



# Ecología de la bahía El Fangar (delta del Ebro): Factores físico-químicos, biológicos, sus interacciones y propuesta de un modelo

Manuel Varas Schiavi

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

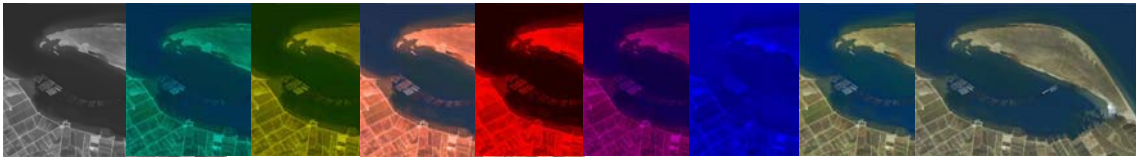


UNIVERSITAT DE BARCELONA



## **Tesis Doctoral**

**“Ecología de la bahía El Fangar (delta del Ebro):  
Factores físico-químicos, biológicos, sus interacciones y  
propuesta de un modelo”.**



**DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
UNIVERSIDAD DE BARCELONA**

**Programa de Doctorado en Ciencias del Mar, Bienio: 1998-2000.**

**Doctorando  
Manuel Varas Schiavi  
Departamento de Ecología  
Facultad de Biología  
Universidad de Barcelona**

**Director de la Tesis  
Dr. Felipe Fernández González  
Departamento de Ecología  
Facultad de Biología  
Universidad de Barcelona**

**Primera edición: Marzo 2012**  
**Diseño Portada: ©MVS**  
**Fotografía Institut Cartogràfic de Catalunya 1983 – ICC.**  
**Fotografías Delta del Ebro: MMA – España - 2006.**  
**Fotografías Delta del Ebro: ©MVS 2006 – 2008.**  
**© Google Earth TM - 2007.**

**Dedicada en forma muy especial a:**

Paulina y Rafaela.....

Mis Padres, hermana, sobrinos, Tavi y....  
a todos mis “seres” queridos, presentes y ausentes.

Mis amigos Carlos Flores y Victor Farías, fe y ánimo siempre....

A don Reinaldo Martínez<sup>†</sup>, una persona muy importante en mi  
vida, junto a toda su querida familia.

**.....Dale a cada cosa su tiempo. Sin prisas, pero sin pausas. Sé sosegado,  
al mismo tiempo que eres tenaz y constante.....**

**Anónimo**

## **Agradecimientos**

Quisiera manifestar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas (algunas, “casi” instituciones, en el transcurso de mis estudios y de mi larga estadía en España, que se extiende ya por más de 13 años):

Al Doctor Felipe Fernández por su ayuda, conocimiento, tiempo entregado y confianza compartida. Por sus valiosos aportes, comentarios, apoyo, participación y discusiones a lo largo del desarrollo y finalización de esta tesis. Ayudándome no solo a la conclusión de un sueño, sino a una mejor formación de persona. Y por intermedio de Felipe, agradecer el esfuerzo a todas las personas que trabajaron hace ya bastante tiempo en la toma de datos en campo y a los primeros análisis (parte de proyectos CAYCIT 1983; CAYCIT 03/84; CAYCIT 86/1160), como a: Dr. Jordi Guinea, Guillermo Lázaro, Dra. Pilar López, Susana Peñalba, Jaume Rosell y Xavier Vidal.

En este punto hay que hacer una destacada reseña a la tremenda oportunidad que me brindó esta aventura del doctorado, que fue el conocer a un gran científico y maestro, que nos enseñó nuestros primeros pasos en Ecología. Me refiero al Dr. Ramón Margalef, con quien pude compartir algunos cafés matinales en la cafetería de la Facultad y muchos de sus inolvidables comentarios.

A Loreto por su comprensión durante la elaboración de esta tesis, y por haberme dado unas hijas preciosas. A mis lindas y queridas Paulina y Rafaela, por ser mis grandes alicientes cada día al llegar a casa, junto a mis sobrinos, en la distancia, Javier y Constanza.

A mis queridos Padres y hermana, por su apoyo y ayuda incondicional a mis “locos” proyectos e ideas, que me han traído tan lejos de casa. A Tavi, que también forma parte de mi entorno más querido y de la familia Varas - Fernández, y por todo lo que me sigue dando cada día. A mi queridísima Tía América y primo Francisco. A mí cuñado John.

A mi maestro y mentor en Chile, el Doctor Juan Carlos Castilla, agradezco infinitamente su ayuda, apoyo, comprensión, consejos, enseñanza y amistad. Solo pido haber entendido y aprendido un poco lo que él sabe.

A mis compañeros y amigos en Barcelona (Marlon, Gloria, Rau, Lucí, Remo, Roberto, María Elena, Patxi, Enrique, Erika, Roxana, los Marcos, Mireya, Albert, Benedicte). Por concederme su amistad y confianza. Por conocer algo más de sus países, tradiciones y excelentes comidas. Por reconfirmar mi particular idea de que Latinoamérica es mucho más que un pueblo al sur de U.S.A.

A mi amigo Rachid (Dr. Rachid El Halimi), quien me iluminó en los caminos de la estadística y de los modelos mixtos, con su gran pedagogía. Por mostrarme parte de la gran cultura de su pueblo y por ser una gran persona.

Al Doctor Jordi Ocaña R. por su ayuda, comentarios y aportes en el área estadística presentada en este estudio.

Al Doctor Nelson Lagos por su amistad, ayuda, comentarios a mis dudas y momentos oscuros.

A mis amigos y a sus familiares en Chile (Nelson, Jorge, Cristián, Vero, Bernardino, Ivan, Mirto, Carlos 1 y 2, Micky, Eduardo, Humberto, Víctor, Manfred, Alejandro...y muchos más), que mantuvieron mi alma chilena activa y fuerte. Por sus ánimos, ayudas y consejos. De más, esta decir que por su sincera amistad, cimentada hace mucho tiempo, y que ni siquiera la distancia mermó.

A mis familiares y a tanta gente querida, presente y ausente, y a los que de una u otra manera debo el estar y haber llegado hasta aquí.

A mis compañeros y colegas del Departamento de Ecología de la UB, como lo son Xavi (Dr. Xavi de Pedro), quien me ayudo bastante como profesor novel y anteriormente cuando

tuvimos grandes problemas con la continuidad de la beca de la AEI. Al “profe” y ahora Dr. Biel Obrador, a Ainoa (ya Dra. Gaudes), a Rafa (Dr. Rafael Mercé), y a otros profesores más como al Dr. Mikel Zabala por sus consejos y su filosofía, muy particular, de las ciencias.

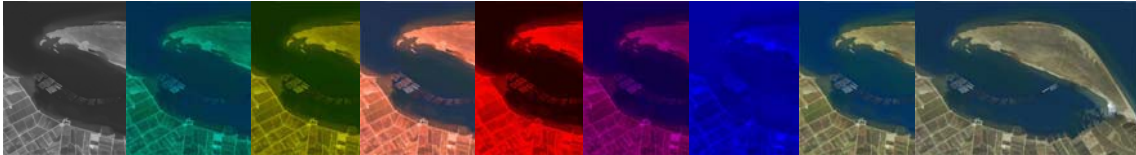
## ÍNDICE

<b>Capítulo I.- Introducción</b>	<b>1</b>
I.1.- Justificación	3
I.1.1.- Planteamientos generales del estudio	3
I.2.- Marco descriptivo del entorno de la bahía El Fangar	5
I.2.1.- Sistemas Deltaicos	5
I.2.2.- Delta del río Ebro	6
I.2.3.- Bahía El Fangar	9
I.2.3.1.- Antecedentes de la bahía El Fangar	18
I.2.3.2.- Cultivos de moluscos en la bahía El Fangar	21
I.2.3.2.1- Cultivos de mejillón en la bahía El Fangar	24
I.2.3.2.2.- Cultivo de ostras en la bahía El Fangar	24
I.2.4.- Cultivo de arroz en el delta del Ebro y su relación con la bahía El Fangar. Estudios realizados al cultivo de los arrozales del Delta del Ebro	25
I.2.5.- Climatología	29
I.3.- Objetivos	35
I.3.1.- Estructura del trabajo	36
<b>Capítulo II.- Materiales y Métodos</b>	<b>37</b>
II.1.- Área de Estudio	39
II.2.- Toma de datos en “situ”	41
II.2.1.- Muestreos	41
II.3.- Análisis de laboratorio	43
II.4.- Análisis estadístico de los datos	48
II.4.1.- Descripción de la variación de los parámetros medidos En la Bahía El Fangar	48
II.4.2.- Análisis multivariado de los datos	48
II.4.2.1.- Cálculo de las puntuaciones factoriales	50
II.4.2.2.- Interpretación de los factores	51
II.4.2.3.- Interpretación de los gráficos	51
II.4.2.4.- Representación de la nube de puntos-variables (columnas)	51
II.4.2.5.- Representación de la nube de puntos-estaciones (filas)	52
II.4.2.6.- Criterios para seleccionar el número de componentes	53
II.4.2.7.- Descripción de los datos	53
II.4.3.- Análisis de serie de tiempo	54
II.4.4.- Creación del modelo (lineal mixto)	56
<b>Capítulo III.- Resultados</b>	<b>59</b>
III.1.- Descripción de los parámetros medidos a lo largo del estudio	61
III.2.- Resultado del análisis multivariado	95
III.2.1.- Interpretación de los componentes	102
III.3.- Resultado del análisis de serie de tiempo	106



