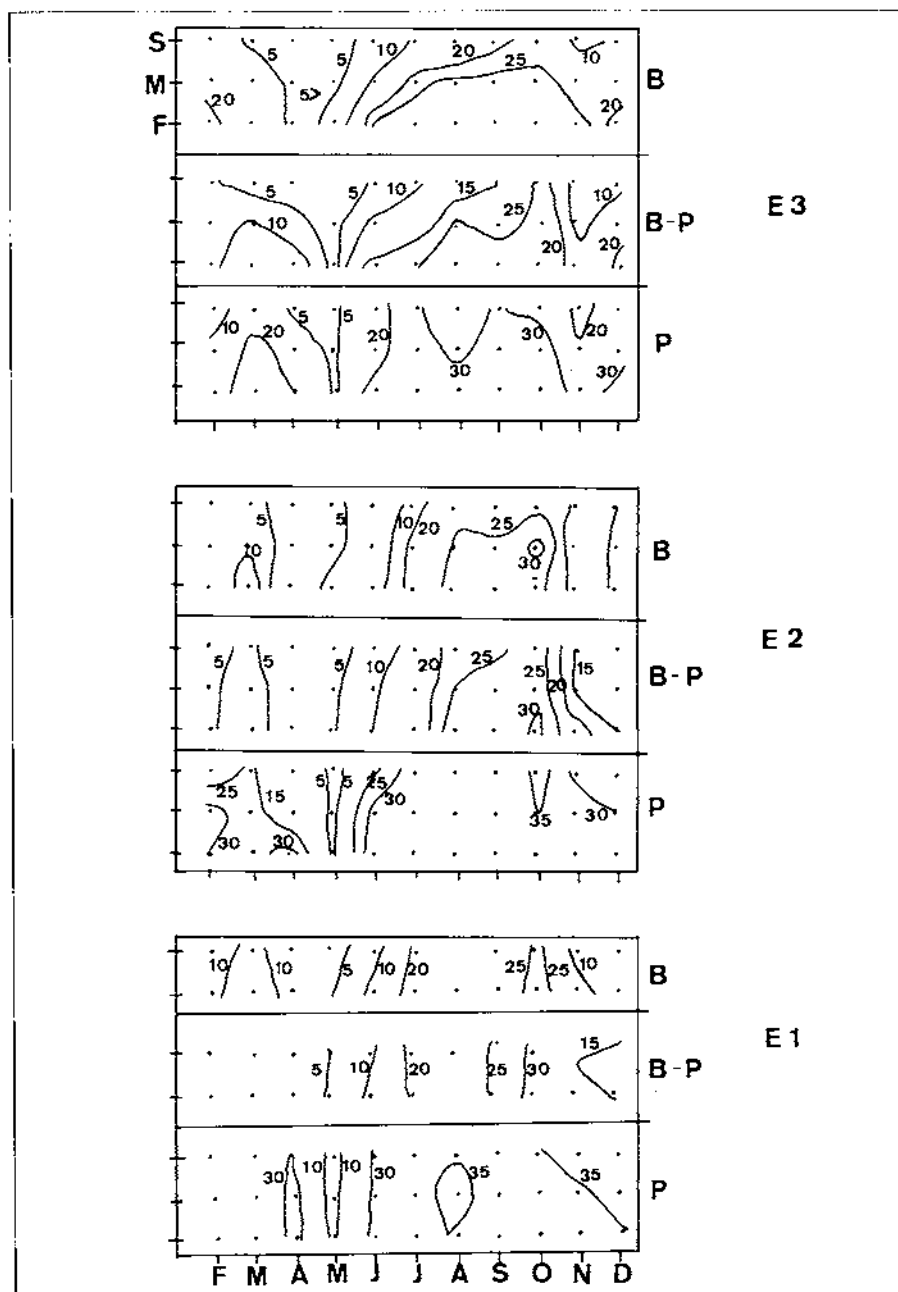


Figura 3. Distribución temporal de la salinidad (%) en el punto central de las tres estaciones (S=superficie; M=medio; F=fondo) y en los tres estados de marea (B=bajamar; B-P=media marea; P=pleamar).

ca, que abarcó el período estival y comienzos del otoño, en la que se registraron los mayores valores, superándose en algunos casos salinidades propias del Cantábrico (35,8 ‰). En los meses de abril y mayo se midieron los valores más bajos, indicativos de una fuerte influencia de agua dulce (0,3 ‰).

Las máximas temperaturas del agua se registraron en los meses de agosto y septiembre, donde llegaron a superar los 20 °C. Las mínimas en febrero y marzo. En la Fig. 4 se muestra la radiación media, la temperatura del aire y la temperatura del agua superficial a lo largo del ciclo estudiado.

Los valores de densidad (ρ) presentaron una estratificación longitudinal y vertical muy acusada (Figs. 5A y 5B). Los valores más bajos se dieron en mayo ($M = 2,5$) y los máximos en septiembre ($M = 24,5$). La estratificación fue mayor en bajamar que en pleamar.

La turbidez fue disminuyendo progresivamente desde la E1 a la E3, es decir, la masa de agua más limpia y de mayor penetración de la luz fue siempre la de mayor influencia marina (Fig. 6).

Los valores de pH oscilaron desde 7,18 en septiembre a 8,63 en junio. La alca-

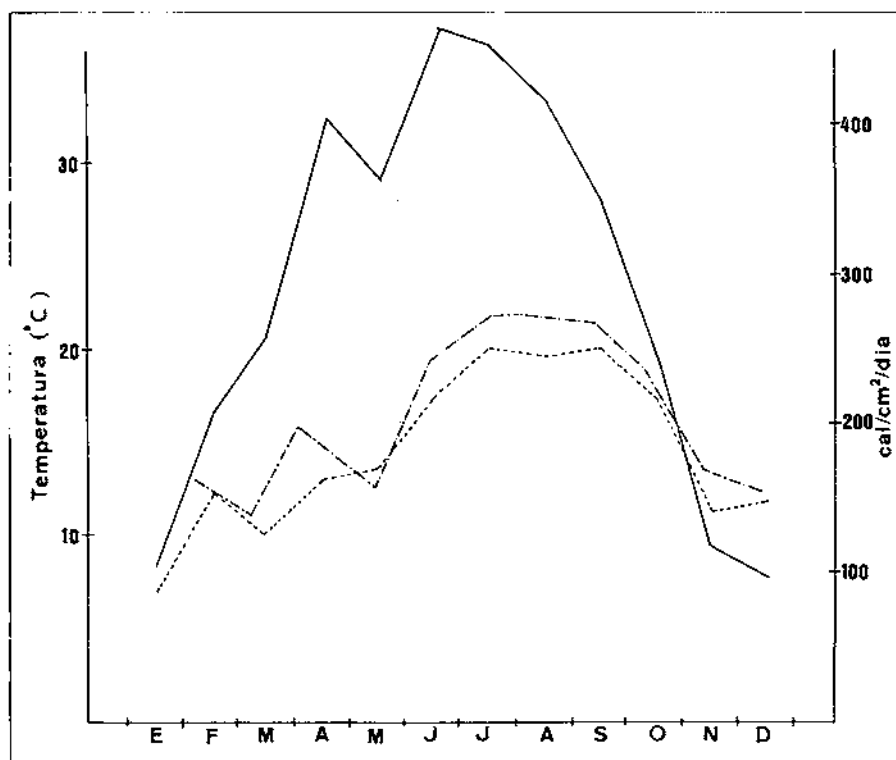


Figura 4. Radiación media (—); temperatura del aire (---); temperatura del agua (----).

