

INFORMES TÉCNICOS

INSTITUTO ESPAÑOL
DE OCEANOGRAFÍA

ISSN: 0212-1565

VARIACIÓN ANUAL E INTERANUAL DE LOS FACTORES FISICOQUÍMICO- BIOLÓGICOS GENERALES DEL MEDIO PELÁGICO DE LA BAHÍA DE PALMA (ISLAS BALEARES, ESPAÑA) DESDE MAYO DE 1988 HASTA MAYO DE 1992

J. Jansá
M.^a L. Fernández de Puelles
J. L. López-Jurado
B. Amengual
O. Reñones
y A. Morillas



Publicación de periodicidad irregular dedicada a trabajos técnicos realizados por personal del IEO, exclusivamente o en colaboración con investigadores de otras instituciones, relacionados con los siguientes campos de las Ciencias Marinas: Biología, Ecología, Geología, Física, Química, Pesquerías, Acuicultura y Contaminación.

Tendrán cabida en **INFORMES TÉCNICOS** artículos originales sobre aplicaciones y desarrollo de técnicas de trabajo y resultados parciales de una investigación, o resultados analizados y elaborados de grupos de trabajo.

Se aceptarán originales en español o inglés, indistintamente.

A nonperiodical publication comprising technical reports by IEO investigators, on their own or in collaboration with investigators from other institutes, related to the following branches of the marine sciences: biology, ecology, geology, physics, chemistry, fishing, aquaculture and pollution.

INFORMES TÉCNICOS features original articles on the applications and development of working techniques and partial research findings, or final analysis of findings by study groups.

Papers are accepted in Spanish or English.

La correspondencia relacionada con la publicación de originales y los intercambios de **INFORMES TÉCNICOS** debe dirigirse a (*Send correspondence related to the publication of papers and exchange of issues of **INFORMES TÉCNICOS** to:*

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA
Avda. de Brasil, 31 . 28020 Madrid, España . Tel.: (91) 597 08 64 . Fax: (91) 597 47 70

La petición de información sobre suscripciones y adquisición de números sueltos, así como la solicitud de ejemplares, deberá hacerse por escrito al centro de distribución (*Requests for information regarding subscriptions and back issues should be made in writing to the distribution center:*

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
CENTRO DE PUBLICACIONES

Paseo de la Infanta Isabel, 1 . 28014 Madrid, España . Fax: (91) 347 57 22

La responsabilidad por las opiniones emitidas en esta publicación corresponde exclusivamente al autor (*The opinions expressed herein are those of the authors.*)

El Instituto Español de Oceanografía agradece la colaboración de los evaluadores anónimos en la revisión crítica de esta publicación (*The Instituto Español de Oceanografía thanks its anonymous referees for their critical revision of this publication.*)

CONSEJO ASESOR (ADVISORY BOARD)

Álvaro Fernández García. Jefe de Área de Pesquerías

Jerónimo Corral Estrada. Consejero Técnico para Investigación y Tecnología.
Secretario del Consejo Asesor

Argeo Rodríguez de León. Jefe de Área de Medio Marino y Protección Ambiental

Ignacio Arnal Atarés. Jefe de Área de Cultivos

CONSEJO EDITORIAL (EDITORIAL BOARD)

Juan Acosta Yepes. Geociencias Marinas (*Marine Geosciences*)

Federico Álvarez de Prado. Biología Pesquera (*Fish Biology*)

Demetrio de Armas Pérez. Química y Contaminación (*Chemicals and Pollution*)

Eduardo Balguerías Guerra. Biología Pesquera (*Fish Biology*)

Juana Rosa Cejas Pulido. Cultivo de peces (*Fish Farming*)

Federico Fernández de Castillejo. Oceanografía Física (*Physical Oceanography*)

José Iglesias Estévez. Cultivo de peces (*Fish Farming*)

Eduardo López-Jamar Martínez. Biología Marina (*Marine Biology*)

Francisco Javier Pereiro Muñoz. Pesquerías (*Fisheries*)

Alejandro Pérez Camacho. Cultivo de moluscos (*Mollusc Farming*)

COORDINACIÓN EDITORIAL (EDITOR)

Concha Mosquera de Arancibia

INFORMES TÉCNICOS

INSTITUTO ESPAÑOL
DE OCEANOGRAFÍA

ISSN: 0212-1565

VARIACIÓN ANUAL E INTERANUAL DE LOS FACTORES FISICOQUÍMICO-BIOLÓGICOS GENERALES DEL MEDIO PELÁGICO DE LA BAHÍA DE PALMA (ISLAS BALEARES, ESPAÑA) DESDE MAYO DE 1988 HASTA MAYO DE 1992

J. Jansá
M.^a L. Fernández de Puelles
J. L. López-Jurado
B. Amengual
O. Reñones
y A. Morillas

Centro Oceanográfico de Baleares
INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA
Muelle de Poniente, s/n. 07080 Palma de Mallorca, España

*Recibido en diciembre de 1993. Aceptado en diciembre de 1994
Coordinación científica editorial: Eduardo López-Jamar Martínez*



MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

Centro de Publicaciones
Paseo de la Infanta Isabel, 1. 28014 Madrid, España

Núm. 152

Págs. 83

Madrid, España 1994

VARIACIÓN ANUAL E INTERANUAL DE LOS FACTORES FÍSICO-QUÍMICO-BIOLÓGICOS GENERALES DEL MEDIO PELÁGICO DE LA BAHÍA DE PALMA (ISLAS BALEARES, ESPAÑA) DESDE MAYO DE 1988 HASTA MAYO DE 1992*

J. Jansá, M.^a L. Fernández de Puelles, J. L. López-Jurado,
B. Amengual, O. Reñones y A. Morillas

Centro Oceanográfico de Baleares. Instituto Español de Oceanografía. Muelle de Poniente, s/n. 07080 Palma de Mallorca, España.

RESUMEN

En este estudio se analiza la variación temporal de los parámetros que describen básicamente las características del medio pelágico de la bahía de Palma de Mallorca. Con este fin, desde mayo de 1988 hasta mayo de 1992 se han tomado datos de temperatura, salinidad, transparencia del agua, nutrientes, oxígeno disuelto, clorofila *a* y biomasa zooplanctónica, con una frecuencia aproximadamente mensual en tres puntos de muestreo: uno de ellos, en la zona portuaria, y los otros dos, en el centro y en una zona costera de la bahía.

El análisis de los resultados muestra que, dentro de la irregularidad que en la variación anual e interanual presentan algunos de estos parámetros, característica de una zona nerítica poco profunda y al mismo tiempo abierta a masas de agua oligotróficas de alta mar del Mediterráneo occidental, y a algunas influencias antropogénicas y terrígenas, los fenómenos globales se mantienen aparentemente estables y no parece que existan grandes variaciones. Esto se confirma cuando se comparan algunos parámetros (por ejemplo la clorofila *a* o biomasa zooplanctónica) con los medidos en esta zona en estudios anteriores.

Palabras clave: Medio pelágico, temperatura, transparencia, nutrientes, clorofila *a*, biomasa zooplanctónica, variación temporal.

ABSTRACT

Seasonal and interannual evolution of the main physical, chemical and biological parameters in the pelagic system of Palma Bay (1988-1992)

The temporal variation of the main parameters in the pelagic system of Palma Bay is analysed. Temperature, salinity, water transparency, nutrients, dissolved oxygen, chlorophyll *a* and zooplanktonic biomass data were sampled monthly at three points in the bay, from May 1988 to May 1992.

Our results showed remarkable global stability despite the normal irregularity of some annual and interannual evolution parameters typical of a low depth inshore area open to the Western Mediterranean Sea's offshore oligotrophic conditions as well as to some terrestrial and anthropogenic influences. This is also observed from the comparison of some current parameters, such as chlorophyll *a* or zooplanktonic biomass, with previous studies carried out in this area.

Key words: Pelagic system, temperature, transparency, nutrients, chlorophyll *a*, zooplanktonic biomass, temporal variation.

* Recibido en diciembre de 1993. Aceptado en diciembre de 1994.
Coordinación científica editorial: Eduardo López-Jamar Martínez.

1. INTRODUCCIÓN

La primitiva idea de que el mar, con su extensión casi ilimitada, era capaz de absorber cualquier impacto, fuese de origen humano o de otra índole, no puede ser mantenida actualmente debido a que la presión antropogénica quizá llegue a ser más grande de lo que determinados sistemas pueden soportar. Ciertamente hay que tener en cuenta que el ecosistema marino no es un sistema uniforme y el comportamiento de sus distintos "componentes" es diferencial frente a las perturbaciones.

Por su misma naturaleza (basada en su magnitud y variabilidad intrínseca), el medio pelágico oceánico e incluso el nerítico de zonas abiertas parece tener una resistencia notable a mostrar posibles cambios. Si, por ejemplo, refiriéndonos a masas de agua oligotróficas, observásemos una tendencia clara hacia una eutroficación creciente en lugares de alta mar o de zonas costeras sometidas a masas de agua oceánicas, esto indicaría que el cambio operado en el sistema sería prácticamente irreversible, por lo menos a lo largo de un intervalo de tiempo vital, ya que se habría producido en la mayor parte del medio. Esto está dentro de lo posible y de ahí la necesidad de ver, por lo menos cada cierto tiempo, el estado en que se encuentra el sistema. Evidentemente, para poder valorar, es necesario disponer de puntos de referencia anteriores, cuantos más mejor, a fin de conocer el rango de variación natural en el que se mueven los descriptores del sistema. Por supuesto, hay que valorar adecuadamente lo observado en su marco geográfico, ya que no es lo mismo lo que ocurre en una bahía abierta que en un puerto casi cerrado o en una desembocadura de río.

Podemos considerar la bahía de Palma como una zona nerítica insular abierta en un mar oligotrófico (zona central del Mediterráneo occidental), aunque sometida a la influencia de una navegación bastante intensa y también a una notable densidad de población a lo largo de casi toda su costa. La situación de los puntos de muestreo (figura 1) obedece a la idea de obtener un registro de las dos influencias señaladas antes. Así, los datos obtenidos en la zona central pueden ser índice o registro de ciertas características de alta mar, al menos de su capa superficial.

Aunque éste no es el primer registro de datos del medio pelágico que se efectúa en la bahía de Palma (sí lo es por el cúmulo de parámetros así como por el intervalo de tiempo muestreado) puede ser considerado, en líneas generales, como se verá posteriormente, como otro punto de referencia que describe una situación prácticamente "natural" del medio pelágico nerítico, a excepción de las aguas portuarias. Un estudio de distribución espacial del plancton de la Bahía de Palma fue realizado en 1982. Tal vez, aunque de dimensiones menores y morfología diferente, la otra bahía de las islas Baleares que más semejanza tiene con la de Palma sea la de Pollensa, y aquí también se ha realizado un estudio intensivo (Ferrá et al., 1989). Coincidiendo con parte del período de muestreo de la bahía de Palma, también se ha llevado a cabo un importante estudio en la bahía de Alcudia (Moyá et al., 1992; Vives et al., inédito), aunque aquí hay que señalar el carácter diferencial de esta bahía, debido a la influencia de la albufera. Con anterioridad, se tienen datos más puntuales del medio pelágico

de las principales bahías y puertos de las Baleares (Chacartegui, 1980 y Jansá, 1985). Otros datos inéditos o publicados hacen referencia a la situación del puerto de Mahón, gravemente alterado, especialmente en la época cálida, por proliferaciones anormales de fitoplancton que también tuvieron sus consecuencias en el zooplancton.

Aunque el presente estudio hace referencia fundamentalmente a los parámetros simples y básicos del medio pelágico (temperatura, salinidad, nutrientes, oxígeno disuelto, clorofila *a* e índices de biomasa zooplanctónica), también se han efectuado estudios de estructura de poblaciones tanto en el fito como en el zooplancton (Salvá y Fernández de Puelles, 1992; Jansá y Martínez, inédito). Entre los trabajos taxonómicos más antiguos de referencia cabe citar a Massutí (1942 a y b).

Parte de los datos de este estudio, aunque con un tratamiento diferente, han sido presentados en algunas comunicaciones y publicaciones (Fernández de Puelles y Jansá, 1992).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Puntos de muestreo

La situación de las estaciones aparece en el mapa de la figura 1. Tal como se ha indicado en la introducción, estos puntos se han escogido a fin de obtener un registro continuado en zonas de características ambientales más o menos diferenciadas. Así, la estación 3 (centro de la bahía) reflejaría *a priori* aguas neríticas más o menos limpias. La estación 2, es de carácter más costero y de ambiente más fluctuante por su proximidad a un emisario. La estación 1, es propia de ambiente portuario más o menos confinado. El fondo se encuentra a unos 30 m en las estaciones 2 y 3, siendo los niveles de muestreo a 0, 5, 10, 15, 20 y 30 m. En la estación 1, el fondo se encuentra sobre los 20 m, habiéndose muestreado a 0, 5 y 10 m en una primera fase de estudio y a 0, 10, 20 en el resto.

Los tres puntos de muestreo han sido visitados con una frecuencia aproximadamente mensual durante la mayor parte del período estudiado, tomándose generalmente datos de todos los parámetros citados.

2.2 Temperatura, salinidad y transparencia

Los datos de temperatura se han obtenido generalmente cada metro, mediante un termistor debidamente calibrado fabricado en el Centro Oceanográfico de Baleares (Durán y Batle, inédito) capaz de apreciar la centésima de grado.

En los niveles de muestreo anteriormente señalados, se han tomado muestras de agua (obtenidas a partir de botellas Niskin de alrededor de 3 l de capacidad) para el análisis de salinidad en el laboratorio. Para ello, se ha utilizado un salinómetro Guildline modelo 8400A calibrado con agua estándar.

La transparencia de la columna de agua se midió con un disco de Secchi de 30 cm de diámetro pintado en blanco mate.

2.3 Oxígeno, nutrientes y clorofila *a*

De la misma forma que para la salinidad, las botellas Niskin fueron utilizadas para obtener muestras para el estudio de oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila *a*.

Las muestras destinadas a la medición de la concentración de oxígeno disuelto han sido fijadas a bordo, habiéndose efectuado la valoración en el laboratorio de acuerdo con el método de Winkler (Strickland y Parsons, 1972). Se han utilizado las constantes de Murray y Riley (1969) para el cálculo del porcentaje de saturación.

Las muestras destinadas al estudio de nutrientes fueron congeladas a -20°C hasta su posterior análisis en el laboratorio. En la determinación de los nitratos, nitritos y silicatos se ha seguido el método de Armstrong, Sterns y Strickland (1967). Se ha utilizado el método de Treguer y Le Corre (1975) en el análisis de los fosfatos. Estas técnicas se han llevado a cabo mediante un autoanalizador Technicon AAI.

En los mismos niveles en que se han analizado los parámetros precedentes, se han tomado muestras de agua para el análisis de los pigmentos fotosintéticos (clorofila *a* y productos degradados después de su acidificación). Normalmente se ha filtrado un volumen de 1,5 l de cada muestra sobre filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C, siendo éste junto al filtrado, congelado a -20°C hasta su posterior análisis. La mayor parte de las mediciones efectuadas en los extractos acetónicos obtenidos con acetona al 90%, se han realizado por fluorimetría, utilizando un espectrofluorímetro Perkin-Elmer mod. 204 calibrado con mediciones absorciométricas. Dejando a parte esta variación instrumental, el método se adapta, en sus líneas generales, a las recomendaciones de SCOR/Unesco (1966). A fin de tener una idea del estado de degradación de la clorofila *a*, se ha calculado el cociente entre las fluorescencias antes y después de acidificar con ClH 0,1 N. (F0/Fa.)

2.4 Biomasa zooplanctónica

Para los análisis de los índices de biomasa zooplanctónica se han realizado pescas mediante una red del tipo Bongo de 20 cm de diámetro para el examen de las fracciones "micro" y "meso" del zooplancton, utilizando mallas de 100 y 250 μm , respectivamente.

Las muestras o submuestras alícuotas (1/2 de la original) obtenidas mediante submuestreador Folsom, destinadas al estudio de la biomasa zooplanctónica, fueron congeladas a -20°C . El cálculo de la biomasa se realizó, efectuándose la pesada -previa descongelación y desecación en estufa hasta peso constante (Lovegrove, 1966 y Le Borgne, 1975)- en balanza de precisión dos semanas después de la obtención de la muestra (Boltovskoy, 1981), siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo 23 (SCOR/Unesco,

1968 y Steedman, 1976).

2.5 Elaboración de datos y presentación de resultados

Para la representación de los valores de temperatura, salinidad, nutrientes, porcentaje de saturación de oxígeno y clorofila *a*, se han tenido en cuenta dos formas básicas: en primer lugar, se han realizado gráficos de isolíneas o de trama, en los que se muestra la variación temporal en los distintos niveles de muestreo de los valores puntuales de cada parámetro. En este tipo de representación, se ha tenido en cuenta un doble objetivo: por una parte, el intento de análisis de los cambios que pueden tener lugar en la columna de agua a lo largo del tiempo y, por otra parte, facilitar visualmente los rangos entre los que se mueven los valores puntuales. Es por esto por lo que se ha intentado detallar -quizá más de lo que puede resultar interesante en una columna de agua que como máximo llega a los 30 m- en las tramas o isolíneas. A fin de facilitar la observación, y dado que en el muestreo ha habido algunas lagunas, se ha considerado conveniente separar la graficación en tres períodos anuales: 1988-1989, 1989-1990 y 1991. Igualmente, se han realizado gráficos independientes para cada una de las tres estaciones de muestreo.

El segundo tipo de representación tiene en cuenta la variación temporal de los promedios de los distintos niveles de muestreo de la columna de agua de cada estación para parámetros tales como la salinidad, nutrientes, oxígeno y clorofila *a*. La utilización de los promedios queda justificada al no existir gradientes verticales importantes en este grupo de parámetros y porque facilita el estudio comparativo de su régimen de variación en los tres puntos de muestreo. En el caso de la temperatura, se han tenido en cuenta los valores de superficie y fondo así como el promedio de la temperatura superficial de las estaciones 2 y 3, al relacionar éste con la temperatura del aire o la radiación solar. Solamente, en el sentido de facilitar la visualización y para conseguir el fin anteriormente indicado, hay que considerar que en este segundo tipo de representación se han suavizado los valores en la mayor parte de los casos.

Se han tenido en cuenta dos formas de suavización: el ajuste a una curva polinómica y la media móvil. Se ha podido ver que la suavización polinómica es especialmente útil en la descripción de una onda de variación más o menos simple, con pequeñas oscilaciones (figuras 2, 3 y 4), mientras que la media móvil se adapta mejor a un tren de ondas (figura 5) o a un patrón de variación más complejo. De acuerdo con esto, en el análisis de la variación mensual, dentro de los períodos anuales señalados antes, se ha juzgado adecuada la suavización polinómica, mientras que en el estudio global de todo el período de muestreo (hasta junio de 1992) se ha considerado frecuentemente la media móvil.

En el análisis de posibles tendencias, se ha considerado la máxima suavización polinómica (polinomio de orden 1). (Véase figura 21.) A fin de valorar en su punto justo el análisis de la tendencia mediante este método, hay que considerar el "peso" que pueden tener los valores de los extremos de la serie de datos en la inclinación de la recta.

En el caso de la representación de los datos del zooplancton, por un lado se han presentado los valores reales como miligramos de peso seco por m^3 , y en los casos de suavización, el ajuste se ha hecho por medias móviles, tanto para el período total como por años, y también se ha utilizado el método de suavización polinómica (polinomios de orden 3 y 1) para conocer la tendencia general.

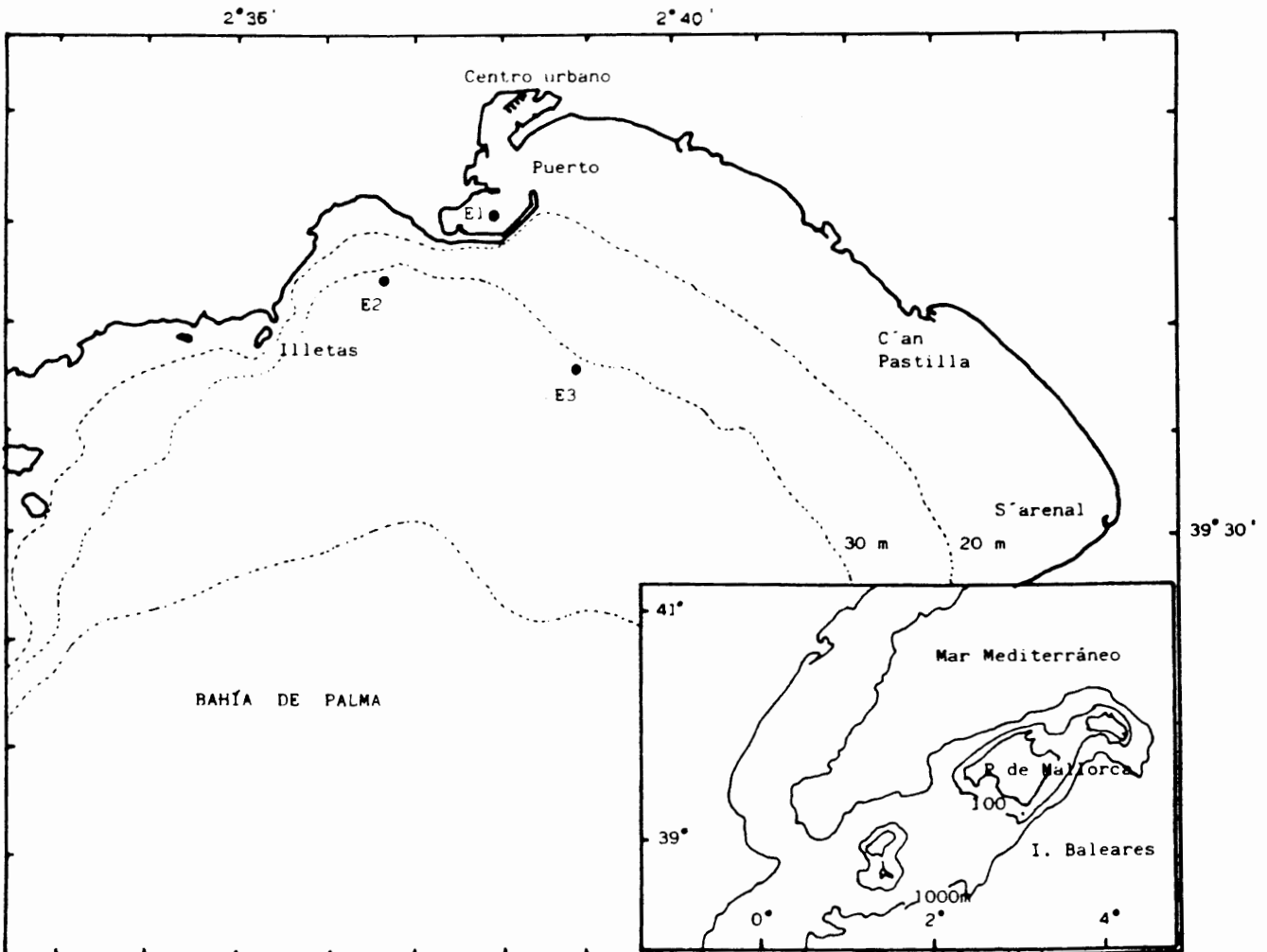


Figura 1. Situación de las estaciones de muestreo.

TEMPERATURA AIRE-AGUA (1988-1989)

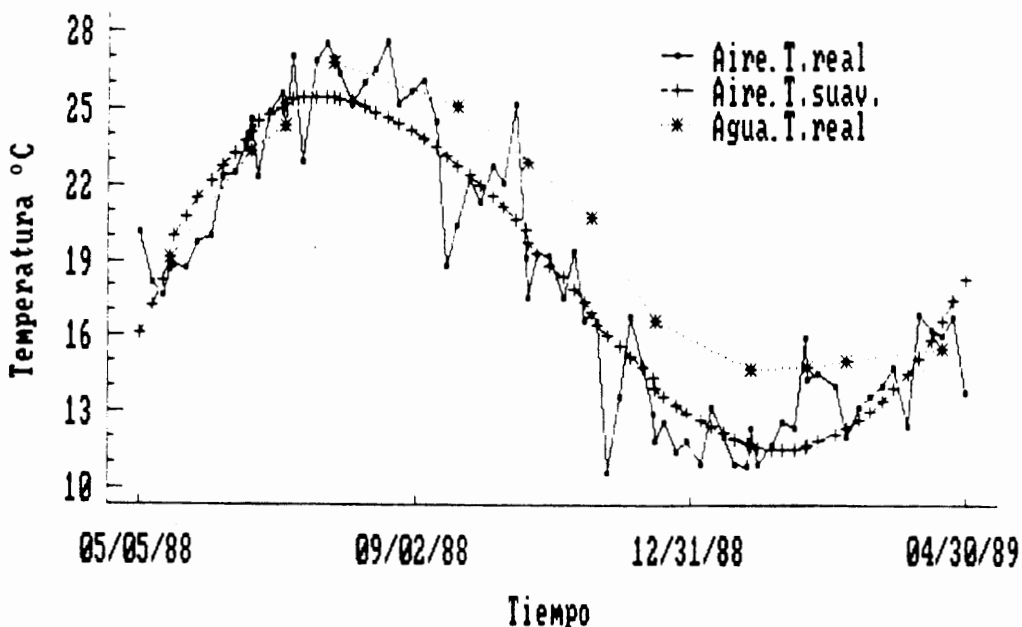


Figura 2. Temperatura superficial del agua (promedio de las estaciones 2 y 3, valores reales) y temperatura del aire (valores reales y suavizados: polinomio de orden 3) durante el período 1988-1989.

TEMPERATURA AIRE-AGUA (1989-1990)

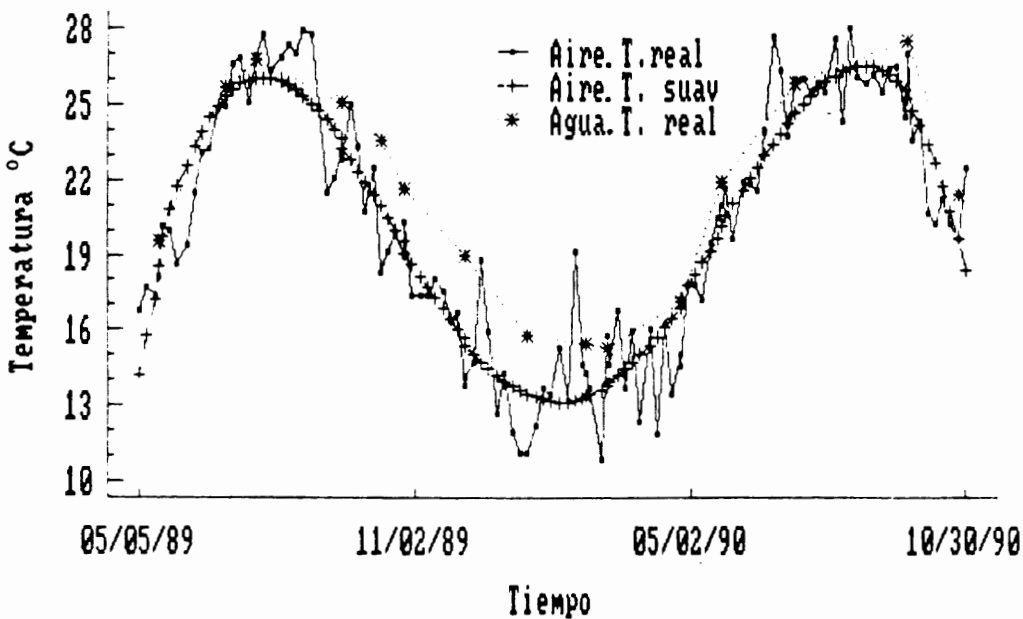


Figura 3. Temperatura superficial del agua (promedio de las estaciones 2 y 3, valores reales) y temperatura del aire (valores reales y suavizados: polinomio de orden 4) durante el período 1989-1990.

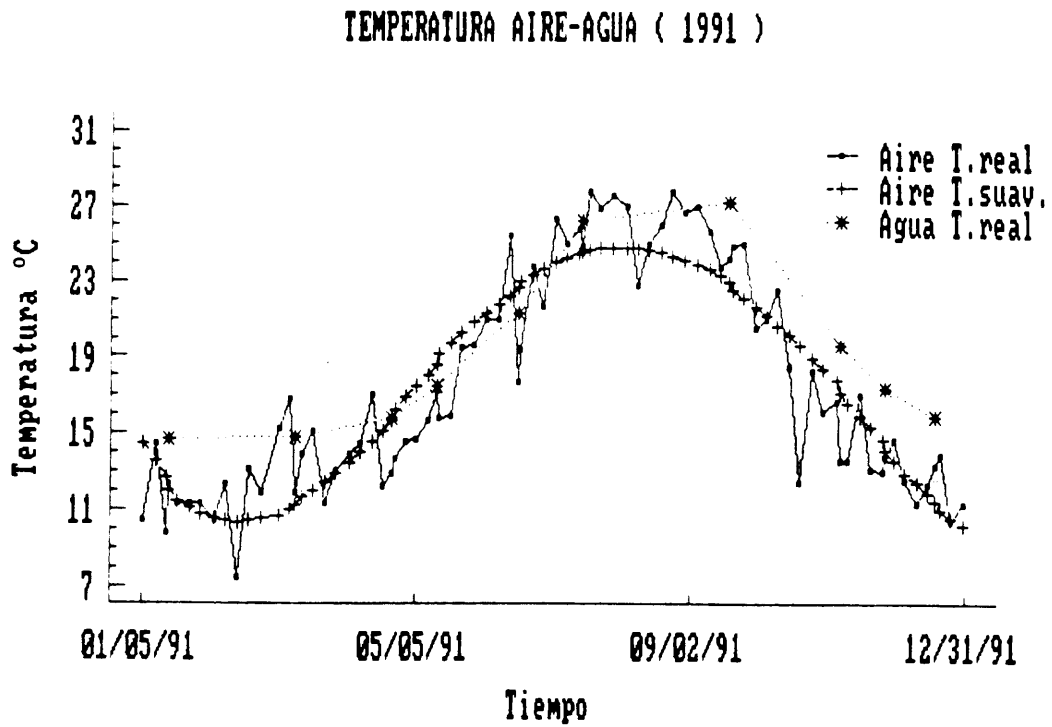


Figura 4. Temperatura superficial del agua (promedio de las estaciones 2 y 3, valores reales) y temperatura del aire (valores reales y suavizados: polinomio de orden 4) durante 1991.

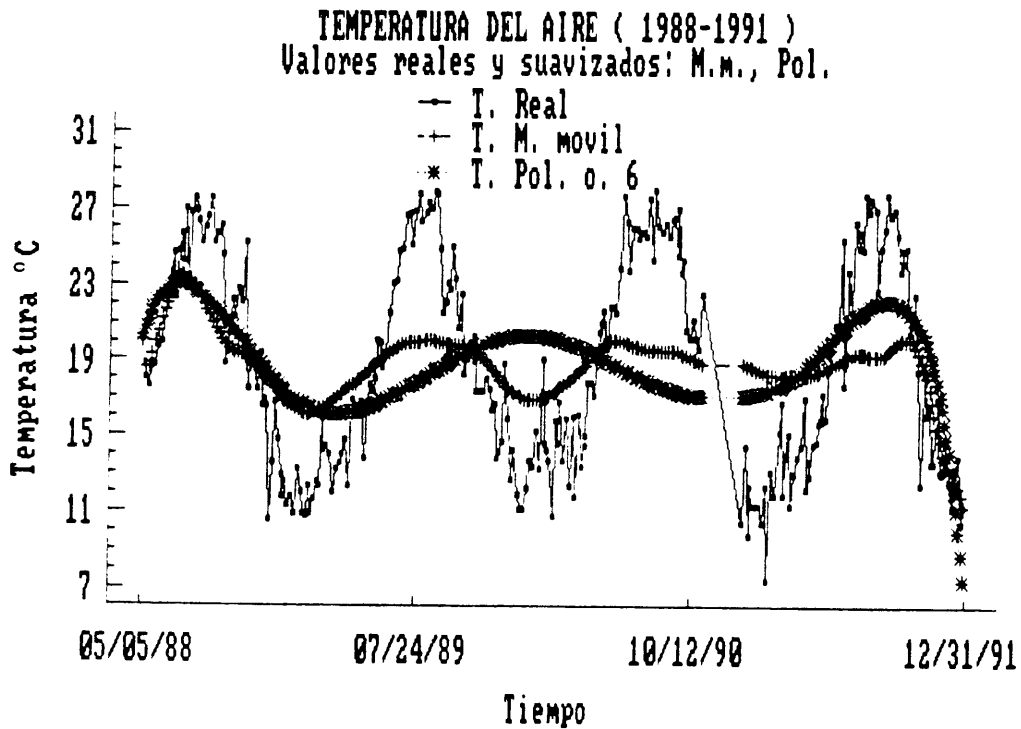


Figura 5. Temperatura del aire durante el período 1988-1991. Valores reales y comparación entre dos formas de suavización: media móvil de orden 3 y polinomio de orden 6.

3. RESULTADOS

3.1 *Temperatura*

En las figuras 6 a 14 se muestra la variación térmica en el tiempo y la profundidad en los tres puntos de muestreo y durante los períodos anuales considerados.

El período de estratificación por calentamiento superficial del tránsito invierno-primavera puede experimentar ligeros desfases en el tiempo según el año de que se trate. Así, durante 1989-1990 la estratificación parece iniciarse en marzo, mientras que se encuentra retrasada hasta abril en 1991 y puede detectarse entre marzo y abril en 1988. Hay que señalar que la temperatura de la masa de agua durante el invierno de 1991 fue más baja (entre 14,2 y 14,4°C) que en los inviernos anteriores (15,2-15,4°C).

Aunque el calentamiento de la masa de agua supone una estratificación de ésta, con la formación de una termoclina que se va afianzando y profundizando progresivamente, la observación muestra que, en el inicio del proceso, resulta más fácil la repartición en profundidad del calentamiento superficial, bien sea por la acción del viento, bien sea por enfriamientos superficiales ocasionales que determinan una mezcla vertical. Este mecanismo queda favorecido si la capa de agua es relativamente poco profunda, como ocurre en el caso que nos ocupa. En este sentido, sólo puede hablarse de un período relativamente corto de tiempo (entre julio y septiembre) en el que existe una termoclina de poco espesor, pero de considerable gradiente, que da lugar a la separación de una capa de agua superior homotérmicamente caliente con temperaturas de más de 26°C, de otra inferior, próxima al fondo y más fría, cuya temperatura oscila entre 18 y 20°C (figuras 6, 7, 8, 9 y 11).

En nuestro caso, la desaparición de la termoclina se presenta pronto, ya que lo que acaba obteniéndose es una capa de agua casi homotérmicamente caliente que va experimentando un progresivo enfriamiento hacia el otoño e invierno. Aunque se puede hablar de un paso de una homotermia caliente a otra fría, de hecho esto tiene lugar con un cierto gradiente vertical, al menos al principio del proceso, por lo que el período de estratificación, con mayor o menor gradiente vertical es relativamente largo (figuras 15 a 17). Comparando tres períodos anuales, parece que el enfriamiento es algo más lento durante los años 88 y 89 que en 1991, dándose una situación de mayor homotermia cálida-fría en el período 1988-1989. Dado que la estación 1 es menos profunda que las otras dos, el fenómeno de homotermia cálida-fría es todavía más patente (figuras 15, 16, 17-C y figuras 12-14).

Si se compara el régimen térmico del aire (datos del Centro Meteorológico de Baleares) con el del agua (promedio de las temperaturas superficiales de las estaciones 2 y 3) para todo el período de muestreo (1988-1992), cabe destacar la persistencia, a lo largo de los años sucesivos, de un proceso casi simultáneo en el calentamiento. Sería esperable un cierto desfase, que sí se observa, de una forma más o menos constante, en el enfriamiento (figura 19). El desfase es permanente, tanto en el proceso de calentamiento como en el enfriamiento anual, cuando se coteja el

régimen de radiación solar con la temperatura del aire o del agua (figuras 18 y 20).

Las temperaturas del agua más bajas, observadas durante los períodos invernales de 1990-91 y 1991-92, están en relación con inviernos atmosféricamente más fríos en estos años (figura 19).

En el análisis de la tendencia para todo el período de observaciones (1988-1992), aparece una disminución progresiva de la temperatura superficial del agua (promedio de las estaciones 2 y 3). De acuerdo con lo dicho en la metodología, esto puede resultar más bien un artefacto debido a la influencia de los valores de los extremos de la serie de datos y al no tener en cuenta el máximo estival de 1992 por lo que, haciendo abstracción de este hecho, parece que, en conjunto, el régimen térmico no ha experimentado ningún cambio progresivo destacable (figura 21).

3.2 Salinidad

Debido al reducido espesor de la capa de agua, no existe, como era de esperar, un patrón definido de distribución vertical en la salinidad, aunque resultan algo frecuentes mayores concentraciones salinas en las proximidades del fondo (figuras 22 a 24). De acuerdo con los valores puntuales, aparecen salinidades relativamente altas (del orden de 38, 38,1 ‰) en las estaciones 3 y 2 en abril y mayo de 1989. Los valores más bajos (del orden del 37 ‰) aparecen simultáneamente en las tres estaciones en julio de 1991 (figura 24).

La tendencia hacia un aumento simultáneo en el tránsito invierno-primavera de 1988 (figura 25-A) en los tres puntos de muestreo no aparece en el mismo período de 1991, en el que incluso se observa una disminución en la estación 3. En conjunto, la salinidad fue generalmente más alta durante el período 1988-1989 que en los restantes (figura 25). La ausencia de un modelo claro de variación anual de la salinidad, así como el citado cambio interanual y el hecho de que aparezcan frecuentemente bajas salinidades en la época de mayor evaporación (época cálida), hay que relacionarlo con los cambios en la circulación general superficial del Mediterráneo occidental, con lo que supone de aportes en mayor o menor grado de agua de procedencia atlántica (menos salina), especialmente hacia la primavera-verano. Esta consideración es especialmente válida para la zona que nos ocupa, ya que no existen ríos permanentes que desemboquen en la bahía de Palma, y sólo grandes riadas (poco frecuentes en verano) harían notar su influencia. Esto es especialmente válido para la estación 3 ya que, efectivamente, la zona portuaria y la próxima al emisario pueden verse sometidas a un régimen algo más caótico de variación de origen terrestre o atmosférico.

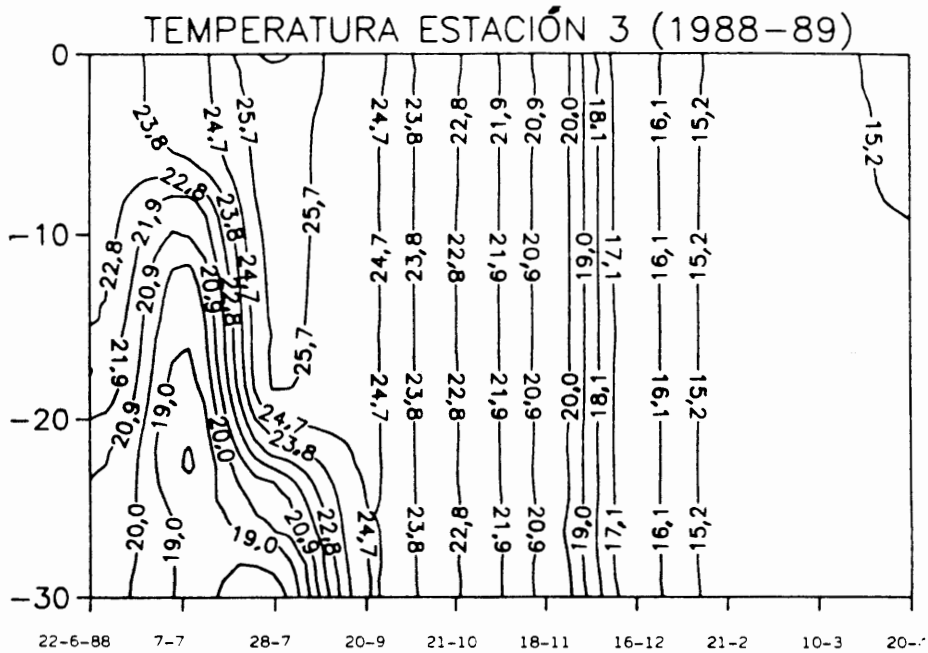


Figura 6. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en la estación 3.

