

## CARACTERIZACION HIDROGRAFICA DEL ESTUARIO DE URDAIBAI DURANTE EL DESARROLLO DE UNA FLORACION FITOPLANCTONICA ESTIVAL

Iosu de Madariaga  
Félix Díez-Garagarza &  
Marta Revilla (\*)

### RESUMEN

Se ha estudiado la variabilidad a pequeña escala espacio-temporal de los nutrientes inorgánicos disueltos en el estuario de Urdaibai en relación a los procesos hidrodinámicos dependientes de cambios mareales (mareas vivas-muertas) y fluviales (pulsos de lluvia), y a los procesos biológicos asociados a estos cambios (floraciones fitoplanctónicas). Las variaciones de caudal debidas a los pulsos de lluvia determinaron los cambios a pequeña escala temporal de la distribución de nutrientes. Durante el desarrollo de una floración fitoplanctónica en la parte superior del estuario se observó un mayor consumo de nitrógeno, aunque no llegó a ser limitante. En la zona exterior, sin embargo, el crecimiento del fitoplancton pudo estar limitado potencialmente por el silicato.

### SUMMARY

Short-term variability of the dissolved inorganic nutrients has been studied in the Urdaibai estuary in relation to hydrodynamic processes dependent on tidal (spring-neap tides) and riverine changes (freshets), and to biological processes associated with these changes (phytoplankton blooms). River runoff variations due to rainfall pulses determined the short-term changes in nutrient distributions. During the development of a phytoplankton bloom in the upper part of the estuary, a greater consumption of nitrogen was observed, although it was not limiting. In the outer zone, however, phytoplankton growth could have been potentially limited by silicate.

### LABURPENA

Elikagai inorganiko disolbatuen eskala txikiko aldakortasun espazio-denborala ikertu zen Urdaibaiko estuarioan, mareako (marea biziak-hilak) eta ibaiako aldaketei (euri-pultsoak) dagozkien prozesu hidrodinamikoekin eta aldaketa hauei loturiko prozesu biologikoekin (fitoplakton-loraketak) erlazionaturik. Euri-pultsoek eragindako ibai-emariaren aldaketek, elikagai-banaketen denbora-eskala txikiko aldakuntzak determinatu zituzten. Estuarioko goiko zatian fitoplankton-loraketa baten haziera izan zenean, nitrogeno-kontsumo handiagoa ikusi zen, mugatzailea ez izan arren. Kanpoko aldean, ordea, fitoplanktonaren hazkundera silikatoaz mugatuta izan zitekeen potentzialki.

(\*) Ekologi Laborategia. Landare-Biologia eta Ekologia Saila. Zientzi Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea. 644 P.K. 48080 Bilbao.

## INTRODUCCION

Los estuarios constituyen la principal vía de entrada de nutrientes en las áreas costeras, por lo que su estudio ha ido tomando un auge cada vez más creciente en los últimos años (Balls, 1992). Sin embargo, la gran diversidad que presentan estos sistemas en cuanto a la geomorfología de la cuenca de drenaje, el comportamiento hidrológico y la actividad humana hace que los resultados obtenidos para un estuario determinado no siempre sean generalizables. Además, los estuarios son zonas muy reactivas y las propiedades químicas del agua están sometidas a distintos procesos físico-químicos y biológicos que interactúan a su vez entre sí. Entre ellos destacan los aportes exógenos, la nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno atmosférico, precipitación y redisolución de fosfato, asimilación y excreción por productores primarios y secundarios, mineralización de la materia orgánica, floculación, adsorción, etc. (Morris *et al.*, 1985). Como consecuencia de todo ello, la distribución de nutrientes en un sistema estuárico presenta característicamente una elevada variabilidad espacio-temporal.

Por otro lado, se ha demostrado que el aporte antropogénico de nutrientes y el desarrollo masivo de poblaciones fitoplanctónicas en estuarios y zonas costeras son procesos íntimamente relacionados (Brockmann *et al.*, 1988). De hecho, en algunos estuarios los incrementos observados en la concentración de nutrientes después de los pulsos de lluvia provocan cambios importantes en la comunidad planctónica (Gieskes & Schaub, 1990; Garcia-Soto *et al.*, 1990). En el estuario de Gernika, por ejemplo, este fenómeno es especialmente evidente durante el estiaje, dado que las condiciones de luz y temperatura son generalmente óptimas para el crecimiento del fitoplancton, que goza además de mayores tiempos de residencia en el estuario al disminuir notablemente la mezcla y dispersión por efecto del río (Madariaga *et al.*, 1989; Franco *et al.*, 1993).

En el presente trabajo se ha estudiado la variabilidad a pequeña escala espacio-temporal de la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos en el estuario de Urdaibai en relación a los procesos hidrodinámicos dependientes de cambios mareales (transición entre mareas vivas y muertas) y fluviales (pulsos de lluvia), y a los procesos biológicos asociados a estos cambios (floraciones fitoplanctónicas).