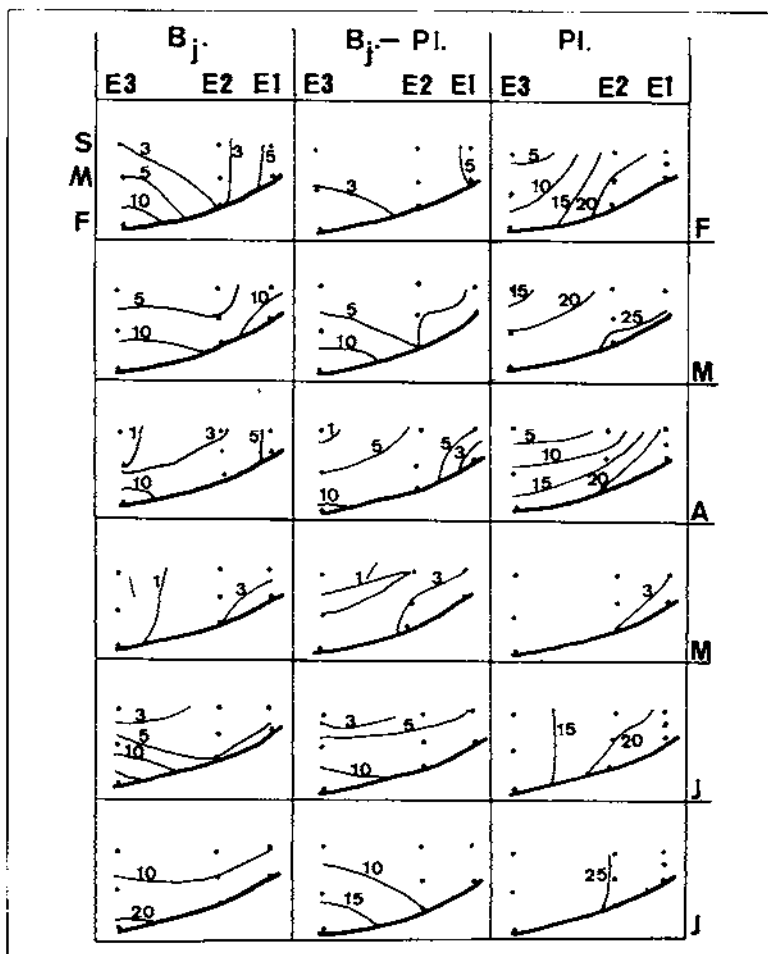


Figura 5A. Perfiles verticales de O_T (S = superficie, M = medio, F = fondo), en las tres estaciones de muestreo y en los 3 estados de marea (Bj. = bajamar; Bj.-Pl. = media marea, Pl. = pleamar), durante los meses de febrero a julio.

linidad presentó una relación lineal con la clorinidad. La regresión encontrada fue:

$$AT = 0,093 \text{ Cl/l} + 1,32 \text{ (**}r = 0,92\text{) significativo al 99 \%}.$$

La cantidad de oxígeno disuelto en el estuario (Figura 7) estuvo sujeto a variaciones estacionales y mareales. Los valores medios oscilaron desde un mínimo de 2,94 mg/l (Desviación media (D= 0,57) en septiembre, a un máximo de 8,3 mg/l (D= 1,08) en febrero. Ambos valores se dieron en la estación 1. El mínimo absoluto fue de 0,5 mg/l en el mes de marzo. Del análisis estadístico de la varianza realizado, se deduce que en las 3 estaciones apareció diferencia significativa entre

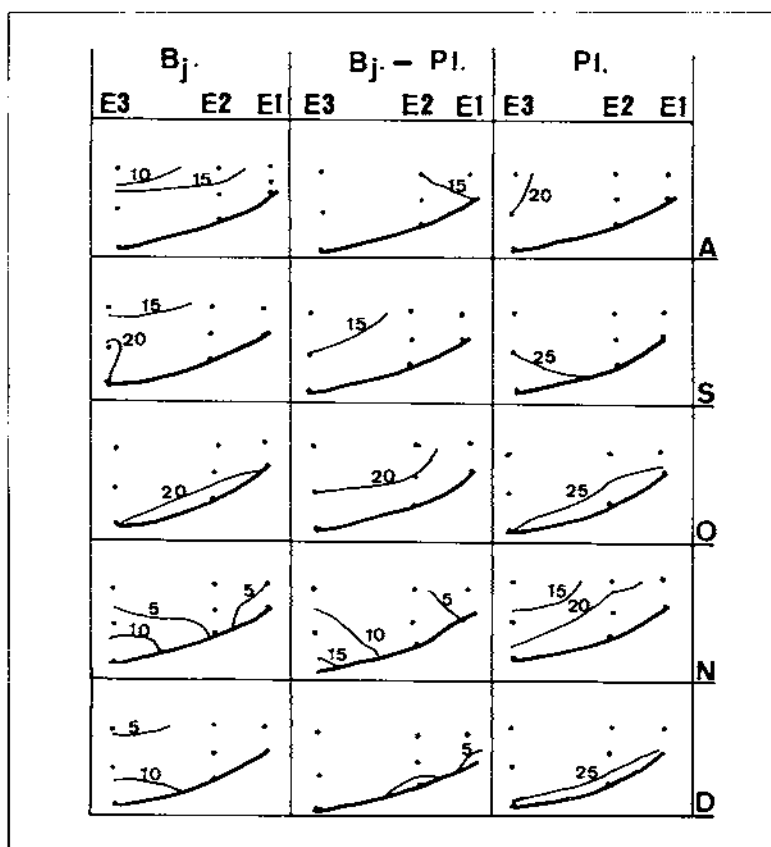


Figura 5B. Perfiles verticales de O_2 (S = superficie, M = medio, F= fondo) en los 3 estados de marea (Bj. = bajamar; Bj.-Pl. = media marea; Pl = pleamar), durante los meses de agosto a diciembre.