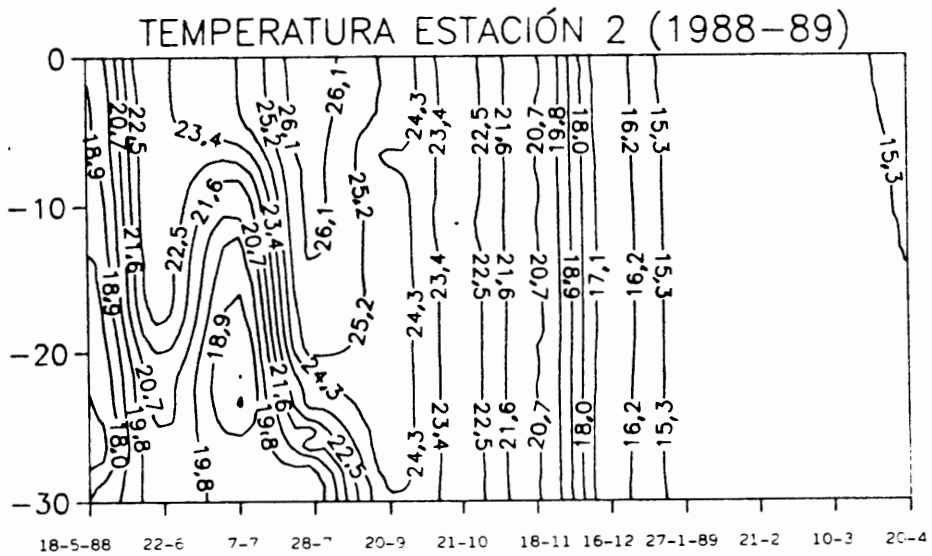


Figura 7. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en la estación 2.

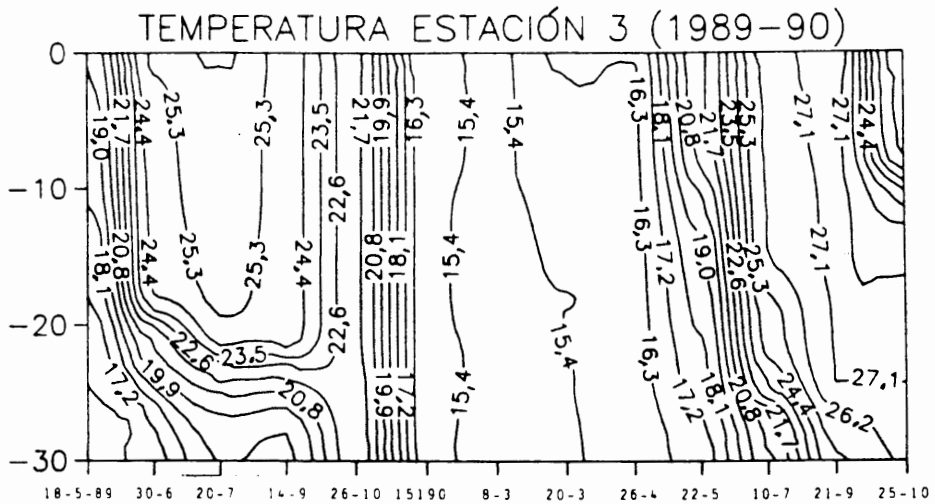


Figura 8. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en la estación 3.

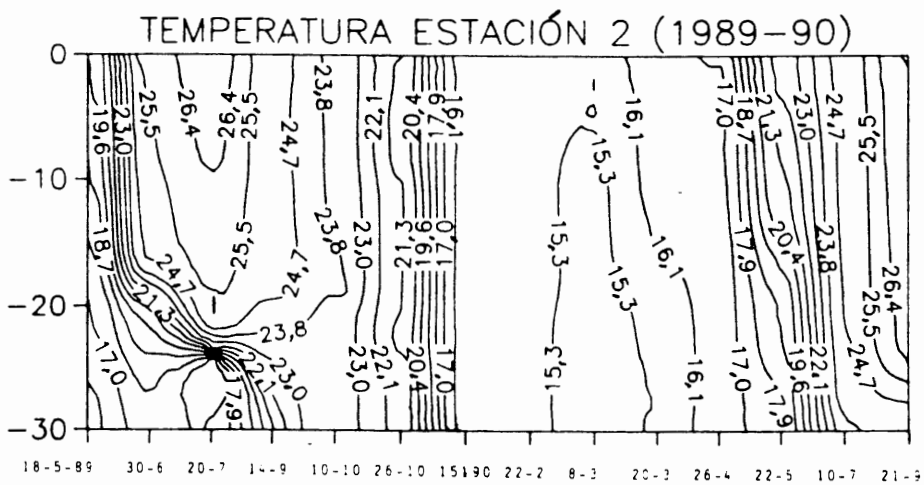


Figura 9. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en la estación 2.

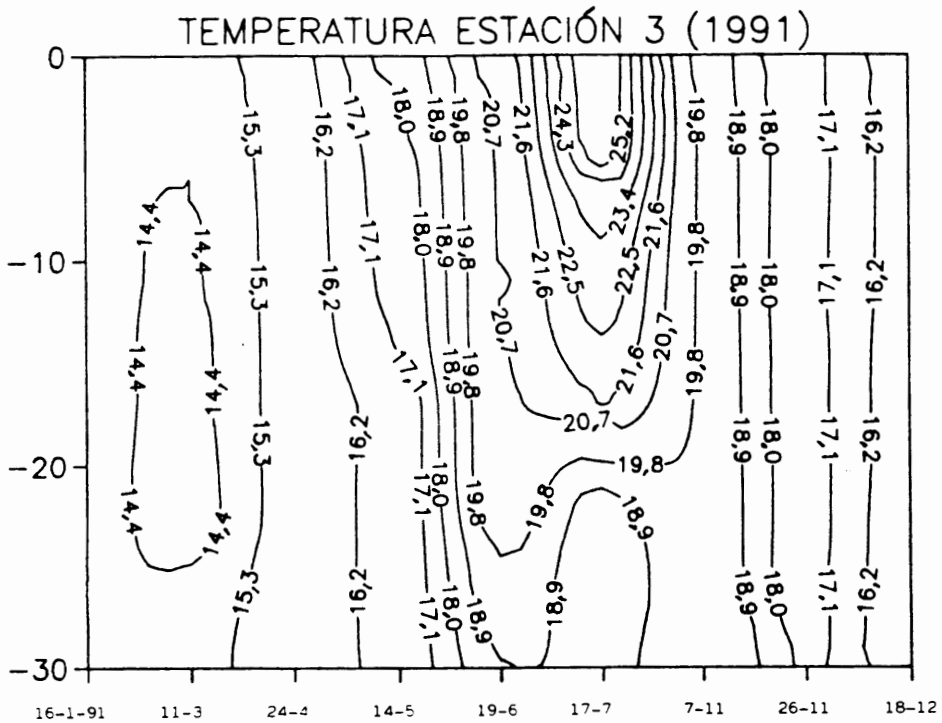


Figura 10. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en la estación 3.

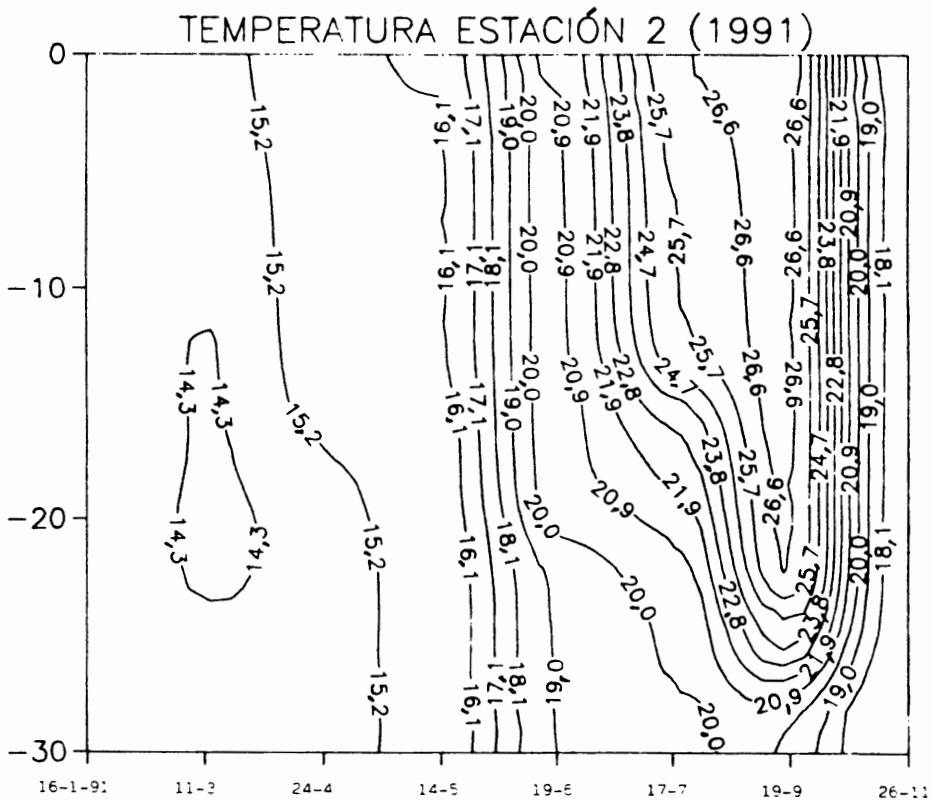


Figura 11. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en la estación 2.

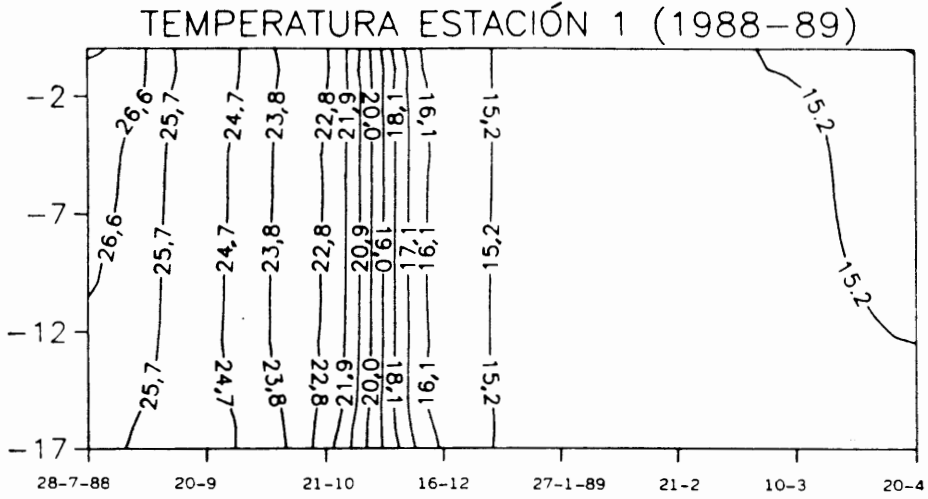


Figura 12. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en la estación 1.

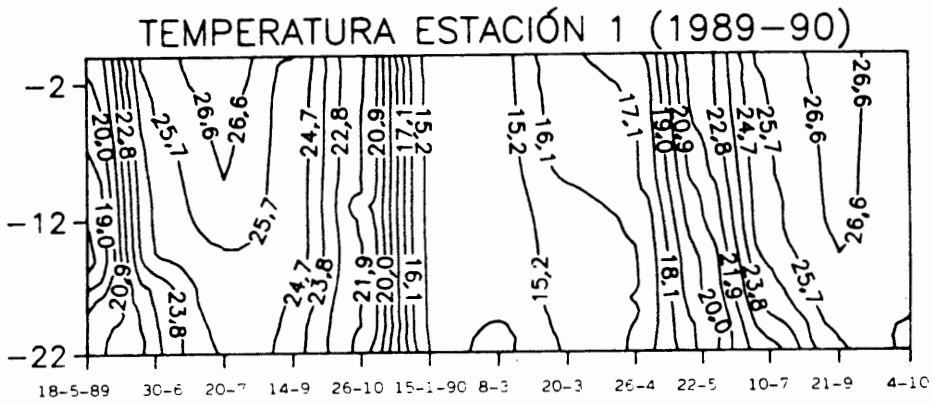


Figura 13. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en la estación 1.

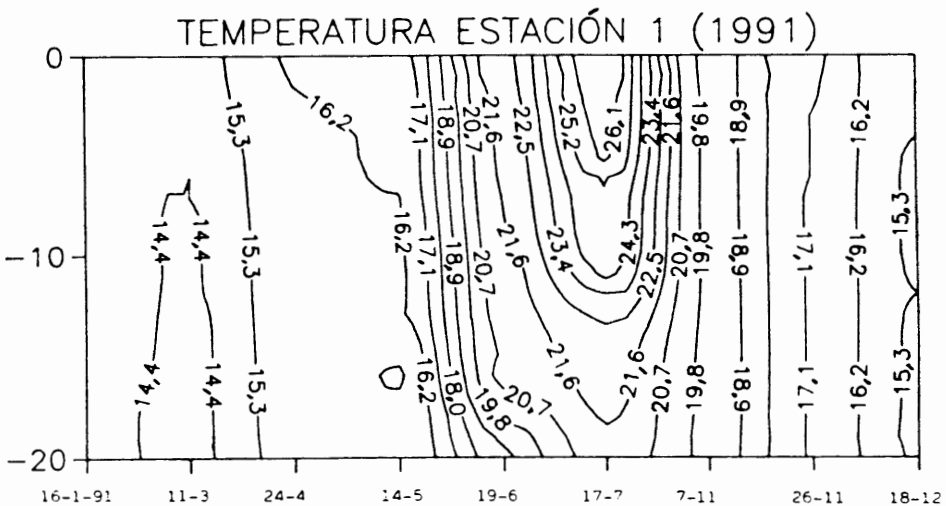


Figura 14. Variación de la temperatura (grados centígrados) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en la estación 1.

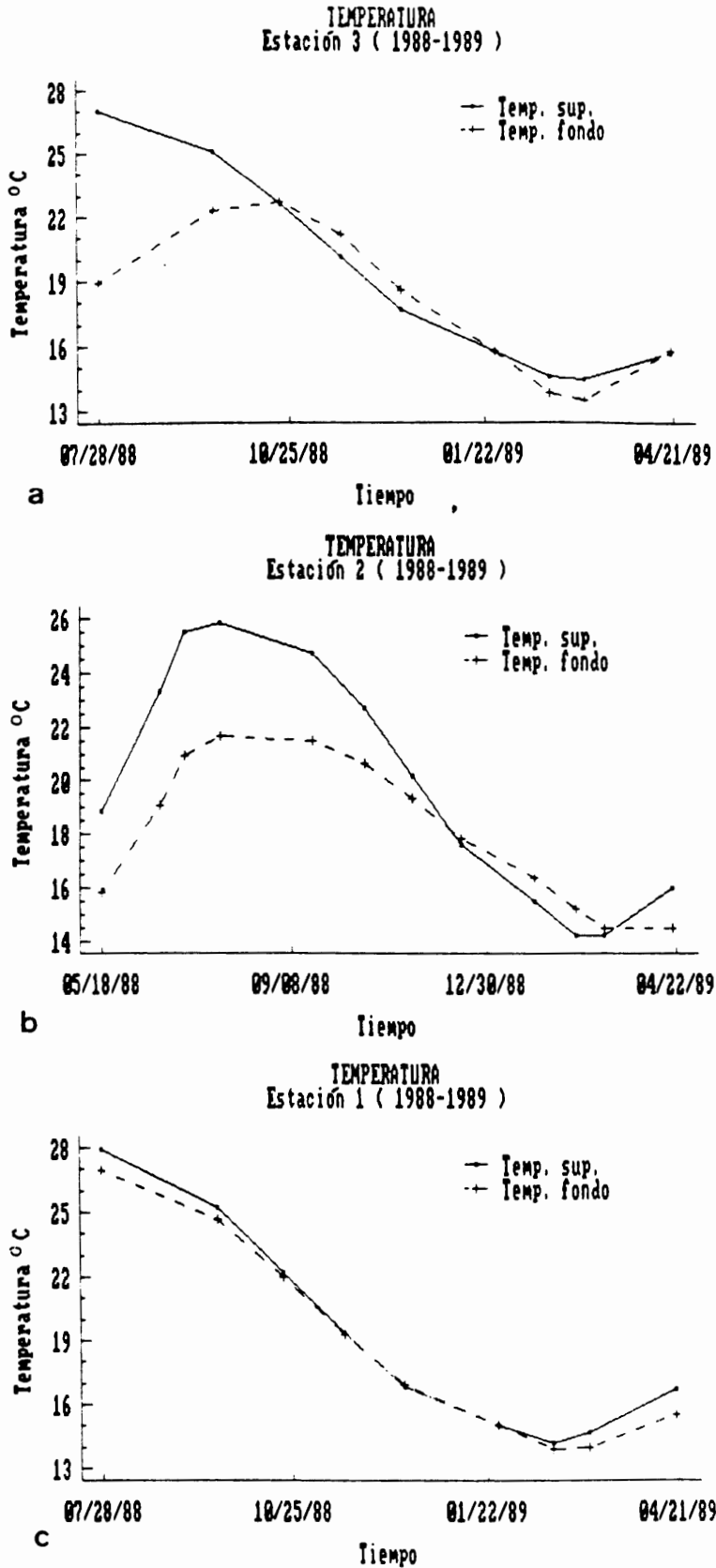


Figura 15. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) de la temperatura de superficie y fondo en las estaciones 3 (A), 2 (B) y 1 (C) durante 1988-1989.

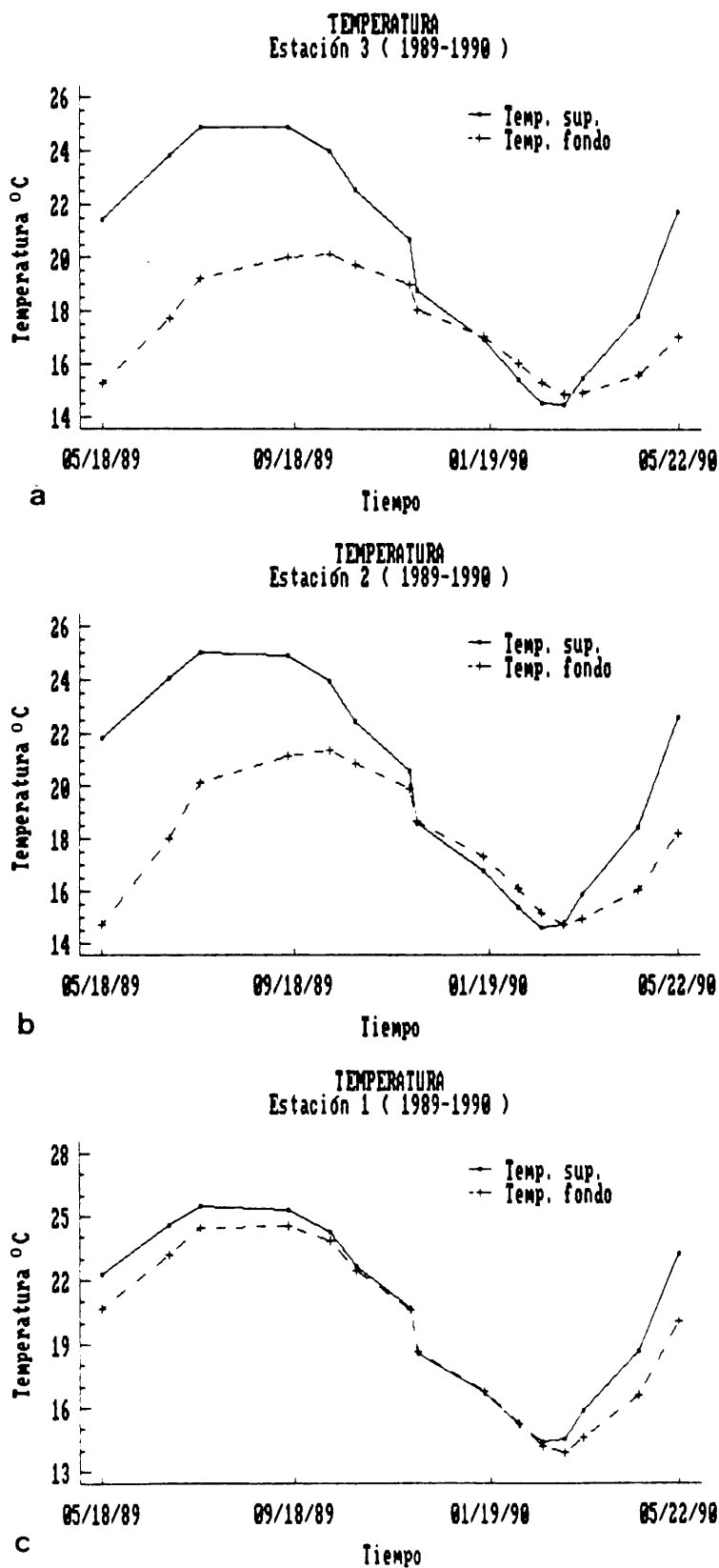


Figura 16. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) de la temperatura de superficie y fondo en las estaciones 3 (A), 2 (B) y 1 (C) durante 1989-1990.

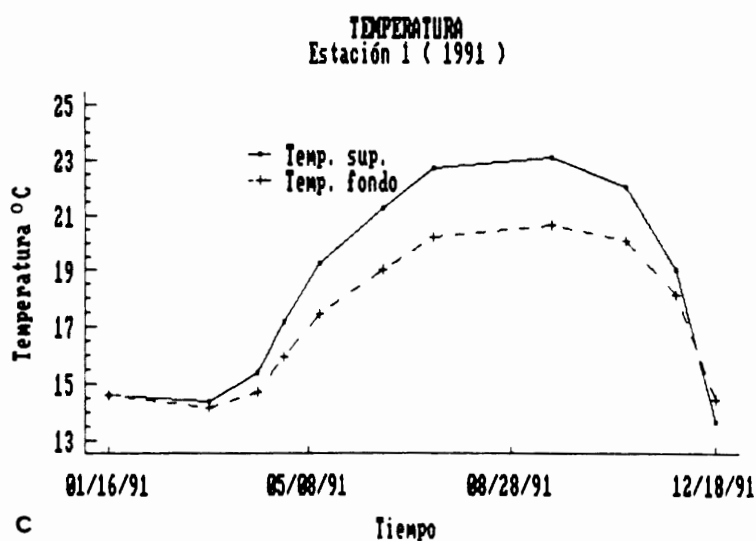
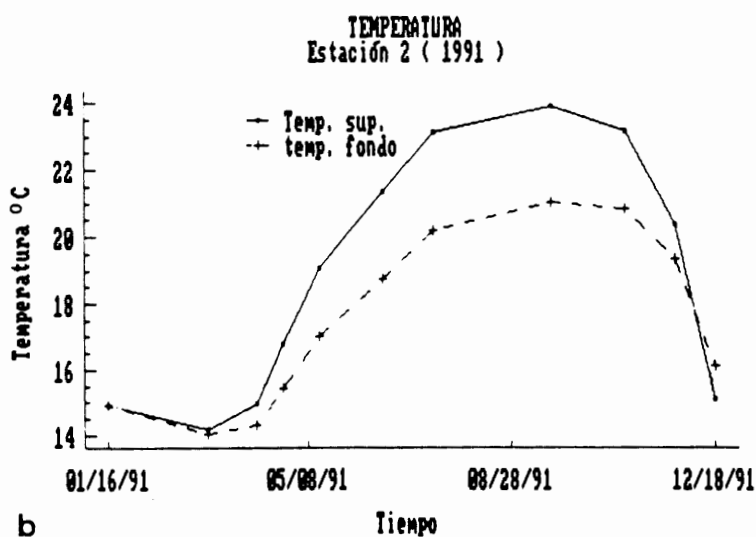
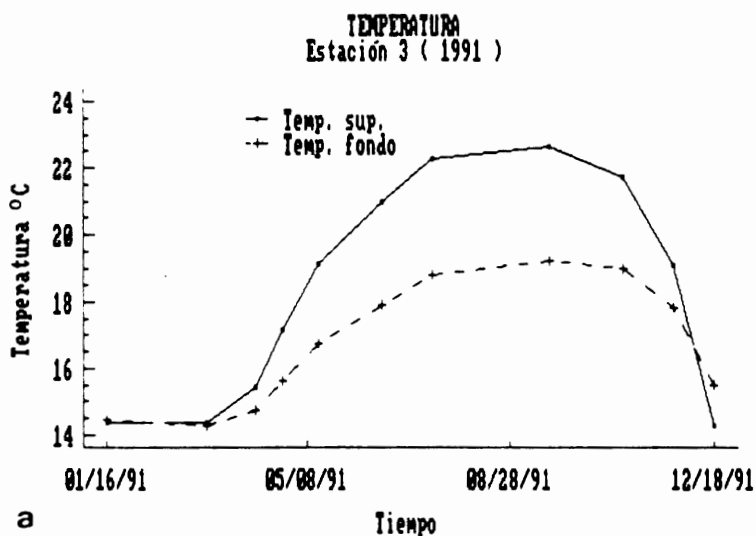


Figura 17. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) de la temperatura de superficie y fondo en las estaciones 3 (A), 2 (B) y 1 (C) durante 1991.

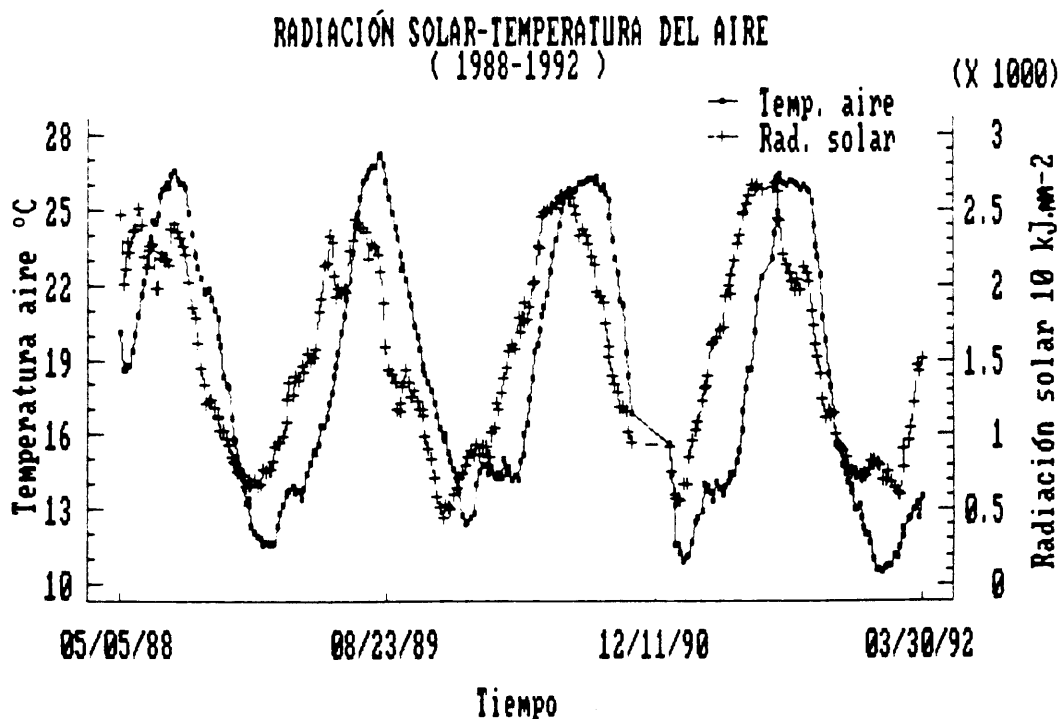


Figura 18. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) de la temperatura del aire y de la radiación solar durante el período 1988-1992.

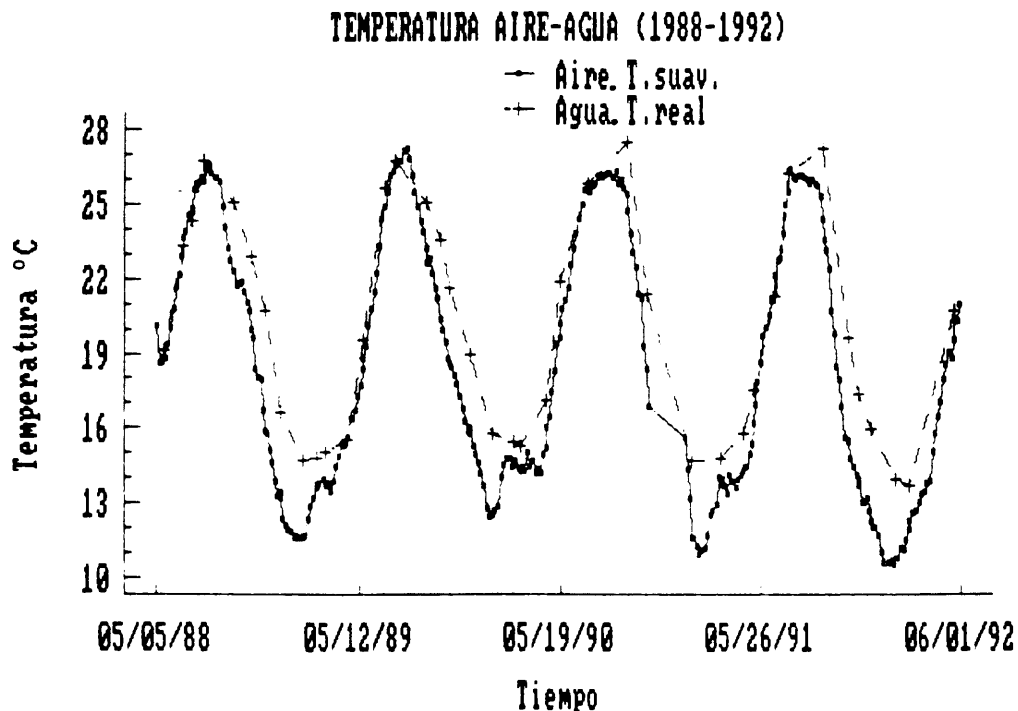


Figura 19. Variación temporal de la temperatura superficial del agua (valores reales, promedio de las estaciones 2 y 3) y de la temperatura del aire (suavización: media móvil de 7 términos).

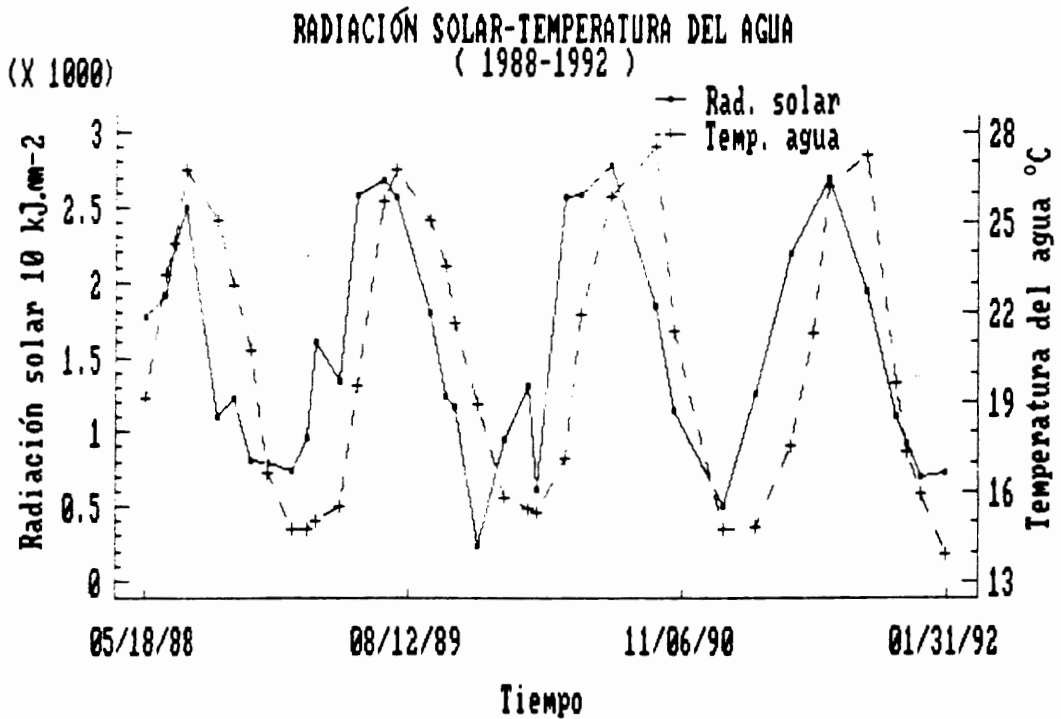


Figura 20. Variación temporal de la radiación solar y de la temperatura superficial del agua (valores reales, promedio de las estaciones 2 y 3).

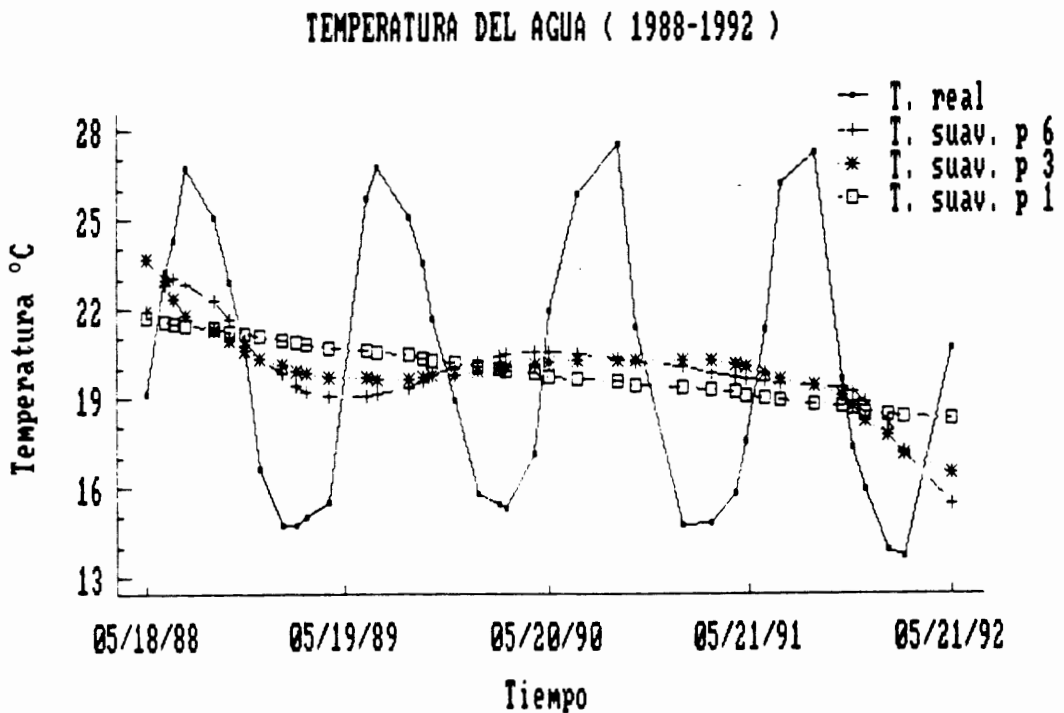


Figura 21. Variación temporal de la temperatura del agua: valores reales y tres modos de suavización polinómica progresiva hasta llegar a la recta de tendencia (polinomio de orden 1).