III.3.a.- Análisis de serie de tiempo; “s-index”	106
III.3.b.- Autocorrelación muestral (función de autocorrelación)	111
III.3.c.- Correlación cruzada (función de correlación cruzada)	117
III.4.- Resultados del estudio de modelos mixtos propuestos para explicar la variación aleatoria de la clorofila-a y “clorofilas totales”.	137
<b>Capítulo IV.- Discusión</b>	177
IV.1.- Discusión	179
IV.2.- Discusiones de los parámetros bióticos y abióticos medidos en el estudio.	203
IV.3.- Discusiones de los análisis estadísticos	216
<b>Capítulo V.- Conclusiones</b>	231
V.1.- Conclusiones	233
<b>Capítulo VI.- Recomendaciones</b>	235
<b>Bibliografía.-</b>	241
<b>ANEXO FIGURAS</b>	253
ANEXO I.- Figuras autocorrelaciones “no significativas”	255
ANEXO II.- Figuras correlaciones cruzadas “no significativas”	263

# CAPÍTULO I



# INTRODUCCIÓN



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### I. 1.- Justificación

#### I.1.1.- Planteamientos generales del estudio

Desde hace años viene dándose un énfasis creciente al estudio de las características físicas, químicas y biológicas de la zona litoral y aguas costeras, para entender mejor la ecología de estas áreas y su dinámica (Castilla, *et al.*, 2002). Así como también para entender mejor los efectos de los cambios inducidos por el hombre, realizar mejoras en el manejo y aprovechamiento de los recursos, o para conocer y controlar eventuales fenómenos de corto y largo efecto.

El delta del Ebro es uno de los más importante de la Península Ibérica (Camp, 1994) y del Mediterráneo. Es un ejemplo de biodiversidad en España. Al ser un sistema tan dinámico hace que una descripción del sistema en un momento dado sea válida para períodos de tiempo limitados (dependiendo de la escala del estudio), haciendo necesaria la realización de nuevos estudios, estudios multidisciplinarios, estudios paralelos o estudios comparativos, para actualizar los conocimientos a las nuevas condiciones.

La zona del delta del río Ebro presenta enormes posibilidades para el desarrollo de la acuicultura, en especial de cultivos de moluscos, ya que en esta zona hay grandes extensiones de agua marina y salobres, que están protegidas por 2 amplias bahías que comunican con mar abierto y que en general presentan un comportamiento estuarino. El conjunto de características geográficas del área las hace ideales para la intensificación y sobretodo diversificación de especies que pueden ser cultivadas, aprovechando los enormes recursos naturales que ofrece el sistema del delta (Flos *et al.*, 1986). Y de otras características muy importantes, como la poca profundidad de las bahías, la aportación del río, la gran productividad primaria en el interior de estas bahías, la moderada salinidad, una temperatura moderada en invierno, la existencia de fondos fangosos de aluvión y la presencia de bancos naturales de algunos moluscos (*Solen*, *Venerupis*, *Donax*).

La bahía El Fangar, foco de este estudio, mide unos 12Km<sup>2</sup>, con valores de profundidad que varían entre los 0 y 8 metros. Presenta aportes de agua dulce procedentes de canales de regadío en el delta, aguas pertenecientes a campos de cultivo

de arroz (aportes que son influenciados y/o que dependen del ciclo del cultivo del arroz). Además hay aportes de algunas lagunas salobres, por agua de lluvia, de capas freáticas (subterráneas) e intercambio de aguas de procedencia oceánica.

Las características de las masas de agua y su dinámica a lo largo del año en la bahía, son muy importantes para explicar las posibilidades de cultivo y las técnicas más idóneas para su gestión.

Parámetros como la temperatura, salinidad, gases disueltos (oxígeno), nutrientes inorgánicos (nitrato, nitrito, amonio, fosfatos), material orgánico soluble (carbohidratos), material particulado (carbono, partículas), pigmentos vegetales (clorofilas, feopigmentos), son básicos e imprescindibles en este tipo de estudios. En este punto destacar la importancia del presente estudio de trabajar en la determinación de proteínas y carbohidratos, parámetros en general menos estudiados en comparación a variables físicoquímicas características.

Esta bahía presenta oscilaciones de temperatura anuales importantes, con ciertos gradientes a lo largo del año (López y Arté, 1973). Se encuentra agua de baja salinidad y rica en nutrientes, y agua marina procedente del exterior de la bahía. Y variaciones anuales en los niveles de oxígeno estacionalmente. En general, los valores de oxígeno que podamos determinar en un punto en concreto, son generados por causas diferentes. Por una parte el oxígeno es consumido por respiración y procesos de oxidación microbológica, renovándose en general a través de la producción fotosintética y por aquellos intercambios físicos que se producirían en la superficie del agua, determinada por la presión atmosférica y por la temperatura.

El tiempo real de desplazamiento y trabajo en el área es limitante (se han elegido estaciones y profundidades que se pueden hacer en una mañana (3h), tiempo límite para que no ocurran grandes cambios entre las estaciones), encausando la elección, tanto en el número de estaciones, como en las profundidades, que posteriormente representen las características y la dinámica de la bahía en el tiempo. Optándose por tener 3 estaciones, una en la boca de la bahía (estación que contacta con mar abierto), otra en el centro (cercana a los viveros) y otra, en el interior de esta. Además conociendo el promedio de la profundidad máxima y mínima presente en la bahía, se decidió tomar muestras a los 30cm (superficie), a los 2m (medio) y a los 4m (fondo).

Se ha realizado el estudio del ciclo anual, porque permiten tener conocimiento de las variaciones que ocurren en la bahía, saber si estas son estacionales y comparar estos

resultados con otros trabajos realizados en la zona. La bahía del Fangar tiene un tiempo de permanencia del agua dulce de aproximadamente 1 día, donde la circulación del agua es semejante al comportamiento en estuarios positivos (con dominio del vertido de agua dulce sobre la evaporación), es entonces valido pensar que el cambio en el régimen de las aguas ocurre de forma brusca o no, aumentando el grado de complejidad del conjunto del sistema y del estudio (Delgado y Camp, 1987).

Se pretende con este trabajo e investigación llevar una “foto” en blanco y negro de la bahía, al color. Observar si hay diferencias entre estas “fotos” y compararlas con otras “fotos” realizadas en estudios similares en la bahía. Utilizando técnicas estadísticas modernas como herramientas útiles y sencillas al aporte de la investigación, conocimiento y entendimiento de procesos en El Fangar.

De esta manera se busca contribuir al conocimiento y a un mejor entendimiento del comportamiento de la bahía, relacionando aspectos bióticos y abióticos medidos, con la ayuda de herramientas estadísticas y de modelos actuales.

## **I. 2.- Marco descriptivo del entorno de la bahía El Fangar**

### **I. 2.1- Sistemas deltaicos**

Los deltas en general podrían definirse como una acumulación de sedimentos que son arrastrados por los ríos y depositados en la desembocadura de estos. Se dan las condiciones para la formación de un delta cuando la deposición de sedimentos en el mar es mayor que su eliminación. Los deltas se forman en líneas costeras de baja elevación, particularmente en zonas de cotas altas. Estos ambientes deltaicos constituyen un paso intermedio entre el agua dulce y el agua marina. Presentan una intensa variedad y alteración estacional, oscilando entre las condiciones de hipersalinidad, en zonas próximas a la línea de costa (con suministro limitado de agua dulce) sometidas a desecación y los ambientes de agua dulce, en zonas donde predomina el aporte fluvial (Maldonado, 1977; Mann, 1985).

Los factores que influyen en un desarrollo deltaico son: *i)* el régimen fluvial, *ii)* los procesos costeros, *iii)* el comportamiento estructural del área, *iv)* los cambios del nivel de base, *v)* morfología del precontinente y *vi)* el clima. La interacción entre los factores mencionados anteriormente, condiciona las características específicas y evolución de cada delta en particular (Day *et al.*, 1997). Además, en función del grado

de importancia con que estos factores se presenten en cada delta, se utilizan como un medio de diferenciarlos y clasificarlos.