bajamar y pleamar. La media marea subiendo no se diferencia significativamente de bajamar. Las medias de la concentración de oxígeno en los 3 estados de marea en cada estación se dan en la tabla siguiente:

| | E-1 | E-2 | E-3 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| Bajamar | 6,19 mg/l | 5,87 mg/l | 5,82 mg/l |
| Media | 5,56 mg/l | 5,20 mg/l | 5,49 mg/l |
| Pleamar | 4,63 mg/l | 4,49 mg/l | 4,41 mg/l |

Las concentraciones de nitratos fueron elevadas en invierno (M= 68,43 μ gat N/l, D= 10,76, en la E-3 febrero) y en épocas de fuertes lluvias (M= 48,65 μ gat

Tabla 2. Contribución de las especies del nitrógeno al nitrógeno inorgánico total. (Total= concentración de nitrógeno inorgánico en $\mu\text{gatN/l}$).

| E-3 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Total | 69,1 | 42,3 | 55,4 | 47,9 | 20,0 | 12,1 | 6,9 | 8,1 | 12,5 | 116,1 | 81,9 |
| % NO_3^- | 99,0 | 97,8 | 95,2 | 82,2 | 81,1 | 86,5 | 87,9 | 57,6 | 75,9 | 91,8 | 81,8 |
| % NH_4^+ | 0,1 | 2,2 | 4,7 | 17,8 | 17,9 | 13,5 | 12,1 | 42,4 | 24,0 | 8,2 | 18,2 |
| E-2 | | | | | | | | | | | |
| Total | 64,9 | 29,1 | 45,7 | 49,6 | 17,6 | 5,2 | 5,9 | 4,8 | 15,7 | 12,2 | 81,6 |
| % NO_3^- | 93,7 | 97,4 | 92,8 | 86,1 | 79,4 | 82,4 | 75,3 | 57,4 | 49,4 | 96,4 | 90,0 |
| % NH_4^+ | 6,3 | 2,6 | 7,2 | 13,9 | 20,6 | 17,6 | 24,7 | 40,6 | 50,6 | 3,6 | 10,0 |
| E-1 | | | | | | | | | | | |
| Total | 58,0 | 29,5 | 13,9 | 51,4 | 20,5 | 5,3 | 4,2 | 4,7 | 5,6 | 103,6 | 44,1 |
| % NO_3^- | 95,9 | 96,7 | 71,3 | 94,6 | 89,9 | 70,2 | 71,7 | 56,1 | 75,0 | 96,5 | 85,5 |
| % NH_4^+ | 4,1 | 3,3 | 28,7 | 5,4 | 10,1 | 29,8 | 28,3 | 43,9 | 25,0 | 3,5 | 14,5 |

N/l , $\text{D}= 6,01$, para E-1 en mayo). En verano las concentraciones fueron notablemente menores ($\text{M}= 4,64 \mu\text{gatN/l}$, $\text{D}= 1,27$ en E-3 y $2,61 \mu\text{gatN/l}$, $\text{D}=0,97$ en E-1 en septiembre).

Los nitritos oscilaron entre 0,5 y $2 \mu\text{gat N/l}$. Los máximos se obtuvieron en noviembre y diciembre, y los mínimos en pleamar en julio, llegando a estar por debajo del límite de detección del método ($0,05 \mu\text{gat N/l}$ en E-1). Su estratificación no es tan clara como la de los nitratos.

El amonio presentó mínimos en marzo ($\text{M}= 0,76$, $\text{D}= 0,38$ en E-2) y en los meses de julio y agosto. En septiembre comenzaron a aumentar los valores hasta alcanzar el máximo en diciembre (en la E-3 se obtuvieron $\text{M}= 14,9$, $\text{D}= 9,71$).

En la Tabla 2 se presenta la contribución relativa de cada especie al nitrógeno inorgánico disponible.

Los fosfatos presentaron su máximo en mayo y noviembre, en cualquier estado de marea (Fig. 8).

La distribución de la relación N:P fue muy irregular a lo largo del ciclo estudiado. Se estableció un gradiente longitudinal a lo largo de la ría, siendo el cociente mayor en la estación 3 que en la 1. En la estación 3 la media fue de 35,07 ($\text{D}= 23,81$), en la E-2 de 27,7 ($\text{D}= 23,81$), y en la E-1 de 18,33 ($\text{D}= 10,14$). Generalmente, los valores fueron mayores que 16, excepto en los meses de verano (Fig. 9), y en la E-1 en pleamar.

Los silicatos oscilaron entre $115 \mu\text{gatSi/l}$ y $2 \mu\text{gatSi/l}$, con un patrón de variación anual semejante al de los nutrientes comentados.

El análisis estadístico de la varianza, realizado para cada uno de los nutrientes,

Tabla 3. Matriz de correlación entre los parámetros físicos y químicos (número de muestras= 495).

| | pH | T° | OD | AT | % | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ⁼ | SiO ₂ | N : P |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|-------|
| pH | 1,00 | | | | | | | | | | |
| T° | -,03 | 1,00 | | | | | | | | | |
| OD | ,14 | -,25 | 1,00 | | | | | | | | |
| AT | -,31 | ,66 | -,28 | 1,00 | | | | | | | |
| % | -,35 | ,51 | -,42 | ,73 | 1,00 | | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | -,04 | -,71 | ,39 | -,53 | -,64 | 1,00 | | | | | |
| NO ₂ ⁻ | -,22 | -,19 | ,38 | -,03 | -,19 | ,52 | 1,00 | | | | |
| NH ₄ ⁺ | -,24 | -,22 | ,31 | -,17 | -,31 | ,43 | ,51 | 1,00 | | | |
| PO ₄ ⁼ | -,10 | -,52 | ,22 | -,34 | -,35 | ,62 | ,41 | ,32 | 1,00 | | |
| SiO ₂ | ,05 | -,48 | ,39 | -,52 | -,71 | ,77 | ,49 | ,38 | ,54 | 1,00 | |
| N:P | -,02 | -,58 | ,38 | -,46 | -,59 | ,87 | ,45 | ,47 | ,21 | ,64 | 1,0 |

T° = Temperatura; OD = Oxígeno disuelto; AT = Alcalinidad total; % = Salinidad; NO₃⁻ = Nitratos; NO₂⁻ = Nitritos; NH₄⁺ = Amonio; PO₄⁼ = Fosfatos; SiO₂ = Silicatos; N:P= Relación Nitrógeno- Fósforo.

respecto al ciclo mareal dio como resultado la diferencia significativa de bajamar y media con la pleamar.

La concentración de clorofila-a presentó el siguiente registro: niveles bajos en los meses de invierno y finales de primavera; un máximo a finales de invierno principios de primavera, y valores altos en verano (Fig. 10). El ciclo mareal presentó diferencias significativas en las 3 estaciones entre bajamar y pleamar, siendo mayor la concentración en bajamar.