Figura 22. Variación de la salinidad (‰) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

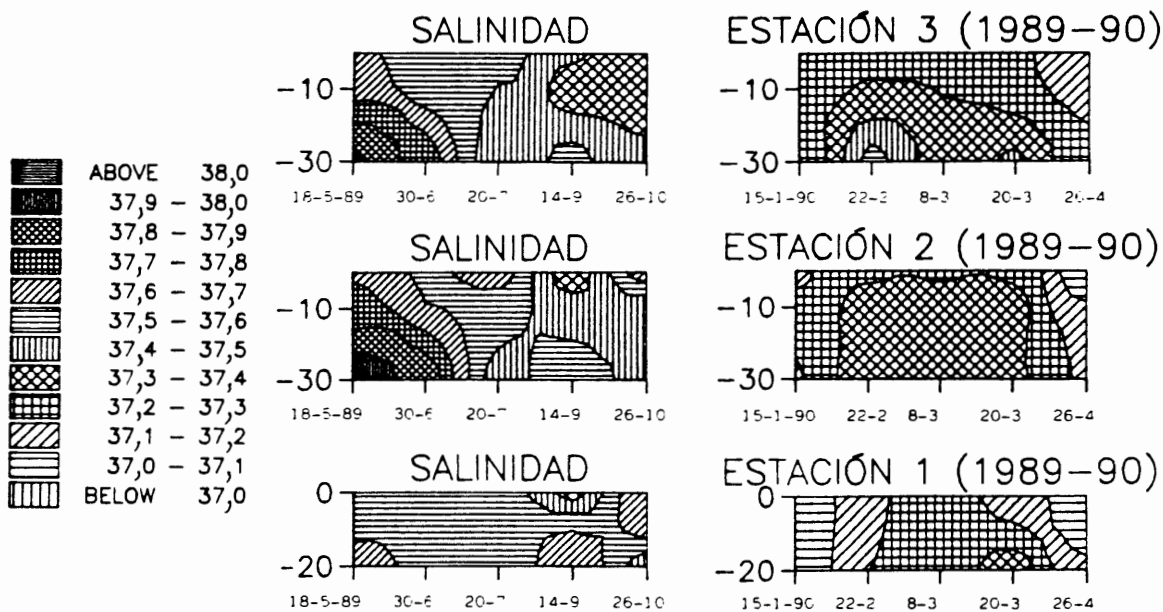


Figura 23. Variación de la salinidad (‰) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

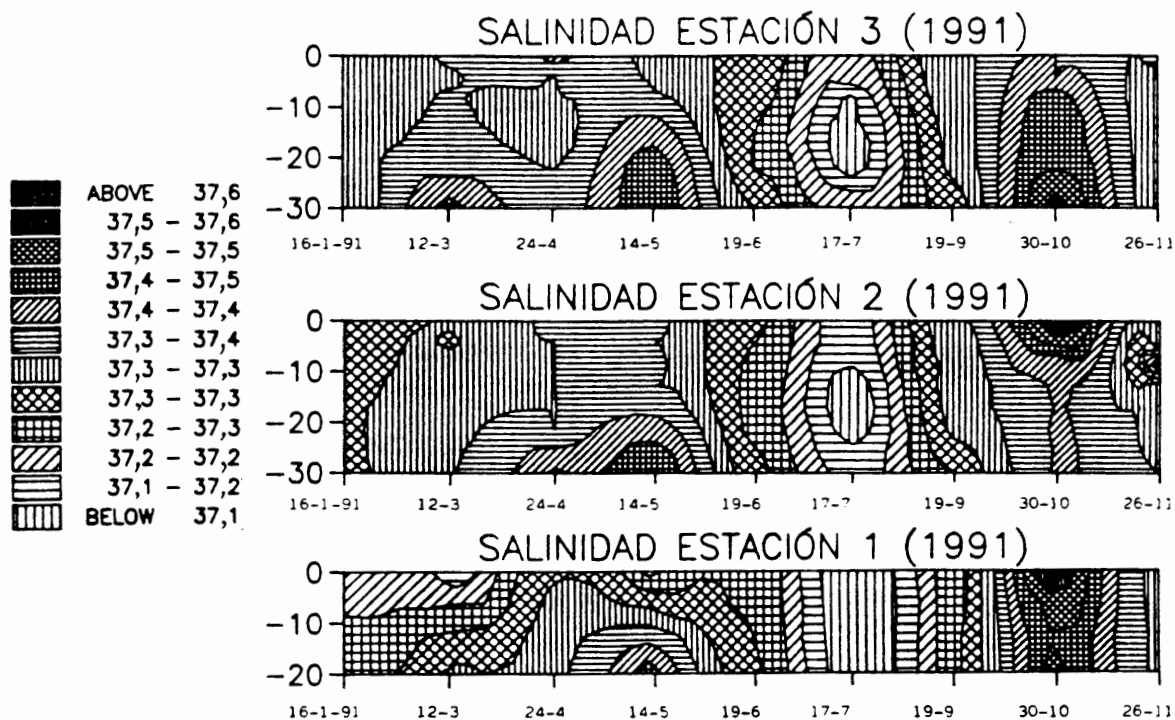


Figura 24. Variación de la salinidad (%) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

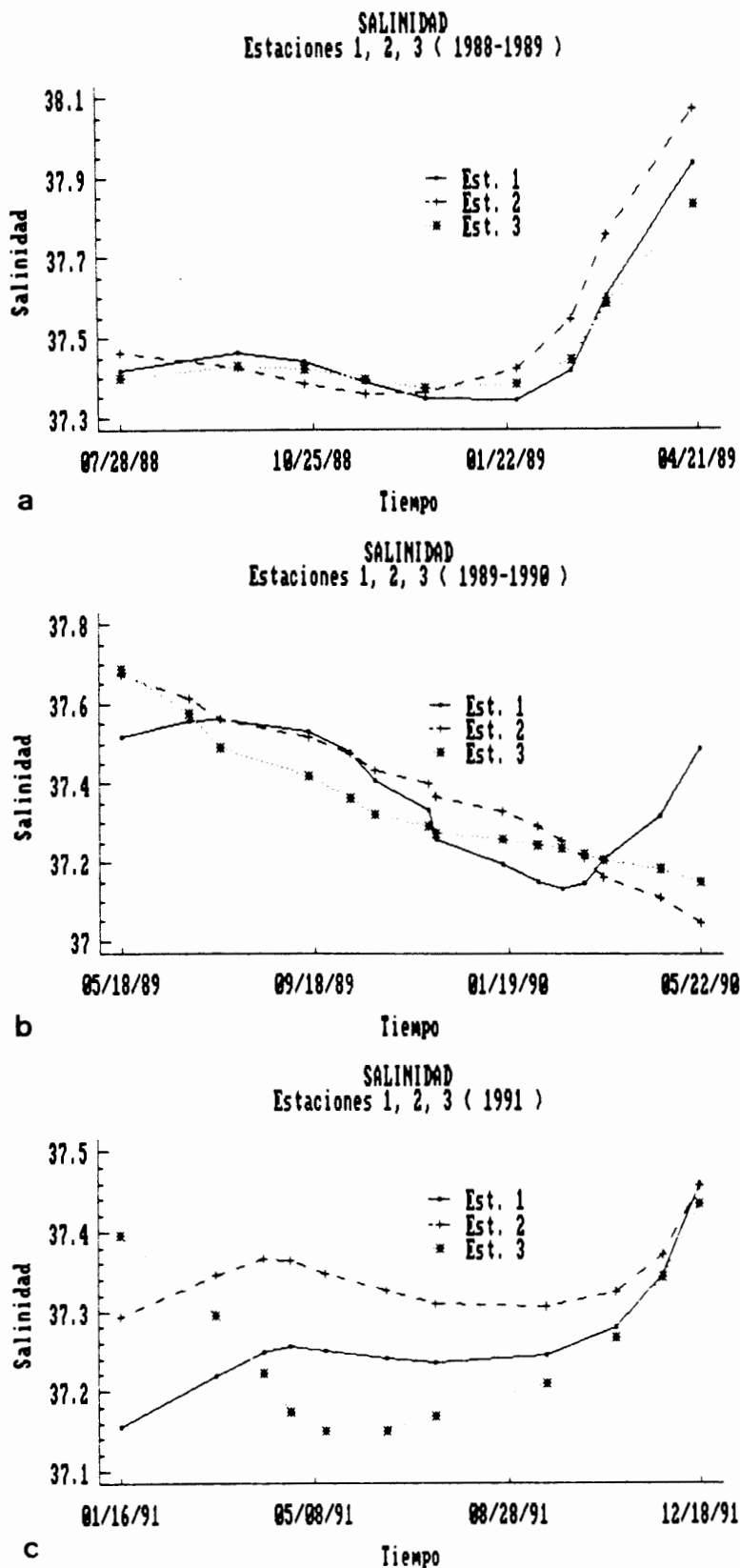


Figura 25. Salinidad media (‰) de la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los períodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

3.3 Transparencia del agua

Existe en este parámetro un régimen de variación anual definido y bastante característico (figura 26) que consiste en una uniformización de la zona (determinada por los tres puntos de muestreo), así como una cierta disminución de su transparencia (especialmente conspicua en la estación 3) que tiene lugar en la época invernal y hacia el tránsito invierno-primavera. Esto está causado muy probablemente por una mayor actividad hidrográfica, con el resultado de una importante mezcla de masas de agua que afecta incluso a la zona portuaria. Por el contrario, las tres estaciones muestreadas, quedan bastante diferenciadas en el sentido de una mayor transparencia hacia el centro de la bahía durante el verano y parte de la época otoñal, pudiendo relacionar este fenómeno, en principio, con la mayor "estancamiento" y estratificación que tiene lugar en esta época del año. En las épocas de diferenciación, la transparencia del agua en el centro de la bahía (alrededor de 25 m) se aproxima a valores que son frecuentes en alta mar en el Mediterráneo occidental, habiéndose llegado puntualmente en algunos casos a observar el disco de Secchi en contacto con el fondo (30 m en la estación 3). En la zona portuaria, la profundidad a que deja de verse el disco de Secchi oscila frecuentemente alrededor de los 5 m. La estación 2 ocupa una posición intermedia, como puede verse en la figura 26. Si se acepta que la columna de agua efectivamente iluminada corresponde a unas dos veces y media la profundidad a que deja de verse el disco de Secchi, el fondo de la bahía recibe iluminación suficiente para la fotosíntesis del fitobentos y del plancton epibentónico de una forma prácticamente general, y sólo algunos fenómenos de turbidez esporádicos (en dos ocasiones se han observado 9 m en la estación 3) podrían constituir una excepción a la regla. En las aguas portuarias, el oscurecimiento del fondo sería más frecuente, sin constituir, de todas formas, un fenómeno permanente.

El régimen de variación temporal señalado se repite de una forma similar de un año para otro. Esto se pone de manifiesto en la figura 27 (estaciones 2 y 3), que abarca todo el período de muestreo. El análisis de la tendencia ajustado a este tipo de variación temporal se muestra en las figuras 28 y 29, en las que se puede destacar una aparente estabilidad y diferenciación en la transparencia del agua en los tres puntos de muestreo. Ahora bien, considerando todo el período (1988-1992), así como solamente las estaciones 2 y 3, con lo que se amplía la escala en el gráfico (figura 29), parece existir una cierta tendencia en la disminución de la transparencia en la estación 3 así como un aumento en la estación 2; de todas formas, aunque el patrón de variación de la transparencia parece más adecuado a un análisis de tendencia, cabe aplicar la cautela que se utilizó en el caso de la temperatura y que será igualmente aplicable en los próximos casos de análisis de tendencia.

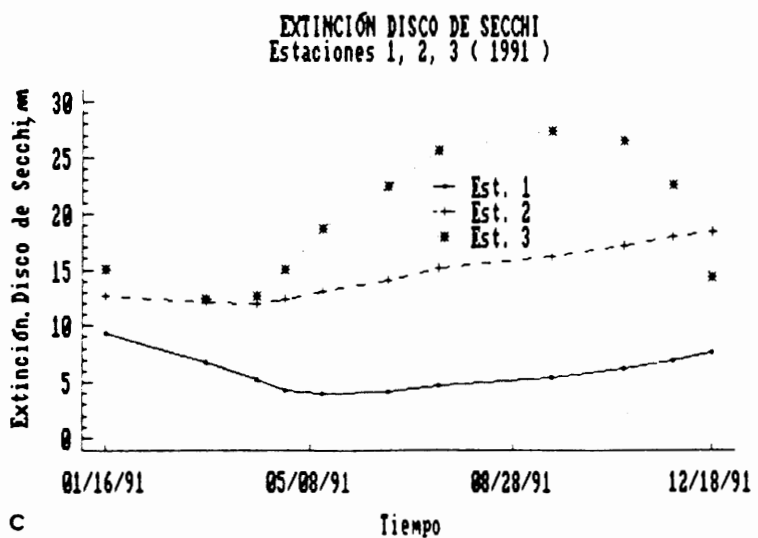
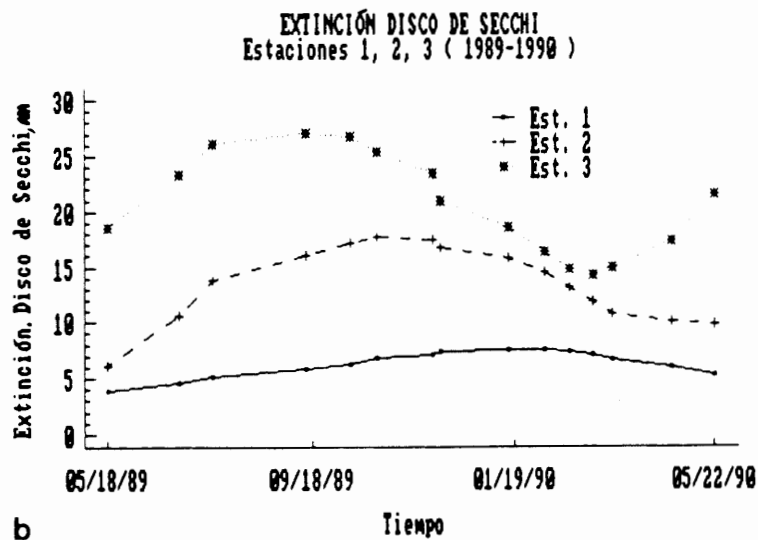
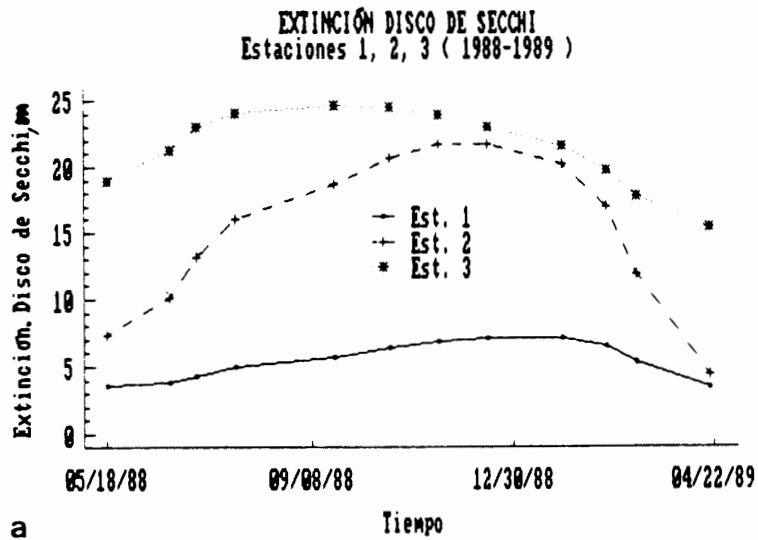


Figura 26. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) de la transparencia del agua en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

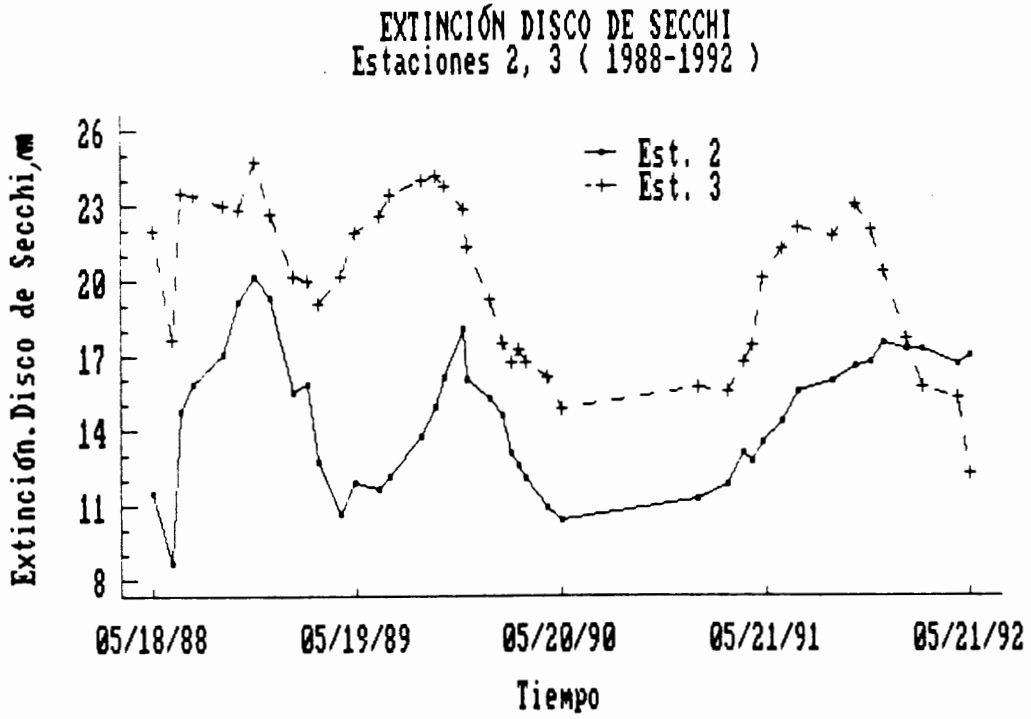


Figura 27. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) de la transparencia del agua en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

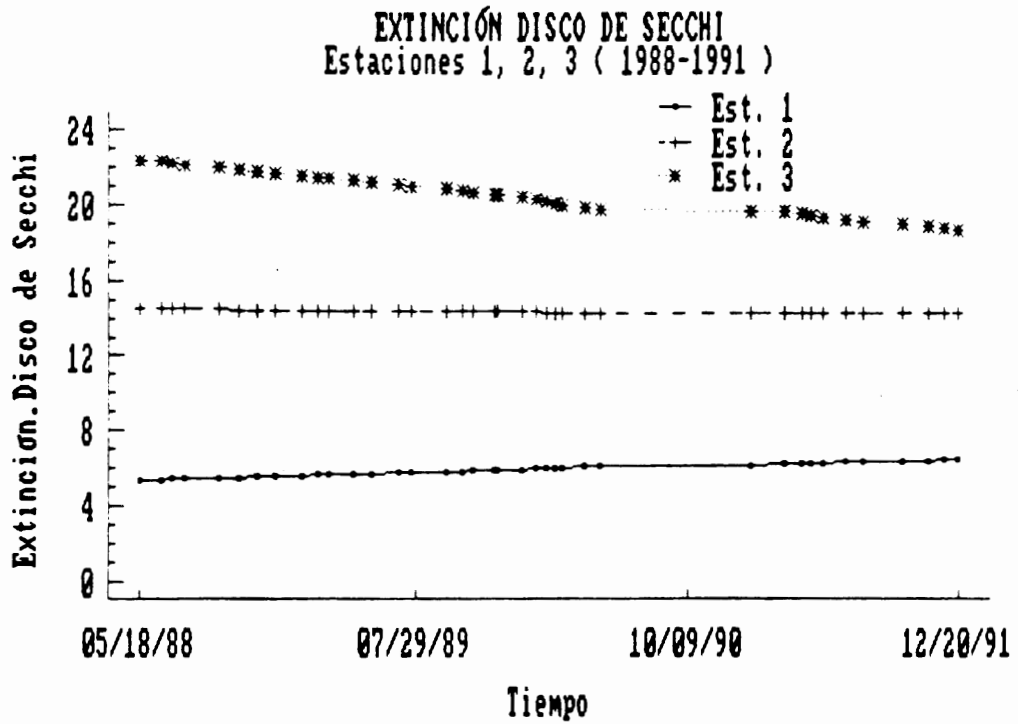


Figura 28. Tendencia (polinomio de orden 1) de la transparencia del agua en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

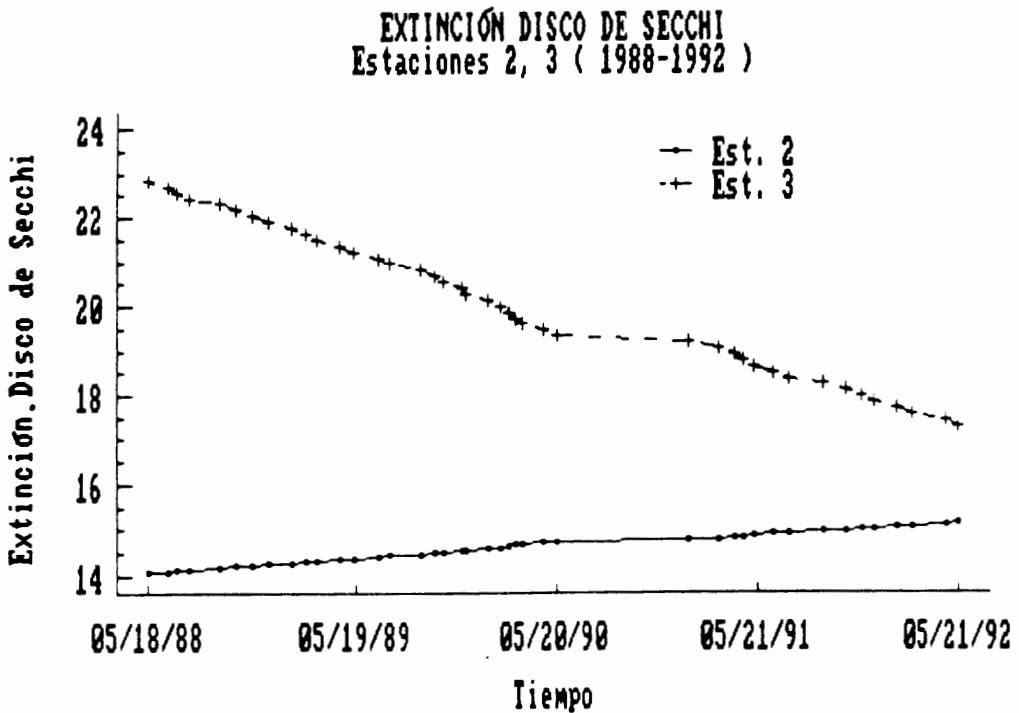


Figura 29. Tendencia (polinomio de orden 1) de la transparencia del agua en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

3.4 Nutrientes

3.4.1 Nitritos

En relación con la variación temporal de la distribución vertical de los valores puntuales (figuras 30, 32, 34), aparecen concentraciones relativamente elevadas entre dos aguas o en las proximidades del fondo, siendo quizás menos frecuentes valores relativamente altos en la capa superficial. Así, se obtienen cantidades del orden de $0,50 \mu\text{g at l}^{-1}$ en la estación 2 a 20 m, en julio de 1988; de $0,30$ en julio de 1990 en la estación 3, cerca del fondo, y aproximadamente $0,8 \mu\text{g at l}^{-1}$ en noviembre de 1991 entre dos aguas. El rango de valores anual es semejante para los períodos 1988-1989 y 1989-1990 y algo más alto en 1991, aunque en este último caso está influido por la concentración puntual más alta anteriormente citada.

Teniendo en cuenta el promedio de la columna de agua (figura 36), la estación 1 muestra un comportamiento bastante definido y semejante (aunque con ligeros desfases en el tiempo) en los tres períodos anuales, que se caracteriza por un aumento progresivo de la concentración desde mediados o finales de verano hacia el otoño e invierno, de tal forma que los máximos valores se alcanzan en el tránsito otoño-invierno o bien en la época invernal, destacándose claramente de los otros puntos muestreados. Solamente durante 1991 existe un cierto paralelismo entre este patrón de variación y el que se observa en los otros dos lugares de muestreo. Las estaciones 2 y 3 muestran en cambio una evolución temporal menos definida y distinta a la observada en la estación 1 en los dos períodos anuales anteriores. De todas formas, considerando todo el tiempo de muestreo (1988-1992) realizado en las estaciones 2 y 3, puede notarse, hasta cierto punto, la repetición de un aumento hacia la época invernal en los períodos 89-90 y 91-92 (figura 38). En el análisis de la tendencia (figuras 40 y 41) aparece una disminución de la concentración de nitritos, aunque ésta resulta influida por valores más altos aparecidos en mayo de 1988, especialmente en la estación 3. La estación 1, en cambio, presenta estabilidad (figura 40) en función de su mayor regularidad en el patrón de variación anual e interanual.

3.4.2 Nitratos

Existe una cierta semejanza entre el esquema de variación puntual de los nitratos y el de los nitritos. Máximos del orden de $1,5$ a $2 \mu\text{g at l}^{-1}$ aparecen en junio y julio de 1988 en la estación 2 a 20 m de profundidad, y en julio de 1990 en la estación 3 en las proximidades del fondo (figuras 31 y 33). Las concentraciones pueden resultar algo más elevadas en estos períodos en la estación 1, con valores próximos a los $3 \mu\text{g at l}^{-1}$. Cabe destacar concentraciones puntuales importantes en octubre y noviembre de 1991, en niveles intermedios o próximos a la superficie, con valores que se sitúan alrededor de los $9 \mu\text{g at l}^{-1}$ (estaciones 3 y 2), que aparecen también en la estación 1, aunque de forma menos conspicua (figura 35). Esto, así como el carácter único de estos máximos y el hecho de que, en este caso, no tengan su correspondencia en los nitritos, hace pensar en un *input* exterior y en un posterior fenómeno de transporte hacia el centro de la

bahía.

Dejando aparte esta anomalía, hay que considerar que las variaciones puntuales que oscilan en un rango menor de variación, aunque pueden tener un origen funcional (absorción por parte del fitoplancton o fenómenos de reciclaje rápido), son también parcialmente el resultado de fenómenos de difusión molecular y transporte mediante corrientes. Al mismo tiempo la columna de agua muestreada no es lo suficientemente profunda (recuérdese que la capa de agua considerada es casi siempre eufótica) para detectar claramente el típico aumento de nutrientes con la profundidad por mineralización. Esto no quiere decir que en algunos casos no exista un cierto inicio de este proceso, que podría ser responsable de alguno de los máximos profundos observados, pero éstos se ven rápidamente enmascarados por mezcla y difusión. Al mismo tiempo, no estamos ante casos de eutroficación importante en los que lo que ocurre en una columna de agua de poco espesor es asimilable, hasta cierto punto, a un recorrido vertical de mayor profundidad en zonas oligotróficas o mesotróficas. Esta fenomenología es aplicable no sólo a los nitritos y nitratos considerados hasta el momento, sino a los nutrientes en su conjunto.

Promediando la columna de agua, la evolución temporal de los nitratos muestra un régimen bastante semejante a los nitritos (figura 37); de manera que durante el período 1988-1989, la estación 1 queda bien diferenciada de las otras dos con su aumento de concentración otoñal-invernal (figura 37-A) que, aunque con diferencias de evolución temporal, también se observa en los restantes períodos de muestreo. Si se considera todo el tiempo de estudio -1988-1992, estaciones 2 y 3 (figura 39)-, cabe destacar un notable aumento invernal en el período 1991-1992, aunque éste es consecuencia de la aparición de otra anomalía puntual en la que se alcanzó la concentración de $7 \mu\text{g at l}^{-1}$ en la estación 2 en superficie, valor que, junto con los ya citados y algunos otros, también destacables, deja notar su influencia no sólo en los promedios considerados sino también en el análisis de las tendencias (figuras 42 y 43).

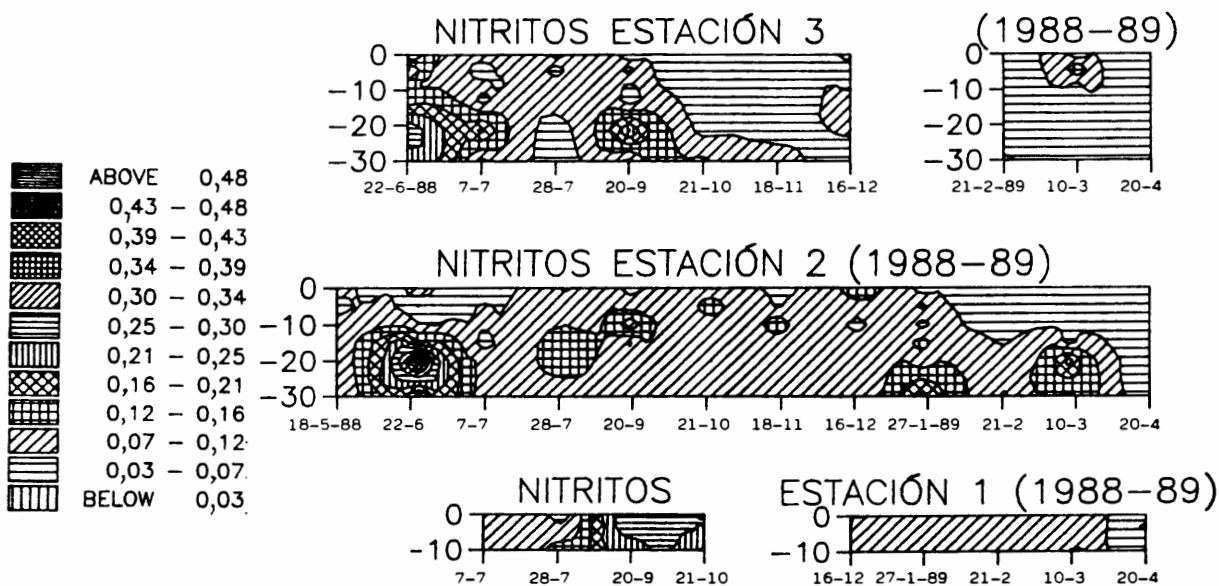


Figura 30. Variación de los nitritos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (periodo 1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

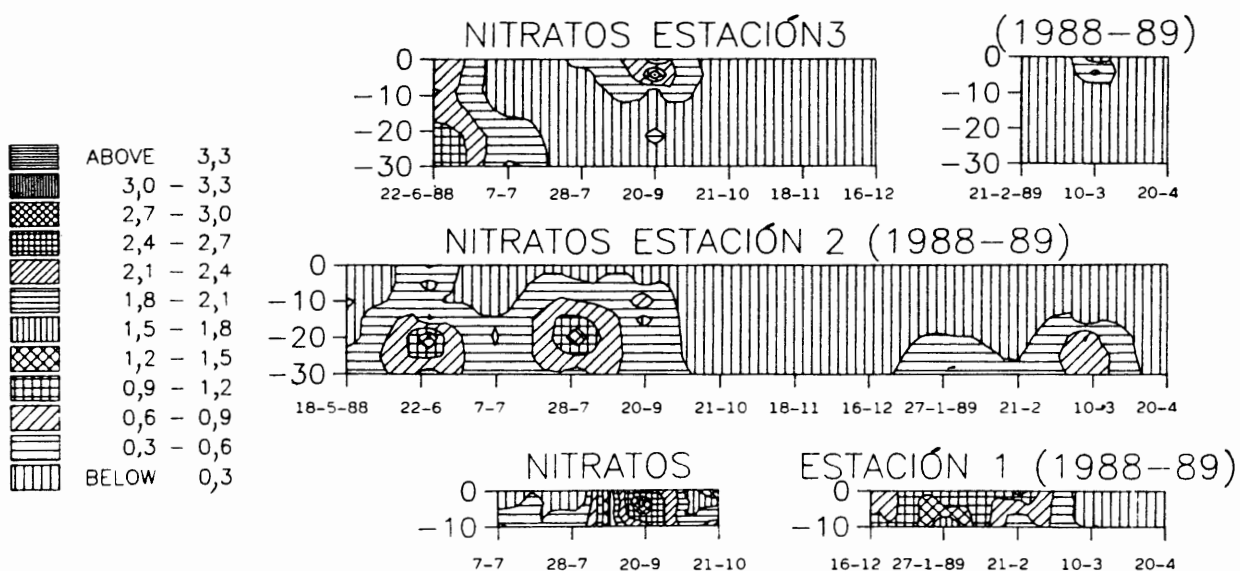


Figura 31. Variación de los nitratos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (periodo 1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

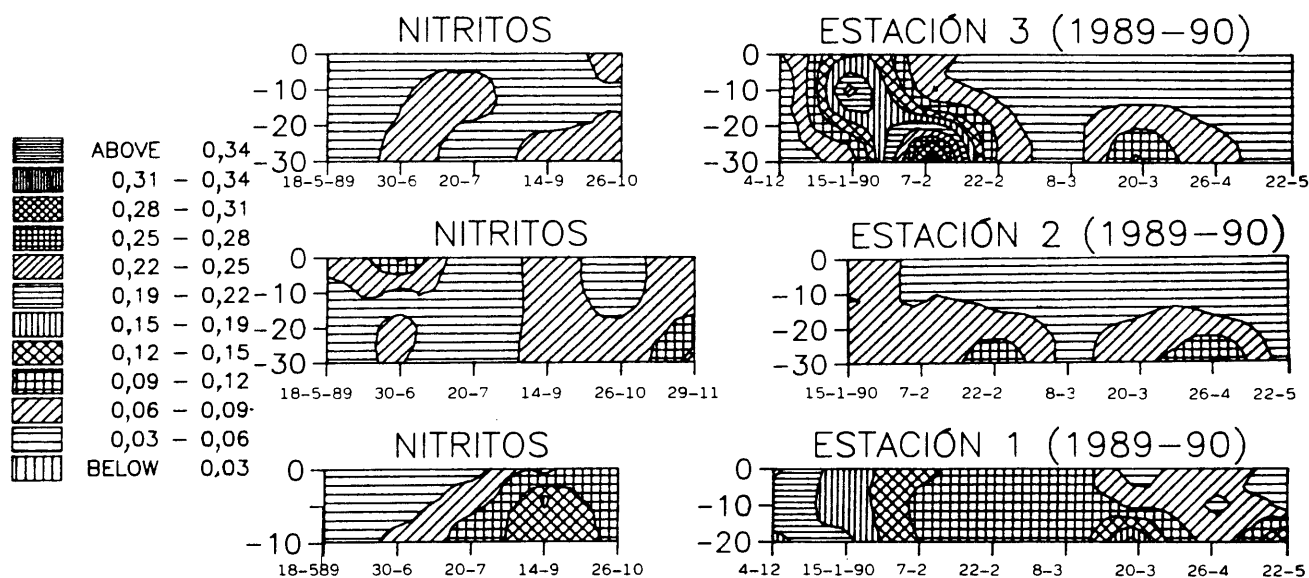


Figura 32. Variación de los nitritos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

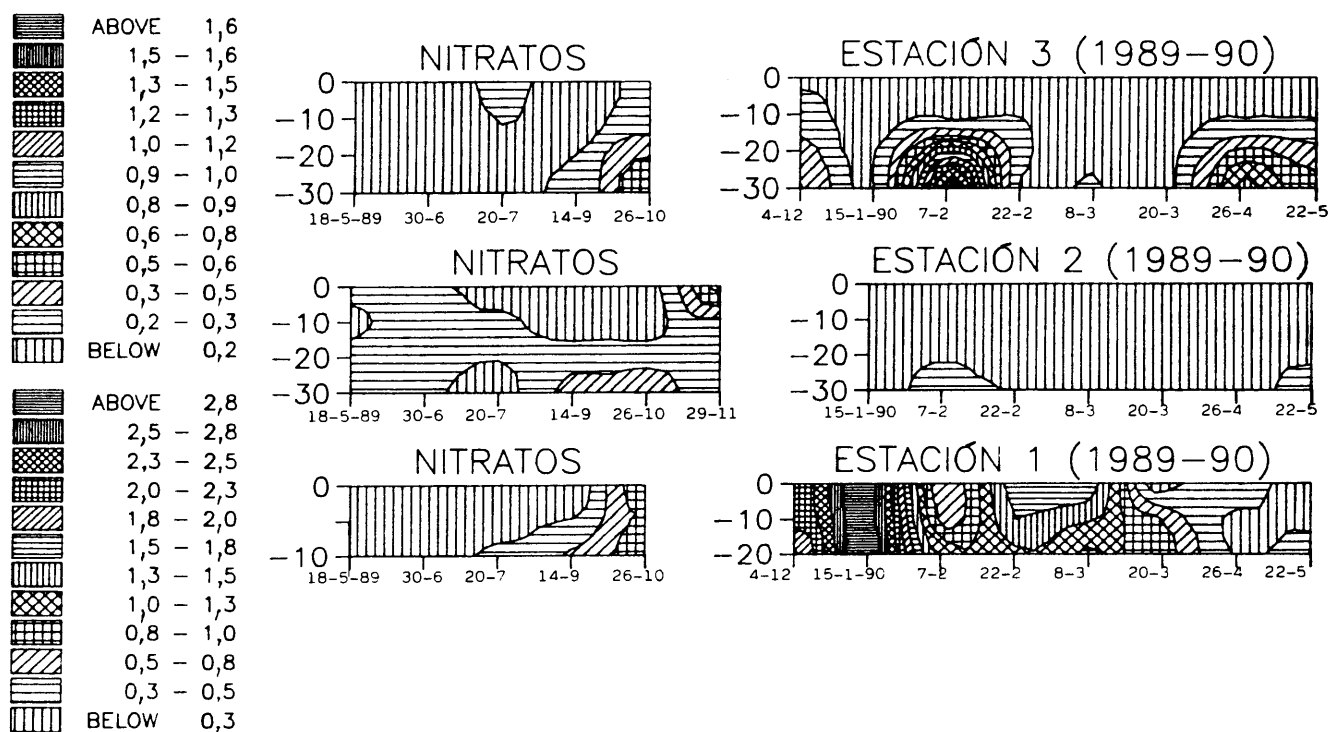


Figura 33. Variación de los nitratos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

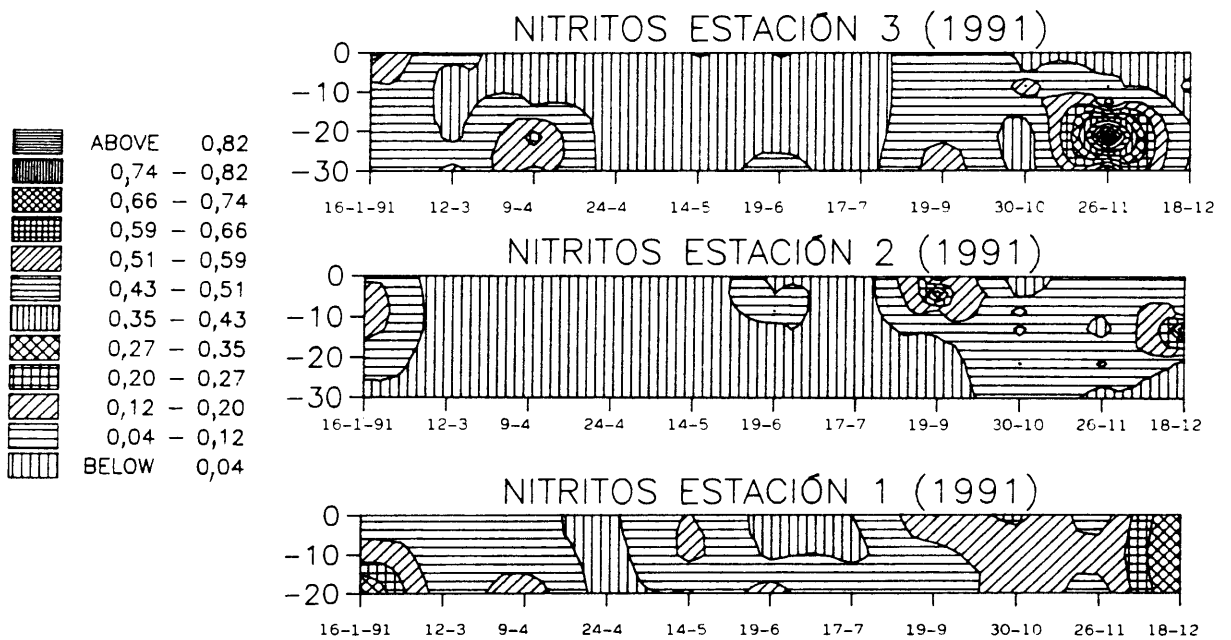


Figura 34. Variación de los nitritos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

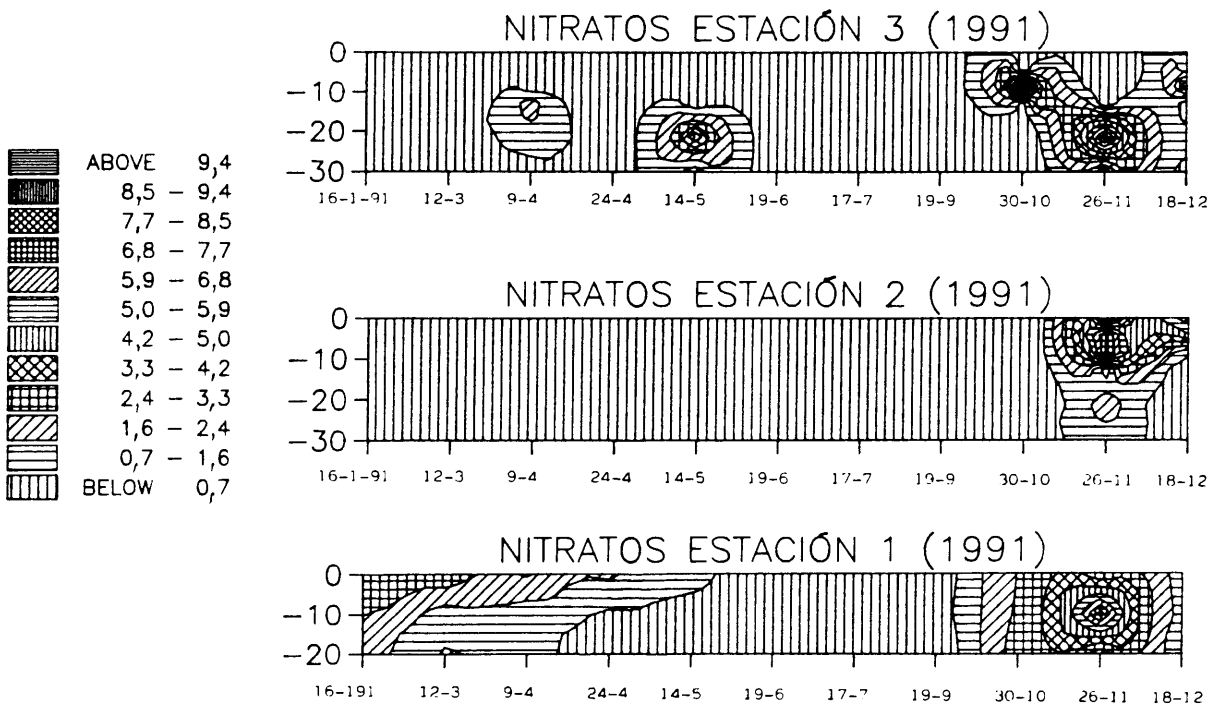


Figura 35. Variación de los nitratos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (período 1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