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el estuario de Gernika (Urdaibai), situado en el Golfo de Bizkaia ( $43^{\circ} 22' N$  y  $2^{\circ} 40' W$ ), dentro de los límites de la comarca de Urdaibai, declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO (Fig. 1). La longitud aproximada del estuario es de 12,5 Km, con una anchura máxima cercana a los 1000 m, su profundidad media es de 2,6 m y la amplitud de marea puede superar los 4 m en su tramo final. La extensión de la cuenca hidrográfica guerniquesa es de aproximadamente 142 Km.<sup>2</sup>, unas 70 veces mayor que la ría, por lo que el aporte fluvial puede ser considerable en épocas de gran pluviosidad. Los caudales de los principales tributa-

rios, Oka, Mape y Golako, exhiben grandes variaciones a lo largo del año, reflejando en gran medida la distribución de las precipitaciones (Madariaga & Orive, 1989).

Se fijaron cinco estaciones de muestreo a lo largo del eje longitudinal del estuario con el objeto de cubrir todo el rango de variación de los parámetros físico-químicos a estudiar (Fig. 1). La estación 1, la más cercana al mar, se situó en la marisma de Kanala; la estación 2, frente a los astilleros de Murueta; la estación 3, poco antes de la entrada al canal de Gernika; y las estaciones 4 y 5, dentro de dicho canal.

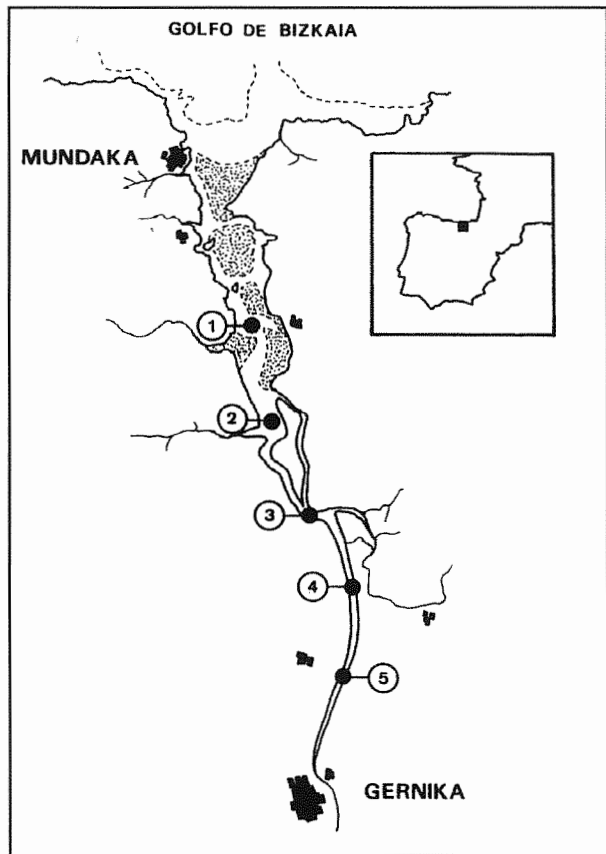


Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo.

Se realizaron transectos longitudinales con una frecuencia diaria en el período comprendido entre el 3 y el 15 de Julio de 1993. Las muestras de agua para los diferentes análisis físico-químicos se tomaron desde una embarcación con botellas Van Dorn de 5 l, siempre en pleamar y a una sola profundidad (0,5 m, subsuperficial). En cada punto de muestreo se realizaron perfiles verticales de temperatura, pH y contenido de oxígeno disuelto utilizando sensores WTW previamente calibrados en tierra. Las muestras de agua para la determinación de la concentración de nutrientes se filtraron empleando filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C, que posteriormente

DIA (Julio 1993)	IRRADIANCIA (E/m <sup>2</sup> d)	LLUVIA (mm)	VIENTO (km/h)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	AMPL. MAREA (m)
1	22,740	8	16,08	0,305	2,84
2	6,389	42	12,88	0,829	3,14
3	22,745	0	5,08	0,562	3,39
4	20,473	0	6,54	0,399	3,52
5	15,476	10	18,54	0,351	3,49
6	41,372	12	8,13	0,409	3,30
7	55,020	0	8,17	0,375	3,00
8	52,730	0	8,58	0,308	2,76
9	40,918	0	11,29	0,294	2,34
10	25,016	25	12,42	0,490	1,94
11	47,278	4	14,04	0,435	1,58
12	51,821	1	7,21	0,382	1,29
13	55,456	0	6,50	0,315	1,16
14	54,093	0	9,00	0,278	1,24
15	50,458	0	6,96	0,241	1,54

Tabla 1. Variación temporal de los parámetros meteorológicos, caudal del río Oka y amplitud de marea durante el período de estudio.

fueron utilizados para estimar la concentración de clorofila *a*; tanto el filtrado, como los filtros se mantuvieron congelados durante un período inferior a los 15 días siguientes al muestreo, en el que se realizaron todos los análisis químicos. Las técnicas colorimétricas que se siguieron vienen descritas en el manual de Strickland & Parsons (1972), empleándose un espectrofotómetro Shimadzu UV 240 para la estimación final de las concentraciones de nutrientes y clorofila *a*.