### **I. 2.2- Delta del río Ebro**

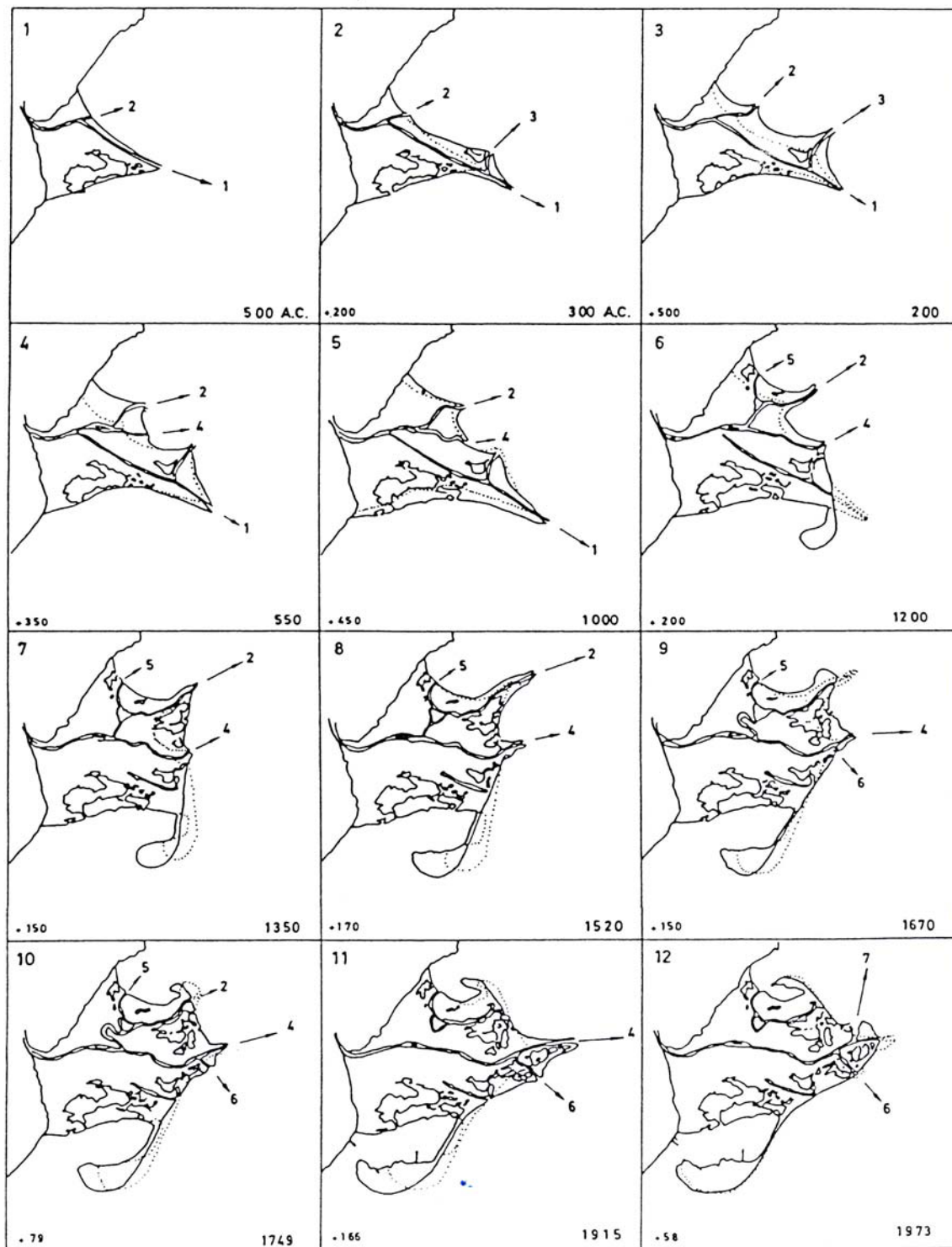
En general el sistema deltaico del Ebro está formado por el río, el delta terrestre (incluido arrozales y lagunas), el delta marino (bahías).

En el caso del delta del Ebro, este está caracterizado por 3 factores principales: un área relativamente reducida (350 Km<sup>2</sup>), una secuencia sedimentaria bastante potente y, particularmente, la notable evolución de sus lóbulos deltaicos que han condicionado el desarrollo de la llanura deltaica (Figura 1).

El río Ebro, cuya presencia y aportes son cruciales en la formación y evolución del delta del Ebro, tiene su nacimiento en la parte central norte de la península ibérica (43° 20'N, 4° 10'W) y desemboca en la costa NE de España (40° 75'N, 16° 50'E), en el mar Mediterráneo (Ollero, 1996). Su longitud aproximada llega a 928 Km y forma una gran cuenca de drenaje, que abarcaría un área aproximada de 88.840 Km<sup>2</sup>, hasta la ciudad de Tortosa (Giménez *et al.*, 1984). Esto sería aproximadamente un sexto de la superficie total de España. Su caudal medio en Tortosa, durante el período 1956/88 fue de unos 457 m<sup>3</sup>/s (Iberinsa, 1992; Jiménez, 1996; Meléndez y Peñalver, 2002). En la cuenca del Ebro existen unos 138 embalses (o represas) que sirven para usos tan variados como regadío, producción eléctrica y uso doméstico.

Actualmente los embalses y las instalaciones existentes a lo largo del curso bajo del río controlan las descargas. A no ser que se produzcan previsiones de grandes venidas por lluvia o deshielo, dejándose salir el agua necesaria solamente para el enfriamiento de las centrales nucleares de Ascó y para el riego, a través de canales.

El delta del Ebro presenta una clara influencia fluvial marcada por la notable proyección mar afuera de la llanura deltaica (de aproximadamente 26 Km). Los procesos costeros están reflejados por la gran regularidad de la línea de costa, con la presencia de 2 grandes “flechas” litorales. Una de ellas es La Banya, al sur de la desembocadura y unida al cuerpo deltaico por una playa - barrera de aproximadamente unos 5,5 Km de longitud, conocida como la Barra del Trabucador. La otra es la del Fangar, por el norte. En estas 2 formaciones típicas se establece un gradiente positivo en el transporte longitudinal de sedimento, agregándose llanuras de arena flanqueando el delta.



**Figura 1.- Reconstrucción de la evolución histórica de la llanura deltaica (Iberinsa, 1992).**



La diferencia en la magnitud de ambas “flechas” puede asociarse a varios factores, entre los que destacan la orientación de los cauces originales, la magnitud de la descarga de sedimento, las características del oleaje dominante en el área y la existencia de una circulación general con predominancia hacia el SW (Espino *et al.*, 1998; Jiménez, 1996). También es necesario destacar el efecto de la pluma del río Ebro en dirección norte, provocando una influencia directa, en algunos períodos, sobre las aguas del golfo de La Ampolla (Salat *et al.*, 1978; Movellán *et al.*, 1998; Cruzado *et al.*, 2002)

En la llanura deltaica la profundidad del río es muy variable, teniendo una media de 3 a 5 m en condiciones normales, aunque existen bancos de arena muy someros y depresiones con más de 8 m. Esta profundidad decrece fuertemente en la desembocadura, donde la boca se rodea por un cinturón de barras de arena sumergidas a poca profundidad, y por otras barras que llegan a emerger. La anchura del río oscilaría, a lo largo de este, entre 160 y 380 m (Espino *et al.*, 1998; Jiménez, 1996).

Cabe destacar el hecho de que el río Ebro, como prácticamente todos los ríos de la cuenca Mediterránea, presenta una gran variabilidad en su caudal, no sólo de año en año, sino también mensualmente. Su dinámica viene caracterizada fundamentalmente por las variaciones estacionales del caudal, las cuales están estrechamente unidas a los tipos de precipitaciones, orientación de la cuenca, la regulación y los factores bióticos. A partir de los análisis realizados por Maldonado (1972) y Callís *et al.* (1988), puede concluirse que marzo es el mes que suele presentar los mayores caudales medios mensuales, mientras que agosto presenta los caudales mínimos, lo que indica que el Ebro, en su último tramo, (aproximadamente los últimos 150 Km) presentaría un típico régimen nivo-pluvial (Muñoz, 1990).

Una de las características del curso bajo del río Ebro, es la presencia de una intrusión de agua de mar a lo largo del río, denominada cuña salina, cuya extensión depende del caudal existente en cada momento y de ciertas condiciones climáticas, habiéndose descrito su presencia hasta unos 25 Km de la desembocadura, en las proximidades de Tortosa (Aragón, 1943; Muñoz y Prat, 1989; Muñoz, 1990). De acuerdo con Guillén 1992 y Jiménez (1996) la presencia de una cuña salina influye en el transporte de sedimento, ya que altera las condiciones de flujo en las proximidades del fondo. Así, en el tramo del río donde la cuña está presente, la capa de agua próxima al fondo, compuesta por agua de mar, presenta unas velocidades mucho menores que las de la capa más superficial y ambas se caracterizan por su bidireccionalidad (dirigidas aguas arriba o hacia el mar). Actualmente el efecto de la cuña salina se ve aumentado

por los caudales mínimos determinados por las operaciones en los embalses, sin olvidar de que la cuña es función del caudal.

El control sobre las descargas del río no sólo afecta al transporte de sedimentos sino que es el receptor de una gran cantidad de materia orgánica cuya oxidación consume una buena parte del oxígeno en el agua marina de la capa inferior de la cuña salina, causando hipoxia y/o anoxia en la parte baja del curso fluvial (Cruzado *et al.*, 2002).