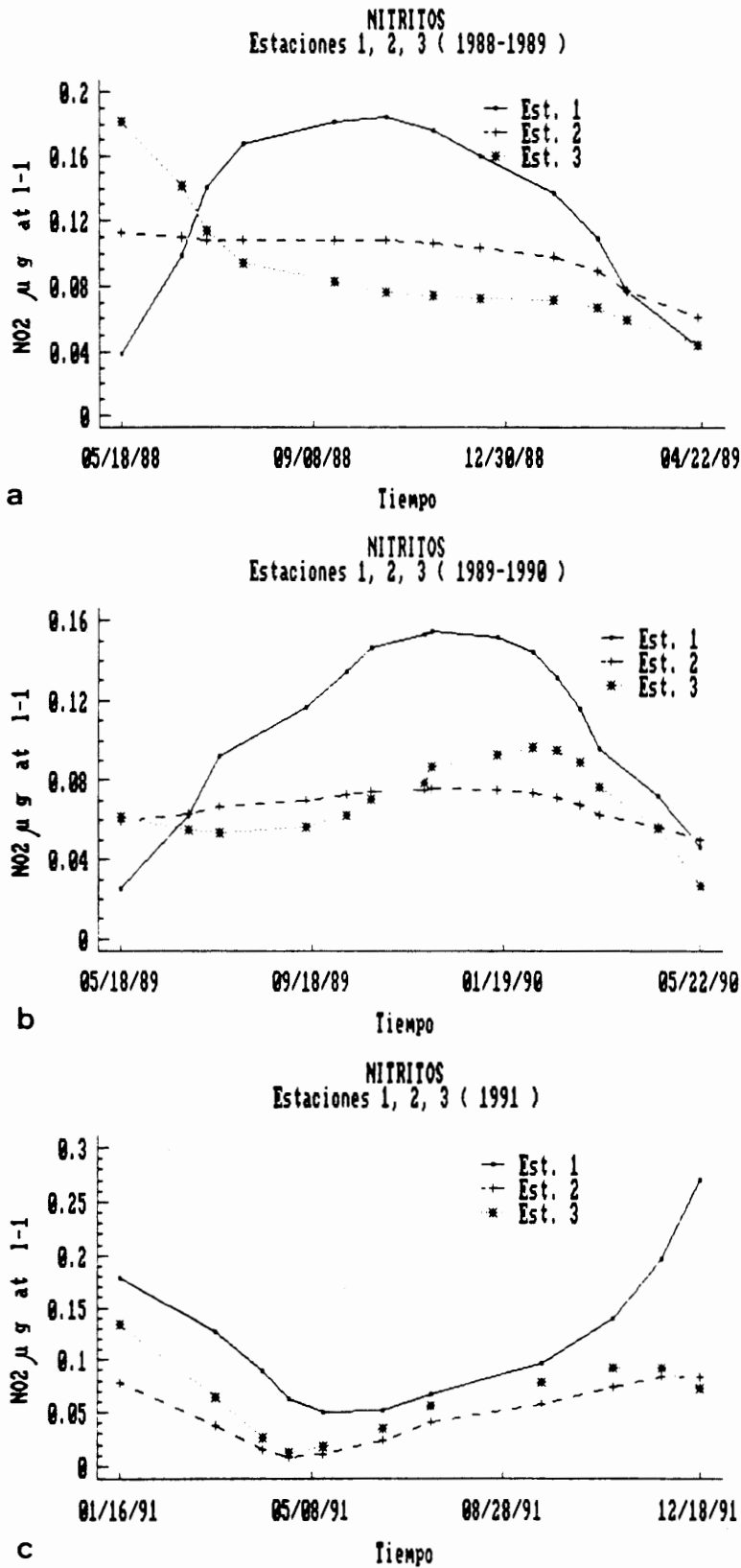


Figura 36. Promedios de los nitritos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

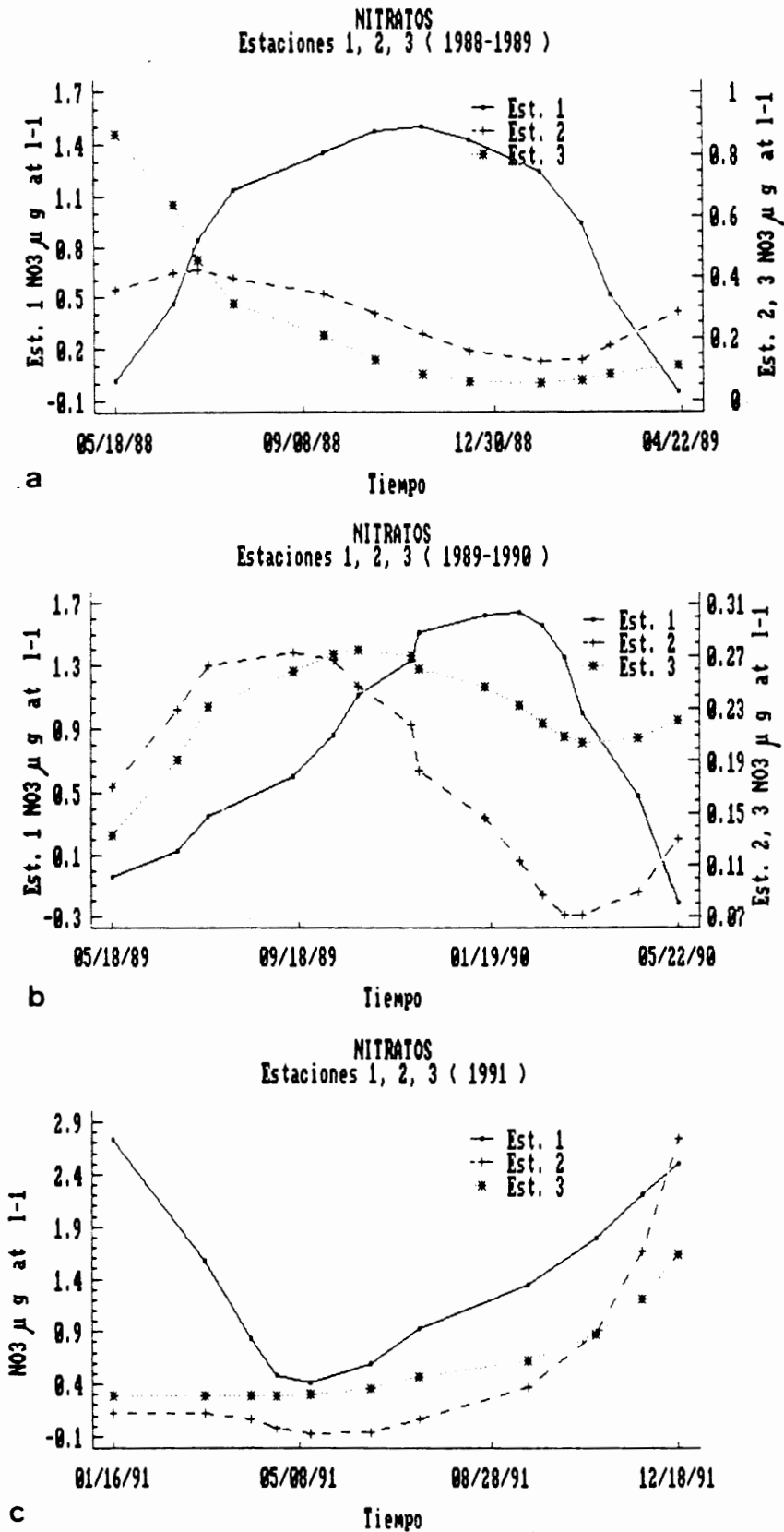


Figura 37. Promedios de los nitratos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

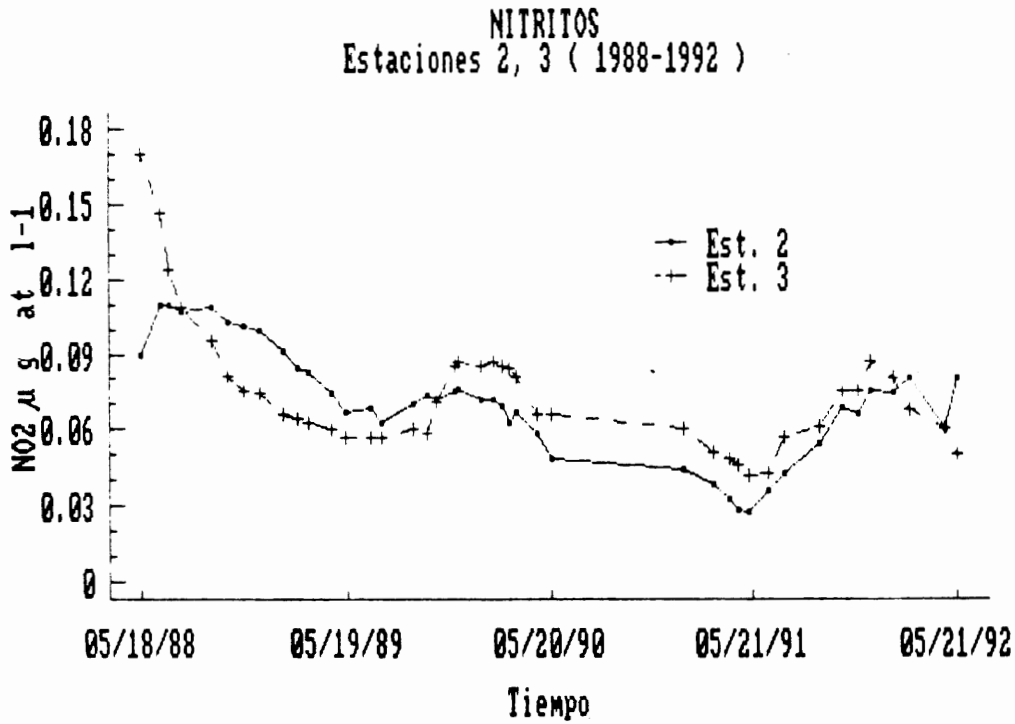


Figura 38. Promedios de los nitritos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

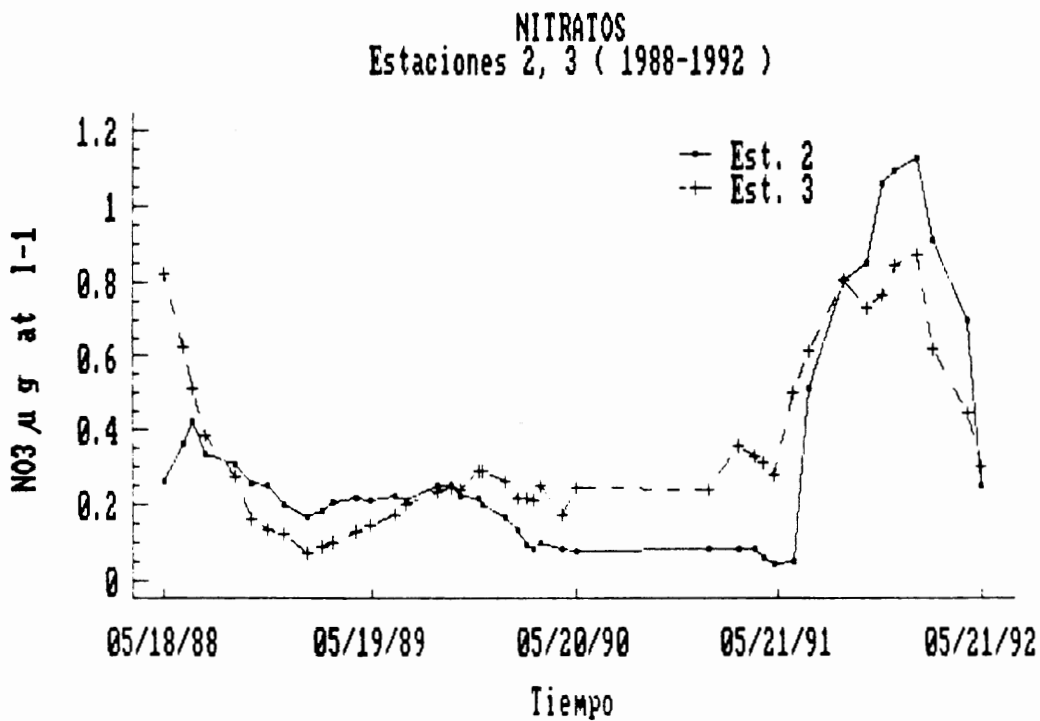


Figura 39. Promedios de los nitratos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

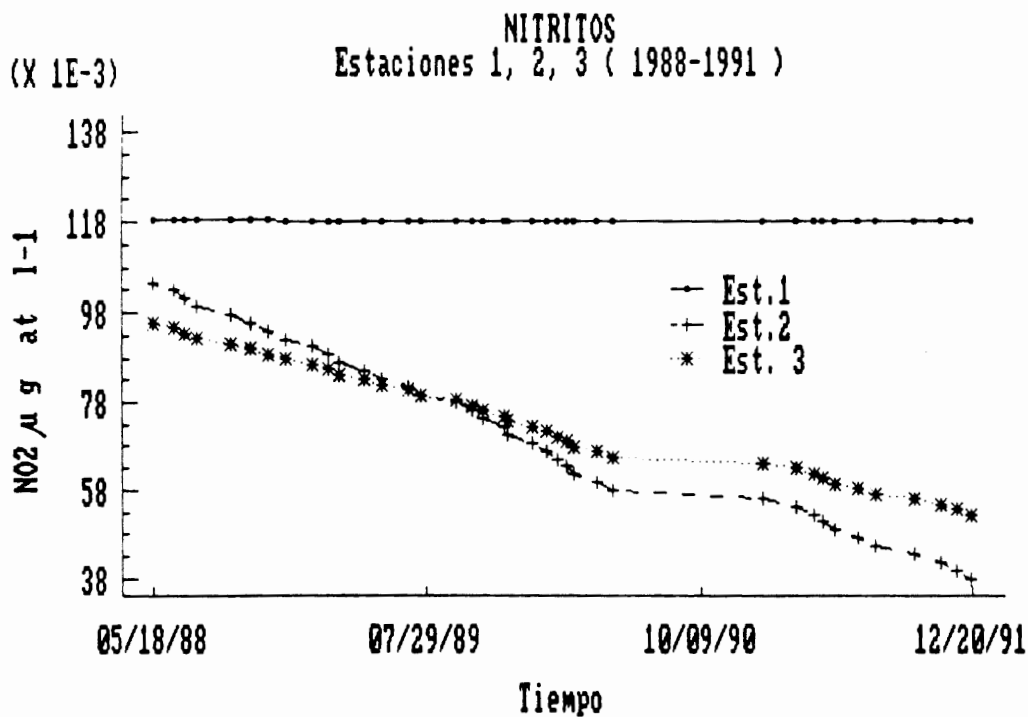


Figura 40. Promedios de los nitritos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

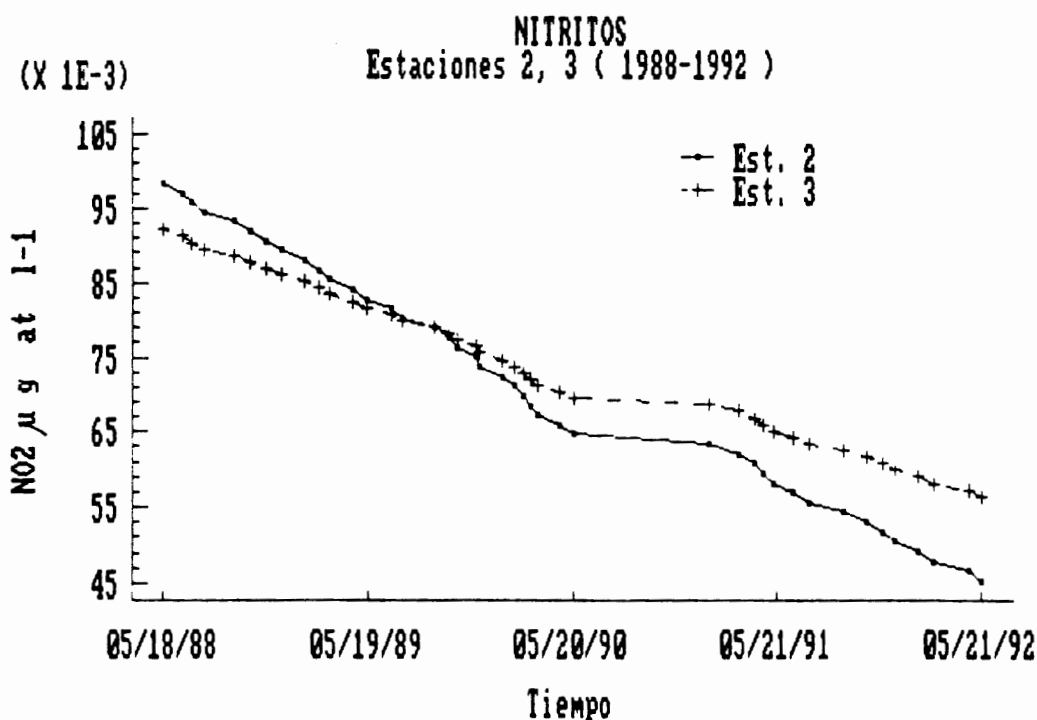


Figura 41. Promedios de los nitritos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

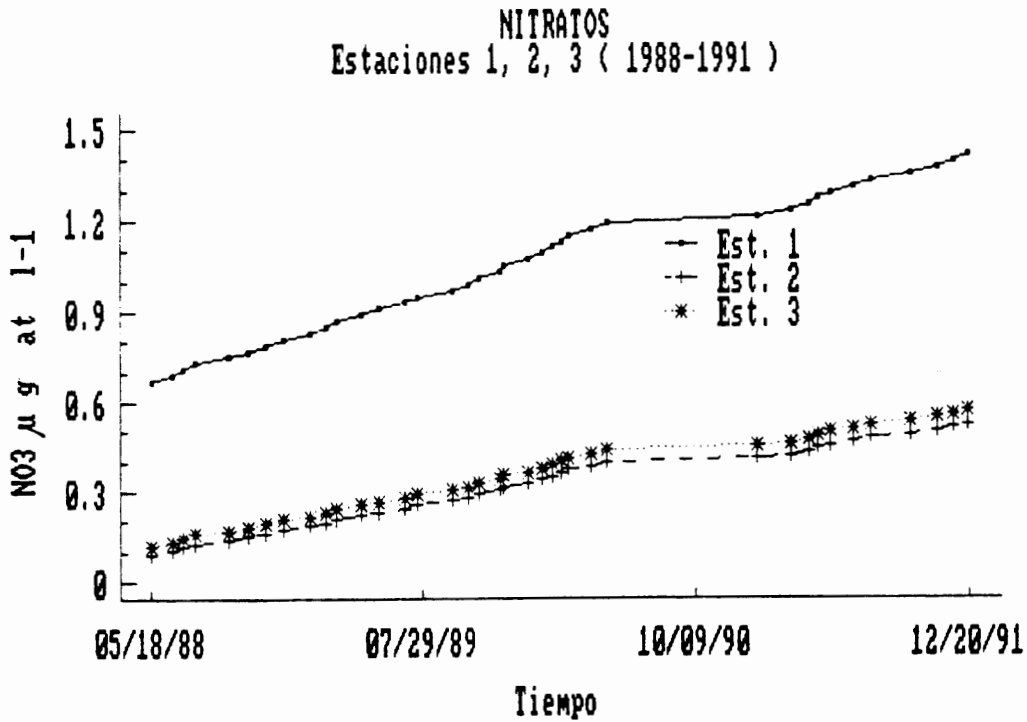


Figura 42. Promedios de los nitratos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

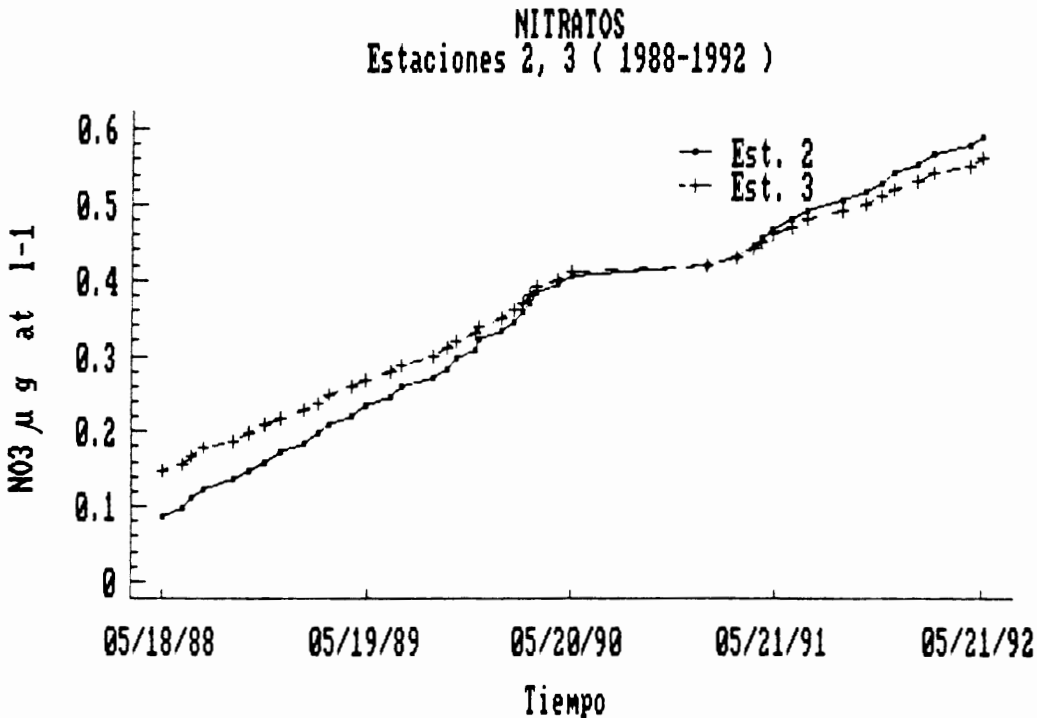


Figura 43. Promedios de los nitratos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 de muestreo durante el período 1988-1992.

3.4.3 Fosfatos

La rápida utilización por parte del fitoplancton de los fosfatos, así como su tendencia a la precipitación hacia el fondo, explica la dificultad de la interpretación de su variación temporal en un tipo de muestreo como el que nos ocupa. La evolución en el tiempo de sus concentraciones puntuales se muestra en las figuras 44, 46 y 48. Algunos valores próximos o ligeramente superiores a $1 \mu\text{g at l}^{-1}$ se observan en las proximidades del fondo en las estaciones 2 y 3 durante los períodos 1988-1989 y 1989-1990 (figuras 44 y 46). En 1991 no aparecen concentraciones como las citadas, pero, en conjunto, los valores más frecuentes e incluso los mínimos resultan bastante destacables en comparación con zonas oligotróficas de alta mar. En determinados momentos de los períodos analizados, existe una cierta coincidencia entre algunos de los máximos citados y aquellos observados en los nitritos y nitratos (compárense las figuras 30 y 31 con la 44 y la figura 34 con la 48). El hecho de que esta coincidencia no se vea siempre reforzada con máximos de silicatos, parece indicar que estos aumentos no son siempre el resultado de *inputs* externos al sistema y que podría tratarse de fenómenos mixtos de aporte rápido, en parte de tipo físico (aportes internos mediante "resuspensión", difusión o acumulación por transporte), y en parte de tipo funcional, mediante un reciclaje así como una utilización rápida por parte del fitoplancton.

El análisis de la figura 50 (variación anual e interanual suavizada de las concentraciones promedio de la columna de agua) puede admitir un comentario como el señalado al principio de este apartado. En efecto, el patrón de variación temporal tanto anual como interanual de este nutriente resulta, en líneas generales, menos definido y, al mismo tiempo, con menor semejanza respecto al observado en el caso de los nitritos y nitratos, pese a que puedan destacarse algunos rasgos comunes ocasionales como, por ejemplo, la diferenciación de la estación 1 con mayor concentración en determinadas épocas del año.

Abarcando todo el lapso de tiempo muestreado en las estaciones 2 y 3 (figura 52), se hace notar la poca claridad de una oscilación regular en los distintos períodos anuales. Queda patente que las concentraciones son notablemente más bajas durante 1991 que en los restantes períodos, lo que se refleja en una disminución progresiva en el análisis de la tendencia (figuras 54 y 55).

3.4.4 Silicatos

Los valores puntuales máximos encontrados en los dos primeros períodos se sitúan entre $1,5$ y $1,9 \mu\text{g at l}^{-1}$ en las proximidades del fondo en la estación 2 (figura 45), y cercanos a $2 \mu\text{g at l}^{-1}$ en la estación 1 (figura 47); pero especialmente destacados resultan los máximos encontrados en 1991, con alrededor de $4 \mu\text{g at l}^{-1}$ en mayo en la estación 3 (figura 49), y próximos o superando ligeramente el valor de $8 \mu\text{g at l}^{-1}$ en octubre en la estación 3, y en noviembre simultáneamente en los tres puntos de muestreo (figura 49); si se compara esta figura con la correspondiente a la variación temporal puntual de los nitratos (figura 35), se verá que resultan prácticamente idénticas. La coincidencia puntual de estos dos

tipos de nutrientes, así como su alta concentración, hablan en favor de aportes exógenos, probablemente terrígenos.

Existen algunas otras coincidencias aunque con concentraciones menores, tal como se ha señalado, entre nitratos y silicatos, en julio y marzo del período 1989-1990 (compárense las figuras 33 y 47). En la primera fase de muestreo (1988-1989) la variación punto por punto resulta bastante diferente de la de los otros nutrientes, aunque puede destacarse una notable disminución de las concentraciones durante la época cálida en las estaciones 2 y 3.

Especialmente, en lo que se refiere a la estación 1, la variación temporal de los promedios de la columna de agua se aproxima notablemente a lo observado en los otros nutrientes (figura 51); incluso, si se considera el primer período de muestreo, la curva suavizada de variación de los silicatos es muy semejante a la de los fosfatos (figura 51-A). En las estaciones 2 y 3, en cambio, el régimen de variación temporal es mucho menos definido (algo parecido ocurre con los otros nutrientes).

Si se considera lo observado en las estaciones 2 y 3, desde 1988 hasta 1992 (figura 53), puede observarse que no aparece tampoco una repetición interanual de los máximos anuales. Así, por ejemplo, el aumento de la primavera de 1989 no existe en el año anterior ni en el siguiente. En el período 1991-1992, se observa un incremento importante del cual son responsables los máximos puntuales señalados antes, así como otros aparecidos en febrero y abril de 1992 en los niveles superficiales de las estaciones 2 y 3, con alrededor de 5 y 7 $\mu\text{g at l}^{-1}$ respectivamente. Estos altos valores vuelven a tener su correspondencia en los nitratos, lo que también habla en favor de su origen exterior al sistema.

Todas estas elevadas concentraciones aparecidas son en parte responsables de la tendencia al aumento progresivo que se presenta en la figura 57. Si fuesen descartadas, cabría encontrar una situación estable como la que se observa en la estación 1 (figura 56). En cualquier caso, a pesar de la dificultad de determinar la influencia funcional en el sistema de estos valores elevados, dado su carácter esporádico y de probable poca duración, conviene tenerlos en cuenta puesto que han sido detectados y, evidentemente, no son un artefacto.

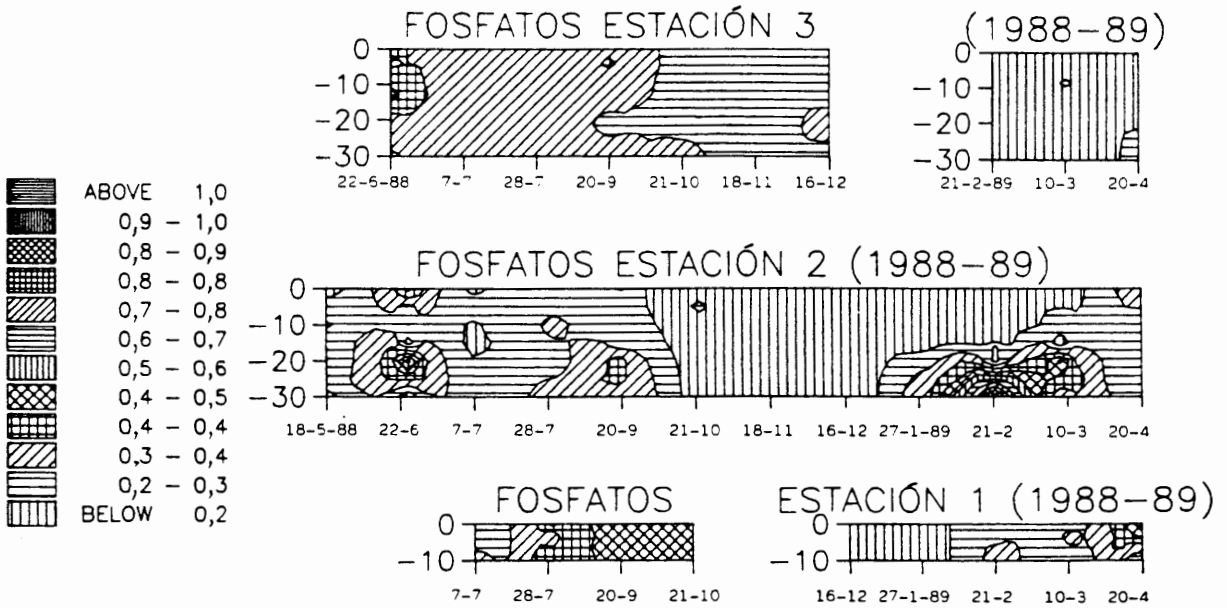


Figura 44. Variación de los fosfatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

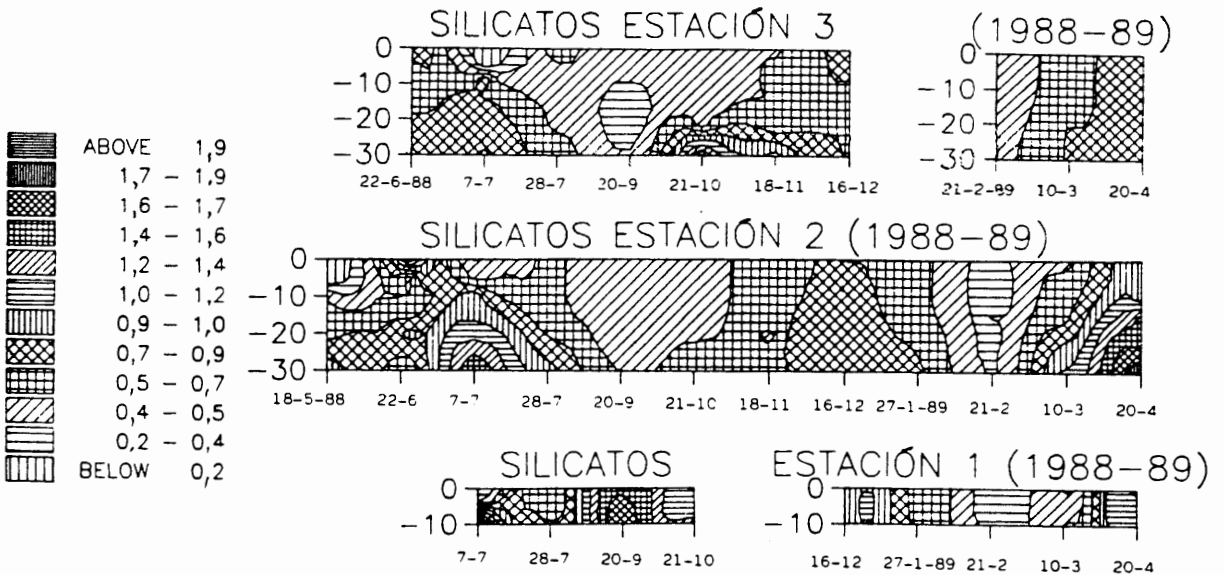


Figura 45. Variación de los silicatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

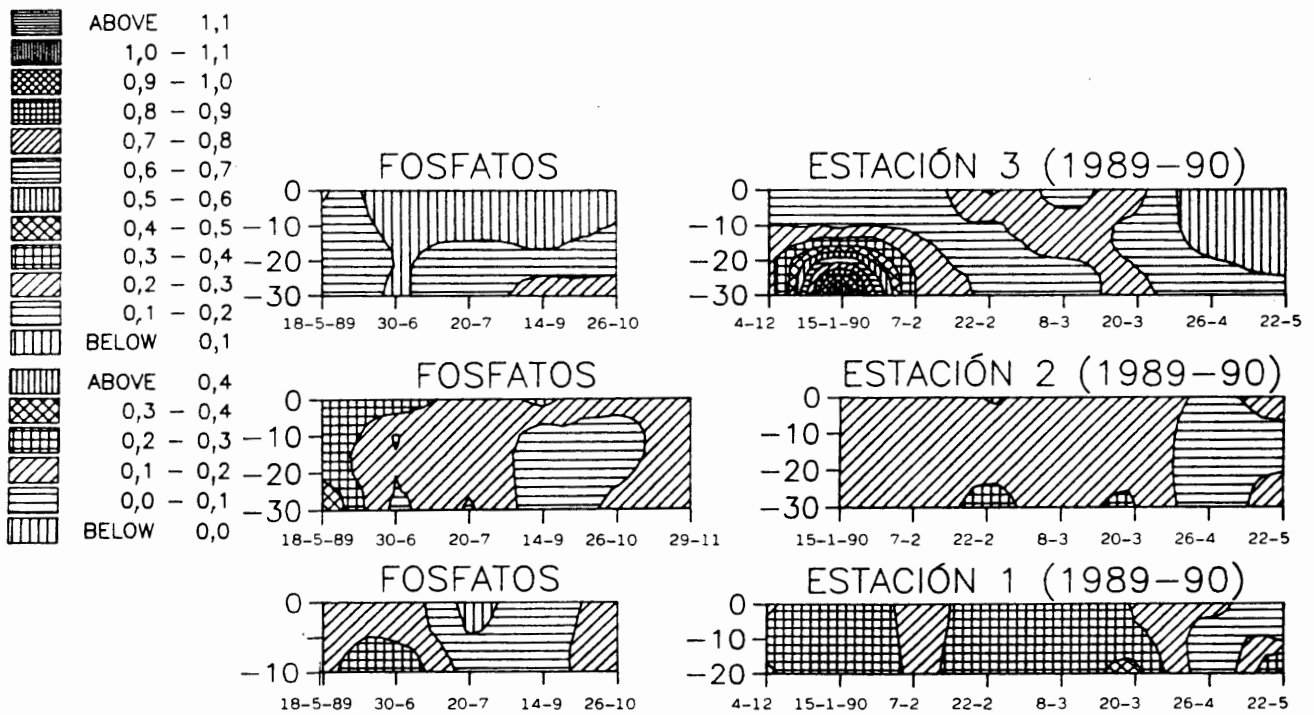


Figura 46. Variación de los fosfatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

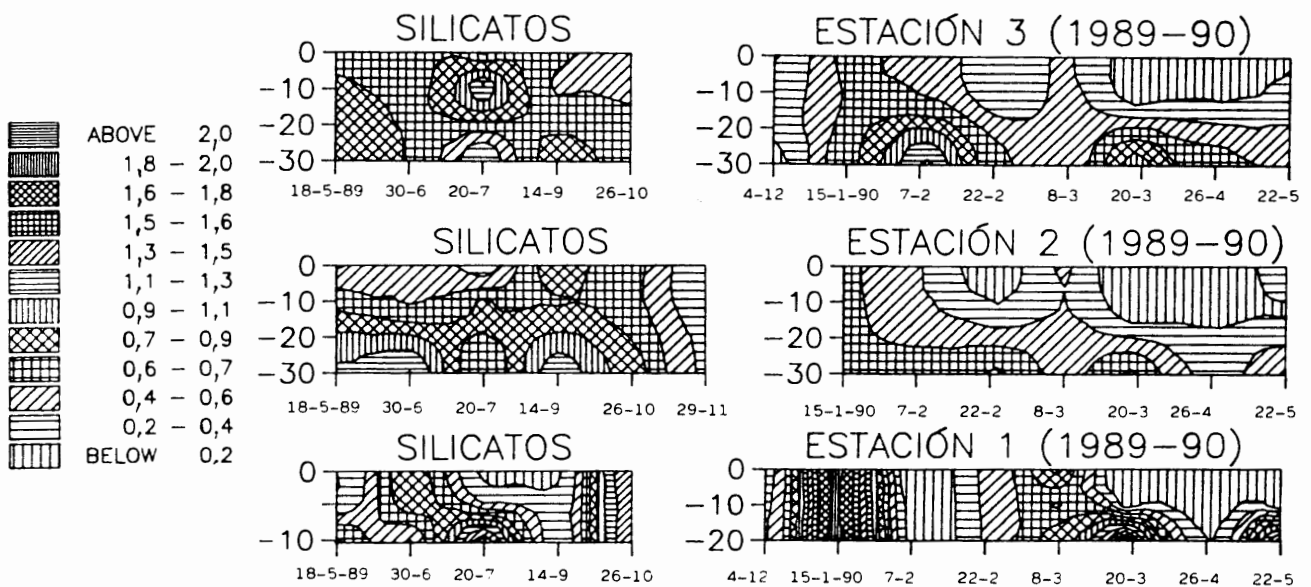


Figura 47. Variación de los silicatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

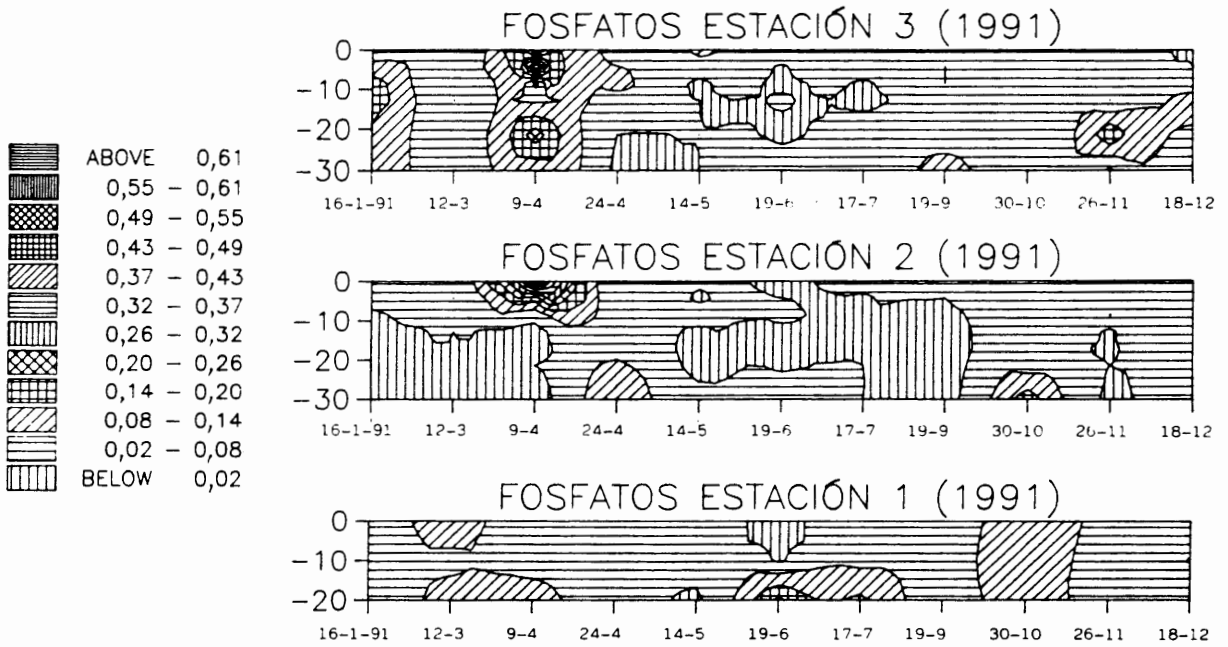


Figura 48. Variación de los fosfatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