Los datos de meteorología fueron facilitados por el Servicio de Meteorología del Aeropuerto de Sondika y las variaciones de caudal del río Oka fueron registradas en la estación de Muxika por el Servicio Ibaizaina, dependiente del Departamento de Medio Ambiente de la Diputación Foral de Bizkaia.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las variaciones de los principales parámetros meteorológicos (irradiancia, precipitación total e intensidad media de viento) durante el período de estudio aparecen reflejadas en la Tabla 1. Se incluyen además los cambios producidos en el caudal del río Oka, principal tributario del estuario de Urdaibai, y la amplitud de marea para cada día. En general, el muestreo se caracterizó por una elevada inestabilidad atmosférica, con tres pulsos de lluvia de distinta intensidad que de-

terminaron las variaciones en el caudal del río Oka. Tal y como se esperaba, la respuesta a las precipitaciones recibidas en la cuenca se produjo de forma inmediata (Madariaga & Ruiz, 1988). En las latitudes medias estas variaciones a pequeña escala temporal son frecuentes ya que el clima se caracteriza por frentes de perturbación ambiental de 3-4 días de duración que influyen fuertemente en los medios costeros (Côte & Platt, 1983).

En las figuras 2 y 3 se representa la variación día a día de la distribución vertical de la salinidad y la temperatura a lo largo del eje longitudinal del estuario durante el período de estudio. Se observa un gradiente que va desde la homogeneidad vertical en la zona exterior del estuario, hasta la estratificación parcial de estas variables hidrográficas en la parte superior. En el estuario de Urdaibai, el grado de estratificación en la cabecera varía tanto en función de los movimientos de marea (Gobierno Vasco, 1986), como del aporte del río (Madariaga, 1987). Según Villate *et al.* (1989) las diferencias observadas entre mareas vivas y muertas son principalmente dos: por un lado, en mareas muertas la mezcla es más o menos gradual, mientras que en las vivas el cambio de salinidad es más brusco; por otro lado, las diferencias entre la salinidad máxima y mínima son por lo general mayores en mareas vivas. En este estudio, sin embargo, al considerar únicamente el estado de pleamar, las variaciones encontradas en el grado de

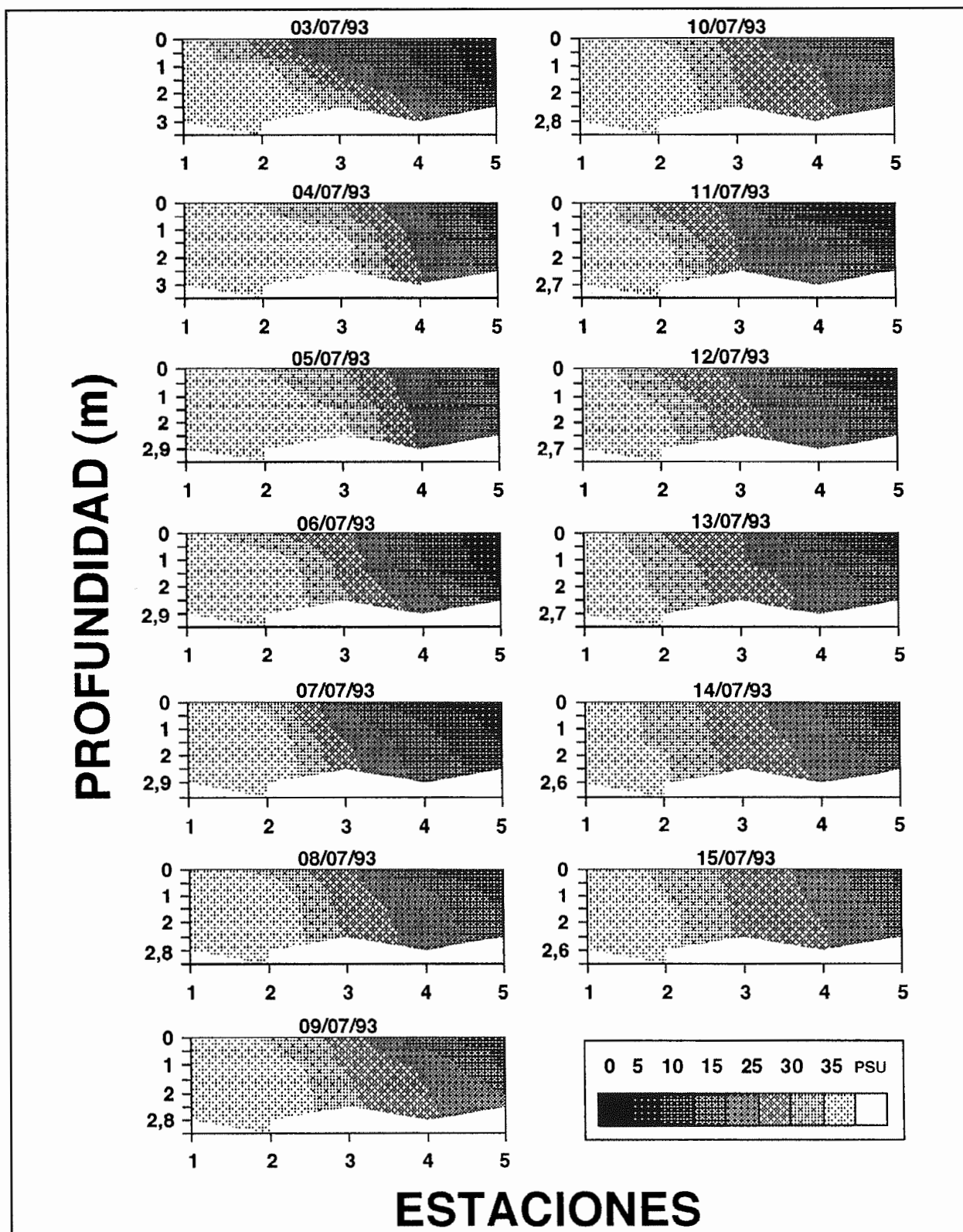


Figura 2. Distribución vertical de la salinidad (‰) a lo largo del eje longitudinal del estuario durante el período de estudio.