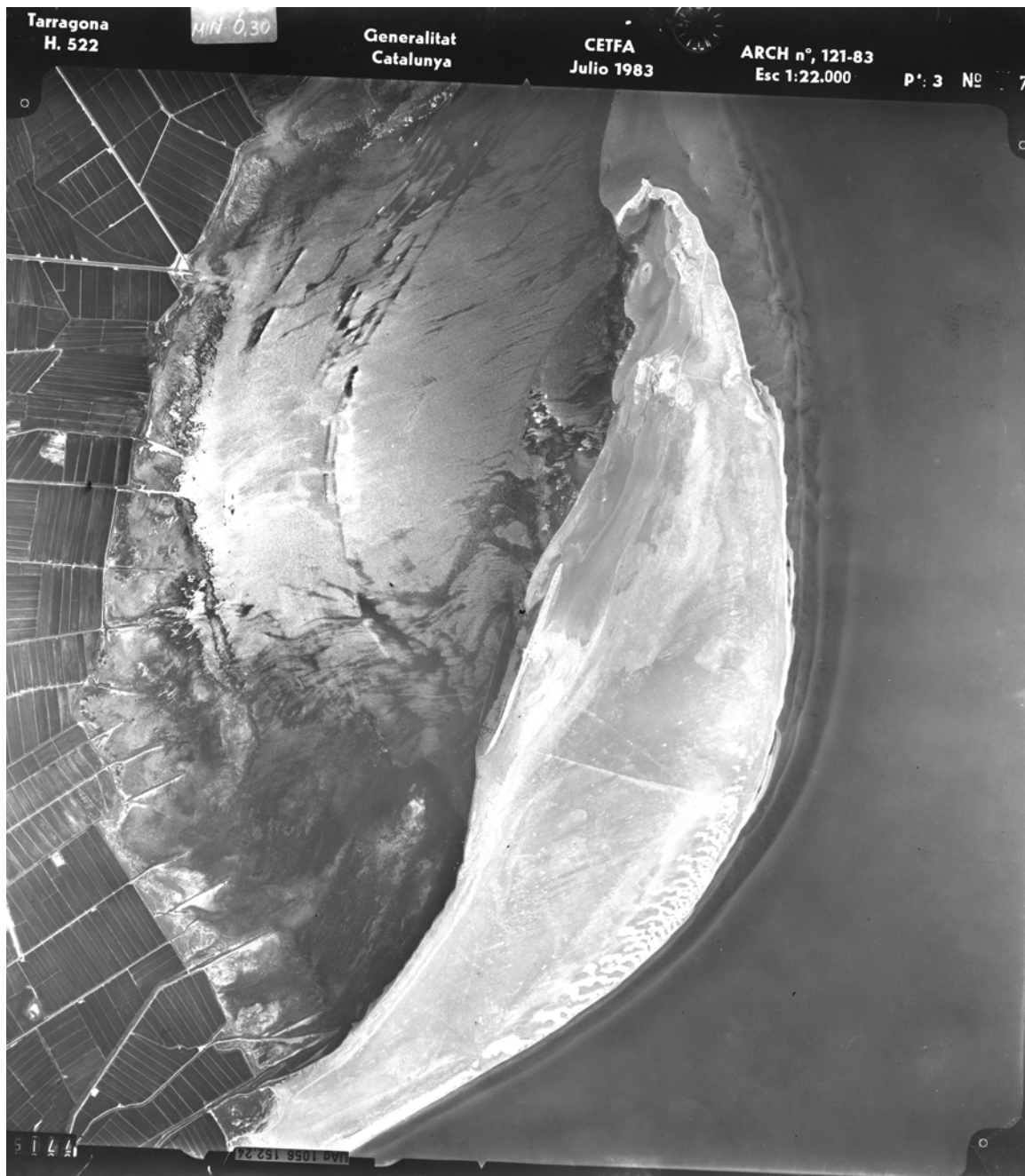
### **I. 2.3- Bahía El Fangar**

Durante el crecimiento de las flechas presentes en el delta, mencionadas anteriormente (El Fangar y La Banya), se han formado dos cuerpos de agua semicerrados, llamados bahía del Fangar, en la zona norte del delta y bahía de Los Alfacs, por el sur.

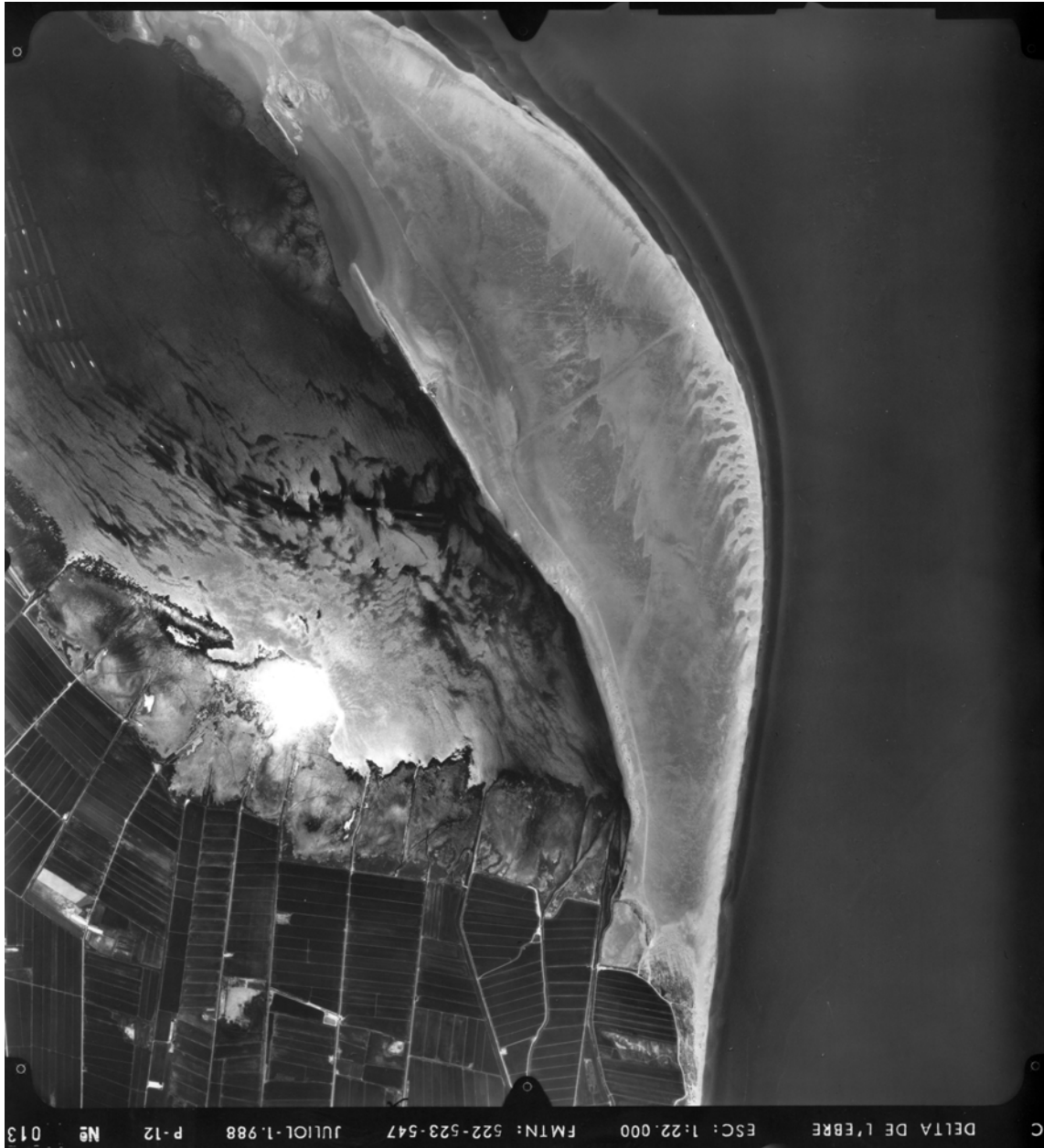
El área donde se desarrollo este estudio corresponde a la bahía del Fangar. Esta se ubica al norte de la llanura deltaica, al noroeste de la desembocadura del río Ebro, en el golfo de La Ampolla. Tiene una superficie aproximada de 12 Km<sup>2</sup> (Camp y Delgado, 1987; Llebot *et al.*, 2011) y contiene un volumen aproximado de agua de 16 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. En la mayor parte de la bahía, la profundidad media no rebasa los 3,5 m, pudiendo alcanzar una profundidad máxima de 8 m en la zona central. Esta escasa profundidad hace que la producción primaria bentónica sea relativamente importante, debida en su mayor parte a los macrófitos (Pérez y Camp, 1986). En su margen interior existen amplias plataformas arenosas en los bordes (llanura de inundación, formando algunas playas arenosas) que descienden suavemente, logrando un talud de mayor pendiente y una sima central de naturaleza fangosa de 4 a 5 m (López y Arte, 1973; Pérez y Camp, 1986; Camp y Delgado, 1987). Estas amplias plataformas arenosas presentan una escasa pendiente, lo que hace que muchas veces se vean invadidas por el mar durante episodios de marea meteorológica (es decir variaciones del nivel medio del mar inducido por variaciones en la presión atmosférica y a la acción del viento), donde los vientos del Este (como gregal y levant) suelen estar asociados a la existencia de anticiclones o borrascas, alcanzando grandes velocidades (Kennedy, 1982; Jiménez *et al.*, 1997).

En forma general, la bahía esta constituida por un sistema semicerrado comunicada con el mar, con la especial característica de recibir aportes de agua dulce desde la llanura deltaica (Pérez y Camp, 1986), en especial por el borde sur del Fangar. En las Figuras 2 y 3 es posible observar las características anteriormente explicadas con 2 fotos aéreas de la bahía correspondiente a los años 1983 y 1988, ambas del mes de

julio. En estas figuras, se observan claramente los innumerables canales de regadío, que llegan a la bahía, en la línea costera sur. En esta zona, el límite costero no está bien definido, ya que la playa no existe, por inundación de la zona (refiérase a la zona de desagüe de los canales a la bahía). También es posible apreciar las bateas de los cultivos presentes en la época. La bahía, al parecer, se originó por el confinamiento de masas de agua, por la formación de barras sedimentarias paralelas a la costa, y a partir de sedimentos procedentes de la erosión de antiguos lóbulos deltaicos abandonados, así como a nuevos sedimentos fluviales (terrazas bajas aluviales) transportados por las corrientes litorales (Jiménez, 1996).