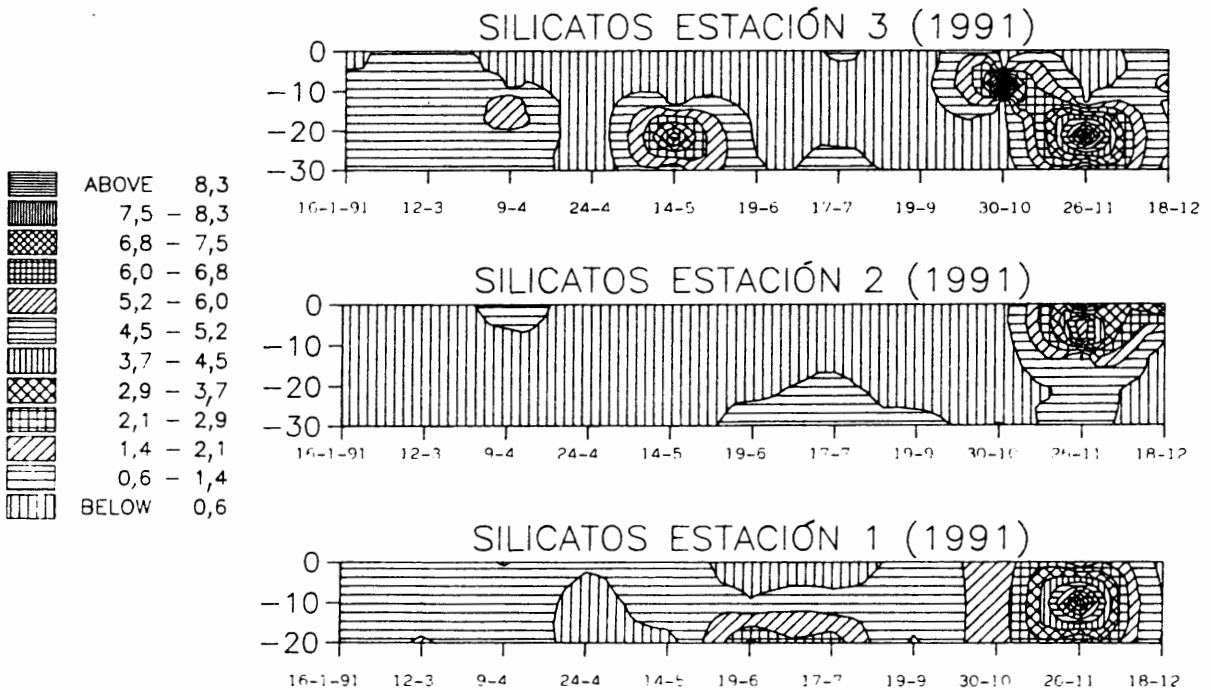


Figura 49. Variación de los silicatos ($\mu\text{g at l}^{-1}$) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

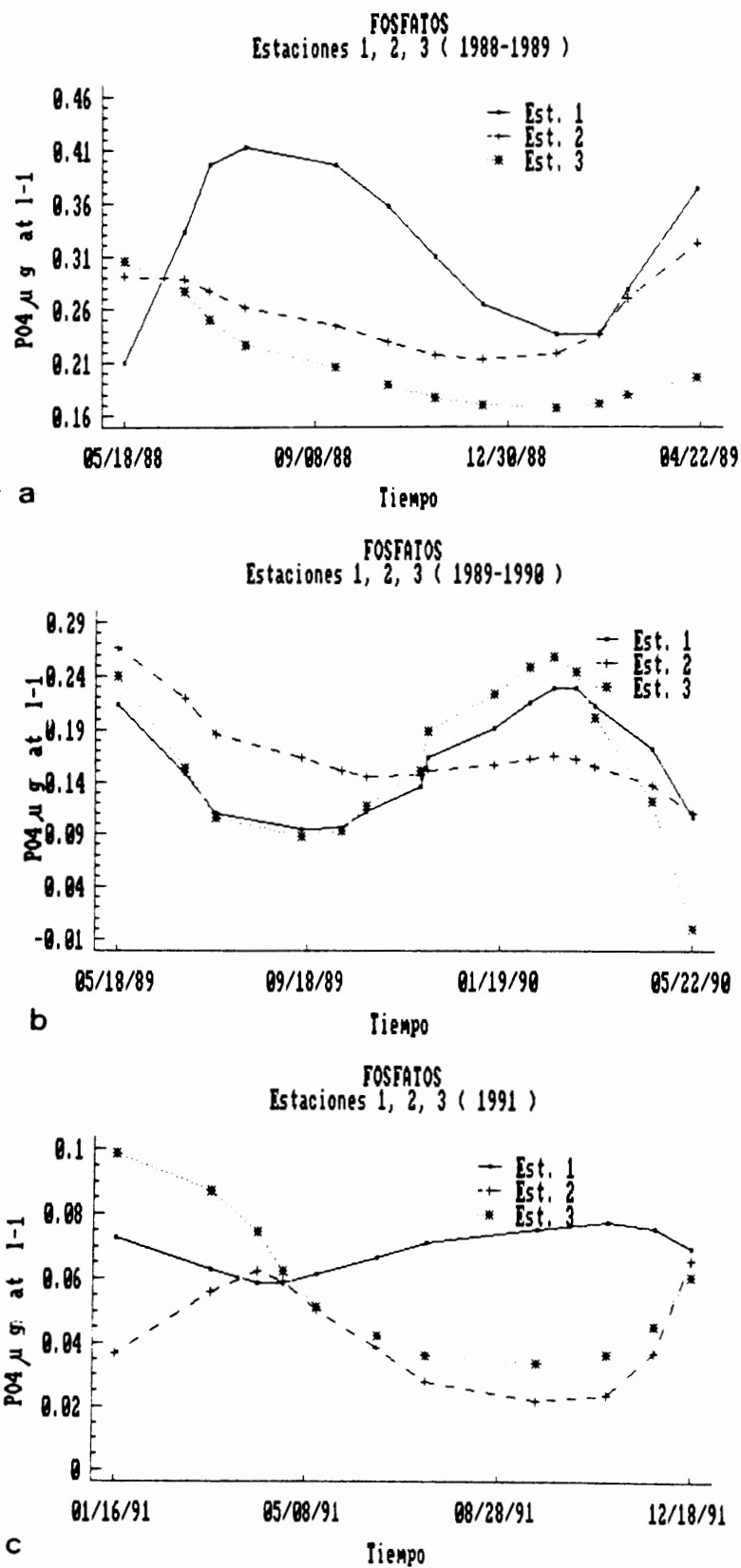


Figura 50. Promedios de los fosfatos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

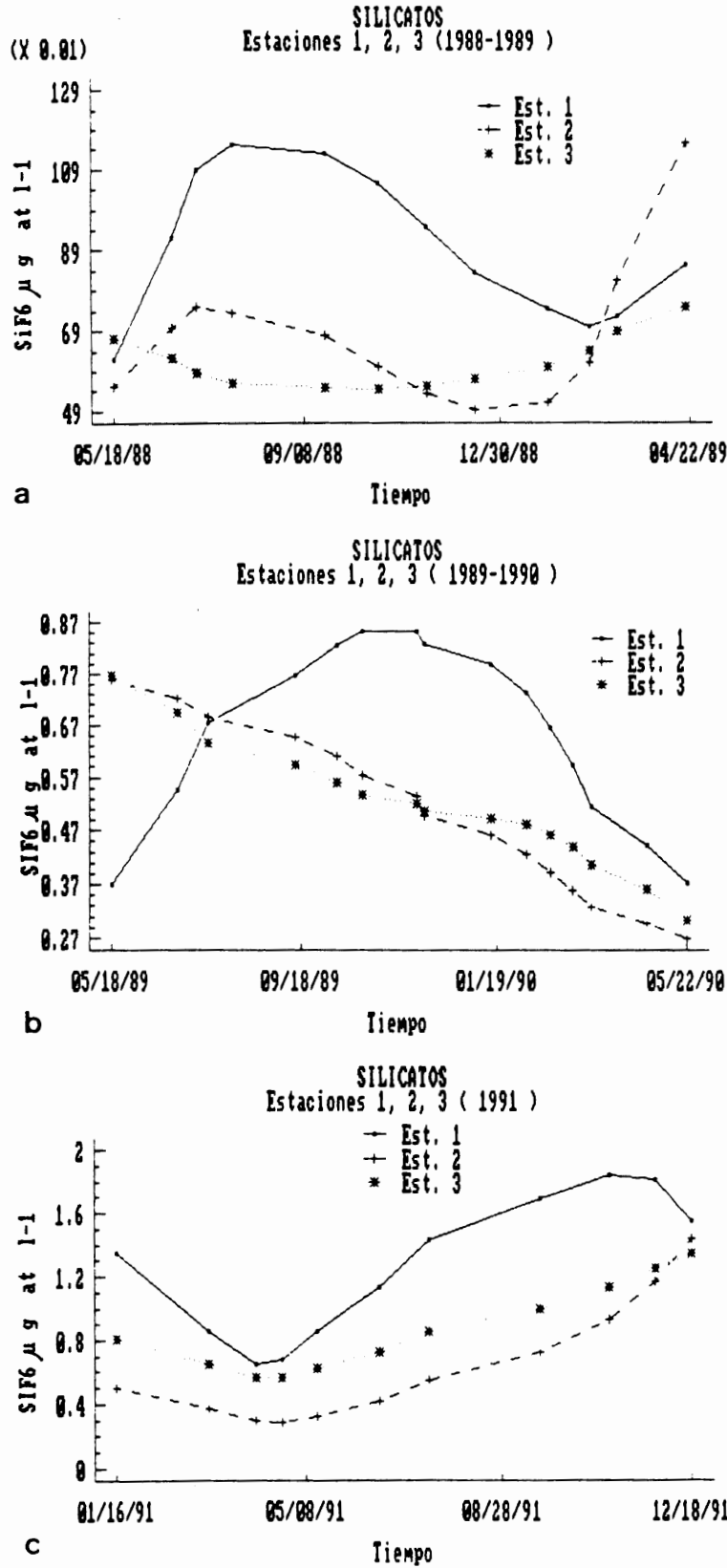


Figura 51. Promedios de los silicatos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

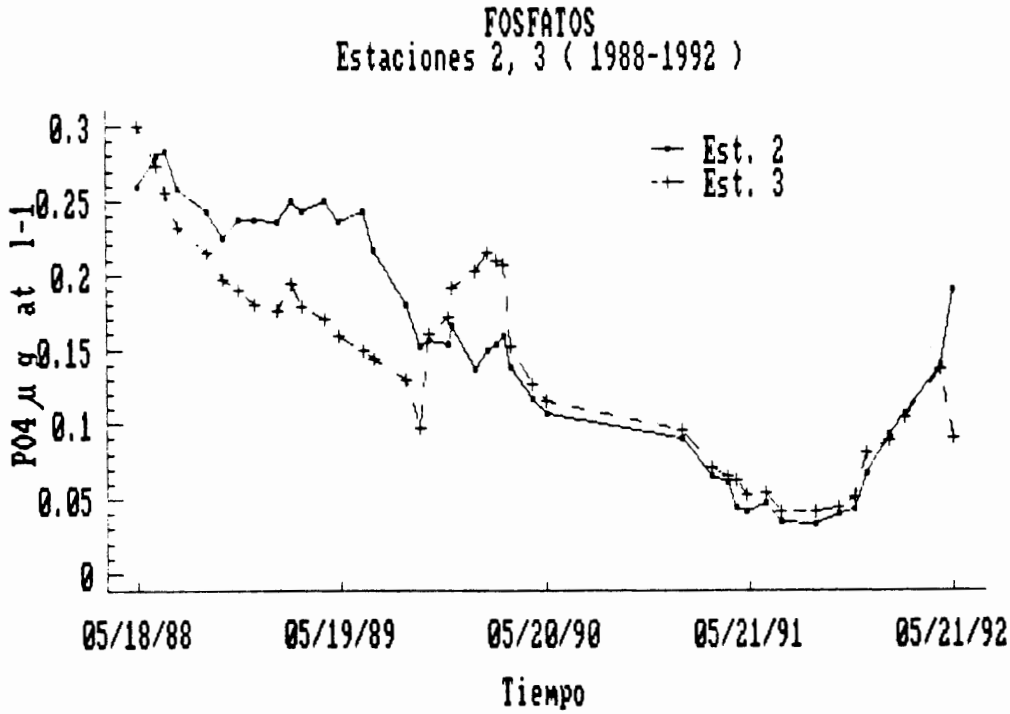


Figura 52. Promedios de los fosfatos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

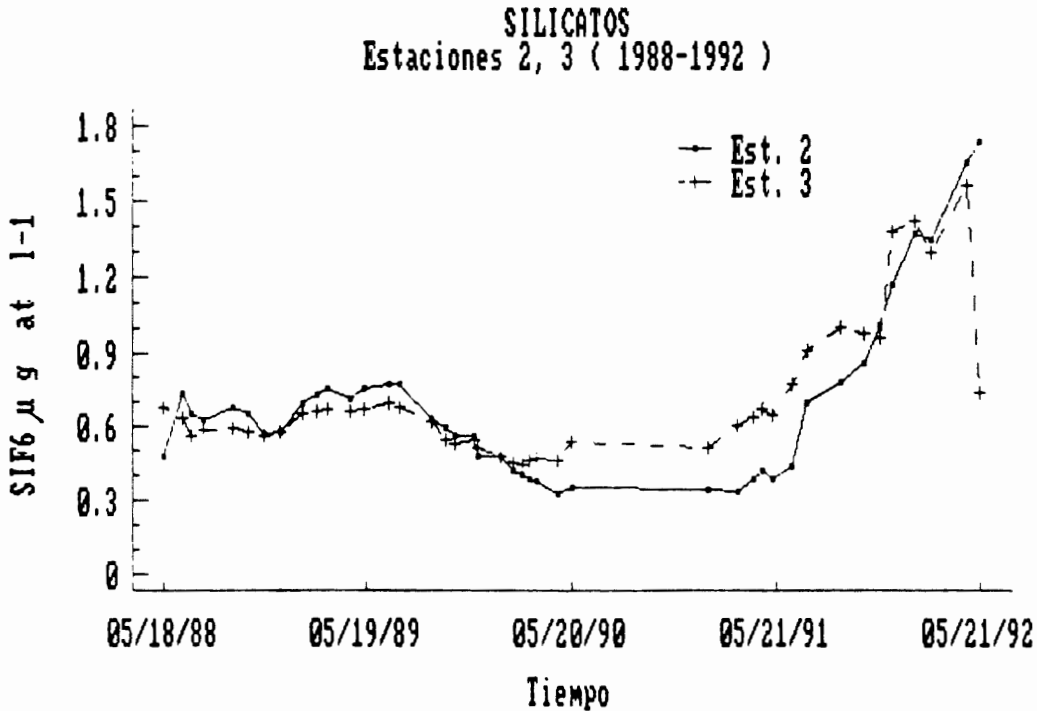


Figura 53. Promedios de los silicatos en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

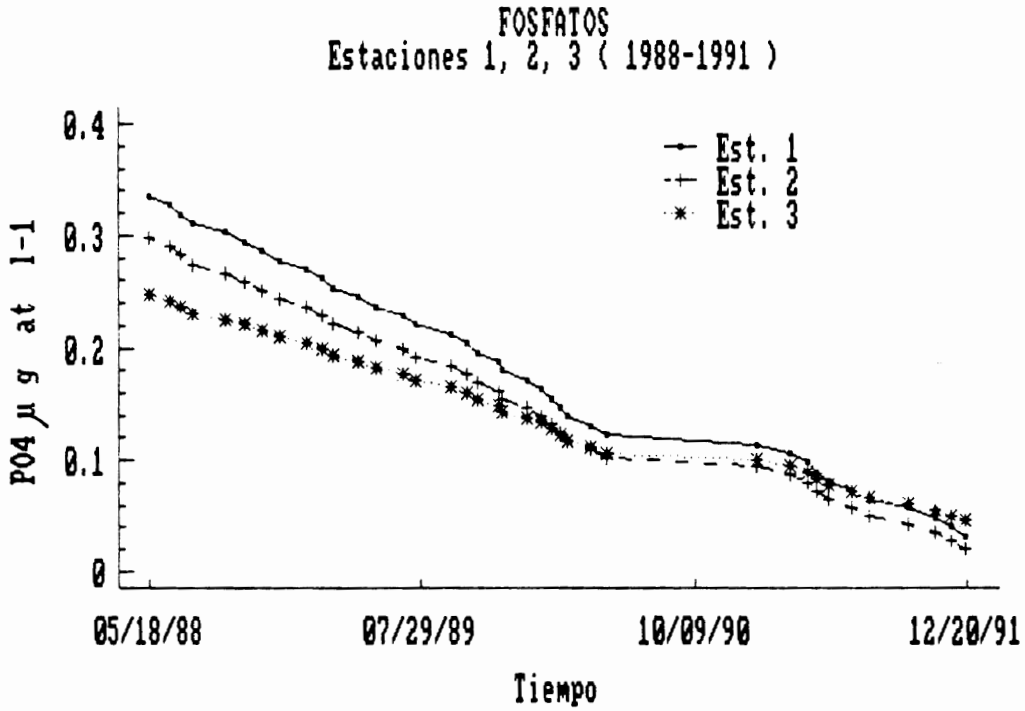


Figura 54. Promedios de los fosfatos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

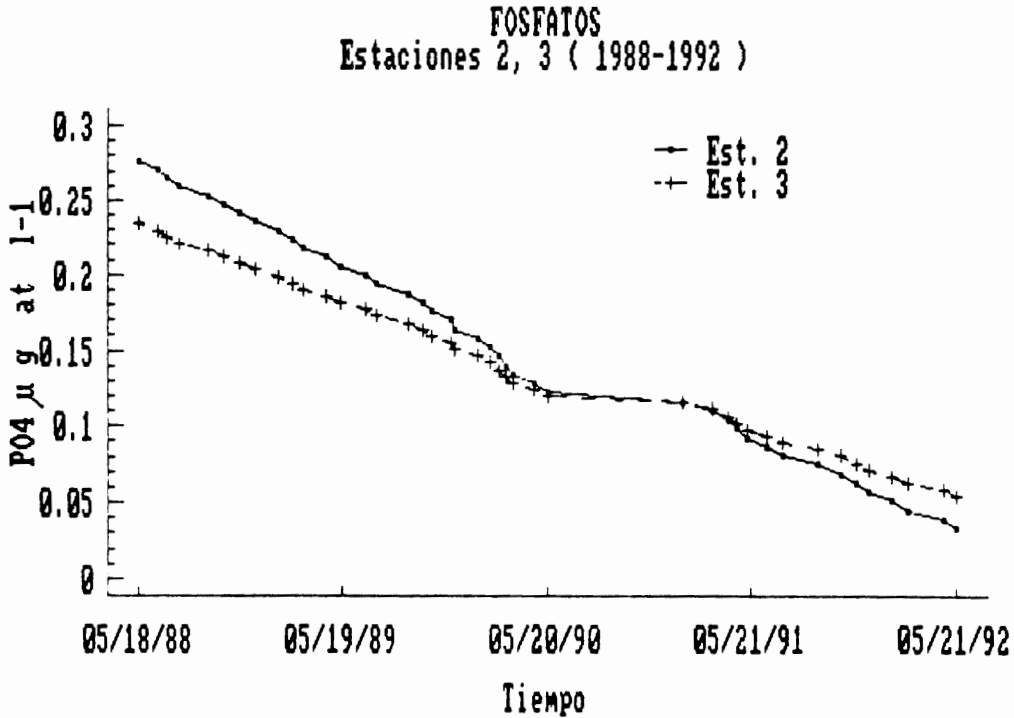


Figura 55. Promedios de los fosfatos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

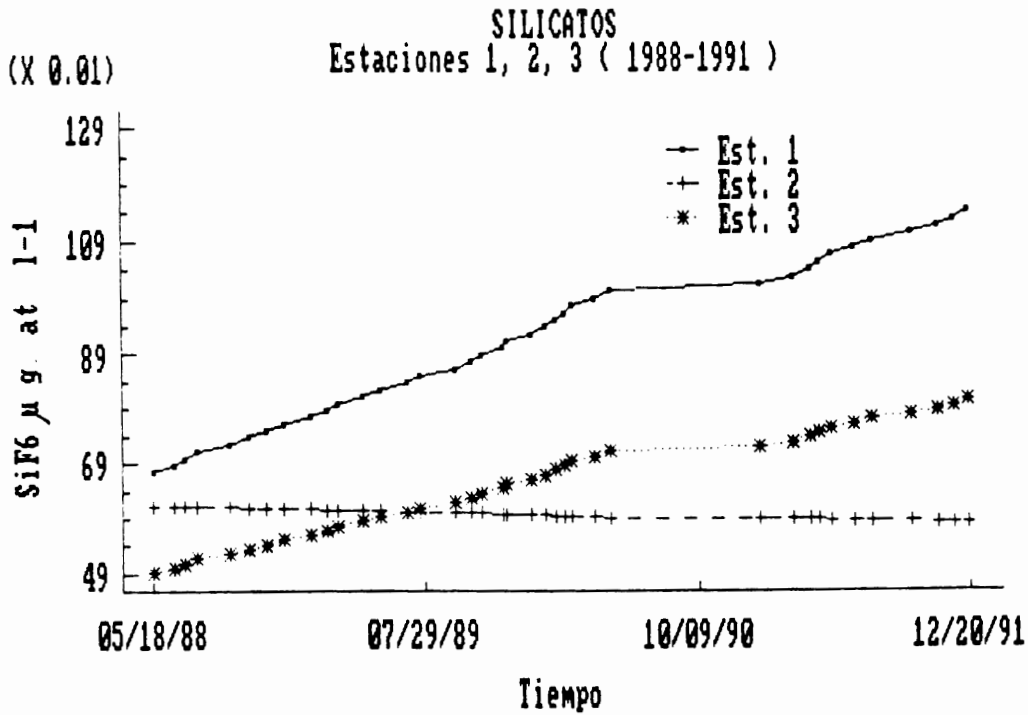


Figura 56. Promedios de los silicatos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

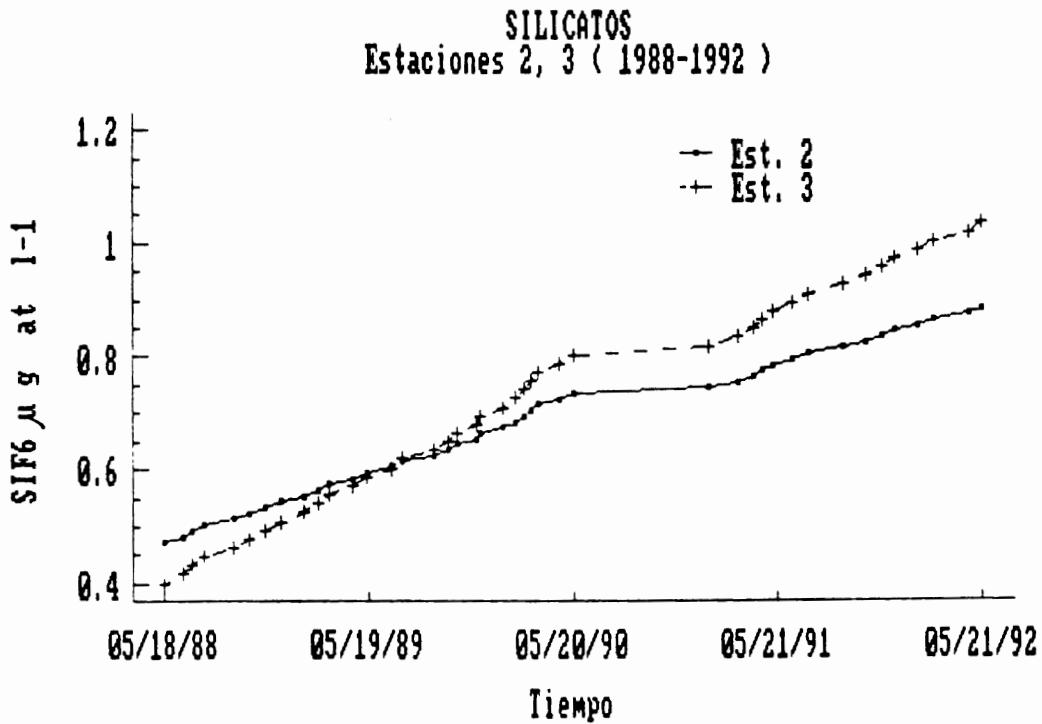


Figura 57. Promedios de los silicatos en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

3.5 *Clorofila a*

Las características básicas del área de estudio y la no existencia de grandes cantidades de material en suspensión, así como de eutrofia, aplicadas antes para explicar la distribución vertical de los nutrientes, son también utilizables aquí para explicar la no aparición de un patrón general y definido de variación vertical a lo largo del tiempo, que podría consistir en una profundización de los máximos de clorofila *a* hacia la época cálida, tal como ha sido observada en alta mar de aguas de Mallorca (Durán y Jansá, 1986) o en la aparición de máximos superficiales típicos de zonas claramente eutroficadas.

Aunque existe una considerable variabilidad no totalmente ajustable a patrones definidos, cabe señalar que, especialmente para las estaciones 2 y 3, los máximos puntuales encontrados se sitúan, con frecuencia, en épocas temporales consideradas apriorísticamente como adecuadas (tránsito invierno-primavera, figuras 58, 60 y 62). Así, en abril de 1989 aparece un máximo próximo a los 3 mg m^{-3} en la estación 2 que se refleja también en la estación 3, aunque con mucha menor intensidad (figura 58). Por separado, también se observan máximos en marzo y abril de 1990 en los puntos citados (figura 60), e igualmente en abril de 1991 (figura 62). Por otra parte, puede detectarse el fenómeno de desertización estival, aunque no con tanta rotundidad como sería observable en alta mar. En efecto, valores inferiores a $0,2$ ó $0,3 \text{ mg m}^{-3}$ se observan simultáneamente en julio y septiembre de 1988 y 1989 en las estaciones 2 y 3, aunque ocasionalmente pueden ser detectados desde mayo (figuras 58 y 60). En 1991 el fenómeno resulta más claro en la estación 3 (figura 62). Cabe esperar que este comportamiento aparezca menos patente en la estación 2 y, especialmente, en la estación 1, punto en el que, aunque pueda haber coincidencia ocasional en una disminución estival de la concentración, los valores son siempre mayores que en las estaciones 2 y 3 (obsérvense los cambios de escala en las figuras 58, 60 y 62) e incluso aparecen, en ocasiones, como los más altos registrados durante el año. Así, por ejemplo, aparecen concentraciones próximas a 4 mg m^{-3} en aguas portuarias en julio de 1991 (figura 62). Este dato coincide con el típico régimen de las zonas portuarias o confinadas con tendencia a la eutroficación. Hacia el otoño se observa una recuperación de los valores, que se mantienen de una forma moderada en el invierno.

El aumento de la concentración (valores promedios suavizados de la columna de agua) hacia la primavera o en el tránsito invierno-primavera, se pone de manifiesto claramente para las estaciones 1 y 2 y, de una forma menos conspicua, en la estación 3 durante el período 1988-1989 (figura 64-A). Algo parecido ocurre en los siguientes períodos, aunque de una forma menos generalizada para los tres puntos de muestreo. En el mes de mayo o pasado éste (figura 64) se registran menores concentraciones o una tendencia a la disminución de éstas. Como se ha señalado antes, este fenómeno no afecta por igual a los distintos puntos de muestreo, pudiéndose apreciar la situación contraria, con un aumento de la concentración, que afecta a la estación 1 durante 1991 (figura 64-C) o bien patrones de variación, más o menos indiferentes, observables en la estación 2 durante el período 1989-1990 (figura 64-C) o en la estación 3 en 1988-1989 (figura 64-A).

El aumento postinvernal-primaveral es especialmente destacable para las estaciones 2 y 3 en 1989 y 1990, siendo menos importante en 1988 y 1992 (figura 66). Durante el año 1991 se parte de concentraciones invernales relativamente altas, con un rápido crecimiento hacia el mes de mayo. En resumen, en la serie temporal estudiada puede detectarse el régimen típico de variación con sus máximos preprimaverales y, en menor grado, los máximos otoñales; no obstante, este régimen resulta frecuentemente enmascarado por proliferaciones o acumulaciones secundarias, esperables, por otra parte, en zonas neríticas próximas a la costa, especialmente sometidas a una cierta presión ambiental de origen urbano.

En cualquier caso, el análisis de la tendencia muestra una situación prácticamente estable. Esto queda bastante claro para las estaciones 2 y 3 (figura 68).

3.6 Relación F_0/F_a

La relación F_0/F_a como índice adimensional aproximado del potencial o de la actividad fotosintética del fitoplancton (en el fitoplancton degradado o muerto, este índice es próximo o igual a 1), basado en la proporción de la clorofila *a* respecto de sus productos de degradación (especialmente feofitina *a*) ha mostrado un régimen de variación interesante tanto en sus valores puntuales como en los análisis de conjunto. Teniendo en cuenta la distribución puntual, cabe destacar en las estaciones 2 y 3 valores inferiores o ligeramente superiores a 1,5 (figura 59) en septiembre de 1988, que coinciden parcialmente con la época estival de desertización. Estos valores tan bajos no vuelven a observarse en los años siguientes, pero en 1991 aparece otra vez una disminución en las tres estaciones, y, en la época cálida (julio, septiembre u octubre según los casos) constituyendo los valores más bajos del año -inferiores a 2,5- (figura 63). Durante el período 1989-1990 (figura 61), la variación temporal resulta menos definida, de tal forma que la "actividad" fitoplanctónica queda repartida de una manera más o menos uniforme a lo largo del período. Los valores inferiores a 2 observados en mayo y julio de 1988 en las estaciones 2 y 1 deben ser considerados como anómalos y, probablemente, artefactuales.

Los valores más altos, próximos a 4 que son observables simultáneamente en las tres estaciones, aparecen en abril de 1989 (figura 59) y marzo-abril de 1990. Datos superiores a 4 o próximos se detectan en las estaciones 2 y 3 en marzo de 1991, y en julio de este año en la estación 1 (figura 63).

La variación de la magnitud F_0/F_a no tiene por que ser siempre coincidente con las oscilaciones de la concentración de la clorofila *a*, especialmente si se observa esto con detalle. Observando la variación para cada período (figura 65) de los promedios de la columna de agua, puede constatar un esquema de variación anual más regular, simultáneo para los tres puntos de muestreo, y periódico que el que afecta a los cambios encontrados en la concentración de la clorofila *a*. Especialmente en 1989-1990 y 1991 se observa la disminución estival o postestival de este parámetro así como la tendencia hacia un aumento progresivo durante el invierno hasta el comienzo de la primavera (figuras

64-B, C). Al considerar todo el período de muestreo para las estaciones 2 y 3 queda patente que estos máximos y mínimos van aumentando de valor progresivamente en los años sucesivos (figura 67), lo que parece traducirse en una tendencia al aumento de este parámetro (figuras 70 y 71).

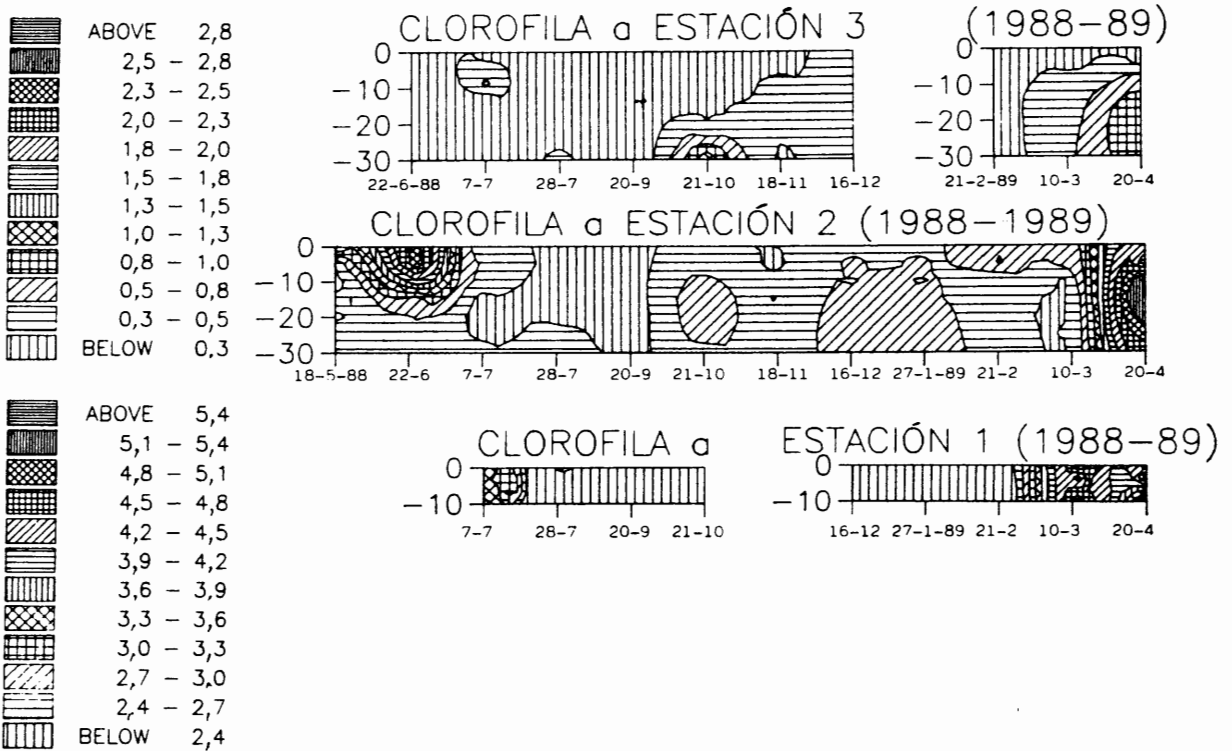


Figura 58. Variación de la clorofila *a* (mg m^{-3}) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

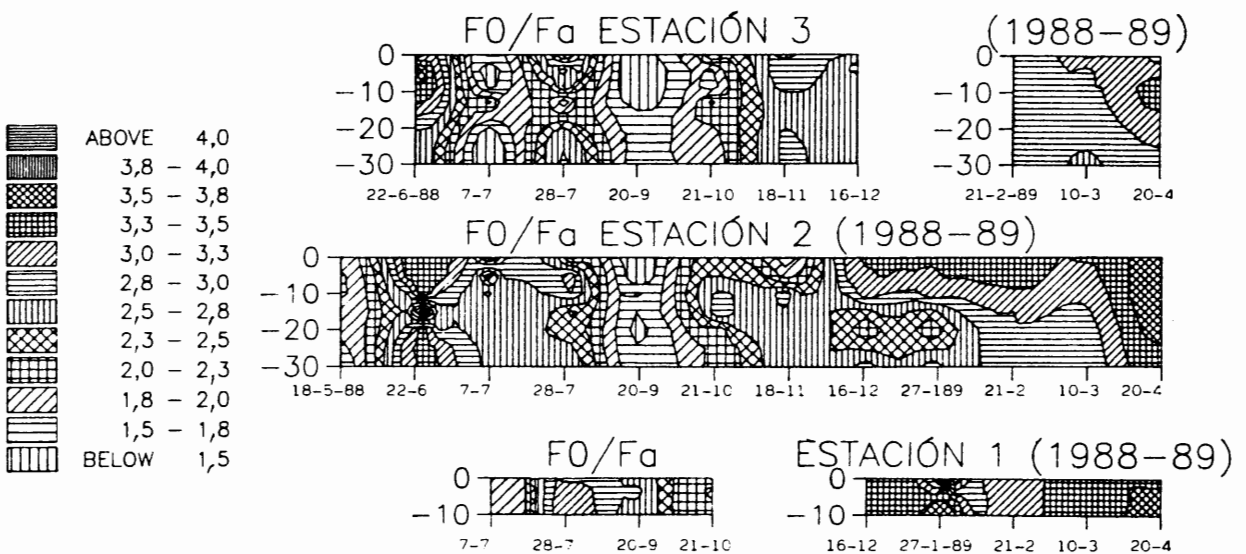


Figura 59. Variación de la relación F_0/F_a con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

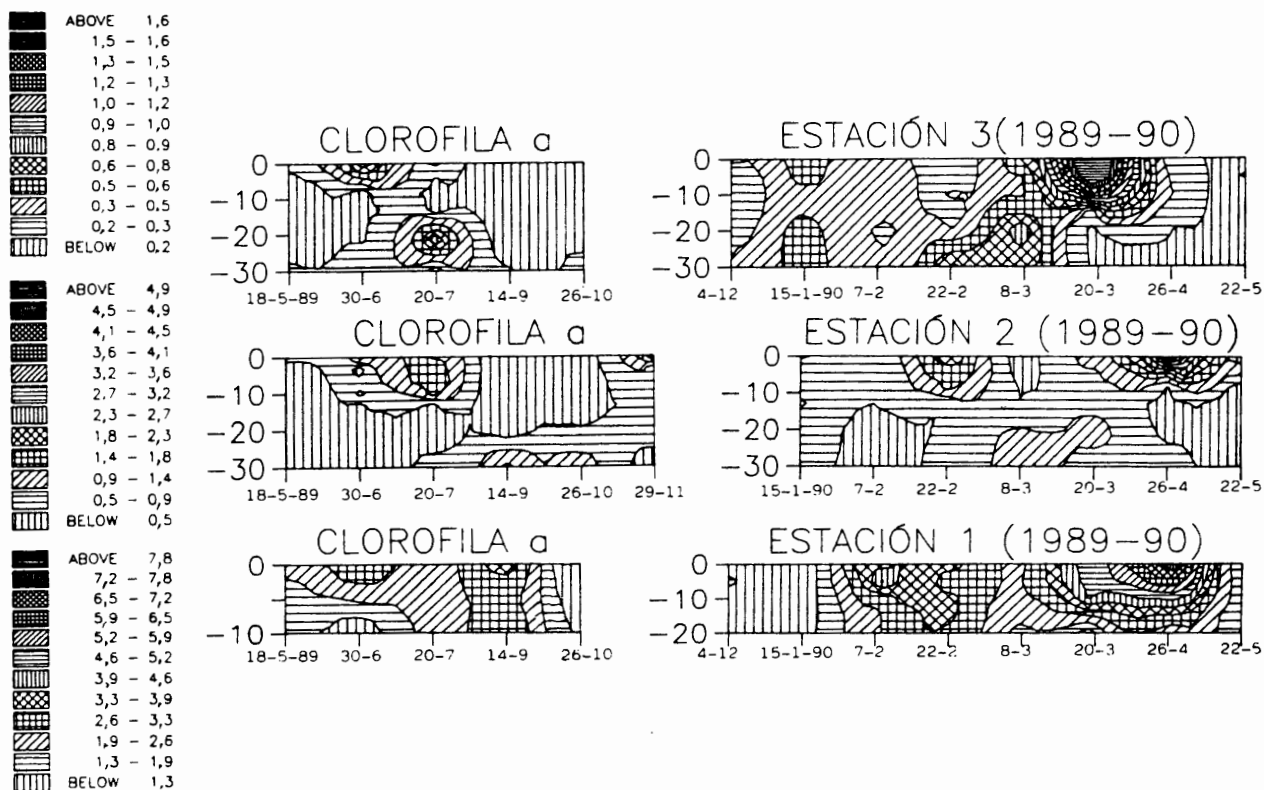


Figura 60. Variación de la clorofila a (mg m^{-3}) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

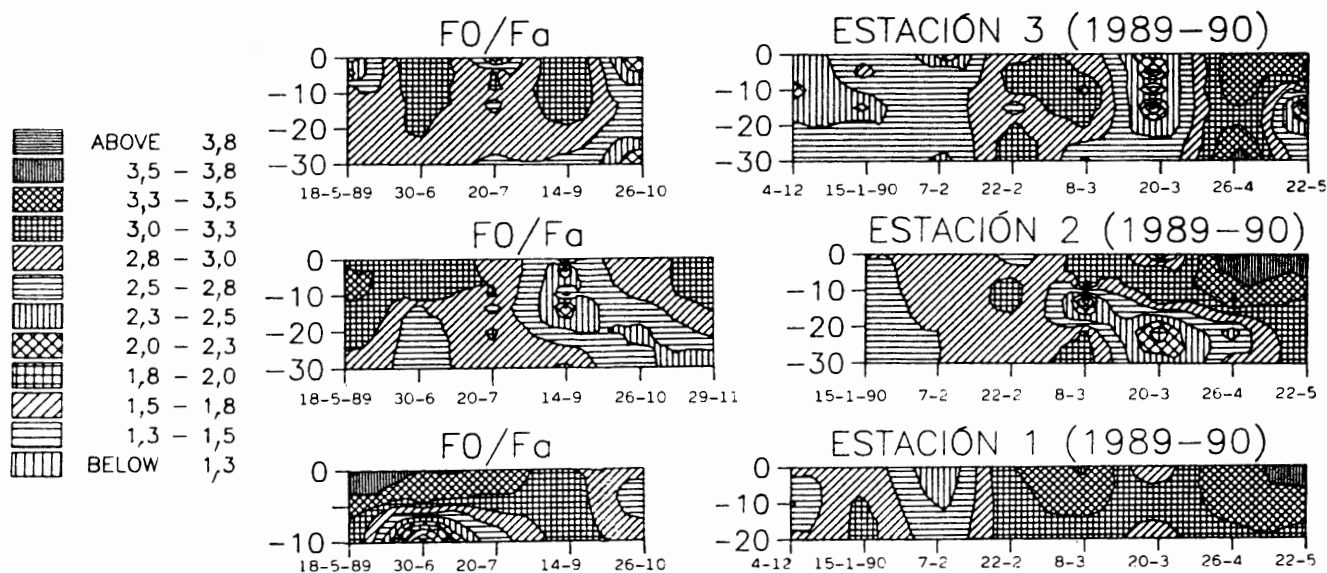


Figura 61. Variación de la relación F_0/F_a con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