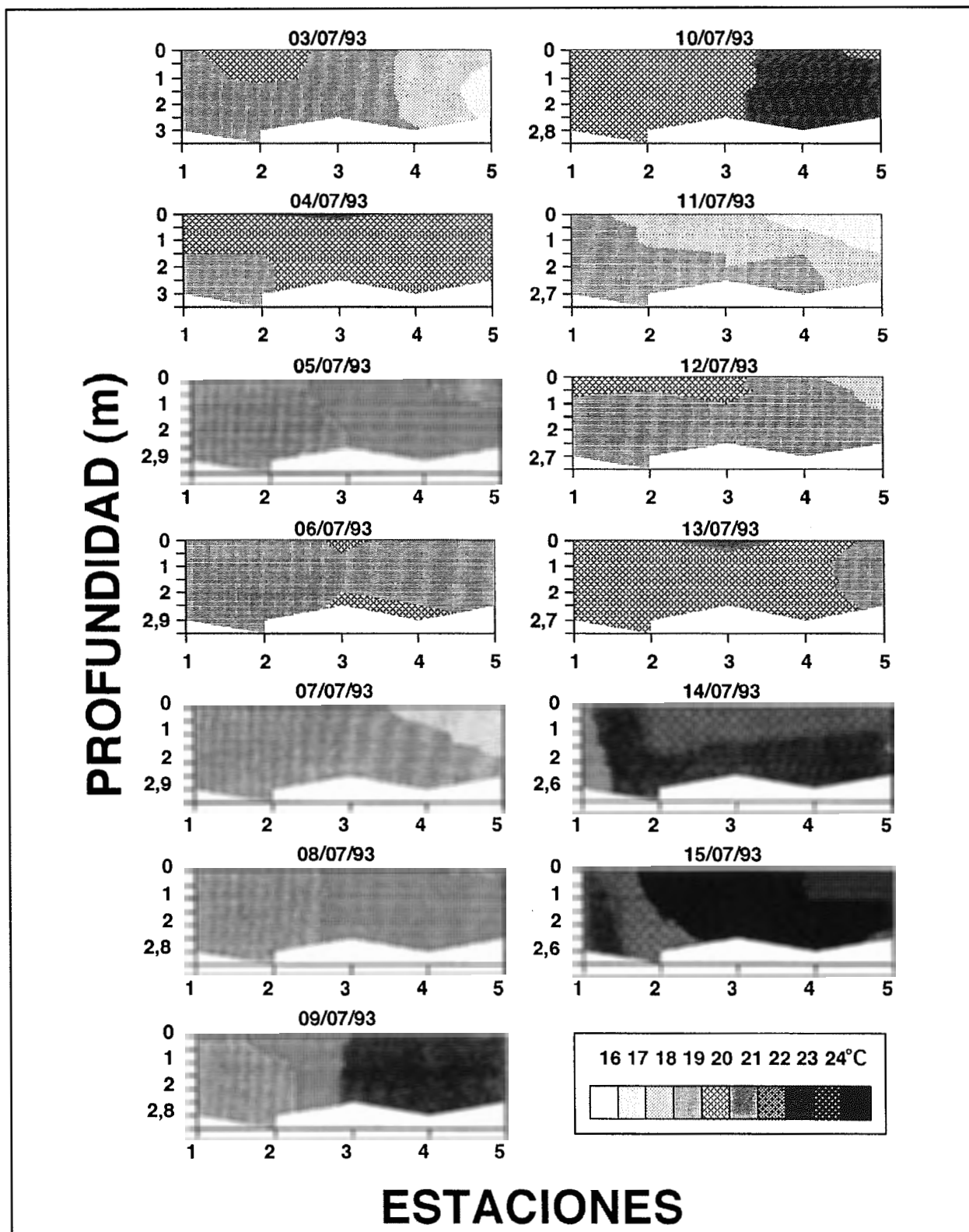


Figura 3. Distribución vertical de la temperatura (°C) a lo largo del eje longitudinal del estuario durante el período de estudio.