En la Tabla 3 se muestra la matriz de correlación entre las variables físicas y químicas, empleando el total de datos obtenidos en el período de estudio en las tres estaciones estudiadas.

Los nutrientes mantuvieron entre sí correlaciones positivas y siempre con coeficientes superiores a 0,3 ($p \leq 0,05$).

La salinidad presentó correlación negativa con todos los nutrientes, y positiva con la alcalinidad y con la temperatura.

El oxígeno disuelto se correlacionó negativamente con la salinidad, temperatura y alcalinidad, y positivamente con los nutrientes.

El pH mantuvo correlaciones bajas, generalmente negativas con los demás parámetros.

Por otra parte, para cada estación de muestreo se calculó la correspondiente matriz de correlaciones. La pauta general descrita se repitió en cada caso, con similares coeficientes de correlación y de significación.

Las rectas de regresión entre la salinidad y el resto de las variables físicas y químicas, diferenciando entre bajamar y pleamar, se muestra en la Tabla 4.

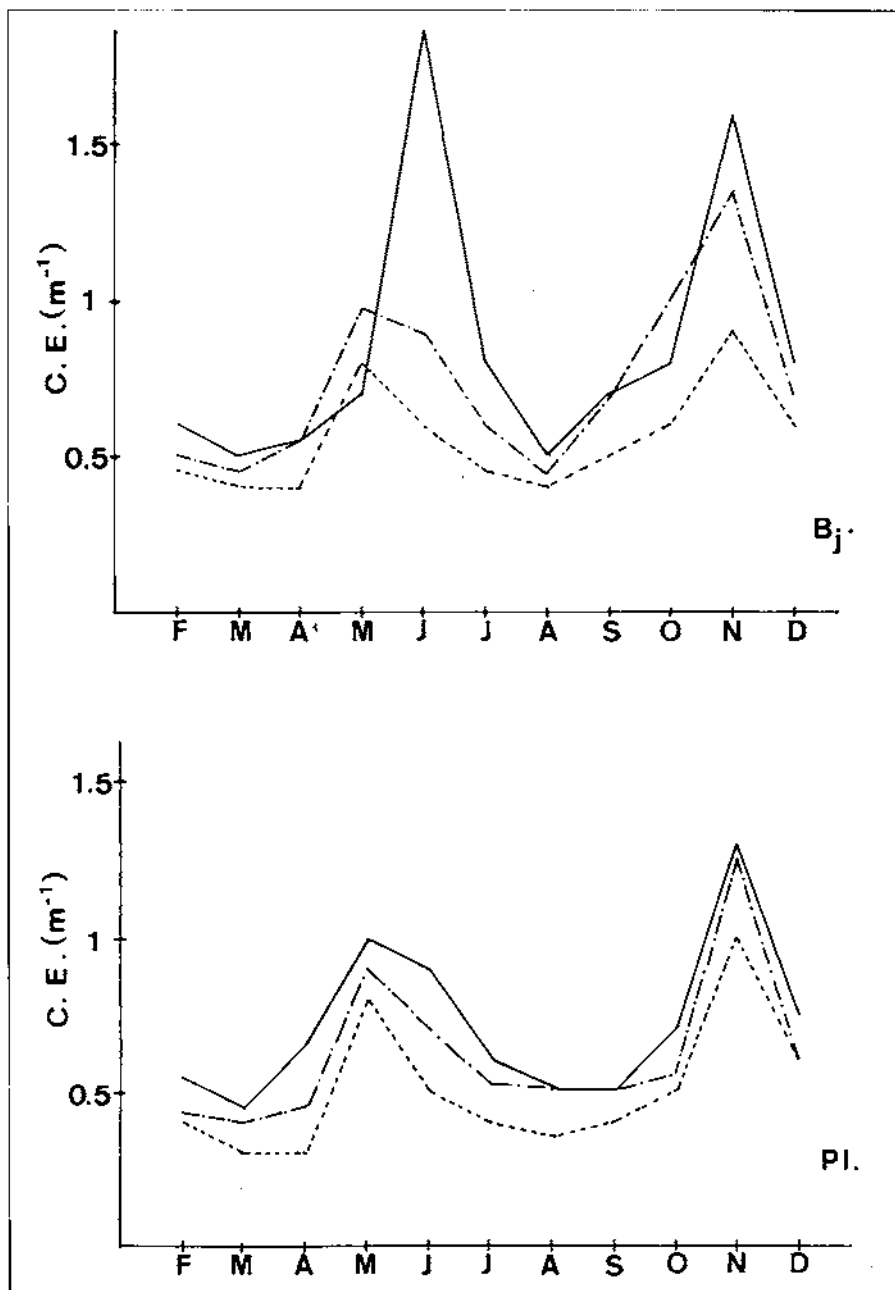


Figura 6. Distribución temporal de los valores del coeficiente de extinción (C. E. m⁻¹) de la luz en cada una de las estaciones de muestreo (— E-3; - - - E-2; ···· E-1), en los momentos de marea de bajamar (Bj) y de pleamar (Pl).