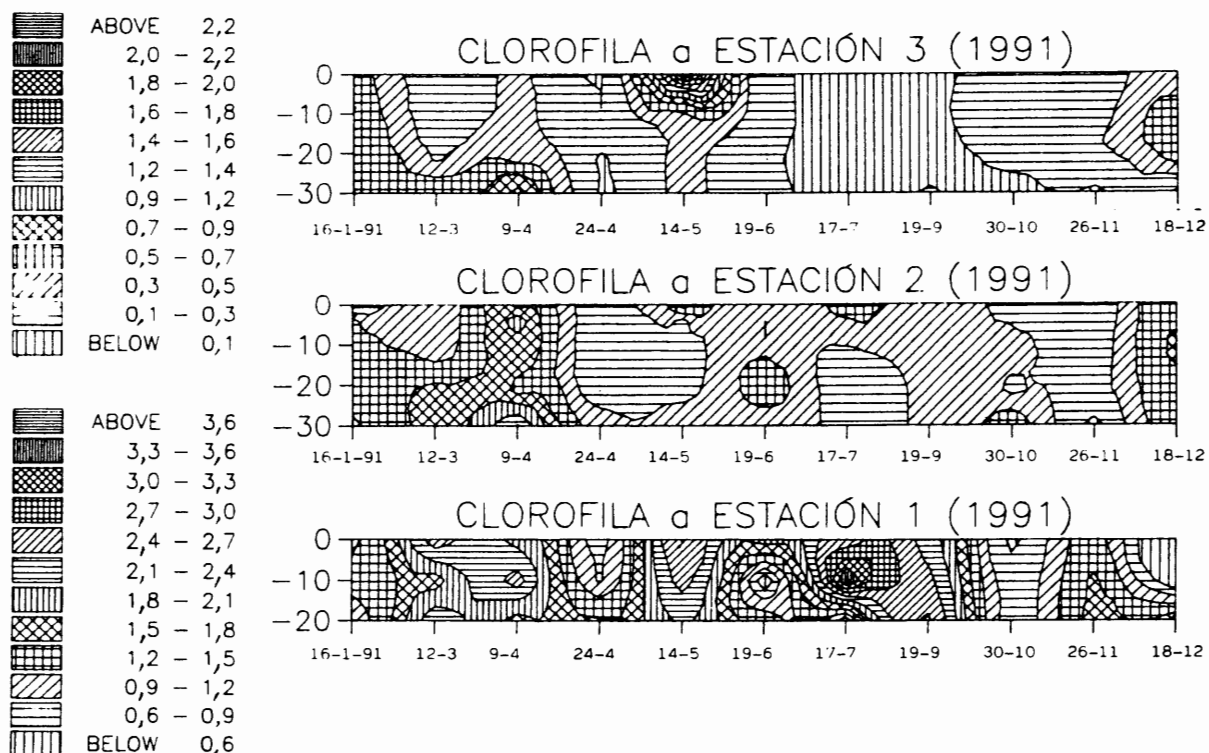


Figura 62. Variación de la clorofila a (mg m^{-3}) con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

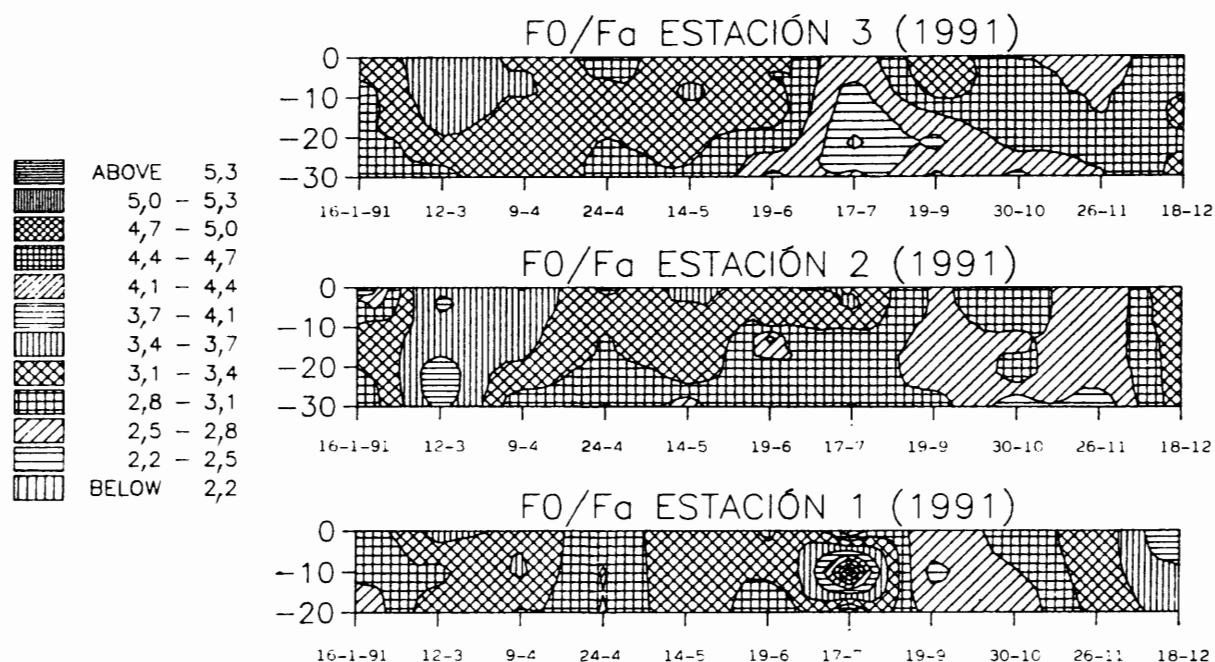


Figura 63. Variación de la relación F0/Fa con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

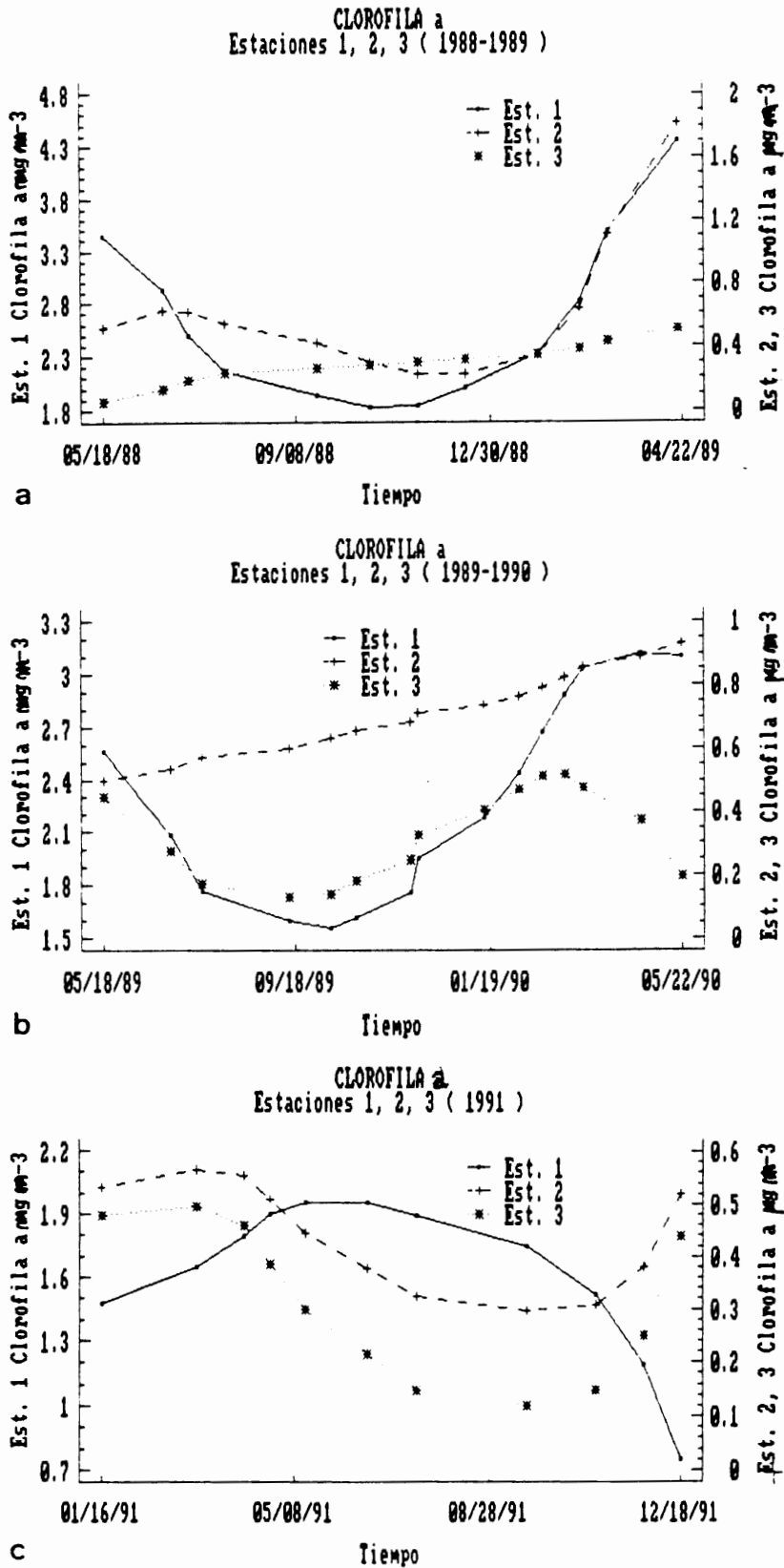


Figura 64. Promedios de la clorofila a en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

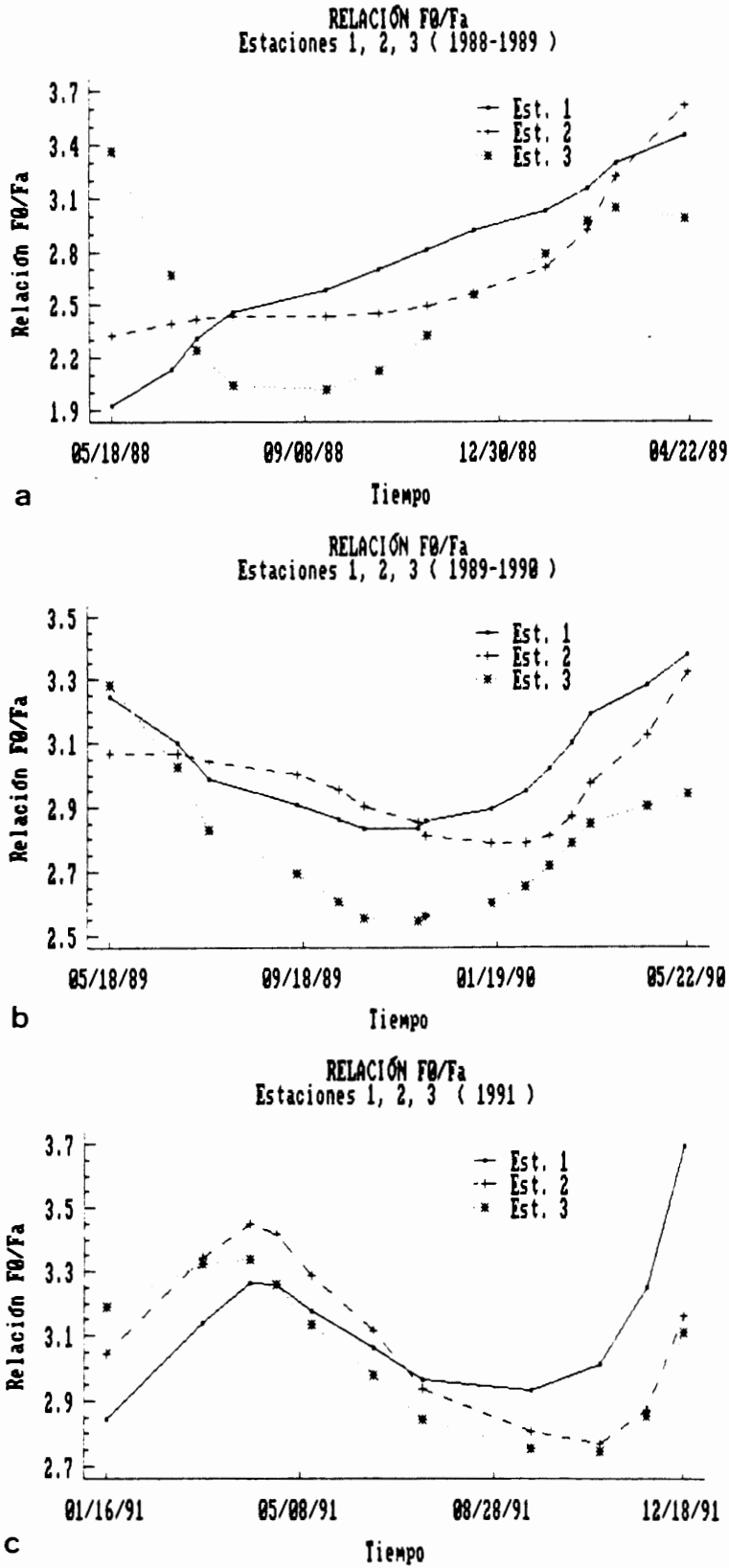


Figura 65. Promedios de la relación F0/Fa en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

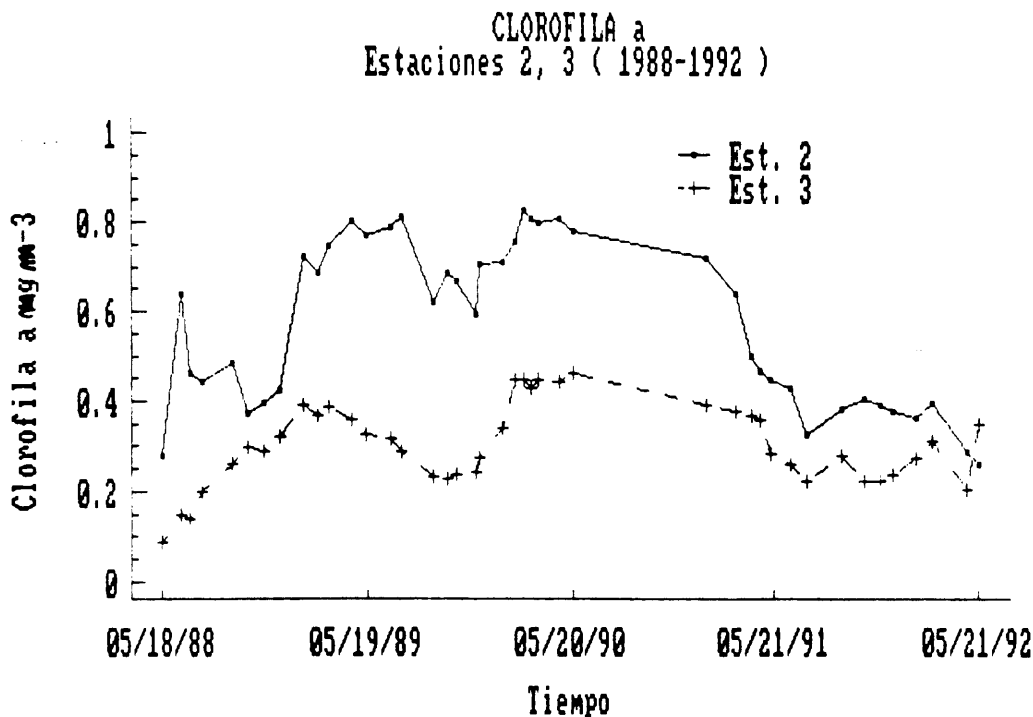


Figura 66. Promedios de la clorofila a en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

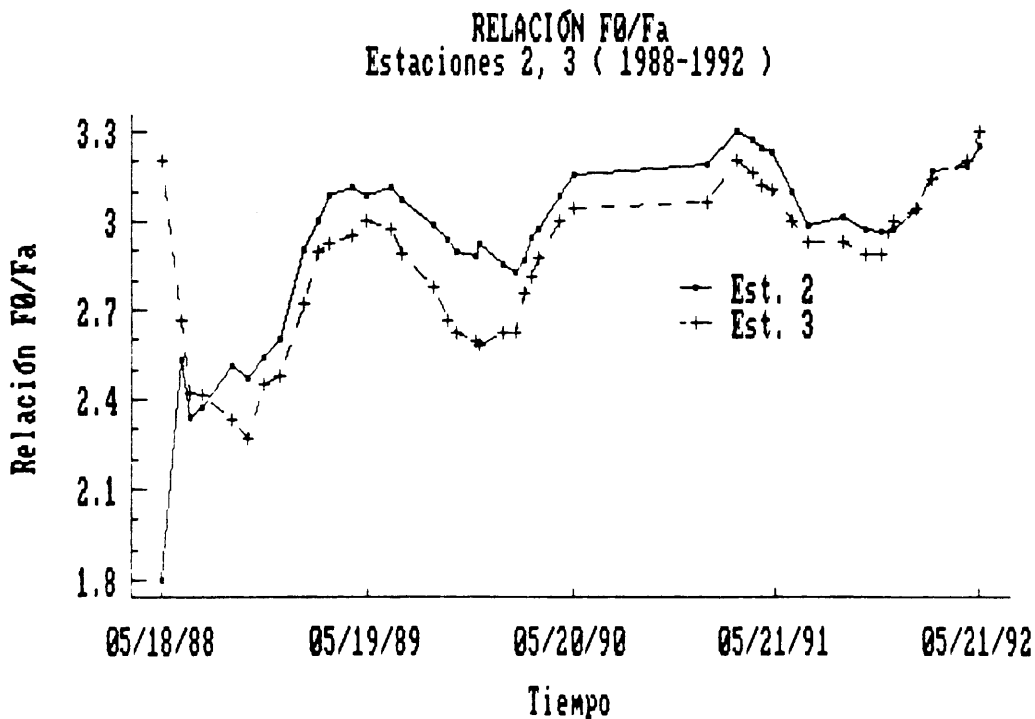


Figura 67. Promedios de la relación F0/Fa de la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

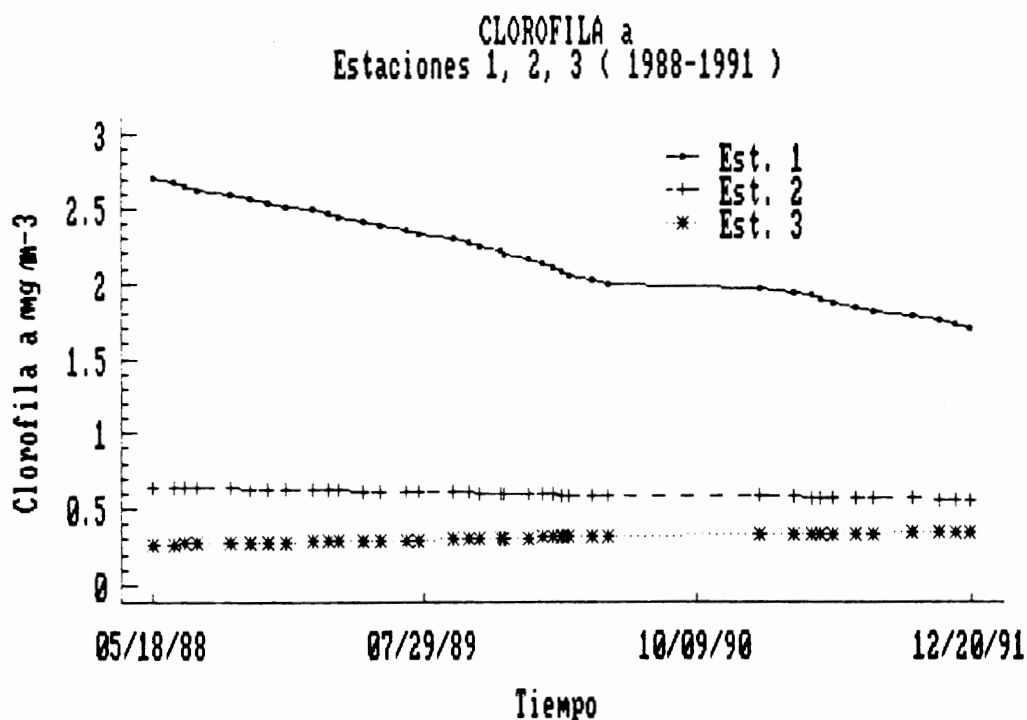


Figura 68. Promedios de la clorofila a en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

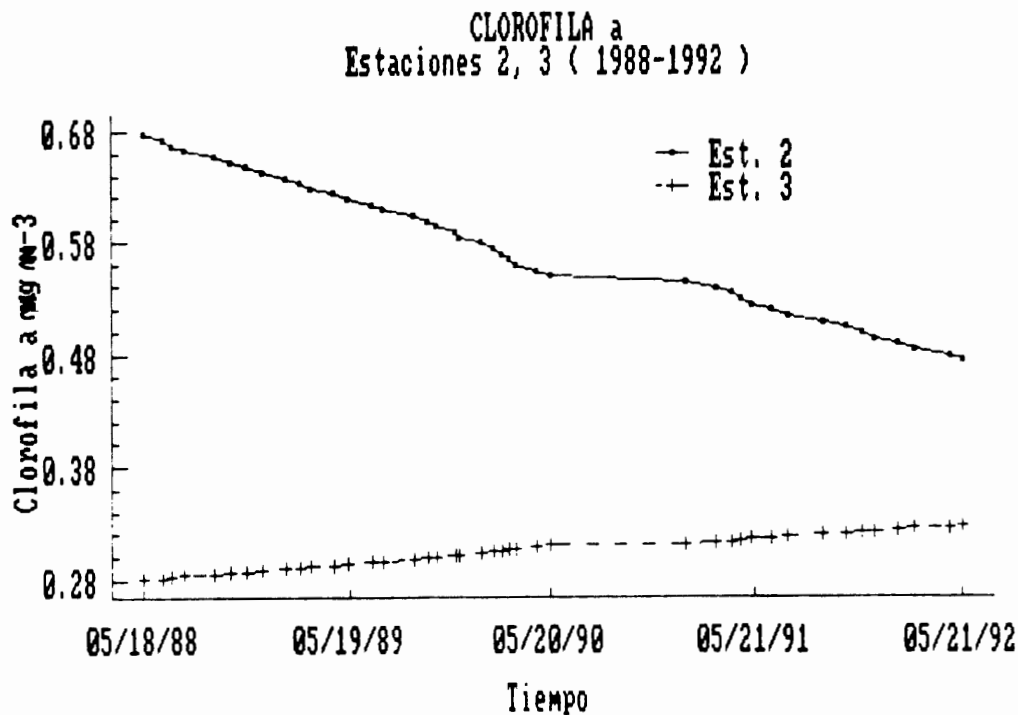


Figura 69. Promedios de la clorofila a en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

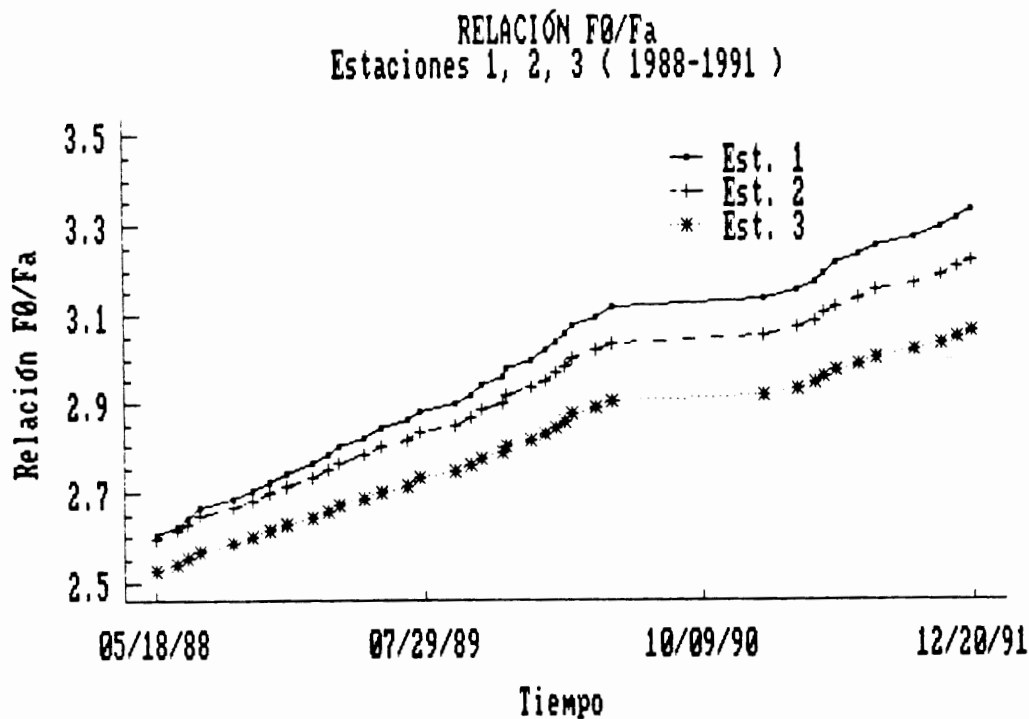


Figura 70. Promedios de la relación F0/Fa en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

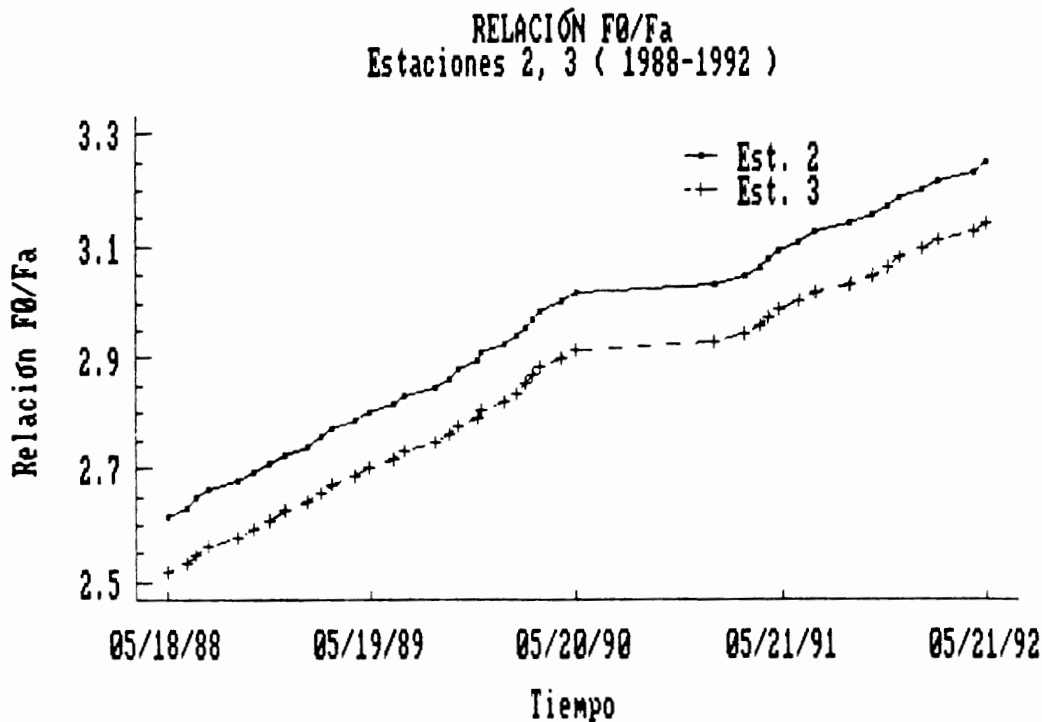


Figura 71. Promedios de la relación F0/Fa en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

3.7 Porcentaje de saturación de oxígeno

Se ha hecho hincapié en este parámetro más que en el dato original de oxígeno disuelto ya que, como es conocido, el porcentaje de saturación de oxígeno refleja mejor la "funcionalidad" del sistema, puesto que se halla corregido de los efectos que la temperatura y salinidad tienen en su solubilidad en el agua. En cualquier caso, puede señalarse que el oxígeno disuelto (expresado en ml l^{-1}) nunca ha presentado valores inferiores a 4, ni siquiera en las proximidades del fondo de la estación 1.

Frecuentemente las concentraciones de oxígeno disuelto se sitúan entre 5 y 6 ml l^{-1} , bastantes veces aparecen entre 6 y 6,5 y solamente en una ocasión se ha obtenido como valor máximo 7,13 ml l^{-1} a 0 m en la estación 1 en febrero de 1989.

El porcentaje de saturación de oxígeno puede ser considerado como uno de los parámetros que mejor definen globalmente el estado en que se encuentra un sistema como el que nos ocupa -en el sentido de mostrar su historia reciente así como algunos fenómenos de producción-respiración más o menos puntuales-. Ello es debido a una cierta "conservabilidad" en el medio frente a otros parámetros de mayor variabilidad, tales como los pigmentos fitoplanctónicos, o los índices de biomasa zooplanctónica, e incluso los nutrientes, estos últimos en determinadas circunstancias. Respecto a los nutrientes, se ha indicado que los nitratos tienden, por mineralización a acumularse más en el medio pelágico que los fosfatos, cuyo contenido es, o bien reutilizado rápidamente por parte del fitoplanton, o bien escapa del medio hacia el fondo por precipitación. Ahora bien, en casos de eutroficación, los nitratos pueden también desaparecer del medio cuando las bacterias han agotado prácticamente el oxígeno disuelto y pasan a utilizar la parte de oxígeno combinada en los nitratos en sus procesos respiratorios, con lo que se libera, al final, nitrógeno molecular que también escapa.

Como se ha visto, dejando a parte valores puntuales importantes de nitratos, cuyo origen se ha supuesto externo al sistema, las demás concentraciones no son muy altas, entrando en un rango que, *a priori*, podríamos considerar "normal". Al mismo tiempo, no aparece una distribución batimétrica característica de este parámetro, pero tampoco existe un patrón de distribución vertical claro en el porcentaje de saturación de oxígeno (figuras 72, 73 y 74), en el sentido de una disminución en profundidad.

Teniendo en cuenta las consideraciones realizadas anteriormente en relación con el medio de estudio (poca profundidad, carácter nerítico-costero), puede señalarse que los nitratos no aumentan claramente con la profundidad, fundamentalmente porque ésta es escasa y no porque su oxígeno sea utilizado por bacterias, ya que sigue coexistiendo un notable contenido de oxígeno disuelto en el medio. En este sentido, estamos muy lejos de la eutroficación en sus fases definitivas, incluso en aguas portuarias. Esto resulta más normal y esperable en las zonas abiertas de la bahía, en las que quizá el contenido de oxígeno de las capas de agua próximas al fondo sea en parte consecuencia de la fotosíntesis del fitobentos, al menos en determinadas épocas del año.

Volviendo a la variación espacio-temporal de los valores puntuales (figuras 72, 73 y 74), puede constatarse que los mayores porcentajes de saturación de oxígeno aparecen hacia la primavera, y pueden prolongarse bastante durante la época cálida hasta septiembre, aunque con una lenta disminución. Esto queda especialmente patente en el muestreo realizado durante 1991 (figura 74), en el que se observa que el incremento ocurre de una forma similar en las tres estaciones. En este caso aparecen valores superiores a 130 % en los niveles superficiales de la estación 3 en mayo. Porcentajes de un orden parecido se dan en la estación 1, aunque esto se observa en julio. Otro valor importante aparece en la citada estación en junio del período 1989-1990 y en julio de 1988 (figuras 72 y 73), lo que indica que las aguas portuarias pueden presentar, al menos en el aspecto puntual, fenómenos que las diferencian del resto de la masa de agua más "natural". Principalmente, para las estaciones 2 y 3, son igualmente observables en estos períodos aumentos que aparecen en la primavera-verano, de una forma parecida a lo observado en 1991, aunque con valores puntuales ligeramente inferiores.

Si se considera la variación temporal suavizada de los promedios de la columna de agua para los tres puntos de muestreo, puede constatarse que, únicamente durante el primer período (1988-1989), aparece una discrepancia global en el patrón de variación de la estación 1 respecto al resto, que se caracteriza por una disminución más prematura del porcentaje de saturación. En los restantes períodos, especialmente durante 1991 (figuras 76-B, C) la variación temporal general es bastante semejante en los tres puntos de muestreo, observándose claramente el aumento hacia la primavera-verano, así como la disminución postestival con el mínimo invernal.

Los máximos puntuales quedan más destacados cuando se utiliza la suavización basada en la media móvil. Así, si consideramos, para todo el tiempo de muestreo, la variación temporal suavizada de los promedios de la columna de agua correspondientes a las estaciones 2 y 3 (figura 75), puede destacarse el máximo primaveral-estival de 1989; pero especialmente destacable resulta para la estación 3 el aumento primaveral de 1992, quedando las primaveras de los años 1990 y 1991 en un plano más discreto. Las oscilaciones observadas tienen lógicamente su influencia en la tendencia. Considerando el total de tiempo muestreado en los tres puntos de muestreo (figura 77), parece existir una tendencia hacia la disminución del promedio del porcentaje de saturación en la estación 1, lo que quizás podría indicar un progresivo aporte de materia orgánica a esta zona, que es mineralizado. La tendencia encontrada en las estaciones 2 y 3 cambia completamente si consideramos esta última cuando se abarca el tiempo muestreado hasta 1992. Realmente, el cambio de tendencia, que se traduce en un aumento (figura 78), viene determinado por el máximo citado anteriormente, aparecido en la estación 3 en mayo de 1992 (figura 75). Dejando aparte este fenómeno, no parece que existan grandes cambios globales en la masa de agua de la bahía en relación con el porcentaje de saturación de oxígeno.

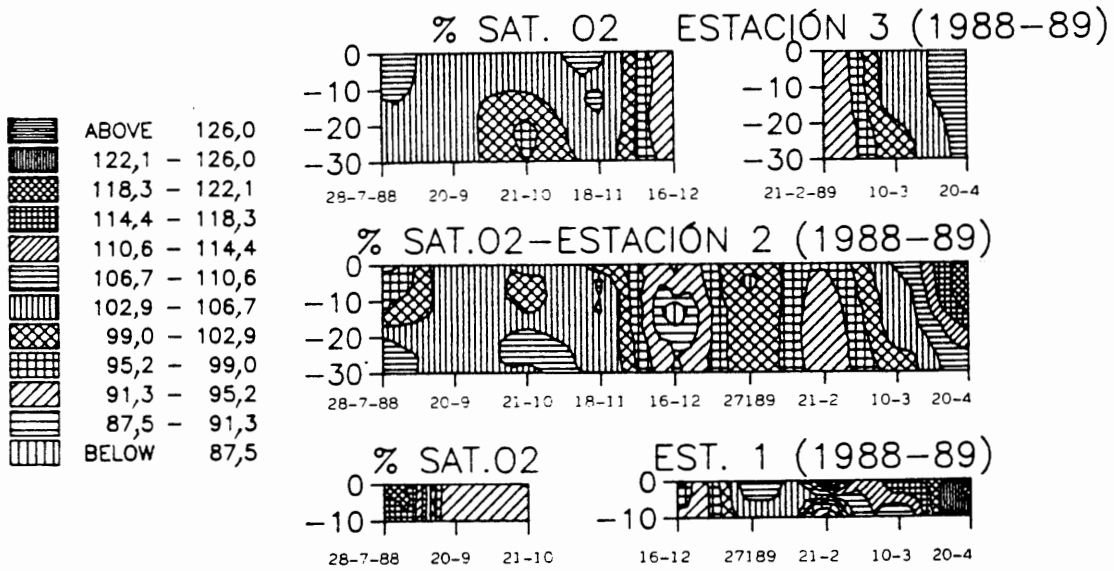


Figura 72. Variación del porcentaje de saturación de oxígeno con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1988-1989, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

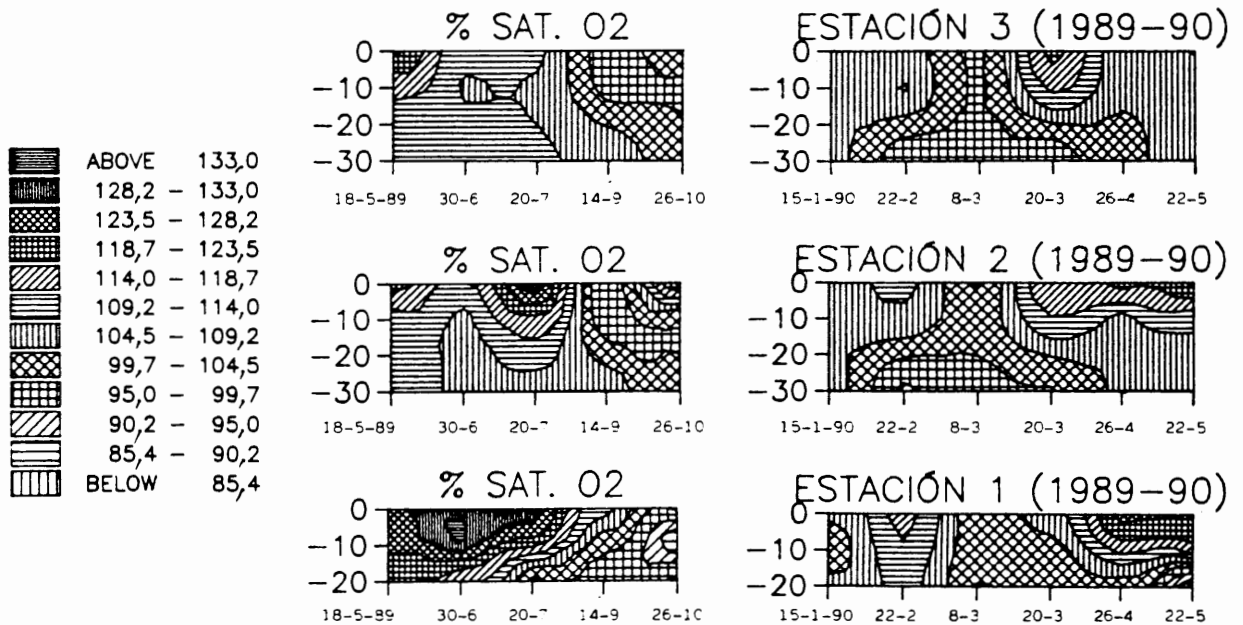


Figura 73. Variación del porcentaje de saturación de oxígeno con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1989-1990, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

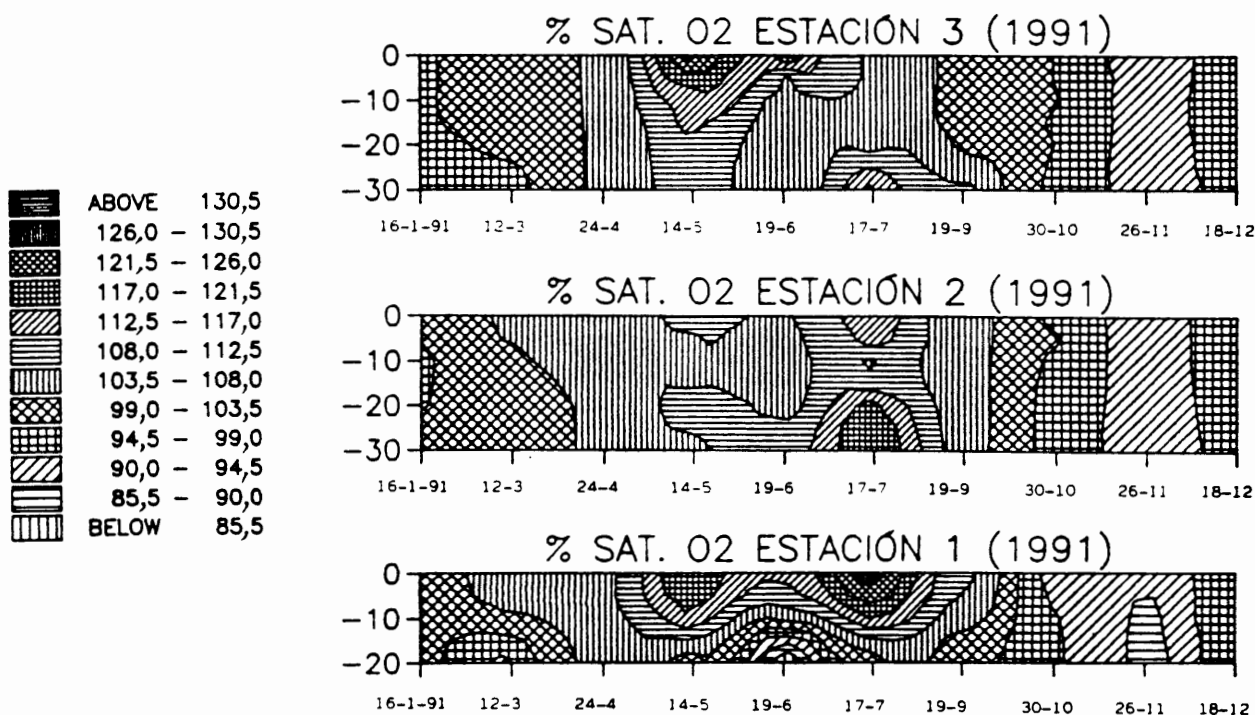


Figura 74. Variación del porcentaje de saturación de oxígeno con la profundidad (m, ordenadas) y el tiempo (1991, abscisas) en las tres estaciones de muestreo.