**Figura 2.- Fotografía aérea de la bahía del Fangar,  
correspondiente a julio de 1983.  
(Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya)**



**Figura 3.- Fotografía aérea de la bahía del Fangar,  
correspondiente a julio de 1988.  
(Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya)**

En el modelado actual de la bahía se considera que actúan la circulación marina general, los vientos dominantes y los temporales de levante (Maldonado, 1977; Jiménez, 1996), comportándose generalmente como estuario (Williams, 1962; Wiley, 1976) en cuña salina (Dyer, 1979). La conexión con el mar abierto viene dada por una abertura o boca, de aproximadamente 1 Km de ancho, orientada hacia la costa, siendo actualmente la única posibilidad de intercambio, a excepción de los momentos en que predominan los fuertes vientos de levante, que pueden provocar un paso ocasional de agua por encima del istmo que lleva al faro (entre las playas de la Marquesa y la playa del Canalot). En la Figura 4 se observa una secuencia fotográfica de las playas externas a la bahía del Fangar (Fuente: MMA, 2006), iniciándose el recorrido fotográfico en la punta norte, lugar donde se encuentra el faro, hasta la playa de la Marquesa, donde ya se ven los campos de cultivo de arroz en la zona.

Actualmente, esta bahía recibe aportes de agua dulce por toda la zona de contacto con la llanura deltaica, a través de canales de desagüe de diversa importancia y que, en general, son empleados para el regadío de los cultivos, tales como arrozales, explotaciones agrícolas de melones, naranjas y mandarinas, olivos y algunas hortalizas, como alcachofas (Muñoz, 1990) y aportes de canales de desagüe de las lagunas presentes en el delta (Comín, 1981; Comín 1986; Comín, 1987; Comín et al., 1991; Comín 1999; Menéndez et al., 2001).

Existen en la llanura deltaica 2 canales principales de regadío, el canal de la derecha y el de la izquierda (según su situación respecto al río), los cuales tienen su origen aproximadamente a 60 Km de la desembocadura (ceranos a la población de Xerta). Estos canales corren en forma paralela al río, dividiéndose en otros canales secundarios, que son los encargados de regar los campos. Aquellos canales que recogen el agua de las plantaciones y la llevan a la bahía o al mar directamente, son los denominados canales de desagüe.



**Figura 4 .- Secuencia de fotos que comienza en la punta norte del Fangar (1-2), luego se observa, en un recorrido externo a la bahía, la zona de dunas (y Faro)(3-4) y finalmente la playa de la Marquesa (5-6). (Fuente: MMA)**

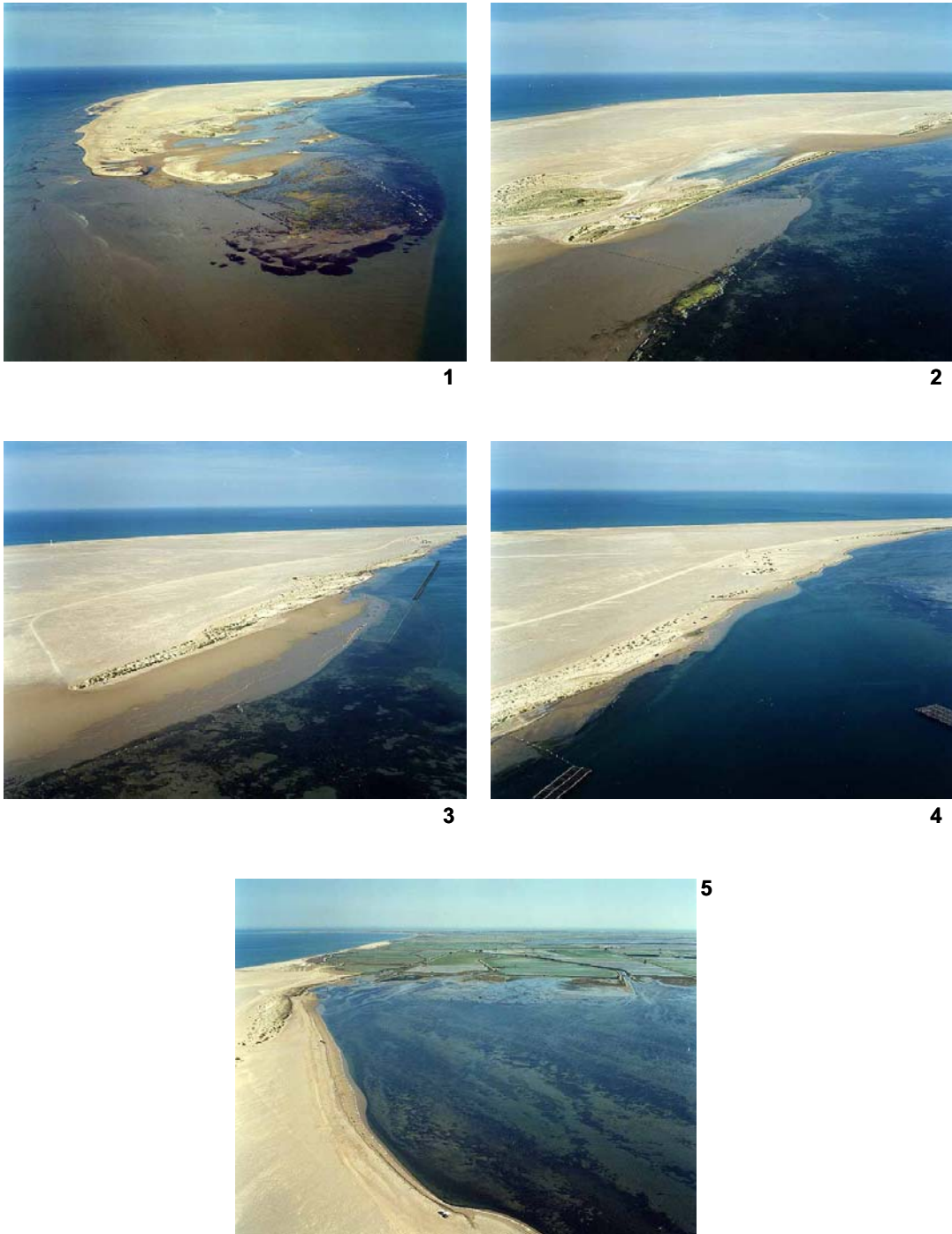
Estos y otros canales también aportan agua a las lagunas costeras presentes en el delta, siendo en general un modelo de regadío muy dinámico y dependiente de los requerimientos de agua que tengan los cultivos. Esto hace que estos canales no estén abiertos todo el año (Muñoz, 1990; Muñoz, 1998), sino solamente de abril - mayo a noviembre – diciembre. En las Figuras 5 y 6 se realiza un recorrido fotográfico por las playas internas de la bahía (Fuente: MMA, 2006), su zona mas interna y la zona donde desaguan los canales de regadío, complementando lo observado en las Figuras 2 y 3. El volumen de agua dulce recibido por la bahía, procedente de los canales de desagüe, llegaría a  $228 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Pérez y Camp, 1986), distribuido irregularmente a lo largo del año, con valores máximos desde abril a noviembre y mínimos o nulos de diciembre a marzo, períodos en que los canales están cerrados (Camp *et al.*, 1985).

Otros aportes a la bahía del Fangar son: **a)** el agua dulce procedente del río Ebro, que viene mezclada con agua marina, **b)** el agua dulce, procedente de pequeñas lagunas litorales y, **c)** un aporte adicional de agua dulce procedente del agua freática presente en el delta (Camp y Delgado, 1987).

El agua marina (cuya salinidad varia entre 37.00 y 38.00) entra en la bahía, con una irregularidad temporal notable (Delgado y Camp, 1987).

Dado que el agua dulce que llega a la bahía presenta una elevada concentración de nutrientes (López y Arté, 1973; Delgado y Camp, 1987), la bahía presenta una elevada producción natural, haciéndola atractiva a la explotación comercial, dirigida al cultivo de moluscos lamelibranquios (López y Arté, 1973).





**Figura 5 .- Secuencia de fotos donde se muestra desde la punta norte de la bahía del Fangar (1-2), pasando por la playa del diamante (3-4) y finalizando en zona interna de la bahía (5). (Fuente: MMA)**



1



2



3



4

**Figura 6 .- Secuencia de fotos donde se puede observar la línea de costa donde desaguan los canales de regadío hacia la bahía del Fangar. (Fuente: MMA)**

### **I. 2.3.1- Antecedentes de la bahía El Fangar**

Uno de los primeros estudios sobre la hidrografía de la bahía del Fangar fue realizado por el Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona entre el año 1968 y 1971 (López y Arté, 1973), correspondiendo a un ciclo anual (febrero de 1968 a febrero de 1969), donde se muestrearon 4 estaciones en forma longitudinal a la bahía. Posteriormente se ampliaron las campañas hasta 1971. Algunos resultados del estudio demuestran la existencia de importantes variaciones en la salinidad, sobre todo en la superficie. Con respecto a la temperatura en la bahía, estos resultados indican que el agua más cálida se encuentra en la superficie, durante la primavera y el verano, mientras que en otoño y la primera mitad del invierno, se observa lo opuesto. En resumen, la situación de estratificación es casi permanente en la bahía, con aguas de menores salinidades en la superficie y mayores en el fondo de la bahía. En conjunto, la salinidad de la bahía sería menor a la del agua mediterránea, dependiendo en cada momento de una multitud de factores tales como: flujo de los canales de desagüe, el régimen de vientos (potenciando la mezcla vertical), estructura del mapa isobárico (origina cambios en los niveles de la bahía, activando el intercambio en la boca), y las características del agua de mar externa, influidas por el río Ebro.

Los tiempos medios de permanencia de este agua dulce en la bahía del Fangar serían de alrededor de 1 – 2 días. En general, estas cifras dan una idea sobre los plazos de tiempo en que podrían esperarse cambios apreciables de estructura, a partir de las modificaciones en los flujos, es decir alteraciones en los mecanismos de entrada y salida (Muñoz, 1990; Jiménez, 1996).