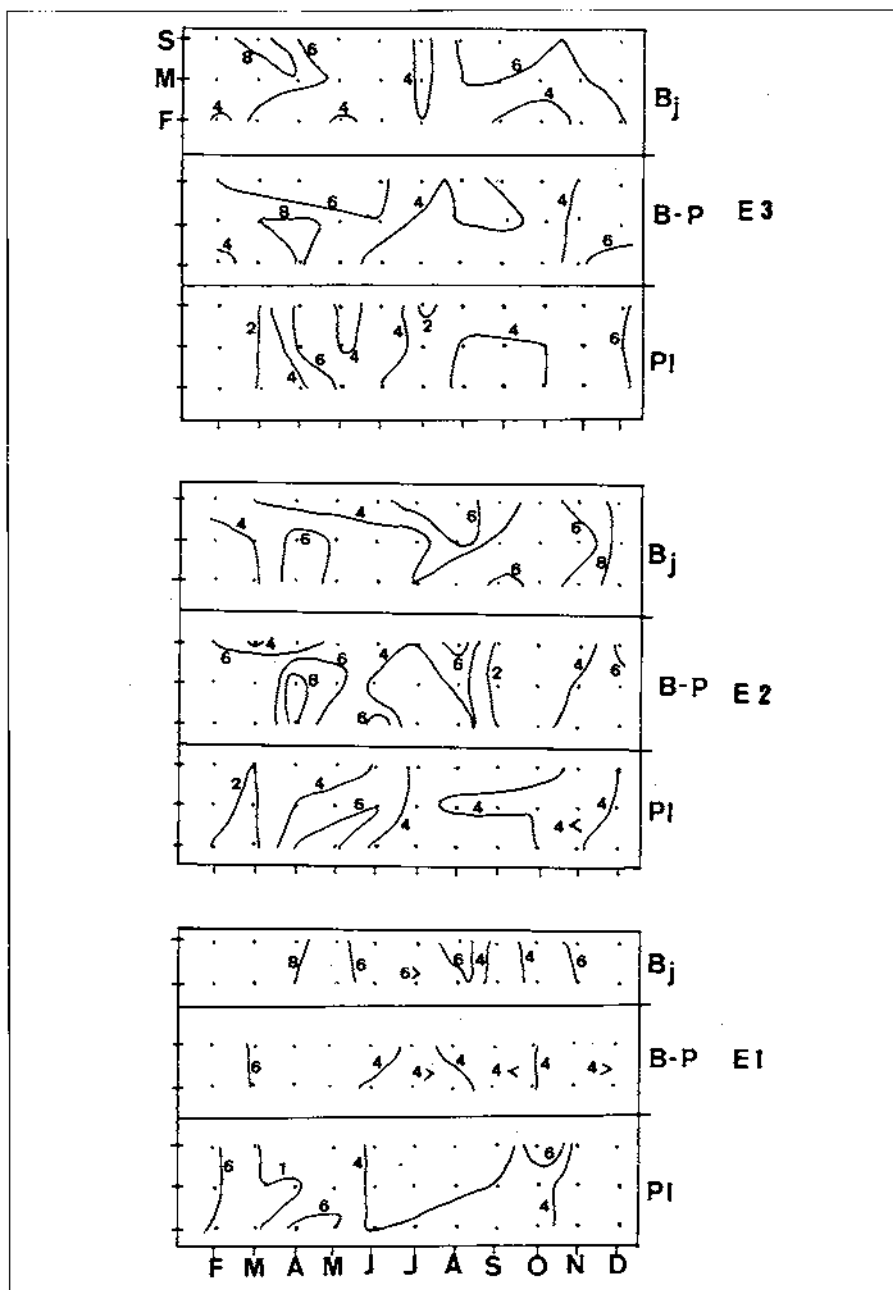


Figura 7. Distribución temporal del oxígeno disuelto (mg/l) en el punto central (S=superficie; M=medio; F=fondo) de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj.=bajamar; B-P= media; Pl=pleamar).

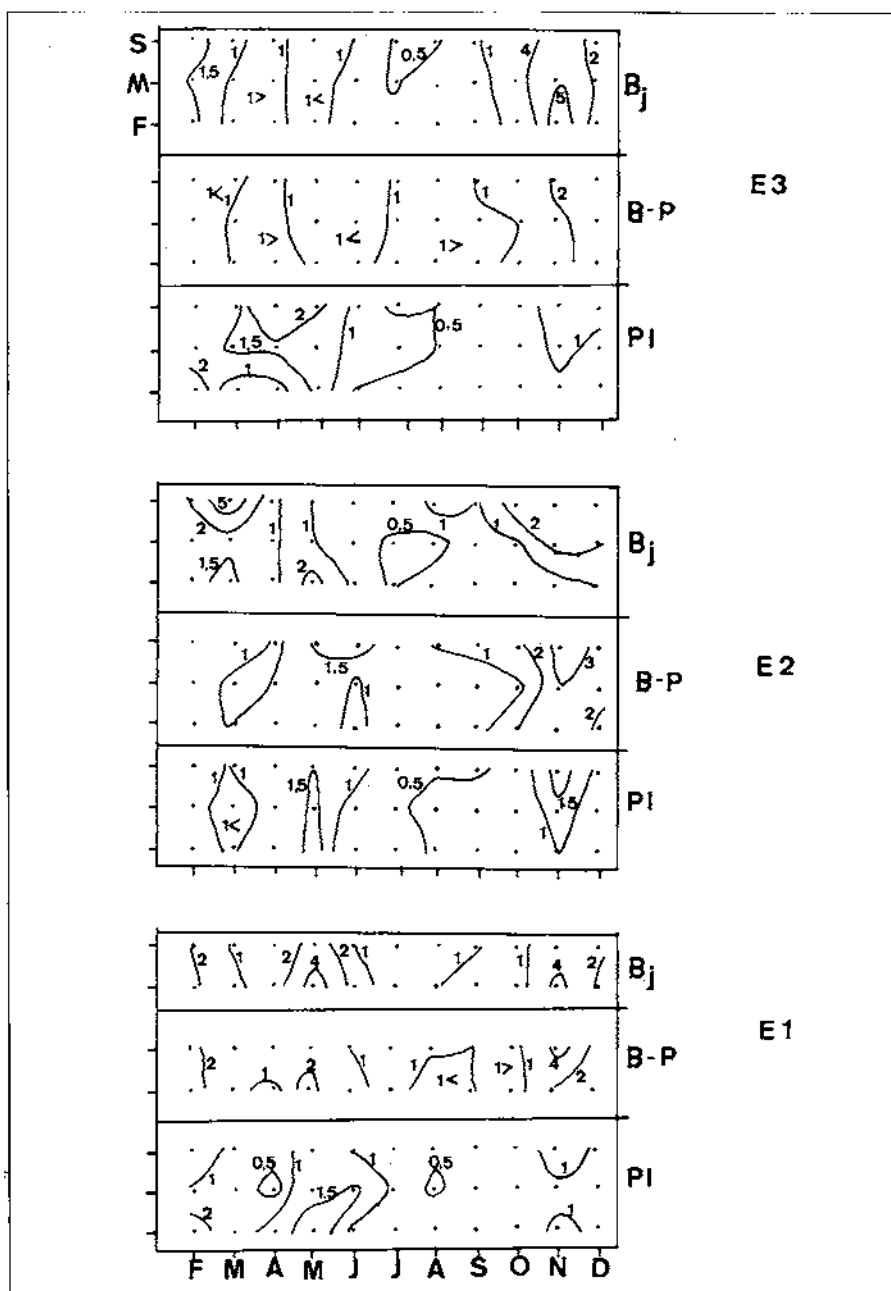


Figura 8. Distribución temporal de los fosfatos ($\mu\text{gatP/l}$) en el punto central (S=superficie; M=medio; F=fondo) de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj=bajamar; B-P=media; Pl=pleamar).