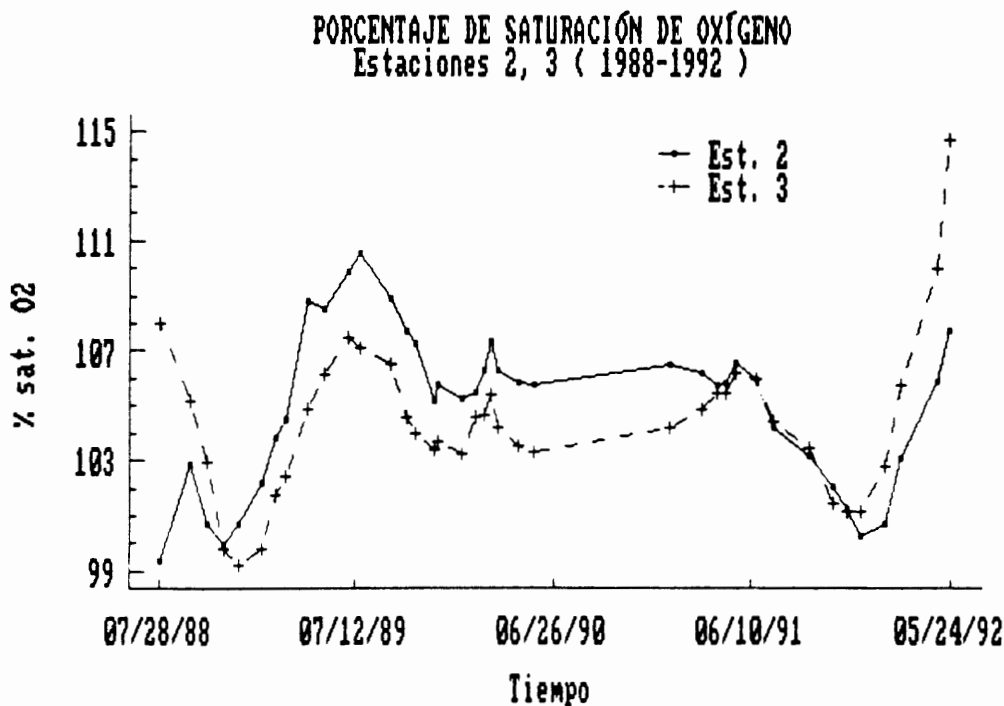


Figura 75. Promedios del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua. Variación temporal suavizada (media móvil de 7 términos) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

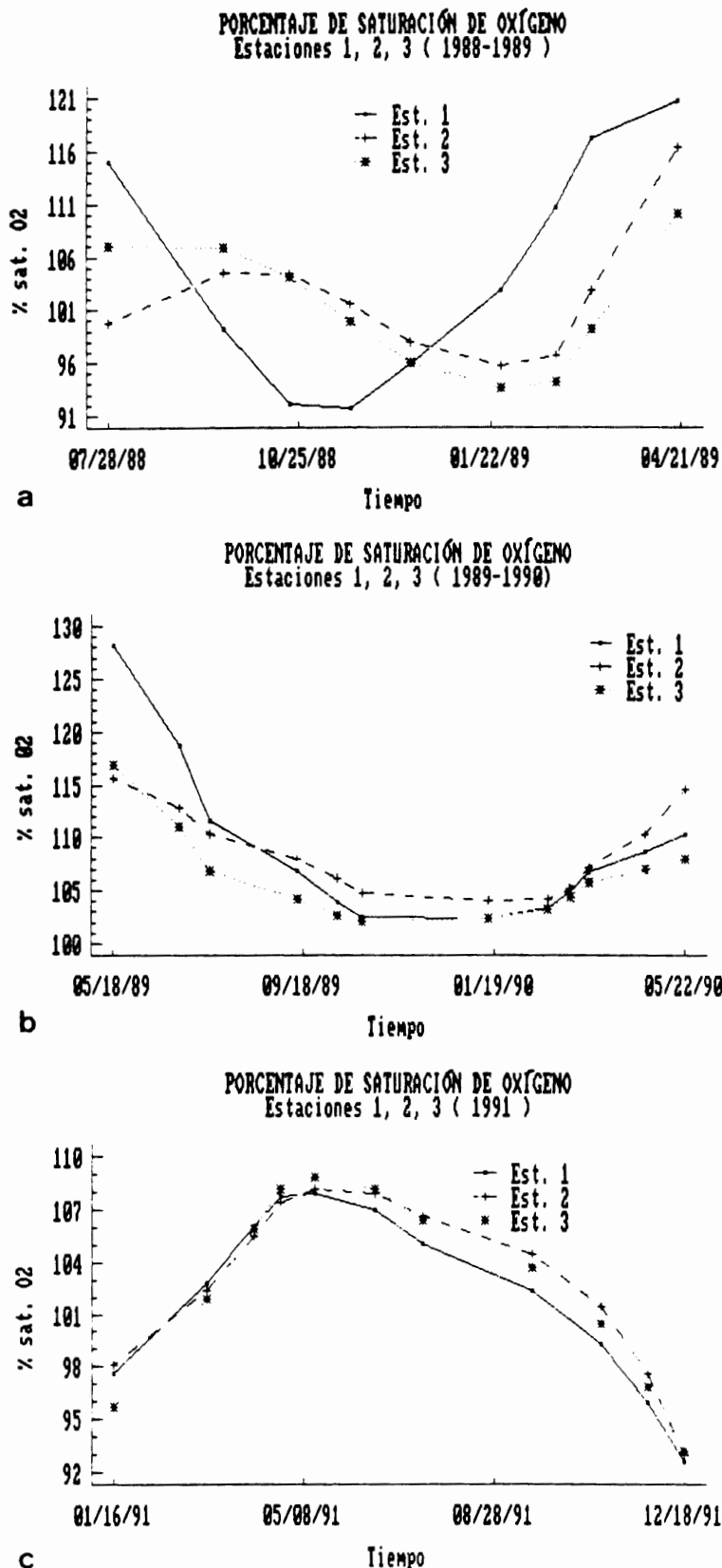


Figura 76. Promedios del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua. Variación temporal suavizada (polinomio de orden 3) en las tres estaciones de muestreo durante los periodos 1988-1989 (A), 1989-1990 (B) y 1991 (C).

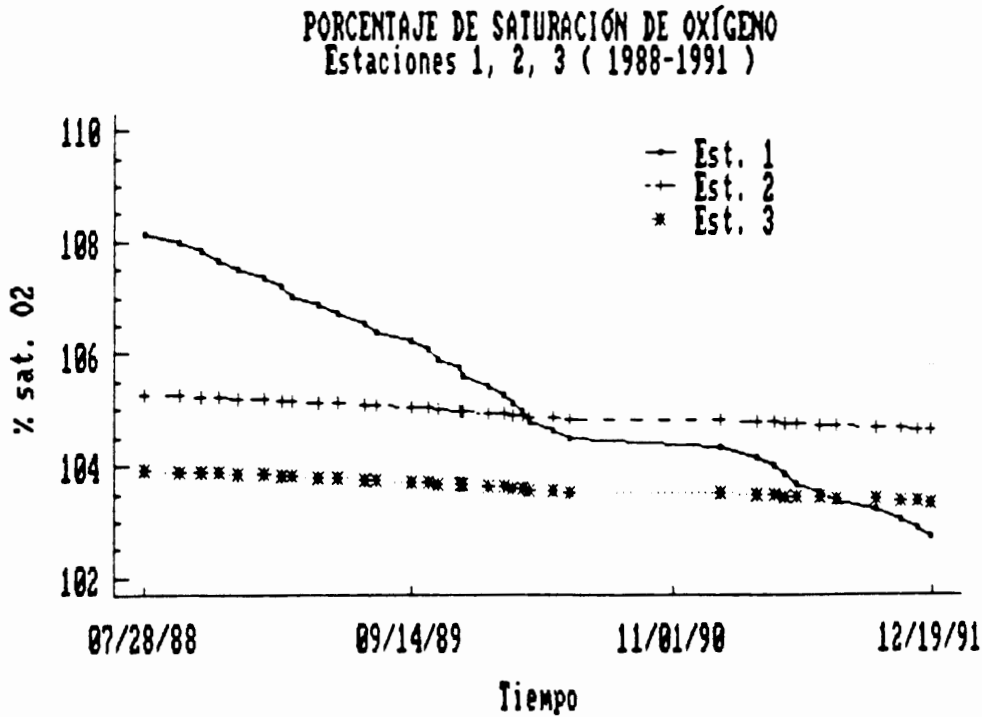


Figura 77. Promedios del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las tres estaciones de muestreo durante el período 1988-1991.

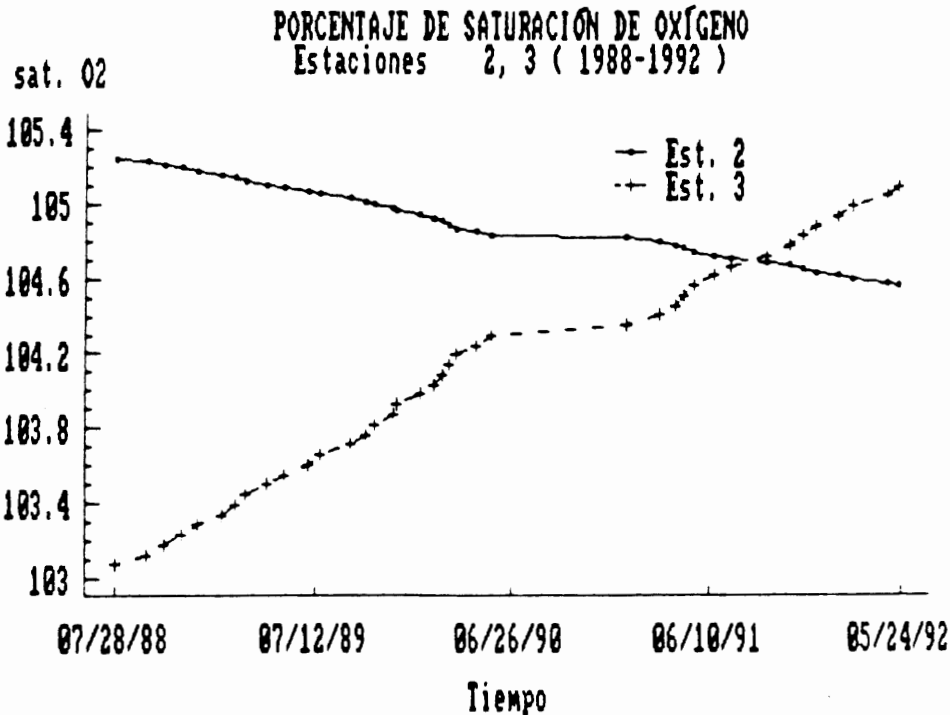


Figura 78. Promedios del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua. Tendencia (polinomio de orden 1) en las estaciones 2 y 3 durante el período 1988-1992.

3.8 Biomasa zooplanctónica

En el estudio de las muestras del zooplancton de más de 250 μm se encontró el máximo valor de la biomasa (expresada como peso seco) en la estación portuaria (estación 1) (figura 79). Los valores medios fueron de $7,40 \pm 2,08$, $7,30 \pm 1,34$, $6 \pm 0,9 \text{ mg m}^{-3}$ en las estaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

Estos valores alcanzaron los 32,4, 21,8 y 14 mg m^{-3} (estación 1, estación 2 y estación 3, respectivamente) cuando la fracción estudiada fue superior a 100 μm (micro + mesozooplancton).

En la fracción superior a 250 μm (figura 79), abundaron los copépodos adultos y copepoditos V y VI, así como otros grupos representativos del mesozooplancton (Salvá y Fernández de Puelles, 1992), y se pudo observar que la biomasa, salvo en el año 1990, en que subió abundantemente durante la primavera y verano en las tres estaciones estudiadas, se mantuvo dentro de unos márgenes constantes, si bien parece observarse un aumento muy ligero en la tendencia general, con notables subidas y bajadas de la biomasa que, como veremos más adelante cuando separemos los períodos por años, se corresponden con el ciclo de producción anual en el Mediterráneo occidental (Margalef, 1985).

En la fracción superior a 100 μm , los grupos más importantes fueron, además de los anteriores, los nauplios y otros estadios juveniles de los copépodos, así como larvas del meroplancton. Los picos de biomasa se suceden irregularmente durante el período estudiado. Al analizar la evolución temporal de esta fracción del plancton, vemos también que la biomasa fue más abundante durante los períodos de primavera, y, entre ellos, destaca el de 1990. Esto se ve claramente para la estación más abierta de la bahía (estación 3) (figura 80). Para las estaciones 1 y 2, y por razones a las que se ha aludido anteriormente, de cierta eutrofización (Fernández de Puelles y Jansá, 1992), aparece un aumento importante en la época estival.

En la figura 81 se presentan conjuntamente ambas fracciones ($>250 \mu\text{m}$ y $>100 \mu\text{m}$) en la estación portuaria (estación 1) y en todo el período de muestreo 1988-1992, si bien la fracción del zooplancton de más de 100 μm se representa desde el año 1989, cuando comenzó a muestrearse. La diferencia entre la malla de 250 μm y la de 100 μm nos da la fracción de 100-250 μm , donde encontramos los nauplios y pequeños copepoditos que constituyeron un 90% de la abundancia total.

En esta figura se puede observar el aumento de la biomasa planctónica durante el año 1990, especialmente durante la primavera y el verano para la comunidad del mesozooplancton. La distribución es más regular para la fracción mayor de 100 μm durante todo el período de estudio.

En la figura 82 se ha representado la estación 2 con sus dos comunidades, y en la figura 83 se representa la variación de la biomasa del zooplancton de la estación 3. En ambas figuras se observa que los valores de biomasa durante los 4 años de muestreo se mantienen dentro de unos rangos constantes, sin crecimiento ni disminución aparente en el período estudiado (Fernández de Puelles,

1990).

Al separar por años la biomasa del zooplancton (figura 84), se pudo apreciar durante el año 1990 un primer pulso de producción, especialmente en la estación 3, a finales del invierno (febrero-marzo), y otro bien entrada la primavera (mayo-junio). Si bien el crecimiento otoñal observado en otros estudios de la zona (Fernández de Puelles, *op.cit.*) no fue nunca tan claro. Probablemente el largo período entre muestras (a veces de un mes) no permitió ver distribuciones reales a corto plazo, siendo, por ello, mucho más interesante la tendencia general durante el período total.

Las estaciones 1 y 2 parecen seguir una misma pauta, aunque es interesante anotar el aumento estival de la biomasa, además del primaveral.

La figura 85 intenta visualizar más claramente con las medias móviles la tendencia de cada una de las estaciones para la comunidad zooplanctónica de más de 250 μm . Se observa que las tres estaciones siguen la misma pauta y solamente a finales de 1989 y principios de 1990 se distingue un aumento destacable del plancton.

Cuando se estudia la fracción superior a 100 μm (figura 86) observamos el pico estival durante todos los veranos en la estación portuaria, así como en la estación 2. Este pico nunca se observa en la estación más abierta de la bahía (estación 3), mientras que el pico primaveral, en mayor o menor grado, sí ocurre en las tres estaciones, lo que pone de manifiesto nuevamente las condiciones de eutrofización de aquellas dos estaciones durante el período estival.

Al representar las medias móviles suavizadas de esta comunidad (figura 87) se puede ver que en la primera mitad del muestreo (años 1989-1990) el citado pico fue especialmente importante, y que luego el sistema se recuperó y estabilizó hasta finales del período de estudio.

Podríamos resumir parte de lo dicho para la comunidad superior a 250 μm , en las dos gráficas representadas en la figura 88, donde se observan las tendencias para todo el período de muestreo. En la figura superior se representan los valores medios suavizados y en la inferior, su tendencia polinómica (de orden 3), donde se puede apreciar *grosso modo* la mayor estabilidad del sistema de las estaciones 2 y 3 y la inestabilidad de la estación portuaria.

En la figura 89, y cuando además de los individuos adultos del plancton analizamos los individuos más pequeños y los estadios larvarios, vemos que la tendencia a lo largo de los cuatro años fue prácticamente constante. Siempre, en la estación portuaria viene a ser el doble que la de la estación central de la bahía (estación 3), y la estación 2 se mantiene entre ambas. La disminución que parece observarse a mediados del período fue debida al notable aumento ocurrido en la primavera de 1990, aumento que pareció esporádico, y que ha sido corroborado con los otros parámetros analizados previamente.

Finalmente, y para poder comparar los valores del mesozooplancton

con los parámetros de clorofila y F0/Fa, se representa (figura 90) la tendencia polinómica (de orden 1), donde se puede observar el aumento de la biomasa del zooplancton (fracción mayor de $>250 \mu\text{m}$) en los cuatro años de muestreo, paralelos a la tendencia que representa el potencial fotosintético del fitoplancton (hasta cierto punto expresado en el parámetro F0/Fa) (figura 70).

Cuando en la misma gráfica introducimos la biomasa microzooplanctónica (malla de $100 \mu\text{m}$) vemos que, contrariamente a apreciar un aumento de la biomasa, aparece una ligera disminución, motivada probablemente, en este caso, por el hecho de comenzar un año más tarde, precisamente cuando los valores eran máximos (ver figura 88). Todo ello ha inducido a esta aparente disminución, afectada por la diferente escala de tiempos utilizada.

Variación temporal del mesozooplancton

Biomasa (Peso Seco)

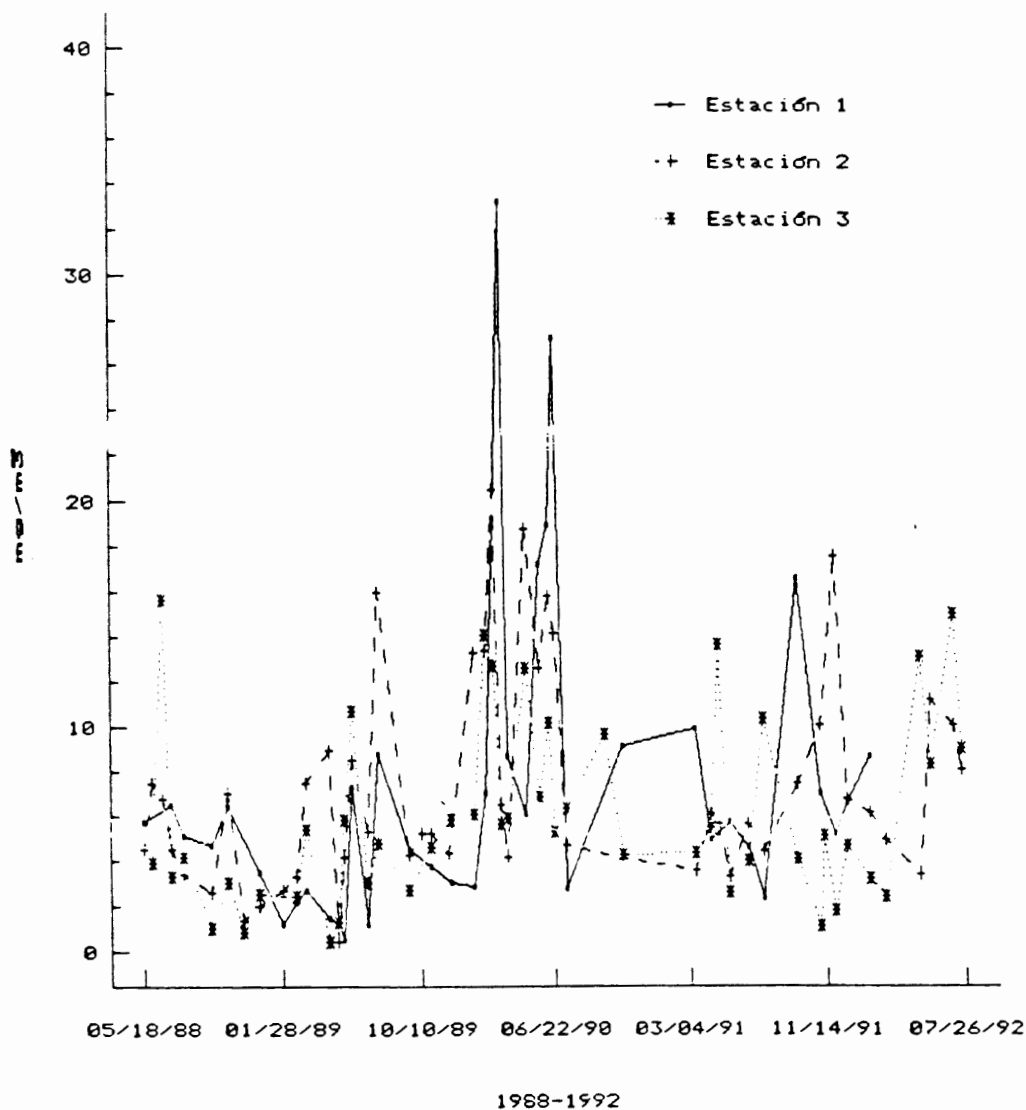


Figura 79. Variación temporal de la biomasa del zooplancton de las tres estaciones durante el total de período de muestreo (1988-1992), expresado como mg de peso seco m^{-3} .

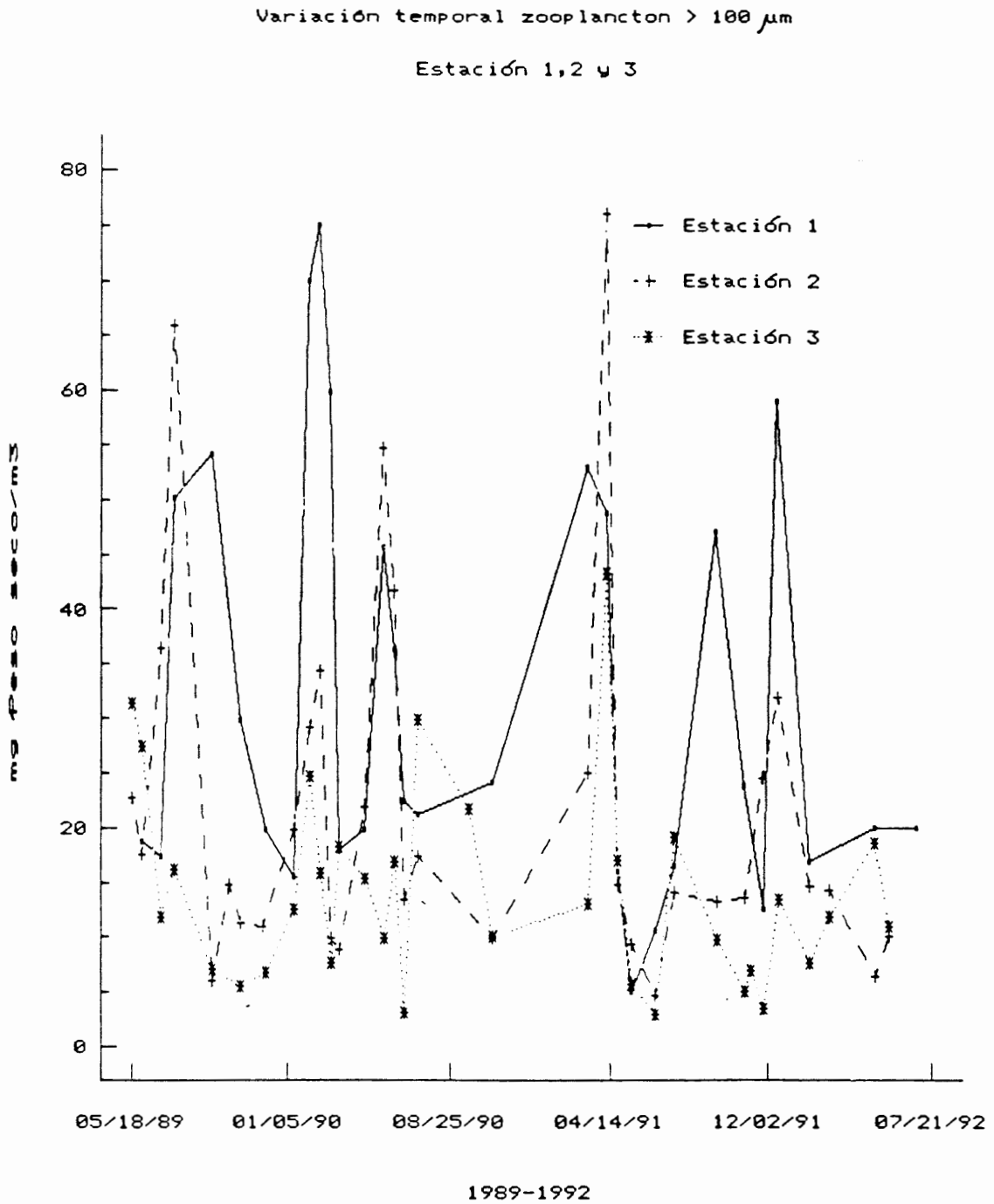


Figura 80. Variación temporal de la biomasa del zooplancton superior a 100 μm (micro + mesozooplancton) durante el período de muestreo (1988-1992), expresado como mg de peso seco m^{-3} .

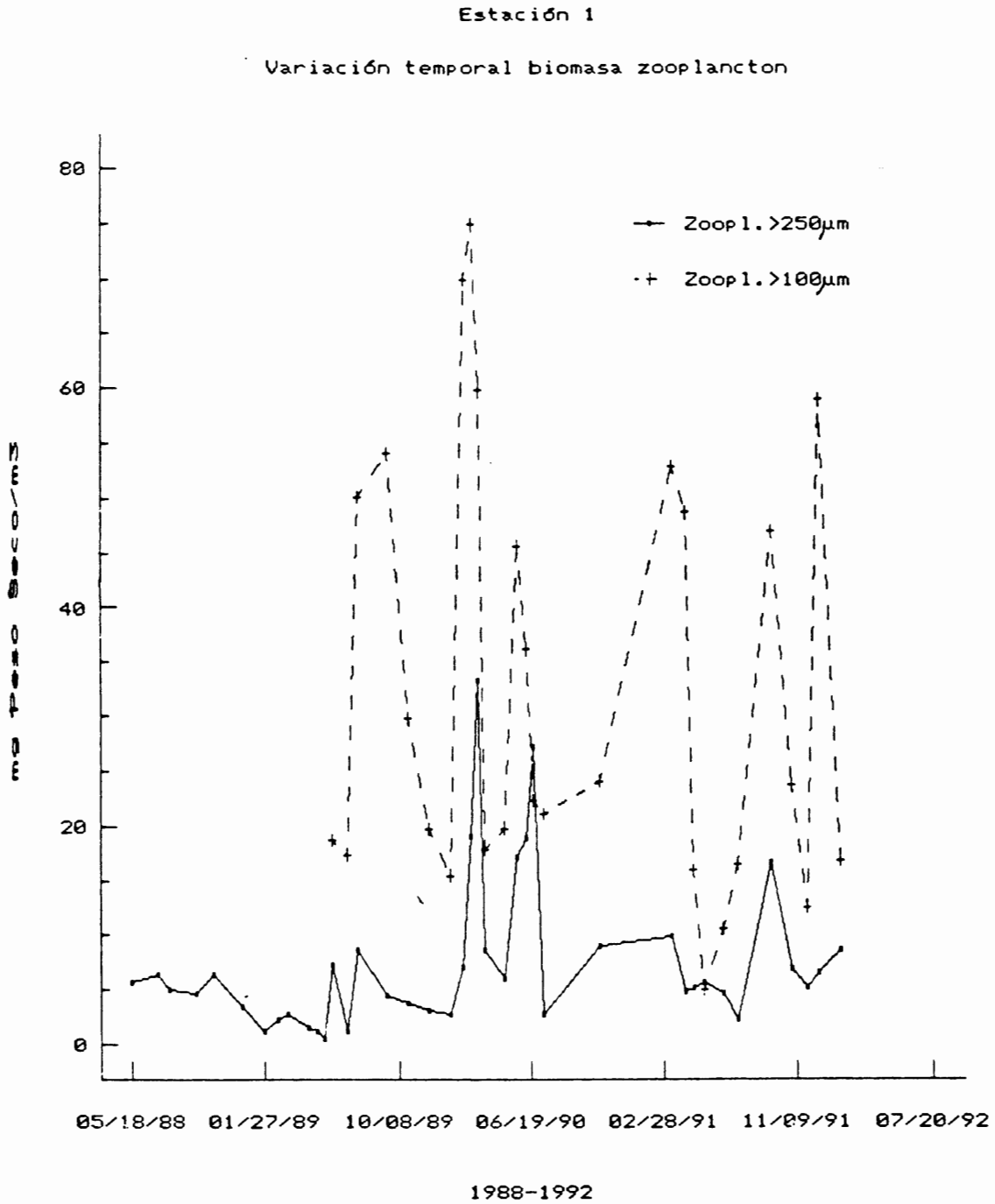


Figura 81. Variación temporal de las biomásas del mesozooplancton y del zooplancton superior a 100 µm en la estación portuaria (estación 1).

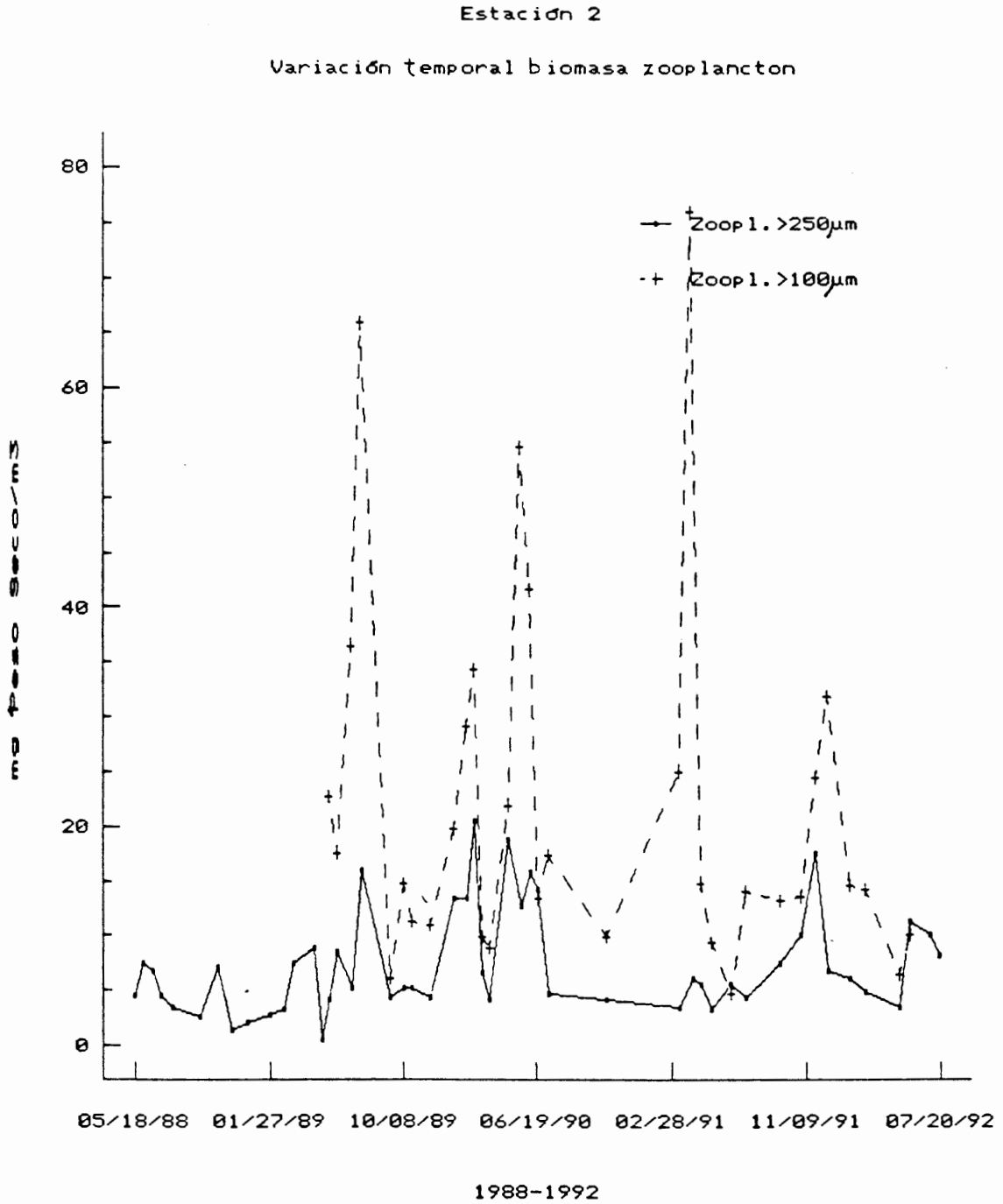


Figura 82. Variación temporal de las biomásas del mesozooplancton y del zooplancton superior a 100 µm en la estación 2.

Estación 3

Variación temporal biomasa zooplancton

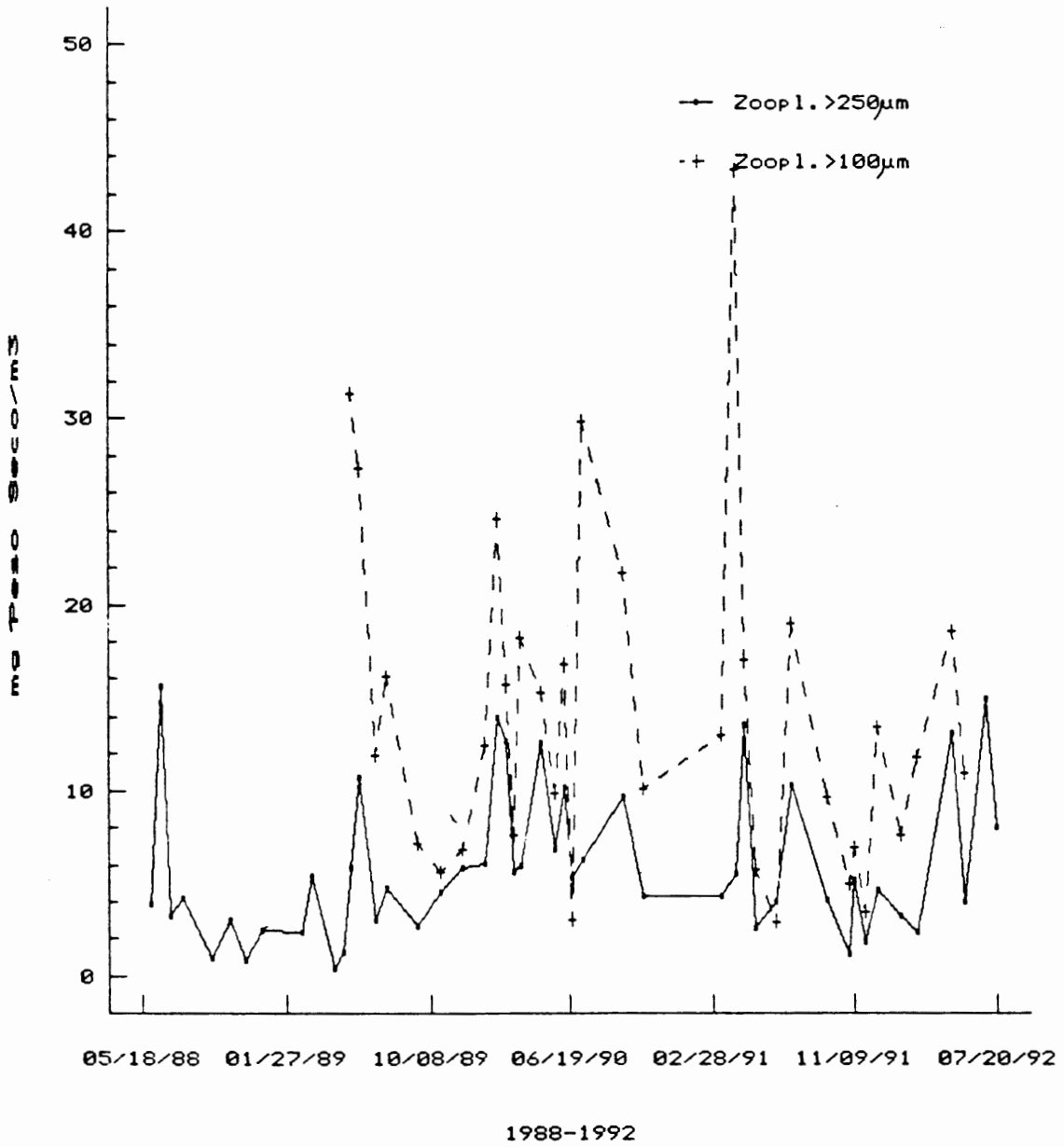


Figura 83. Variación temporal de las biomásas del mesozooplancton y del zooplancton superior a 100 µm en la estación 3.