Otro estudio realizado en la bahía del Fangar, referido a su hidrografía, fue el realizado por Camp y Delgado, en 1987. Sus resultados también apuntan a conclusiones similares a las obtenidas anteriormente por López y Arté en 1973, confirmando que, en general, la bahía se comporta como estuario en cuña salina, en la que el agua marina, con tendencia a entrar, se situaría en los niveles profundos y el agua de menor salinidad, con tendencia a salir de la bahía, se localizaría en la superficie. La bahía presenta mayor oscilación térmica que el mar, y su salinidad es en general, inferior a la del Mediterráneo. En general predominan en la bahía las situaciones de estratificación, aunque a veces, sobre todo en invierno, apenas existe una capa superficial diferenciada, ya sea por escasez de aportes continentales o por mezcla total debida al viento. Por otra parte, Camp y Delgado (1987) señalan que las situaciones anómalas en la salinidad son atribuibles al agua freática que fluye hacia la bahía. También apuntan al importante

hecho de que la estructura de la bahía esta gobernada primariamente por factores puramente hidrodinámicos y modificada por factores meteorológicos, que desencadenan, activan o retardan el ciclo interno de la bahía, o más simplemente, que la diferencia de densidades entre el agua de la bahía y la marina es el motor del proceso. Los mismos autores indican que las situaciones de calma y canales de regadío abiertos favorecen la estratificación y la existencia de un flujo superficial de agua menos densa hacia el exterior, deslizándose sobre el agua marina que penetra en la bahía por el fondo. Por el contrario, los aportes de agua freática y los vientos fuertes incrementan la mezcla vertical uniformizando toda el agua de la bahía.

Los vientos, mareas, “seiches”<sup>1</sup> y corrientes costeras actúan como modificadores de estos ciclos internos (Jiménez, 1996).

Una investigación paralela a la de Camp y Delgado (1987) fue realizada por Delgado y Camp (1987). Estudian la abundancia y distribución en la bahía de algunos nutrientes inorgánicos como nitrito, nitrato, amonio, fosfato y silicato. Mencionan el hecho de cierto ajuste que presenta esta bahía a la definición de estuario realizada por Cameron y Pritchard (1963), referido a: “un cuerpo de agua costero, parcialmente cerrado, que tiene una conexión libre con el mar abierto y dentro del cual el agua de mar esta diluida con agua dulce derivada del drenaje terrestre”. Aunque se presentan claras peculiaridades, como el hecho de que el agua dulce se vierte a la bahía por uno de los lados a través de una serie de canales, dando lugar a una distribución preferencial de las aguas de baja salinidad en este margen de contacto. Otras peculiaridades son la escasa profundidad de la bahía, la poca importancia de las mareas y la alternancia de mezcla y estratificación en el ciclo anual de la bahía.

También se ha indicado que las concentraciones de oxígeno disuelto son generalmente altas en la masa de agua principal (Delgado, 1986), pudiéndose apreciar bajas locales en la concentración de oxígeno, asociadas a altos contenidos de materia orgánica en descomposición, procedente de aportes de los canales o bien de “blooms” previos de fitoplancton (Delgado, 1986).

Se observó gran variabilidad en las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, con gran irregularidad en los niveles de fosfato y nitrito (Delgado, 1986). En los resultados del ciclo anual, se observaron altas concentraciones en superficie, asociadas con aguas de baja salinidad. En la estación más interna de la bahía del Fangar

---

<sup>1</sup> Variación del nivel del mar asociado a situaciones meteorológicas específicas de onda larga (12 – 13 min.), que se presentan generalmente de junio a agosto, asociadas a cambios bruscos en la presión atm.

(es decir, la estación mas alejada de mar abierto), las concentraciones de nutrientes, especialmente de silicato, fueron menores que en estaciones en posiciones medias y exteriores de la bahía (boca de la bahía).

Para comprender la importancia real de los aportes de nutrientes inorgánicos vertidos en el Fangar conviene tener en cuenta el tiempo medio de permanencia del agua dulce vertida, ya que, posiblemente, una parte importante de los nutrientes inorgánicos que llegan por los canales al Fangar pasan al mar, sin ser asimilados por el fitoplancton de la bahía.

Se encontró además una notable diferencia en la concentración de nutrientes entre los canales procedentes de los campos de cultivo del delta y los procedentes de las lagunas. Los canales que provenían de los campos de cultivo presentaron una mayor concentración de nitrato y nitrito, presentándose también diferencias en los contenidos de fosfato y silicatos, aunque menos marcadas.

Los resultados sugieren que la limitación del desarrollo del fitoplancton en la bahía se debe principalmente al déficit de nitrógeno. En este punto cabe señalar que las lagunas presentes en el delta actúan, en cierta manera, como depuradoras de las aguas de origen agrícola y que su situación, en algunos casos, intermedia entre los campos de cultivo y las bahías, les confiere un importante significado.

En los sistemas costeros suele ser el nitrógeno el elemento considerado como principal limitante de la producción biológica (Valiela, 1984). Ello se atribuye al proceso de desnitrificación bacteriana, en el cual el nitrato es reducido a nitrito y puede proseguir hasta nitrógeno gaseoso, con lo que se pierde el elemento del sistema (Delgado y Camp, 1987). La tasa de asimilación de los distintos compuestos de nitrógeno por el fitoplancton es diferente. Cuando hay concentraciones considerables de compuestos nitrogenados en el medio, primero se asimila el amonio, después la urea y, en ultimo lugar, el nitrato y el nitrito, pero cuando hay escasez, se asimilan todas las formas en proporción a su concentración (McCarthy *et al.*, 1977).

Existe también otra investigación realizada por Pérez y Camp (1986), en la que se estudia la distribución espacial y biomasa de las fenerógamas marinas en las bahías del delta. En este trabajo se indica que las fanerógamas están restringidas a las zonas someras de la bahía, entre los 0 y 2 m, no hallándose en la sima central. Estas fanerógamas son *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*, *Ruppia cirrhosa* y, en pequeñas manchas, *Zostera marina*. Se ubican y distribuyen de forma diferente en los sedimentos arenosos y fangosos de la bahía. La biomasa foliar presenta valores máximos en los

meses de julio y agosto y una disminución durante el otoño hasta alcanzar los valores mínimos en el mes de febrero. Entre marzo y julio-agosto se produciría un aumento considerable de la biomasa, lo que sugiere una elevada producción durante dicha época. Estas fanerógamas recubren un 65% de la bahía del Fangar y constituirían una importante entrada de materia orgánica. La concentración de nutrientes, salinidad y el tipo de sedimento tienen un papel importante en como se segregan las especies en el espacio y la temperatura controlaría el ciclo estacional de crecimiento.

### **I. 2.3.2- Cultivos de moluscos en la bahía El Fangar**

La costa catalana presenta una notable diversidad geográfica. Por ello, es posible encontrar varios puntos donde es posible el desarrollo de sistemas racionales de acuicultura (ver Figura 7), como lo refleja el trabajo de Flos *et al.*, (1986) (ver Tabla I). El delta del Ebro presenta 2 bahías protegidas de los temporales, que se comunican con el mar abierto, que presentan poca profundidad, con grandes aportes de nutrientes que proceden del mar, del río o de los cambios del cultivo, presentando en el interior de estas bahías una gran productividad primaria y con un clima mediterráneo, que ayuda a tener condiciones climáticas moderadas, sobre todo en las temperaturas invernales. En esta área se encuentran bancos naturales de bivalvos, tales como *Solen vagina* (navaja; navalla; canyut), *Venerupis decussata* (cloïssa, almeja fina), *Venerupis polastra* (cloïssa babosa, almeja babosa), *Venus gallina* (rossellona; xirla), *Donax trunculus* (tellerina, tellina, coquina) y *Cerastoderma edule* (catxell, berberecho) (Huguet i Sesma, 1991).



**Figura 7 .- Diferentes etapas de cultivo en el delta del Ebro.**

**Tabla I.- Resumen sobre el cultivo de bivalvos en Cataluña (Fuente: Flos et al., 1986)**

Especies Cultivables	Distribución en Catalunya	Obtención de semillas	Grado tecnológico conseguido en Catalunya	Tipo de cultivo a desarrollar	Tipo de explotación existente en Catalunya	Países con tradición de cultivo
Mejillón <i>Mytilus edulis</i>	Toda la costa	Natural	Nivel Industrial	Viveros y bateas Sacos y cordeles suspendidos	Viveros y bateas Delta	España Holanda
Ostra <i>Ostrea edulis</i>	Cap de Creus Vilassar de Mar Delta	Fijación a colectores artificiales "Hutchery"	Experiencias piloto	Viveros y bateas Lineas flotantes	Viveros (Delta)	Japón Francia Holanda
<i>Crassostrea gigas</i> <i>Crassostrea angulata</i> (Ostrón)	No es autóctona	Importación de la semilla	Experiencias piloto	Cultivo en fondo Bateas y viveros		Japón y Francia
Almeja <i>Venus gallina</i>	Sitges Vilanova Delta	Extracción de bancos naturales. Importación de Italia	Explotación libre Semicultivo	Semicultivo en fondo	Semicultivos en el Delta Repoblaciones en Vilanova	Italia
<i>Citherea chione</i>	Arenys de Mar		Explotación libre	Semicultivo	Explotación libre en bancos naturales	
<i>Venerupis decussata</i> <i>Venerupis pullastra</i>	Roses Delta	Extracción de bancos "Hatchery"	Explotación libre Semicultivo	Semicultivo Cultivo intensivo (circulación forzada)	Semicultivos en el Delta Repoblaciones en el Delta	España Francia Italia
Almeja japonesa <i>Venerupis semidecussata</i>	No es autóctona	Importación de semillas "Hatchery"	No se ha experimentado	Semicultivo Cultivo intensivo (circulación forzada)		Japón
<i>Donax trunculus</i>	Sitges Vilanova	Extracción de bancos naturales	Explotación libre	Semicultivo	Explotación libre en bancos naturales	
Vieira <i>Pecten jacobus</i>	No es abundante	Importación de semillas	No se ha experimentado	Viveros y bateas		Japón Reino Unido
<i>Pecten maximus</i>	No es autóctono	"Hatchery"		Cultivos suspendidos (cuerdas y sacos)		España
Berberecho <i>Cerastoderma edule</i>	Delta	Extracción de bancos naturales	Explotación libre	Semicultivo	Explotación libre en bancos naturales	España



Las características de las masas de agua presentes en la bahía del Fangar, así como la dinámica a lo largo del año y la oscilación de la temperatura son fundamentales para explicar la distribución de los bancos naturales de mariscos (Flos *et al.*, 1986). La abundancia de estas especies reflejaría la del fitoplancton que les sirve de alimento.