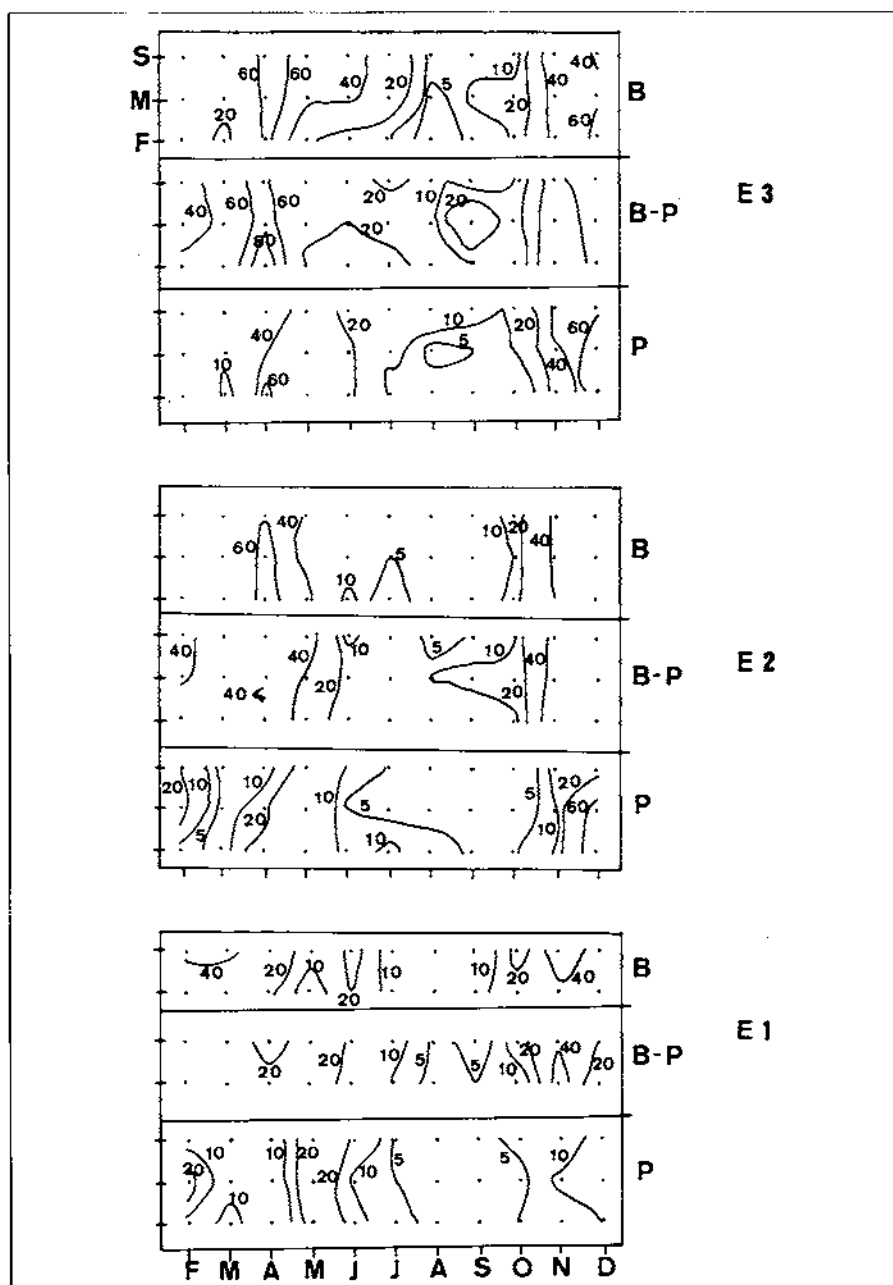


Figura 9. Distribución temporal de la relación N:P en el punto central (S= superficie; M=medio; F=fondo) de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj.=bajamar; B-P=media; Pl=pleamar).

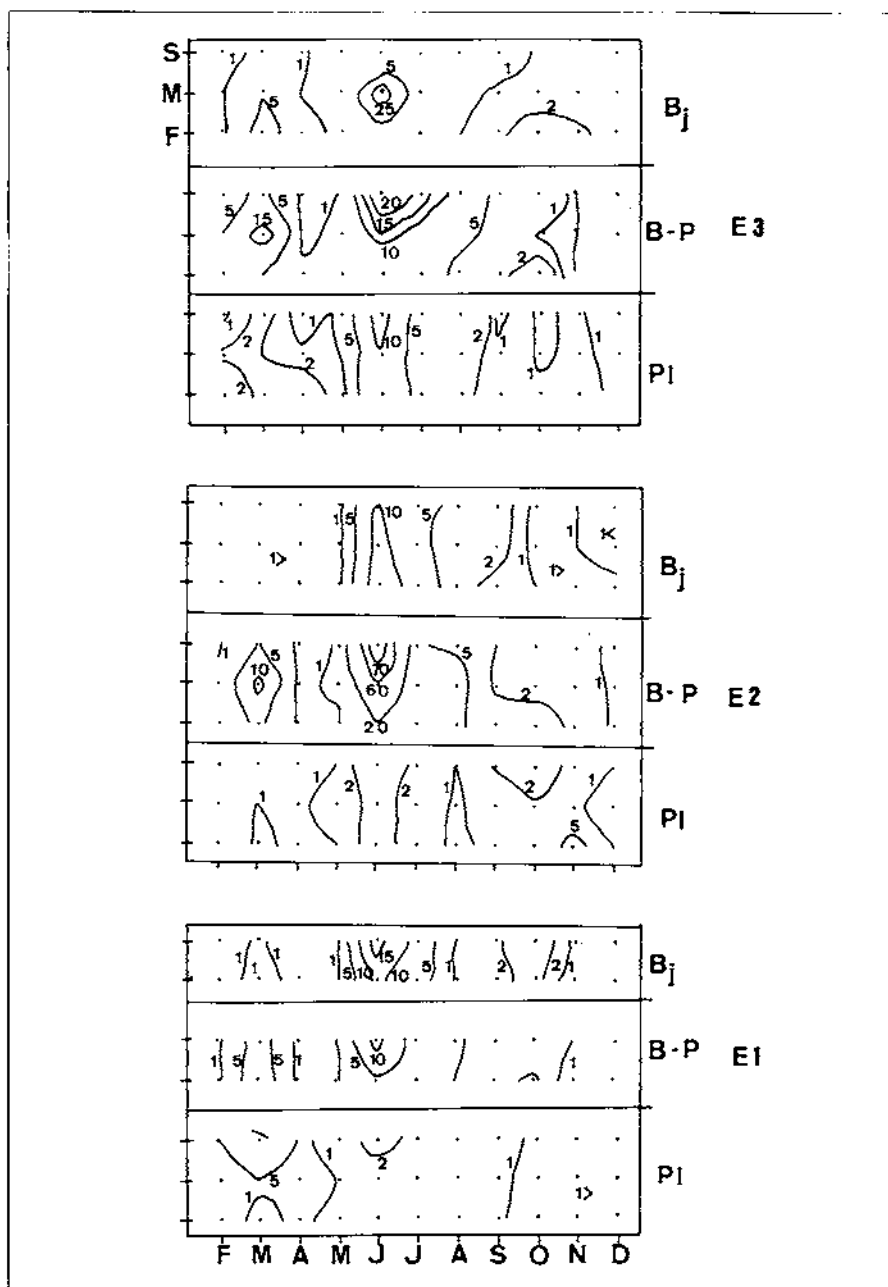


Figura 10. Distribución temporal de la clorofila-a (mg/m³) en el punto central (S= superficie; M= media; F= fondo) de las tres estaciones de muestreo y en los tres estados de marea (Bj.= bajamar; B-P= media; Pl.= pleamar).