Variación biomasa zooplancton >100 μ m
Estaciones 1, 2 y 3

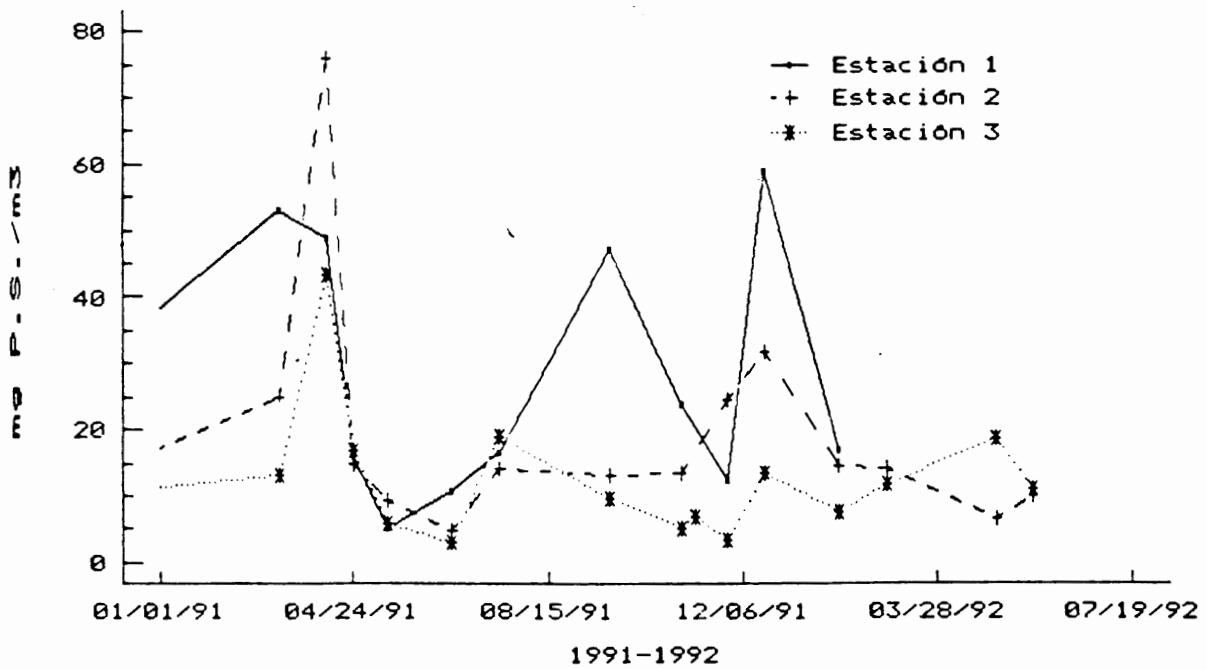
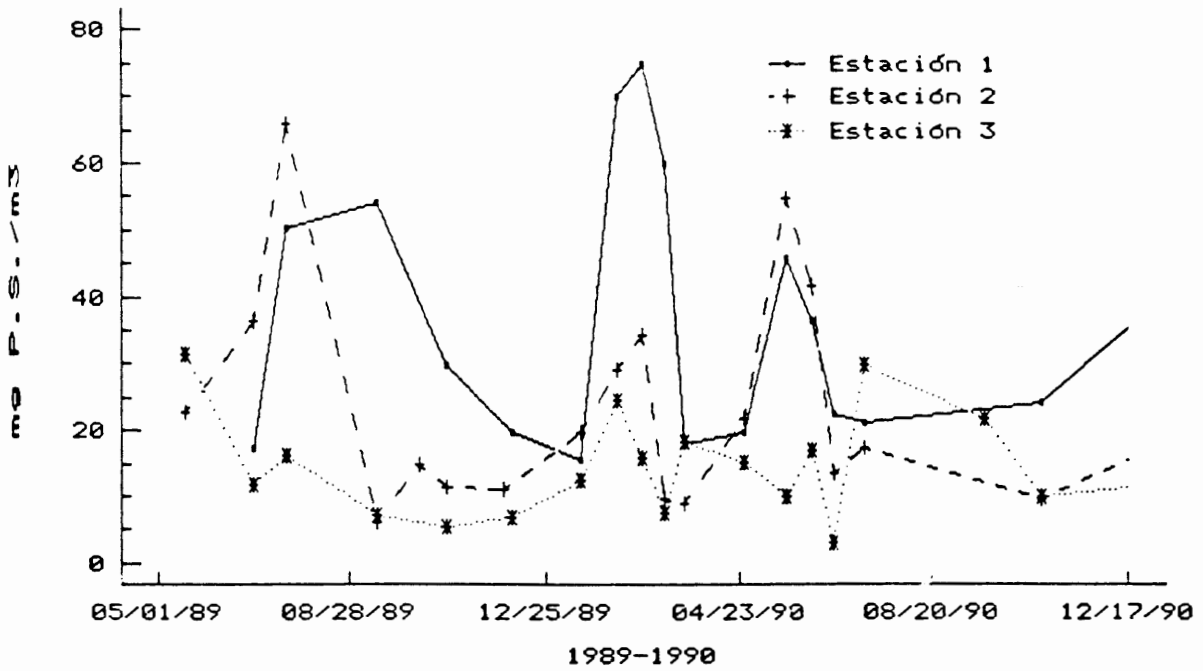
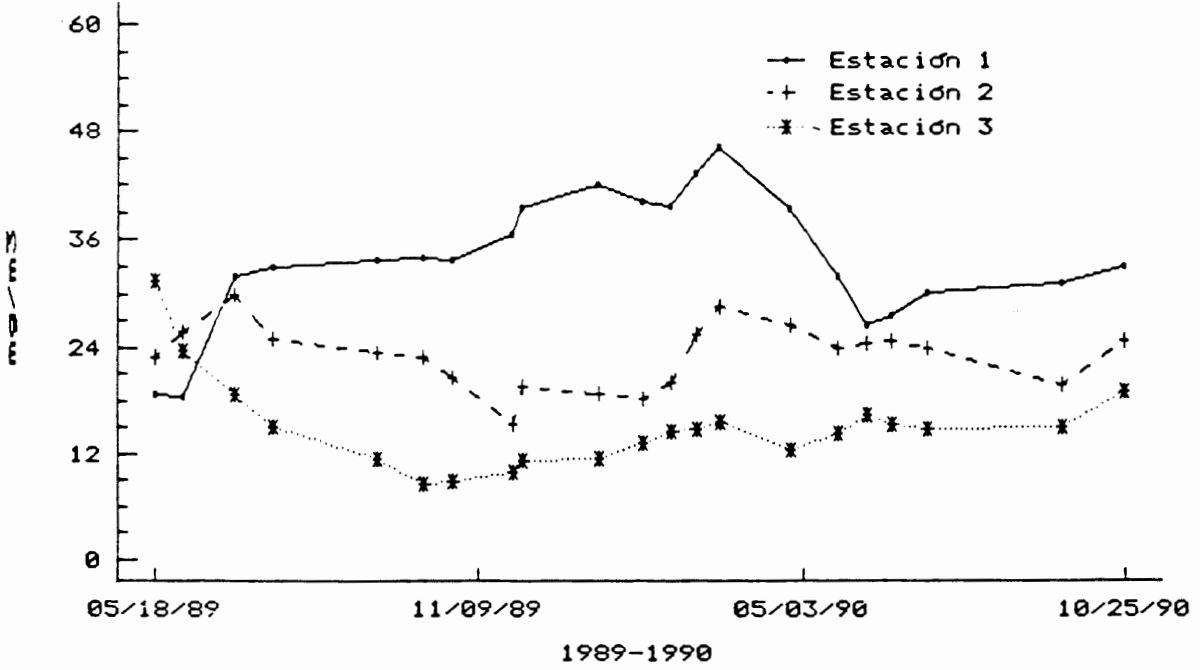


Figura 86. Variación anual de la biomasa del zooplancton superior a 100 μ m de las tres estaciones estudiadas (1989-1992).

Biomasa zooplancton > 100 μ m (1989-1990)



Biomasa zooplancton > 100 μ m (1991-1992)

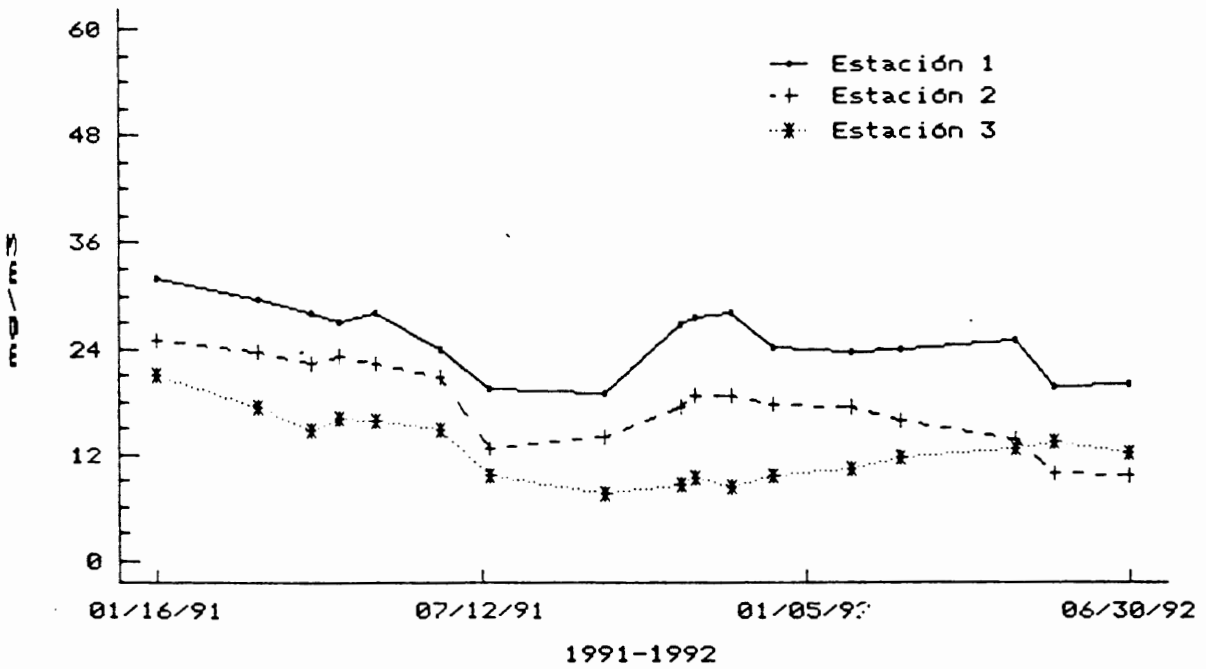


Figura 87. Variación anual suavizada de la biomasa del zooplancton superior a 100 μ m de las tres estaciones muestreadas, representadas por sus medias móviles de cinco términos (1989-1992).

Variación mesozooplancton Est 1, 2 y 3

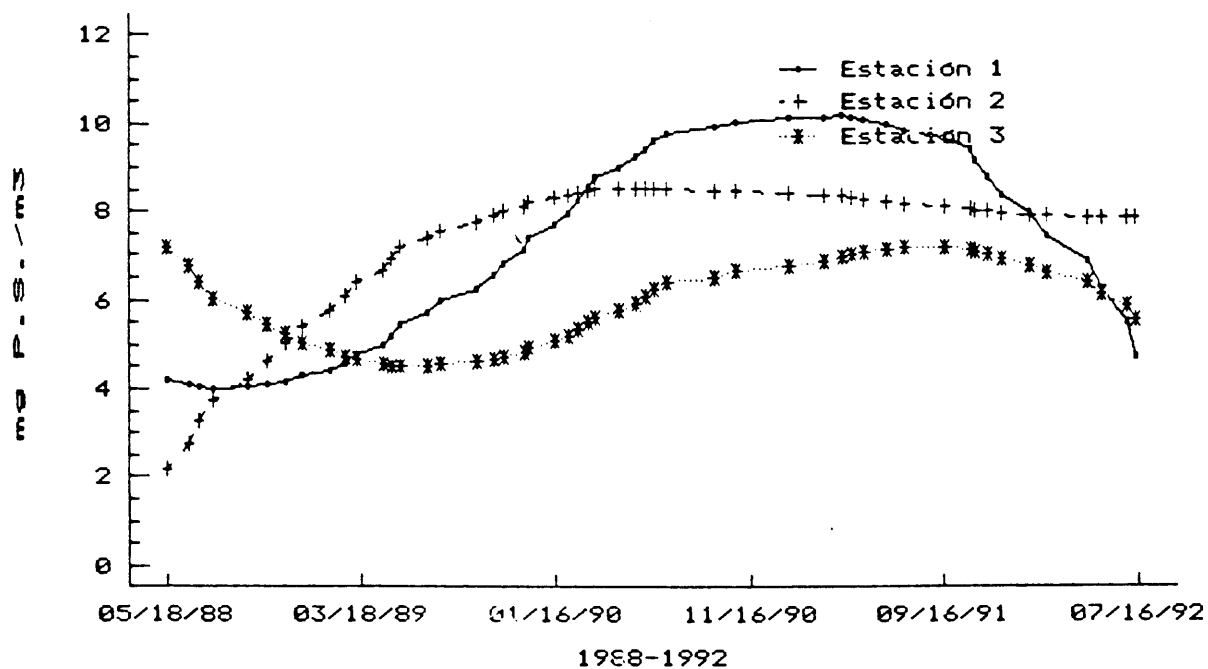
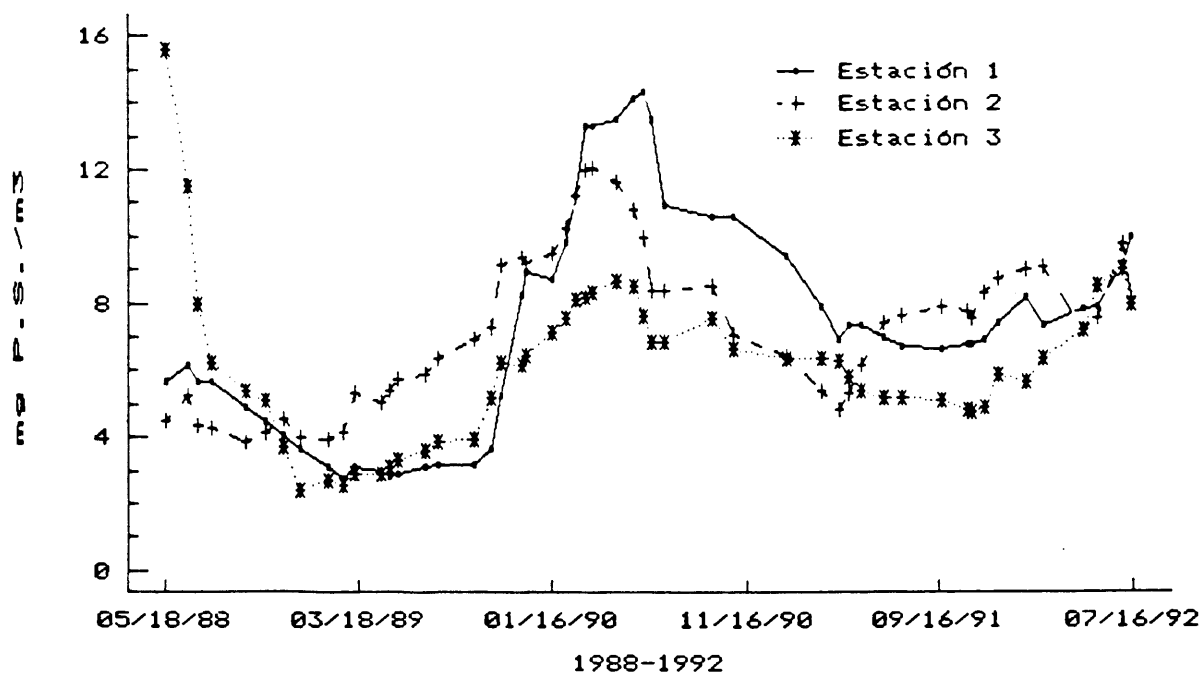


Figura 88. Variación temporal (1988-1992) del mesozooplancton (valores suavizados) en las tres estaciones de muestreo. Figura superior: media móvil. Figura inferior: polinomio de orden 3.

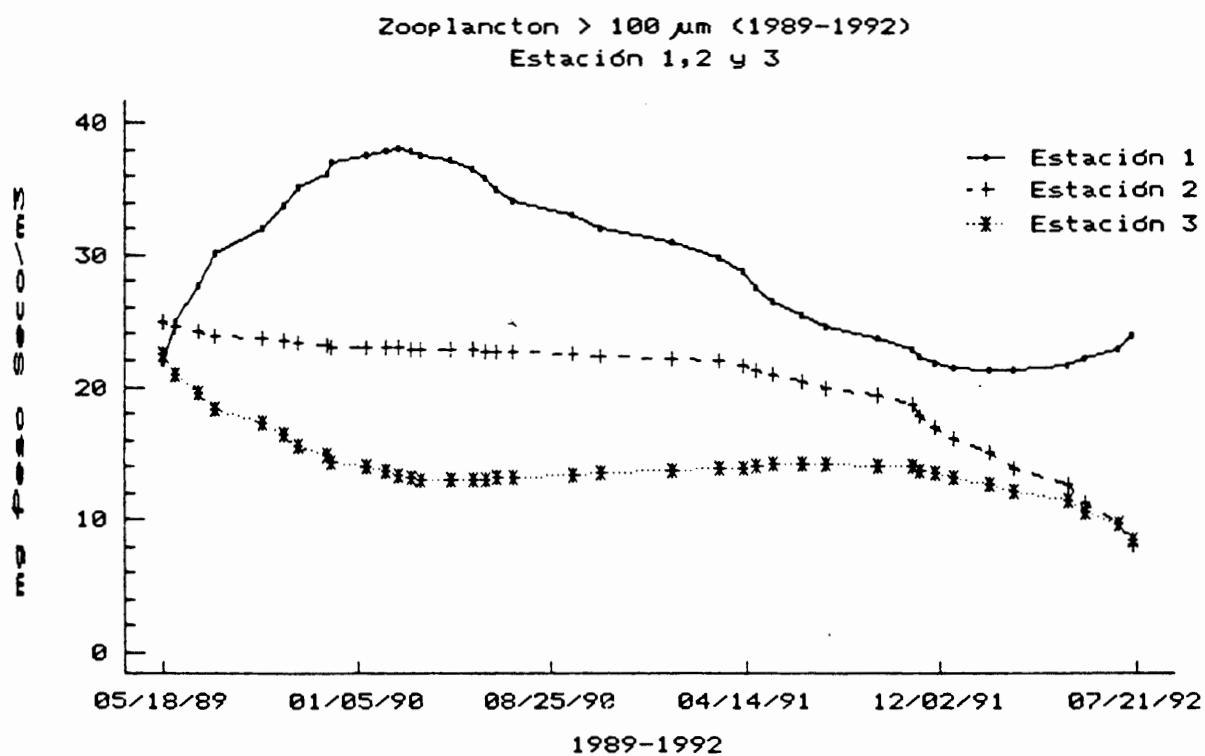
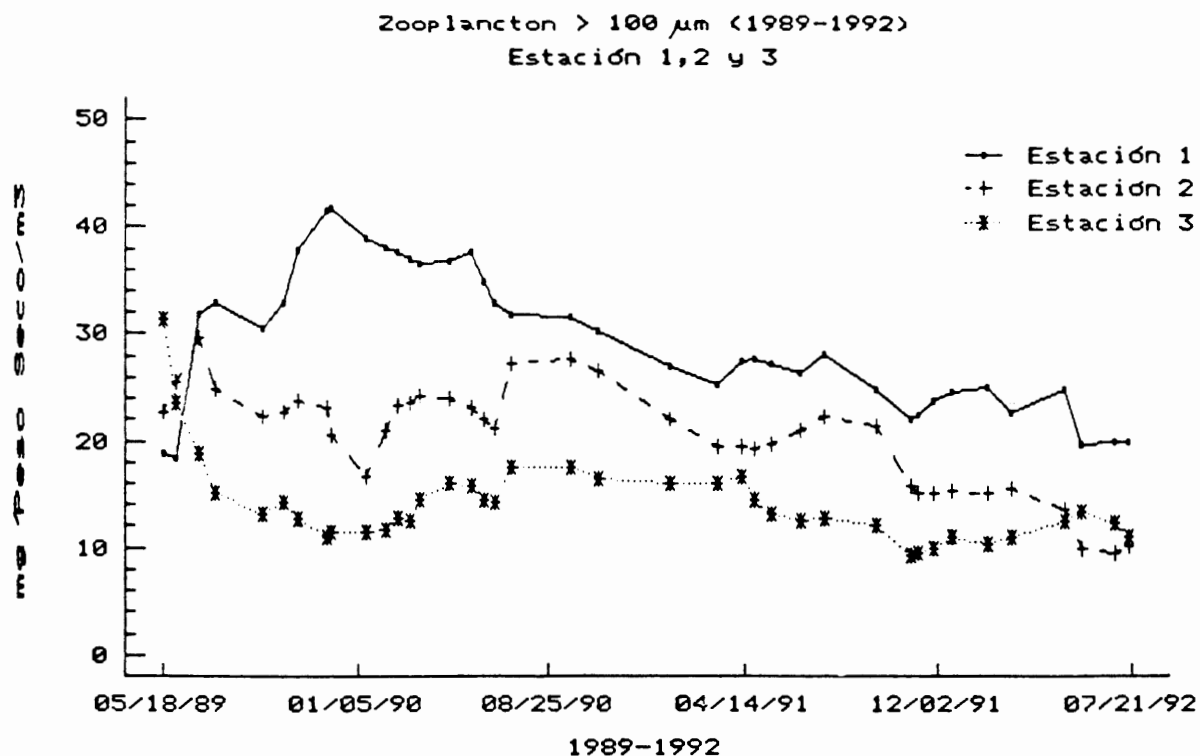


Figura 89. Variación temporal (1989-1992) del zooplancton superior a 100 μm en las tres estaciones de muestreo (valores suavizados). Figura superior: media móvil. Figura inferior : polinomio de orden 3.

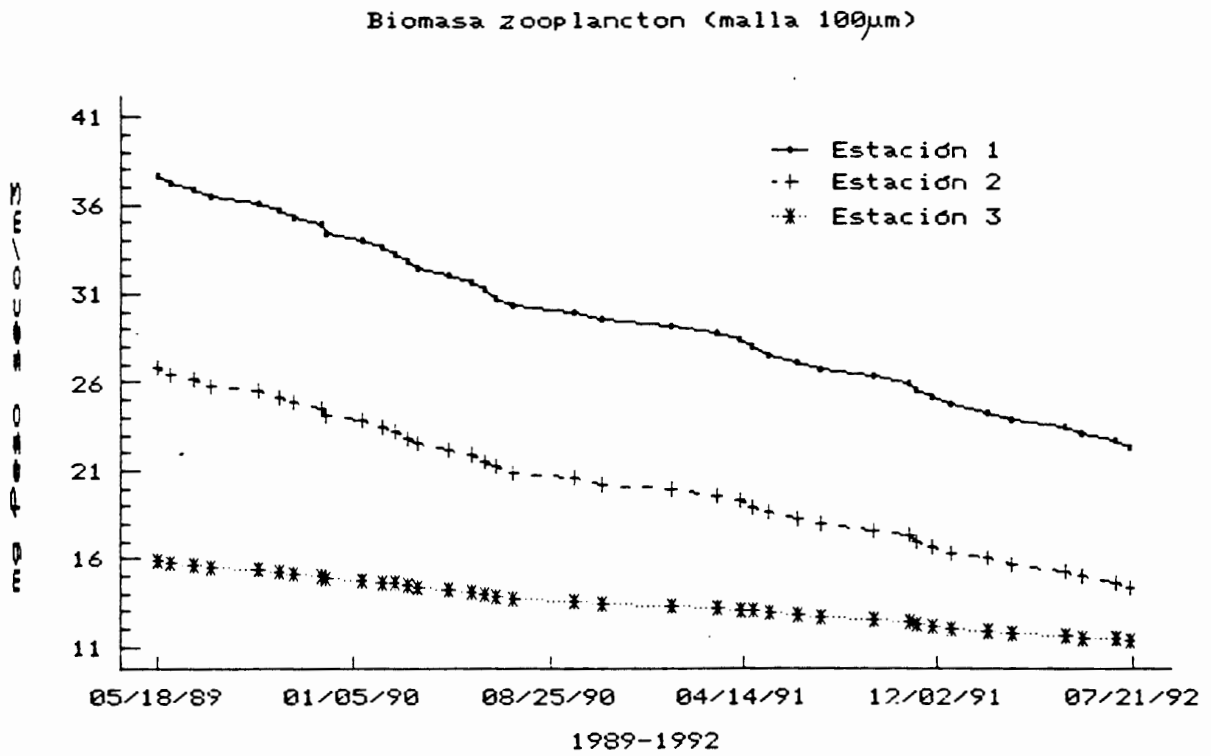
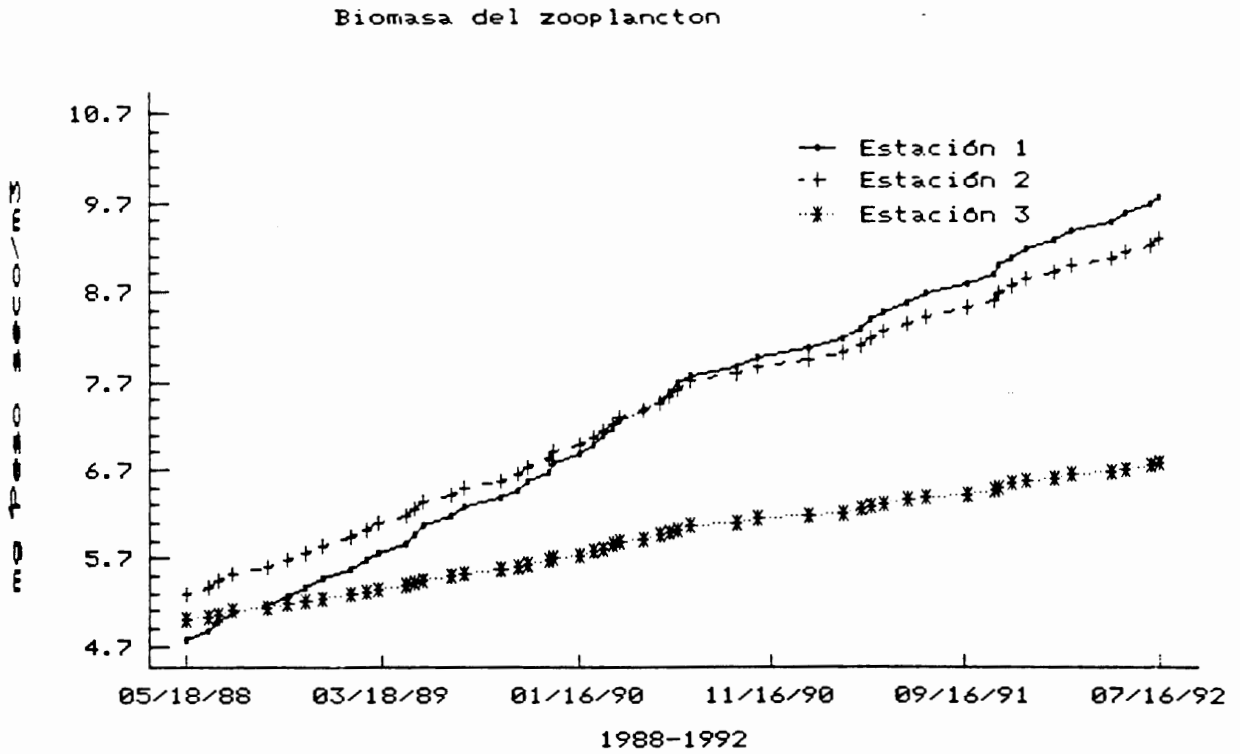


Figura 90. Tendencia observada (polinomo de orden 1) en la biomasa del plancton a lo largo del periodo de muestreo en las tres estaciones estudiadas. Figura superior: fracción superior a 250 µm (1988-1992). Figura inferior: fracción superior a 100 µm (1989-1992).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente estudio se ha centrado en el análisis de posibles regularidades en la variación temporal (tanto anual como interanual) de los diferentes parámetros que tipifican, de una forma general, al medio pelágico de la bahía de Palma. Igualmente, se han considerado las posibles tendencias de estos descriptores en la serie temporal analizada. El conjunto de datos, por sí mismos constituyen, por otra parte, el aspecto más definitivo del estudio, ya que determinan un punto de referencia con el que poder comparar otras zonas, bien de características semejantes, bien, diferentes. Igualmente, el punto de referencia tiene también valor frente a trabajos realizados en la misma zona en el pasado o frente a proyectos futuros.

Entre los diferentes parámetros analizados, solamente puede señalarse de una forma clara la existencia de un régimen regular de variación temporal en el caso de la variación térmica. Como es conocido, la regularidad cualitativa de esta variación es de origen astronómico, y las pequeñas diferencias cuantitativas observables en los máximos y mínimos de la oscilación interanual son atribuibles a la influencia de las variaciones atmosféricas y climáticas que, a su vez, presentan también una regularidad astronómica: en efecto, los inviernos más fríos o veranos más cálidos determinarán temperaturas superficiales del agua de mar más bajas o más altas, respectivamente.

Estas ligeras variaciones en los máximos y mínimos de la temperatura superficial del agua no se reflejan en una tendencia clara hacia un aumento o disminución progresiva, aunque este tipo de análisis no puede resultar todavía concluyente.

Si tenemos en cuenta toda la columna de agua, la característica más destacable es la corta duración temporal de la termoclina estacional, ya que, en base a la poca profundidad de la zona de muestreo, se alcanza pronto una situación estival de homotermia caliente que se va enfriando progresivamente al acercarse al invierno. Este fenómeno, que facilita la mezcla vertical de toda la columna de agua, junto con el carácter nerítico y poco profundo de la zona de muestreo, sometida igualmente a influencias exteriores (influencia antrópica y aporte de masas de aguas oceánicas-reflejadas, por ejemplo, en la disminución estival de la salinidad-) es el que explica la ausencia de regularidades claras en la variación temporal de otros parámetros, tales como los nutrientes, clorofila *a* o incluso biomasa zooplantónica. El carácter de estas oscilaciones, que es más o menos caótico según el parámetro de que se trate, dificulta la observación del patrón de variación esperable del parámetro que, no obstante, puede ser discernido en algunos casos.

Así, por ejemplo, los mínimos valores del porcentaje de saturación de oxígeno suelen encontrarse hacia el otoño o principios de invierno, lo que puede ser un reflejo *a posteriori* de la disminución estival de la actividad fitoplanctónica y de la oxidación de la materia orgánica acumulada anteriormente. Un fenómeno parecido ha sido observado en la bahía de Alcudia (Vives *et al.*, inédito y Moya *et al.*, 1992). Ni en la zona portuaria ni en la bahía se ha registrado depleción de oxígeno, fenómeno que sí

fue observado en el puerto de Mahón durante los veranos de 1980 y 1981 (Durán *et al.*, inédito). Por el contrario, el hecho de que en las proximidades del fondo los valores superen siempre el 85 % y frecuentemente el 95 %, nos muestra que esta zona no se ha desviado mucho de sus características originales que, aunque neríticas, resultan semejantes a lo que se observa en la capa eufótica de determinadas regiones del Mediterráneo occidental, como, por ejemplo, el canal de Ibiza (López-Jurado *et al.*, 1992).

Tanto los valores de concentración de clorofila *a*, que por término medio no llegan a $1,3 \text{ mg m}^{-3}$ en las estaciones de la bahía y no superan los 3 mg m^{-3} en la zona portuaria, como los datos de concentración de nutrientes que, sólo ocasionalmente y en lo que se refiere a los nitratos y silicatos pueden mostrar concentraciones importantes, indican también este carácter nerítico especial de una zona insular abierta a un mar considerado como oligotrófico.

Por término medio, los valores de los nitratos en las estaciones de la bahía varían entre alrededor de $0,1$ y $0,6 \text{ } \mu\text{g at l}^{-1}$; entre $0,05$ y alrededor de $0,25 \text{ } \mu\text{g at l}^{-1}$ se sitúan los fosfatos, y el rango general de oscilación de los silicatos va desde $0,4$ a aproximadamente $1 \text{ } \mu\text{g at l}^{-1}$. Esta oscilación global de las concentraciones, deducida del análisis de tendencias, no es muy importante y refleja la notable estabilidad promedial que ha presentado la bahía a lo largo del tiempo de muestreo. Al mismo tiempo, las concentraciones de nutrientes (especialmente las observadas en las estaciones exteriores) no se alejan mucho de lo encontrado en las bahías de Pollensa y Alcudia (Ferra *et al.*, 1989 y Moyá *et al.*, 1992), a excepción de la influencia que supone la albufera en el último caso.

Comparando las concentraciones de clorofila *a* del presente estudio con las medidas en la bahía de Palma en el año 1992 (Jansá y Carbonell, 1988), hay que señalar igualmente una notable semejanza, siendo, en este caso, el lapso de tiempo transcurrido entre unas observaciones y otras de diez años, lo que aboga también hacia una notable estabilidad general del sistema.

Los valores de transparencia señalan, para las estaciones exteriores, la permanencia de una iluminación suficiente para la fotosíntesis del fitobentos y, solamente, y de una manera ocasional, se ha calculado un porcentaje de iluminación inferior al 1 % en aguas portuarias.

Respecto a las comunidades de zooplancton estudiadas, y donde se han considerado 2 fracciones: la fracción mesozooplankton (> 250 μm) y la fracción superior a 100 μm , para ver (en este último caso) la importancia en el plancton total de las larvas del grupo mayoritario (los copépodos) -el promedio de la biomasa obtenida fue entre $7,4$ y $6 \text{ mg de peso seco/m}^3$ para la malla convencional (250 μm) y de 34 a 14 mg/m^3 para la malla de 100 μm .

Si bien, los valores absolutos observados caen dentro de las abundancias de plancton encontradas en la bibliografía, en zonas costeras de las islas Baleares (Jansá y Carbonell, 1988; Fernández de Puellas y Jansá, 1988; Fernández de Puellas, 1990; Gilabert y Moreno, 1987; Salvá y Fernández de Puellas, 1992),

con unas variaciones anuales dentro de los ciclos observados en estas latitudes del Mediterráneo occidental (Margalef, 1985), lo más interesante de este tipo de estudio es la tendencia observada a lo largo de los cuatro años de muestreo.

En este contexto, a pesar de las irregularidades encontradas anualmente, y si contrarrestamos los valores al inicio del muestreo (1988), o al final (1992), la tendencia de la biomasa es de aumentar en casi 4 mg m^{-3} en las estaciones que consideramos ligeramente eutrofizadas, mientras que la estación central de la bahía, fuera de la influencia antrópica estival, solamente aprecia una diferencia de 1 mg m^{-3} desde 1988 a 1992.

Este aumento, sin embargo, no parece ser muy significativo, ya que cuando se utiliza una malla más pequeña, para ver el peso de las larvas en el zooplancton total, la tendencia es de disminución en casi 10 mg m^{-3} para las estaciones más eutrofizadas y de 4 mg m^{-3} en la estación más exterior.

Si estas tendencias del zooplancton se comparan con las del primer eslabón de la cadena alimentaria o fitoplancton, probablemente el hecho de no observar aumento, en el período de estudio, de la cantidad de pigmentos fotosintéticos y sí de la relación FO/Fa, podría ser debido a la actividad alimentaria del zooplancton en la zona, además de que, según sea la fracción del zooplancton a considerar, las relaciones tróficas se hacen más complicadas y más difícil su interpretación general.

5. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes personas: a Antonio Jaume y Manuel Calafat, por su dedicación a los barcos *Acartia* y *Arola*, así como por su trabajo realizado a bordo en las salidas al mar. A las tripulaciones de los barcos *Odón de Buen*, *Cornide de Saavedra* y *García de Cid*. A Dolores Oñate y Ma Cruz Iglesias, por su trabajo en la informatización de los datos y proceso de textos. A Clara Trigoso, por su colaboración en los análisis de laboratorio. A Carlos Martínez, por su ayuda en procesos informáticos y salidas al mar. Al Centro Meteorológico de Baleares, por los datos de temperatura del aire y radiación solar. Al Dr. F. Vives, por su ayuda y asesoramiento. A Joan Miquel Batle, por su ayuda en los aspectos electrónicos e informáticos, y a Ignacio Reguera, por su colaboración en las salidas al mar.

6. BIBLIOGRAFÍA

Armstrong, F.A.J., C.R. Sterns, y J.D.H. Strickland, 1967. The measurement of upwelling and subsequent biological processes by means of the technician autoanalyzer and associated equipment. *Deep. Sea Res.* 14:381-389.

Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental*, Publ. INIDEP, Argentina: 933 pp.

- Chacártegui, G. 1980. Niveaux de pollution dans les eaux littorales des îles Baléares. En: *V^{es} Journées Études Pollutions*: 521-528. CIESM, Cagliari.
- Durán, M. y J. Jansá. 1986. Distribution verticale des chlorophylles planctoniques dans les eaux voisines de l'île de Majorque. *Rapp. Comm. Int. Mer Mediter.* 30(2): p. 184.
- Fernández de Puellas, M.L. 1990. Evolución temporal de la biomasa zooplantónica en el Mar Balear. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 6(1): 95-106.
- Fernández de Puellas, M.L. y J. Jansá. 1988. Neritic and Oceanic variability of zooplankton biomass in the eastern Mediterranean sea. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.* 31(2): p. 240.
- Fernández de Puellas, M.L. y J. Jansá. 1992. The planktonic evolution biomass in three coastal areas of Palma Bay (Balearic Islands). En: *Marine Coastal Eutrophication*. Vollenweider R.A. et al. (eds.): 697-703. Elsevier Science Publishers B.V.
- Ferrá, J.L., Picornell, M.R., Ramis, M.R., Cabrer, M., Moya, G. y G. Ramón. 1989. *Investigación de los factores determinantes de la turbidez en las aguas del puerto de Pollença: dinámica de las características físico-químicas, biológicas y sedimentológicas*. Conselleria de Sanitat i Seguretat Social del Govern Balear. Palma de Mallorca: 242 pp.
- Gilabert, J. y I. Moreno. 1987. Nuevos datos sobre la composición y abundancia del zooplancton de la bahía de Palma de Mallorca (islas Baleares). 1983-84. *Anales de biología (Biología ambiental)* 13(2): 43-51.
- Jansá, J. 1985. Nota sobre el zooplancton de las principales bahías y puertos de las Baleares. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 2(1): 108-131.
- Jansá, J. y A. Carbonell. 1988. Aspectos del plancton de la bahía de Palma en 1982. *Bolletí de la Societat d'Historia Natural de les Balears* 32: 93-114.
- Le Borgne, R. 1975. Methodes de mesures des biovolumes, poids secs sans cendre et des elements C.N.P., du mesozooplancton utiles au CRO d'Abidjan. *Doc. Scient. Centre Rech. Oceanogr. Abidjan VI* (2): 165-176.
- Lovegrove, T. 1966. The determination of the dry weight of plankton and the effect of various factors on the values obtained. En: *Some contemporary studies in Marine Science*. Jarol Barnes (ed.) London: 429-467.
- López-Jurado, J.L., Díaz del Río, G., Jansá, J., Fernández de Puellas, M.L., Reñones, O., Martínez, C. y C. Salvá. 1992. Resultados preliminares de la campaña IBIZA-90. *Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanogr.* 113: 55 pp.
- Margalef, R. 1985. *The Western Mediterranean*. R. Margalef (ed.) Pergamon Press, Ltd. England: 365 pp.

- Massutí, M. 1942a. Notas fenológicas sobre los copépodos pelágicos de la bahía de Palma de Mallorca. *Notas y Resúmenes Inst. Esp. Oceanogr.* (2) 109: 1-12.
- Massutí, M. 1942b. Los copépodos de la bahía de Palma de Mallorca. *Trabajos del Instituto de Ciencias Naturales José de Acosta (Biol.)* 1(1): 1-127.
- Moyá, G., Fernández de Puellas, M.L., Forteza, V., Frau, C., Martínez, C. y F. Vives. 1992. Relationships between physico-chemical characteristics and planktonic communities in the bay of Alcudia (Mallorca). *Rapp. Comm. Int. Mer Mediter.* 33: p. 262.
- Murray, C.N. y J.P. Riley. 1969. Solubility of gases in distilled water and sea water: II-Oxygen. *Deep. Sea Res.* 16: 311-320.
- Salvá, C. y M.L. Fernández de Puellas. 1992. Variación temporal del zooplancton en la bahía de Palma. En: *Historia Natural '91*. Alemany, A. (ed.) 1: 315-319.
- SCOR/Unesco Working Group 17. 1966. Determination of photosynthetic pigment. En: *Monographs on Oceanographic Methodology* 1: 11-18. Unesco. París.
- SCOR/Unesco Anónimo. 1968. Zooplankton sampling. En: *Monographs on Oceanographic Methodology* 2: 174 pp.
- Steedman, H.F. 1976. Zooplankton Fixation and preservation. Unesco, París: 350 pp.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Fish. Res. Board Can. Bull.* 167: 310 pp.
- Treguer, P. y P. Le Corre. 1975. *Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyser II technicon)*. Laboratoire d'Océanologie Chimique Université de Bretagne Occidentale. Brest: 110 pp.