#### **I. 2.3.2.1- Cultivos de Mejillón en la bahía El Fangar**

En el interior de la bahía existe un polígono (polígono Tortosa A) de cultivo dedicado al mejillón, con una superficie aproximada de 370 h y una capacidad de entre 74 y 84 viveros, con una producción aproximada de 50 toneladas por vivero, en función de la zona y el año (Figura 7). Los mejillones, se cultivan en cuerdas y la “semilla” procede de la misma bahía, en la que se recogen generalmente entre febrero y marzo (*fuelle: Asociación de mejilloneros de la bahía del Fangar, com. per.*). Al realizar la cosecha (comenzando en el mes de julio y acabando en octubre) se separa el mejillón comercial de la cría o semilla, mediante un purgador de tela de hierro agujereada (*fuelle: Asociación de mejilloneros de la bahía del Fangar, com. per.*). Posteriormente estas semillas se llevan a sacos o bolsas de engorde, es decir la semilla se “encuerda” en los meses de octubre y noviembre. El encordado consiste en rodear una cuerda con pequeños mejillones, envolviendo el conjunto con una especie de venda (textil de celulosa). Los “chorizos” o “mangas” así formados se suspenden verticalmente en el agua, el tejido de la venda se descompone con el agua, desapareciendo. Los mejillones quedan sujetos a la cuerda y entre si, por medio de su viso, quedando fuertemente apiñados. Posteriormente se efectúa el desdoble de la cuerda (Flos *et al.*, 1986).

#### **I. 2.3.2.2- Cultivo de ostras en la bahía El Fangar**

Estudios realizados por Arté y López, entre 1968 y 1970, con experiencias en alimentación y crecimiento de ostra plana (*Ostrea edulis*) bretona, señalan un crecimiento medio de 23 mm en 2 años, variando los porcentajes de mortalidad, entre un 69%, al principio de la experiencia, y un 1% al final de la misma. Posteriormente estos autores extienden la experiencia a la variedad italiana de la misma especie (*Ostrea edulis*), con un crecimiento promedio de 52 mm, logrando menores mortalidades que en la ostra bretona. En el año 1971 se inician los experimentos con *Crassostrea angulata* (ostrón, ostra portuguesa) con un crecimiento de 15 mm en 6 meses, con una mortalidad

del 30%. La primera experiencia, a escala industrial, en esta zona fue la originada por la empresa Devimar S.A. (Depuradora y Viveros Marinos), que en sus inicios importó 40 toneladas de ostra plana italiana en 1970. Posteriormente, comenzaron los experimentos con cultivos mixtos de ostra, ostrón y mejillón, con estudios previos de las posibilidades del medio, de las instalaciones y de las especies, para evitar competencias inadecuadas y obtener un nivel óptimo de producción (Flos *et al.*, 1986).

#### **I. 2.4- Cultivo del arroz en el Delta del Ebro y su relación con la bahía El Fangar. Estudios realizados al cultivo de los arrozales del Delta del Ebro.**

En general, los campos de cultivo del arroz en Europa, se riegan por inundación. Esta práctica agrícola permite definir estos ecosistemas como ecosistemas acuáticos temporales estivales (Dussart, 1966; Forès y Comín, 1986). En el delta del Ebro, la profundidad de la columna de agua en los arrozales se mantiene por debajo de los 30 cm durante todo el cultivo (Forès y Comín, 1986), lo cual está relacionado con la protección de la planta a temperaturas extremas. Generalmente el arroz esta permanentemente inundado (crecimiento), y solo se drena durante algunos períodos, relacionados con la aplicación de herbicidas, la fijación de las raíces (Casanova, 1998) y cambio de agua del campo de cultivo para prevenir aumentos en la salinidad.

La irrigación en el delta se aplica generalmente de octubre a enero, limpiando de esta manera la superficie salada acumulada en la tierra (Casanova, 1998; Serra *et al.*, 2007). El esquema de las fases y principales tratamientos efectuados en los arrozales se resumen en la Figura 8.

Esta permanente inundación del arrozal (que tolera perfectamente su sistema radicular) precisa de un caudal continuo entrando en la parcela de cultivo, que es imprescindible se filtre en profundidad hasta el nivel freático para contrarrestar eficazmente la subida de la salinidad; y también resulta importante que se vierta en su parte horizontal hacia el desagüe, con el objeto de producir una necesaria renovación del agua que garantice la sanidad agrícola del cultivo, ya que sería totalmente pernicioso para éste, en el Delta, mantener el arrozal con aguas estancadas sin renovación, tanto por razones de temperatura como de concentración de diversos elementos químicos orgánicos e inorgánicos. Franquet (2009) también ha comprobado altamente perjudicial e inaceptable, que las parcelas del arrozal no tengan una cota superior suficiente sobre la lámina de agua de los desagües para permitir la filtración hacia el subsuelo, cuestión

que resulta imprescindible para contrarrestar el alto grado de salinidad del mismo y posibilitar un permanente lavado, lixiviación o saneamiento del suelo de cultivo.

Según Franquet (2009) la intensificación de la producción del cultivo del arroz, como consecuencia del incremento de la demanda, ha aumentado el uso de fertilizantes y pesticidas, haciendo del cultivo del arroz uno de los principales contaminantes de algunas zonas húmedas especialmente sensibles. Sugiere además que la propuesta técnica de “Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro” (PHCE de 1996; en Real Decreto 1664/1998 y modificado por la ley 11/2005) provocaría una reducción de los caudales que se utilizan en el cultivo del arroz y que serían imprescindibles para la supervivencia del delta.

Franquet (2009) menciona que actualmente ningún otro cultivo que no sea el arroz (*Oryza sativa*, L.) puede desarrollarse con garantía de continuidad en el delta, considerando su característica específica de cultivo a plena inundación.

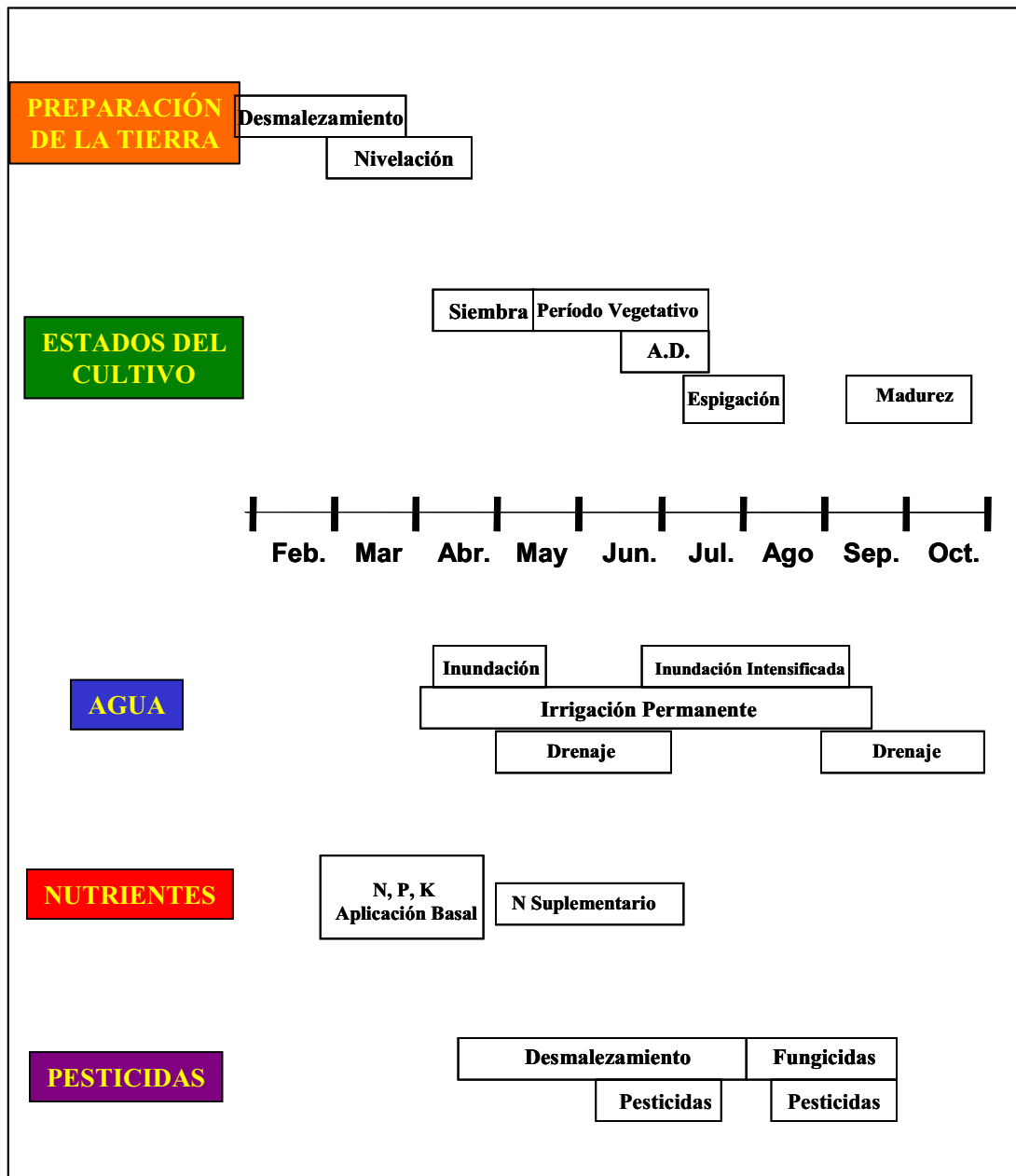
Los factores que pueden modificar la concentración de nutrientes en el sedimento del cultivo son el crecimiento del arroz, las características físicas del sustrato, el contenido de materia orgánica (contenido que suele encontrarse entre 4.1 y 5.01 %), textura, la distribución espacial de la vegetación y los procesos ocasionados por la inundación del suelo (Forès y González, 1988).