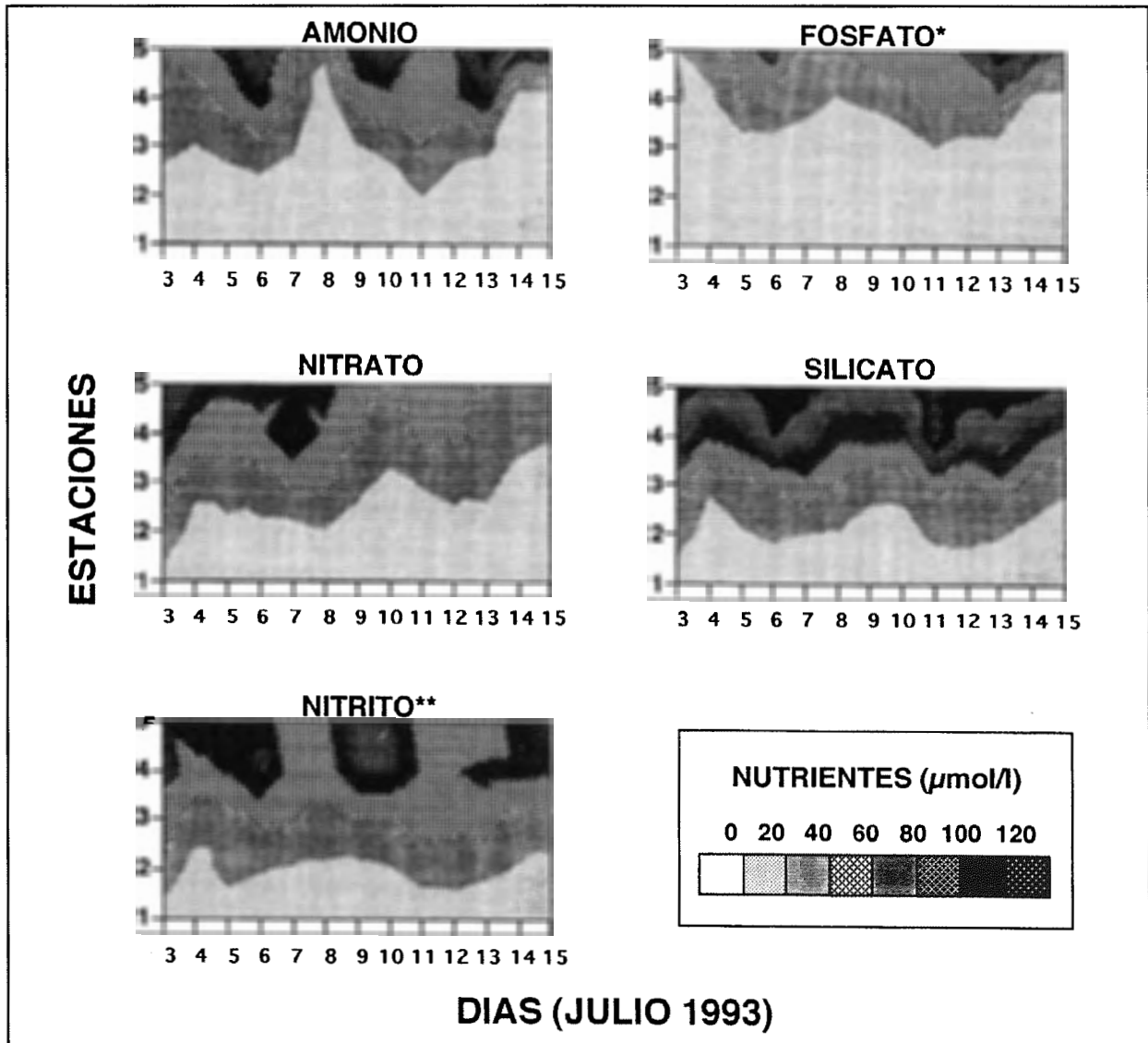


Figura 4. Variación temporal de la distribución de los nutrientes inorgánicos disueltos a lo largo del estuario de Urdaibai. \*Concentración de fosfato x10; \*\*Concentración de nitrito x50.

SALINIDAD	—										
AMONIO	-0,804*	—									
NITRATO	-0,854*	0,569*	—								
NITRITO	-0,872*	0,800*	0,735*	—							
FOSFATO	-0,778*	0,928*	0,509*	0,885*	—						
SILICATO	-0,978*	0,839*	0,839*	0,856*	0,830*	—					
TEMPERATURA	0,185	-0,096	-0,348*	0,088	-0,127	-0,232	—				
PH	0,532*	-0,427*	-0,687*	-0,438*	-0,315*	-0,527*	0,641*	—			
K	-0,902*	0,597*	0,826*	0,749*	0,554*	0,871*	-0,169	-0,483*	—		
OXIGENO	0,233	-0,151	-0,434*	-0,062	-0,123	-0,266	0,707*	0,757*	-0,282	—	
CLOROFILA	-0,304	0,331*	0,028	0,433*	0,346*	0,298	0,563*	0,442*	0,252	0,624*	—
SALINIDAD		AMONIO	NITRATO	NITRITO	FOSFATO	SILICATO	TEMPERATURA	PH	K	OXIGENO	CLOROFILA

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre los distintos parámetros físico-químicos y biológicos analizados en el presente estudio.

estratificación del estuario sólo pueden ser relacionadas al flujo del río y no al ciclo mareal.

El efecto de las descargas del río es especialmente evidente al estudiar la variación temporal de la distribución de los nutrientes inorgánicos a lo largo del estuario (Fig. 4), que muestra un gradiente longitudinal entre la parte anterior, más rica en nutrientes, y la parte posterior, de características más neríticas. Este fenómeno es debido a la propia geomorfología del estuario de Urdaibai, que presenta poca inercia frente a la acción de las fuerzas externas. Consecuentemente, en períodos de alta inestabilidad atmosférica se producen rápidas e importantes variaciones en la hidrografía del sistema (Madariaga & Ruiz, 1988; Madariaga, 1989; Madariaga *et al.*, 1989; Madariaga, 1991; Madariaga *et al.*, 1992).