Tabla 4. Rectas de regresión, salinidad-parámetros físicos y químicos. En pleamar y bajamar.

| Parámetro | Pleamar | | Bajamar | |
|--|---------------|---------|---------------|---------|
| pH | -,43 S + 8,4 | **r=,45 | -,46 S + 8,4 | **r=,4 |
| Temperatura | ,14 S + 1,1 | **r=,5 | ,23 S + ,98 | **r=,7 |
| Oxígeno (mg/l) | -,07 S + ,91 | *r=,24 | -,19 S + 1 | **r=,5 |
| AT (mequiv/l) | ,17 S + ,31 | **r=,71 | ,25 S + ,25 | **r=,68 |
| NO ³⁻ (µgatN/l) | -,75 S + ,24 | **r=,5 | - S + 2,5 | **r=,64 |
| NO ₂ ⁻ (µgatN/l) | ,03 S + ,22 | r=,08 | | |
| NH ₄ ⁺ (µgatN/l) | -,19 S + ,81 | *r=,23 | -,08 S + ,69 | r=,01 |
| PO ₄ ⁼ (µgatP/l) | -,06 S + ,42 | r=,15 | -,12 S + ,51 | *r=,29 |
| SiO ₂ ⁼ (µgatSi/l) | -,34 S + 2,15 | **r=,6 | -,55 S + 2,38 | **r=,75 |
| N:P | -,6 S + 2,04 | **r=,6 | -,67 S + 2,1 | **r=,65 |

S = Salinidad %. r = Coeficiente de correlación. * = Significativo al 95 %. ** = Significativo al 99 %

El análisis de las correlaciones entre los parámetros por estaciones del año presentó el mismo esquema en otoño e invierno: mientras que en primavera y en las estaciones 2 y 3 aparecieron correlaciones negativas entre los nutrientes, el resto de las correlaciones siguieron el patrón general. En verano, la temperatura se correlacionó negativamente con la salinidad y positivamente con los nutrientes, El oxígeno disuelto presentó correlación negativa con el amonio y el fosfato.

Calculada la regresión de la clorofila-a con los demás parámetros, el resultado fue la correlación negativa con los nutrientes y positiva con la temperatura.

DISCUSIÓN

La estratificación vertical y horizontal de los parámetros hidrográficos estudiados varió a lo largo del estuario, del ciclo mareal y del ciclo anual estudiado. Las estaciones más interiores (E-2 y E-3) presentaron mayor estratificación de superficie a fondo que la estación 1. Generalmente en la cabecera de los estuarios se produce mayor estratificación (Dyer, 1973; Riaux & Grall, 1982).

A lo largo del ciclo estudiado, la estratificación varió de acuerdo con el caudal del río y la amplitud de la marea. En épocas de altos caudales del río (marzo, mayo y noviembre) aparecieron fuertes gradientes verticales típicos de estuarios altamente estratificados (Ketchum, 1983). En verano y principios de otoño, mareas de gran amplitud permitieron que el estuario presentara perfiles semejantes a los estuarios parcialmente estratificados.

Los gradientes encontrados de ρ_T son debidos principalmente a la variación de salinidad. Se verifica el papel secundario de la temperatura en la densidad del agua (Fournier et al., 1984). Los gradientes de densidad (ρ_T) aumentan con el flujo del río. Situación semejante describen Bowden y Gilligan (1971). En los meses de alto caudal del río, se obtuvieron densidades más bajas en la media marea bajamar-pleamar que en bajamar. Esta situación probablemente sea debida a que du-

rante la pleamar se produce una contención de agua dulce en la parte superior del estuario, la cual se libera al invertirse el flujo de marea (McDowell & O'Connor, 1977). El descenso de marea imprime un carácter de menor salinidad a las aguas, que persiste hasta bien adentrada la subida de marea.

La concentración de oxígeno disuelto guardó una estrecha relación con la marea, encontrándose siempre más oxígeno disuelto en bajamar que en pleamar, lo cual indica una menor solubilidad de éste con el aumento de salinidad. Sin embargo, esta situación no se corresponde con el aumento de oxígeno a lo largo del eje longitudinal de la ría, de manera que conforme nos acercamos al mar y la salinidad aumenta, también lo hace la concentración de oxígeno disuelto. Este comportamiento del oxígeno se ajusta al modelo de Festa y Hansen (1978) y Owens (1986). La existencia de un gradiente de turbidez (E-3 a E-1) en la ría explicaría este aumento de la concentración de oxígeno cuando aumenta la salinidad.

El origen continental de las sales nutritivas puede quedar demostrado por los siguientes datos:

- a) Gradientes longitudinales: las concentraciones disminuyeron desde la E3 a la E1.
- b) Gradientes verticales: las concentraciones disminuyeron desde la superficie al fondo.
- c) Ciclo mareal: durante la pleamar las concentraciones fueron siempre menores.
- d) Ciclo hidrológico: la disminución del caudal del río implicó una disminución de la concentración de nutrientes.

En algunas ocasiones no se encontró una clara estratificación vertical, dándose núcleos ricos en puntos aislados a profundidades variables. El origen de estos núcleos puede ser debido a fertilizaciones locales, a la actividad biológica o a la resuspensión del sedimento por las corrientes de marea. Los sedimentos de estuarios suelen ser ricos en sustancias nutritivas (Aufrett et al., 1974; Riaux & Grall, 1982).

El nitrato constituyó la forma predominante del nitrógeno inorgánico soluble. En los meses de septiembre y octubre el amonio llegó a representar el 40 % del total, coincidiendo con una alta producción en la ría (Pérez, 1987). El amonio es considerado por algunos autores como el principal nutriente nitrogenado para el fitoplancton, debido a su estado de reducción (Bougis, 1974, Smayda, 1983). McCarthy et al. (1977) demuestran que la asimilación de nitrato y nitrito está regulada por la concentración de amonio. El nitrito presentó su mayor concentración en otoño e invierno. Según Maestrini et al. (1982), en la primavera y verano el nitrógeno puede ser asimilado por el fitoplancton bajo la forma nítrica y amoniacal. Al final de verano y otoño los nitritos y el amonio se acumulan. Por otra parte el fitoplancton puede producir nitrito (French et al., 1983). En la ría de Mogro no encontramos relación entre los máximos de clorofila y los máximos de nitrito. Esta falta de correlación, junto con los altos niveles de nitrato para la producción de nitrito por el fitoplancton (Olson et al., 1980) y la presencia de amonio (Collos &

Slawik, 1983), sugiere que en la ría los procesos de nitrificación pueden ser importantes. Billen (1975), Somville (1978), Christofi et al. (1979), Owens (1986), Somville (1978), confirmaron la presencia de zonas de nitrificación en estuarios.