Los patrones de distribución de nutrientes inorgánicos disueltos aparecen significativamente correlacionados entre ellos y con la salinidad del agua (Tabla 2). En el estuario de Urdaibai las variables químicas del agua siguen generalmente un patrón muy conservativo (Orive *et al.*, 1984; Madariaga & Ruiz, 1988; Madariaga *et al.*, 1989). Así, las elevadas concentraciones de nutrientes encontradas en el estuario de Gernika en su parte superior se explican principalmente por el aporte fluvial, aunque los vertidos de distinto carácter que se producen en este área pueden tener también su importancia. El predominio de formas nitrogenadas se debe, por una parte, a la mayor movilidad del nitrógeno en los suelos respecto al fosfato y a la mayor duración de su ciclo en el agua (Fleischer *et al.*, 1982; Harris, 1986), y por otra, a la composición de las aguas procedentes del municipio de Gernika, caracterizadas por sus altas concentraciones de nitrógeno, antes y después de

la depuradora (Madariaga, 1987). Precisamente las aguas que son tratadas primariamente por depuradoras municipales son particularmente ricas en amonio (Harris, 1986; Gráneli, 1987), hecho que coincide con los resultados obtenidos en este estudio. Los niveles de fosfato encontrados son también elevados y explicables de igual modo por aportes exógenos, como lo prueba la correlación tan significativa encontrada con el amonio (Tabla 2). Las distribuciones de silicato y nitrato, sin embargo, muestran patrones de dilución prácticamente conservativos. En general, todos los nutrientes aparecen en concentraciones muy bajas en la zona exterior del estuario por simple efecto de dilución con el agua marina.

Existe sin embargo un porcentaje de variación en la concentración de nutrientes que no es explicable por el efecto de dilución y que puede ser atribuido a procesos biológicos de consumo (Morris *et al.*, 1981). En el estuario de Urdaibai el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas se ve favorecido tras los pulsos de lluvia, tanto por el efecto fertilizador del río, como por la mejora en las condiciones ambientales y la estabilización del sistema (Madariaga *et al.*, 1989; 1992). Este patrón fue corroborado en el presente estudio (Tabla 2), durante el cual se produjo una intensa floración de fitoplancton en la zona superior (Fig. 5). El nivel de eutrofia que caracteriza este tramo del estuario (Madariaga, 1987; Orive, 1988; Fraile *et al.*, 1991) no nos permite hablar de limitación del crecimiento fitoplanctónico por nutrientes, aunque de hecho se produzca un importante consumo de los mismos. Los elevados valores encontrados para la relación N:P en el estuario de Urdaibai respecto a la proporción de Redfield (16:1) sugieren una limitación potencial por fósforo del crecimiento

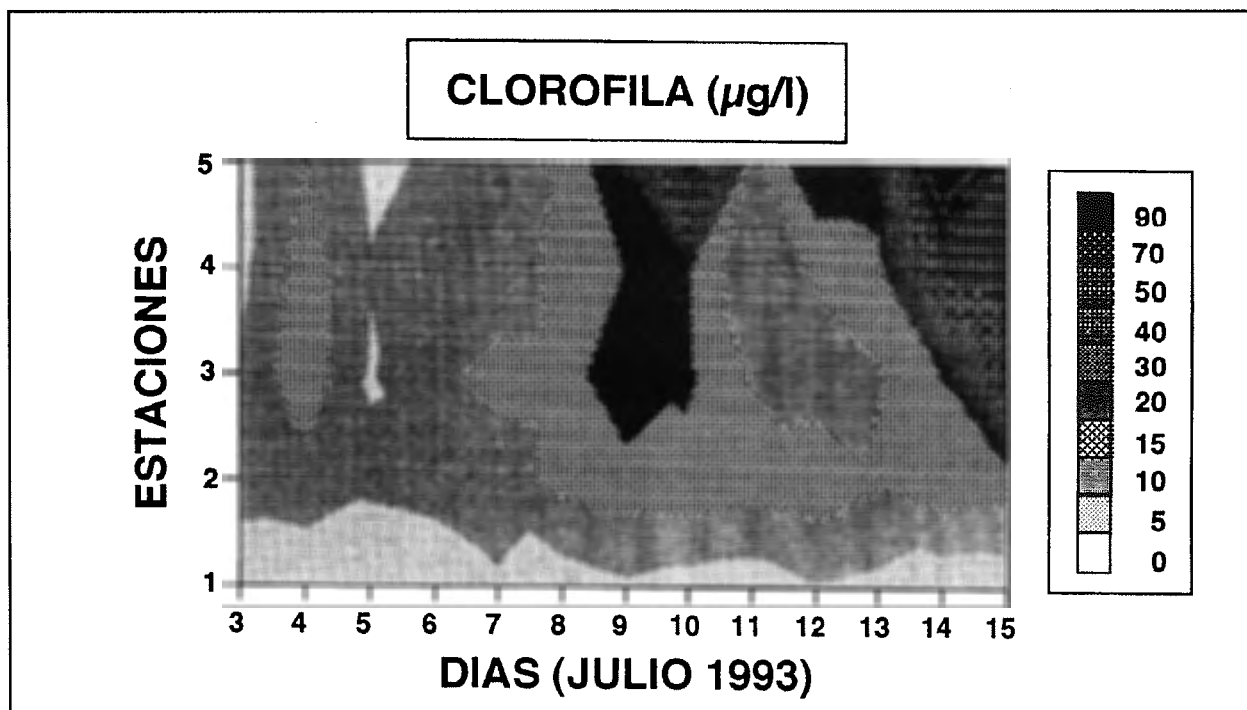


Figura 5. Variación temporal de la clorofila a lo largo del estuario de Urdaibai.

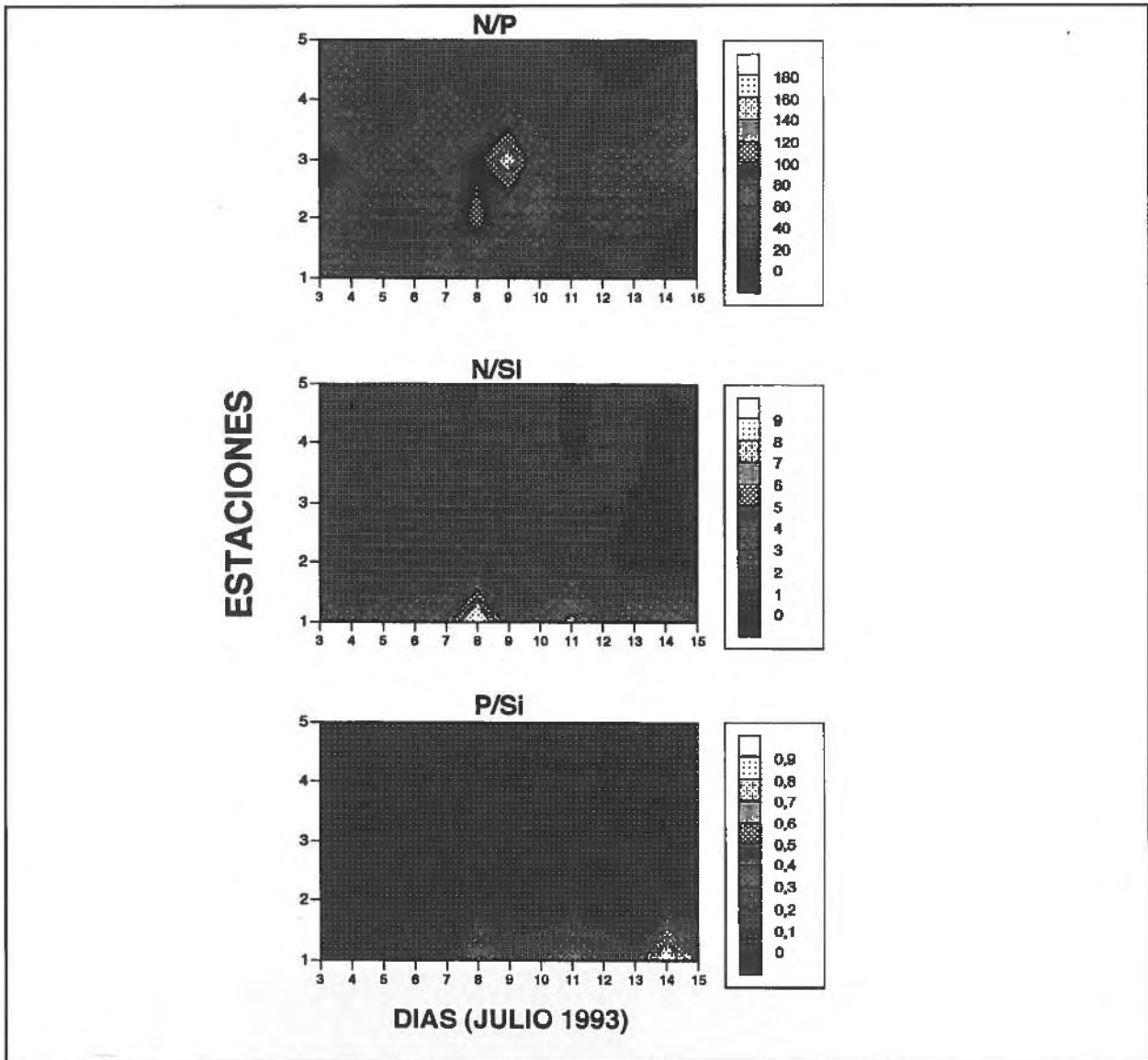


Figura 6. Variación temporal de las relaciones N:P, N:Si y P:Si en el estuario de Urdaibai.

algal (Howarth *et al.*, 1988; Magnien *et al.*, 1992), pero los ratios coincidentes con la floración fitoplanctónica no corroboran esta impresión (Fig. 6). De hecho, las relaciones N:P y N:Si parecen sugerir una disminución de nitrógeno proporcionalmente mayor cuando la biomasa del fitoplancton es máxima. En la zona exterior del estuario, sin embargo, es la concentración de silicato la que limita potencialmente el crecimiento del fitoplancton.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con una Beca de Formación de Investigadores concedida a Iosu de Madariaga por el Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco. Los autores agradecen a Astilleros de Murueta S.A. la cesión de sus instalaciones durante los muestreos.