Correlación negativa entre la clorofila «a» y los nutrientes, como la observada en este trabajo, ha sido encontrada por otros autores (Mukai et al., 1981). Generalmente, un aumento de biomasa fitoplanctónica lleva consigo una disminución de nutrientes, como consecuencia de la utilización de éstos por parte del fitoplancton.

En general, el patrón de interacciones obtenido ha sido también descrito por otros autores (Riaux & Grall, 1982, en el estuario de la Penzé en el Norte de Bretaña (Francia) y Urrutia, 1986, en la ría del Nervión) y se puede deducir la existencia en la ría de dos situaciones ambientales diferentes y contrapuestas: las masas de agua más frías, menos salinas, más oxigenadas y con mayor concentración de nutrientes se oponen a las masas de agua más cálidas, más salinas, menos oxigenadas y con menos nutrientes. Es decir aguas con carácter nerítico y aguas más fluviales.

El mayor número de correlaciones obtenidas (negativas entre los nutrientes) en primavera, posiblemente sean debidas a la mayor actividad biológica en esta época del año fundamentalmente productiva. En verano el oxígeno disuelto presentó correlación negativa en los nutrientes (amonio y fosfato). Esto podría indicar la mineralización de la materia orgánica con el consumo de oxígeno. Durante el otoño y el invierno se ha observado el mismo patrón de correlaciones.

Bibliografía

- AUFRET & DOUVILLE, J.L. (1974). Observations sur la dynamique des sables de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Finistère, France). *Bull. du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* 1: 5-18.
- BILLEN, G. (1975). Nitrification in the Scheldt estuary. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 3: 79-89.
- BOUGIS, T. (1974). *Ecologie du plancton marine: Le phytoplancton*. Ed. Masson, París.
- BOWDEN, K. F. & GILLIGAN, R.M. (1971). Characteristic features of estuarine circulation as represented in the Mersey Estuary. *Limnol. Oceanogr.* 16(3): 490-502.
- CANTERAS, J.; PÉREZ, L. & MONTALBÁN, A. (1986). *Estudio del impacto ambiental que produciría la construcción de un dique de escollera en la ría del Pas*. Diputación de Cantabria.
- CENDRERO, A. et al. (1981). Environmental-economic evaluation of the filling and reclamation process in the Bay of Santander. Spain. *Environmental Geol.*, 3: 325-336.
- CHING CHUN LI. (1969). *Introducción a la estadística experimental*. Omega. Barcelona.
- CHRISTOFI, N.; OWENS, N.J.P. & STEWART, W.D.P. (1979). Studies of nitrifying microorganisms of the Eden estuary, Scotland. En *Cyclic Phenomena in Marine Plants and Animals* (Naylor, E. & Hartnoll, R.G. eds.) pp. 259-266.
- COLLOS, Y. & SLAWYK, G. (1980). Nitrogen uptake and assimilation by marine phytoplankton. En: *Primary productivity in the Sea*. Ed. by Falkowski, Plenum P. New York, 195-212.

- DYER, K.R. (1973). *Estuaries: A physycal introduction* John Wiley & Sons. New York.
- FESTA, J.F. & HANSEN, D.V. (1978). Turbidity maxima in partially mixed estuaries: a two-dimensional numerical mode. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 7: 347-359.
- FOURNIER, R.O.; ERNST, R.; HARGREAVES, N.B.; VAN DET, M. & DOUGLAS, D. (1984). Variability of Chlorophyll a off Southwestern Nova Scotia in Late fall and its Relationship to water Column Stability. *J. Fih. Res. Board Can.*, 41(12): 1730-1738.
- FRENCH, D.P.; FURNAS, M.J. & SMAYDA T.J. (1983). Diel changes in nitrite concentration in the chlorophyll maximum in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Res.*, 30: 707-722.
- GRAYBILL, S.A. (1961). *An introduction to linear statistical models*. McGraw-Hill. London.
- KETCHUM, B.H. (1983). Estuarine characteristic En: *Estuaries and enclosed seas*. Ed. by Ketchum. Elsevier, Oxford, pp. 1-14.
- MAESTRINI, S.; ROBERT, J.M. & TRUQUET, L. (1982). Simultaneous uptake of ammonium and nitrate by oyster-pond algae. *Mar. Biol. Lett.*, 3: 143-153.
- MCCARTHY, J.J.; TAYLOR, W.R. & TAFT, J.L. (1977). Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. 1. Nutrient availability and phytoplankton preferences. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 996- 1011.
- MCDOWELL, D. M. & O'CONNOR, B.A. (1977). *Hydraulic Behaviour of Estuaries*. Ed. Wilson, Univ. Printing House, Cambridge.
- MUKAI, T.; TAKIMOTO, K.; SHIBATA, T.; OKANO, A. & KOBAYASHI, K. (1981). Characteristics of environmental factors concerning with eutrophication in each sea area of Seto Inland Sea. I Relationships between concentrations of Chlorophyll a and physical factors (Salinity and Water temperature). *Bull of the Fac. Engin., Hiroshima University*, 30: 31-37.
- OLSON, R.J.; SOOHOO, J.B. & KIEFER, D.A. (1980). Steady-state grow of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Plant. Physiol.*, 66: 383-389.
- OWENS, N.J.P. (1986). Estuarine Nitrification: A naturally occurring fluidized Bed Reaction. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 22: 31-44.
- PÉREZ, L. (1987). *Distribución y Dinámica del fitoplancton del estuario del río Pas. (Cantabria)*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada.
- REGUERA, B. (1982). El fitoplancton de la Bahía de Santander. En: *Estudio Oceanográfico de la Bahía de Santander, para su ordenación y desarrollo*. Inst. Esp. de Oceanogra. Santander. Cantabria.
- RIAUX, C. & GRALL, J.R. (1982). Hydrologies et biomasse phytoplanktonique dans un estuaire de Bretagne Nord, La Penzé. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 67,3: 387-402.
- SMAYDA, T.J. (1983). The phytoplankton of estuaries. En: *Estuaries and enclosed seas*. Ed. by Ketchum. Elsevier, Oxford, pp. 65- 101.
- SOMVILLE, M. (1978). A method for the measurement of nitrification rates in water. *Water Research.*, 12: 843-848.
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Bd. Can., 167.
- URRUTIA, J. (1986). *Estudio de la estructura y funcionamiento del estuario del Nervión en relación a la dinámica del fitoplancton*. Tesis Doctoral. Univ. País Vasco.