## BIBLIOGRAFIA

- BALLS, P.W. 1992. Nutrient behaviour in two contrasting Scottish estuaries, the Forth and Tay. *Oceanol. Acta*, 15: 261-277.
- BROCKMANN, U., BILLEN, M. & GIESKES, W.W.C. 1988. North Sea nutrients and eutrophication. In: Salomons, W., Bayne, B.L., Duursma, E.K. & Forstner U. (eds.) *Pollution of the North Sea. An assesment*, Springer-Verlag.
- COTE, B. & PLATT, T. 1983. Day-to-day variations in the spring-summer photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 28: 320-344.
- FLEISCHER, S., RYDBERG, L. & STIBE, L. 1982. Transport of nitrogen and phosphorus to the Laholm bay. *Vatten*, 38: 454-460.
- FRAILE, H., FRANCO, J., RUIZ, A., VILLATE, F. & ORIVE, E. 1991. Algunos datos sobre variables indicadoras del estado trófico del estuario de la reserva de Urdaibai. *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*, 20: 33-37.
- FRANCO, J., RUIZ, A. & ORIVE, E. 1993. Producción, biomasa y composición pigmentaria de comunidades naturales de fitoplancton en un estuario eutrófico del Golfo de Bizkaia en verano. Actes du II Colloque international "Océanographie du Golfe de Gascogne", pp. 79-84.
- GARCIA-SOTO, C., MADARIAGA, I. de, VILLATE, F. & ORIVE, E. 1990. Day-to-day variability in the plankton community of a coastal shallow embayment in response to changes in river runoff and water turbulence. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 31: 217-229.
- GIESKES, W.W.C. & SCHAUB, B.E.M. 1990. *Correlation of the seasonal and annual variation of phytoplankton biomass in Dutch coastal waters of the North Sea with Rhine river discharge*. Michaelis, W. (ed.), Coastal and estuarine studies, Springer-Verlag, 36: 311-320.
- GOBIERNO VASCO, 1986. *Estudio oceanográfico de la ría de Mundaka*. Colección Itxaso, 3. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. 205 pp.
- GRANELI, E. 1987. Nutrient limitation of phytoplankton biomass in a brackish water bay highly influenced by river discharge. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 25: 555-565.
- HARRIS, G.P. 1986. *Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation*, Chapman and Hall, London, 384 pp.
- HOWARTH, R.W., MARINO, R & LANE, J. 1988. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marine ecosystems. I. Rates and importance. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 669-687.
- MADARIAGA, I. de 1987. Variabilidad a pequeña escala temporal de la producción primaria y de la biomasa fitoplanctónica en el estuario de Gernika en julio de 1987. Tesis de licenciatura. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias. U.P.V./E.H.U. 157 pp. (inédita).
- MADARIAGA, I. de & RUIZ, A. 1988. Variabilidad a pequeña escala temporal de la concentración de nutrientes disueltos en el estuario de Gernika (Otoño e Invierno). *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*, 17: 49-56.
- MADARIAGA, I. de 1989. Uheretasun-aldakuntzak Gernikako estuarioan. *Elhuyar*, 15: 8-12.
- MADARIAGA, I. de & ORIVE, E. 1989. Spatio-temporal variations of size-fractionated primary production in the Gernika estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 127: 273-288.
- MADARIAGA, I. de, ORIVE, E. & BOALCH, G.T. 1989. Primary production in the Gernika estuary during a summer bloom of the dinoflagellate *Peridinium quinquecorne*, Abé. *Bot. Mar.*, 32: 159-165.
- MADARIAGA, I. de 1991. Modelización del estuario de Gernika (Urdaibai). *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*, 20: 27-32.
- MADARIAGA, I. de, GONZALEZ-AZPIRI, L., VILLATE, F. & ORIVE, E. 1992. Plankton responses to hydrological changes induced by freshets in a shallow mesotidal estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 35: 425-434.
- MAGNIEN, R.E., SUMMERS, R.M. & SELLNER, K.G. 1992. External nutrient sources, internal nutrient pools, and phytoplankton production in Chesapeake Bay. *Estuaries*, 15: 497-516.
- MORRIS, A.W., BALE, A.J. & HOWLAND, R.J.M. 1981. Nutrient distributions in an estuary: evidence of chemical precipitation of dissolved silicate and phosphate. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 12: 205-216.
- MORRIS, A.W., HOWLAND, R.J.M., WOODWARD, E.M.S., BALE, A.J. & MANTOURA, R.F.C. 1985. Nitrite and ammonia in the Tamar estuary. *Neth. J. Sea Res.*, 19: 217-222.
- ORIVE, E., SANTIAGO, J. & VILLATE, F. 1984. Variabilidad de algunos parámetros físicos y biológicos en la ría de Mundaka. *Cuadernos da Area de Ciencias Mariñas*, 1: 129-138.
- ORIVE, E. 1988. Cambios espaciales del fitoplancton y variables relacionadas en el estuario de Gernika. *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*, 17: 94-101.
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167: 311 pp.
- VILLATE, F., FRANCO, J., RUIZ, A. & ORIVE, E. 1989. Caracterización geomorfológica de cinco sistemas estuaricos del País Vasco. *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*, 18: 157-170.