Los campos del delta presentan sedimentos que corresponden a limos y arcillas. Las arenas (gruesas o finas) aportan un porcentaje mucho menor. Entre los nutrientes que se pueden encontrar en los sedimentos, los máximos contenidos en carbono y nitrógeno se observan en la fase de aparición de la espiga, coincidiendo con los mínimos de fósforo. Cabe destacar el hecho de que no existe correlación significativa entre carbono, nitrógeno y fósforo. Y que el calcio es el elemento más abundante en el suelo de los arrozales del delta, junto con el silicio (Forès y González, 1988). Las concentraciones de calcio varían entre 3481 y 3702  $\mu\text{g Ca/gps}$ .

El nitrógeno procedente del abonado desaparece a los pocos días de la inundación de los campos, incorporándose al sedimento solo el 10% vía bacteriana.

Aquellas condiciones de anoxia que se producen a finales del cultivo favorecen la desnitrificación.

Por otra parte, la materia orgánica que procede de la columna de agua del cultivo se descompondría rápidamente, convirtiéndose en fuente de nitrógeno para el arroz durante su crecimiento vegetativo sin alcanzar a acumularse en el sedimento.



**Figura 8 -. Calendario del cultivo de arroz en el Delta del Ebro (Fuente: Casanova, 1998)**

Con respecto a los nutrientes que se utilizan en el cultivo del arroz, se comienza primeramente fertilizando la tierra para dejarla preparada. El nitrógeno se utiliza como fertilizante más común, agregando entre los 120 y 180 kg/ha, en su forma reducida de urea, amonio y sulfato de amonio. También se aplica fosfatos, aproximadamente unos 50 kg/ha. Y también potasio, aplicando unos 100 kg/ha (Casanova, 1998).

El manejo de pesticidas es muy importante en el cultivo del arroz, y viene a solucionar problemas de malezas, enfermedades que atacan al cereal y al control de insectos que pudiesen provocar alguna plaga. Los herbicidas más comúnmente aplicados son el molinato y la bentazona. Otros productos químicos como la carbendazima o el mancozeb son utilizados como fungicidas, generalmente en los meses de altas temperaturas y alta humedad, como agosto (Urbano, 1995; Feo *et al.*, 2010; Köck *et al.*, 2010).

La temperatura del agua de los arrozales varía ampliamente de 12°C a 33,3° C. Se observa un crecimiento gradual de este parámetro desde abril hasta finales de junio, siguiendo el patrón de la temperatura ambiental (Forès, 1989). Desde julio hasta finales del ciclo de cultivo se mantiene entre los 22°C y los 30°C. El pH del agua es elevado al inicio del cultivo, incrementándose paulatinamente hasta alcanzar los máximos valores durante el mes de junio (10,5). Este elevado valor de pH coincide para el mismo mes con los altos valores de oxígeno disuelto, con valores superiores a 10 mg/l. Los mínimos de oxígeno se encuentran en los meses de septiembre y octubre, con valores de 6 y 5 mg/l respectivamente.

El agua de cultivo presenta valores iniciales de fósforo reactivo total entre 0,5 y 2,7 µg-at PRT/l, estos valores van disminuyendo, a medida que avanza el cultivo y el arroz crece, volviendo nuevamente a alcanzar valores elevados en el mes de junio, coincidiendo con el abonado de los campos. El nitrato es la forma más abundante de nitrógeno inorgánico disuelto en el agua que llega del río. Los máximos valores se observan al inicio del cultivo, llegando a los 116 µg-at N-NO<sub>3</sub>/l, en algunos campos, coincidiendo con el abonado.

Autores como Schubel y Carter (1983), y posteriormente Forès (1989), definen a los campos de arroz como “filtros”, con la capacidad de separar el material en suspensión y los nutrientes de los flujos de agua que los portan, mediante procesos biológicos o físicos.

Los campos de arroz están permanentemente anegados, especialmente en la estación de crecimiento. Aunque quizás necesiten cortos períodos de drenaje, para

corregir específicamente desórdenes en el cultivo, dependientes de aquellas épocas donde se aplican herbicidas, fijadores de raíces, etc. Los campos se inundan entre el 10 y 25 de abril. Anteriormente hay una irrigación, practicada generalmente entre octubre y enero, con el propósito de limpiar la superficie del suelo que pudiese estar salada (Casanova, 1998).

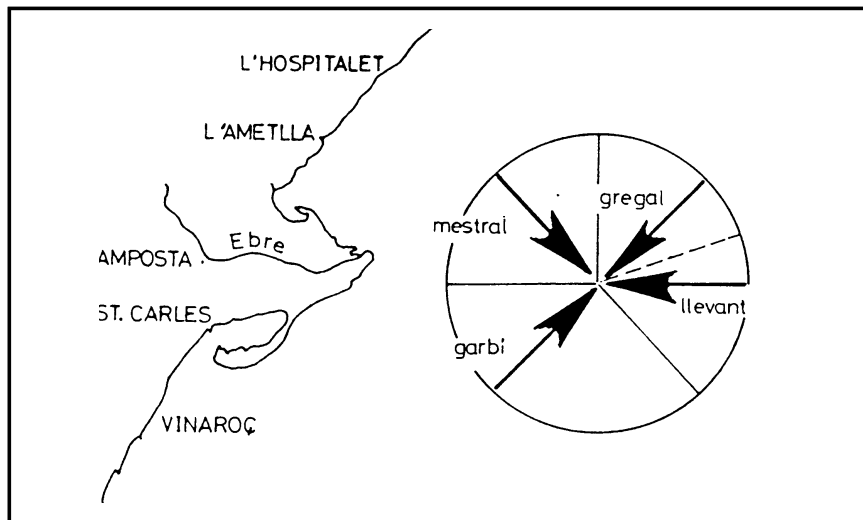
Los resultados en estudios como el de Casanova (1998) permiten distinguir en el agua de los arrozales dos fases bien definidas: una inicial, que comprende desde la siembra (a fines de abril) hasta que el arroz alcanza su máximo crecimiento (fines de junio), y otra fase final, que comprende los períodos de espigación y maduración del arroz (de agosto a octubre), separadas por un período de transición. La fase inicial se caracteriza por un elevado contenido de oxígeno disuelto y alto pH, siendo todo lo contrario en la fase final. En el período de transición, se produce el desencadenamiento de varios cambios en el cultivo y en su sistema acuático, al parecer producidos por los tratamientos con productos químicos (biocidas) que realizan los agricultores.

### **I. 2.5- Climatología**

El delta del Ebro goza de un clima templado Mediterráneo, con temperaturas suaves en el invierno y con veranos secos y calurosos. La humedad del ambiente suaviza dichas temperaturas, cuya media anual se sitúa en los 17° C. La niebla es frecuente, así como los vientos invernales de componente norte (tramontana), nordeste (gregal) y noroeste (mestral), conocidos como “vents de dalt” o Mistral (Muñoz, 1990). El levante, viento húmedo portador de lluvias, sopla en primavera. Con respecto a las intensidades de los vientos antes mencionados, muchas veces son notables, dadas las características de una llanura sin protección orográfica y muchas veces son los generadores de oleaje e inductores de circulación en la costa según Jiménez (1996) (Ver Figura 9). Los periodos de lluvias se sitúan generalmente entre enero y mayo, teniendo lugar a inicios del otoño las lluvias torrenciales características de toda la cuenca mediterránea.

Para el período comprendido en los años 1986 y 1987, los datos sobre temperatura del aire, correspondientes al observatorio meteorológico del Ebro, ubicado en la ciudad de Tortosa, indican que la temperatura media mensual más baja, correspondió al mes de enero de 1987 con 8,6° C y la más alta correspondió al mes de agosto de 1987 con 26,4° C. Con respecto a las precipitaciones, fue posible observar

precipitaciones totales elevadas en el mes de octubre de 1986 con 174,9 mm, repitiéndose las altas precipitaciones en octubre de 1987 con 215,3 mm. Mientras que el mes con precipitación más baja correspondió a marzo de 1987 con 3,7 mm.



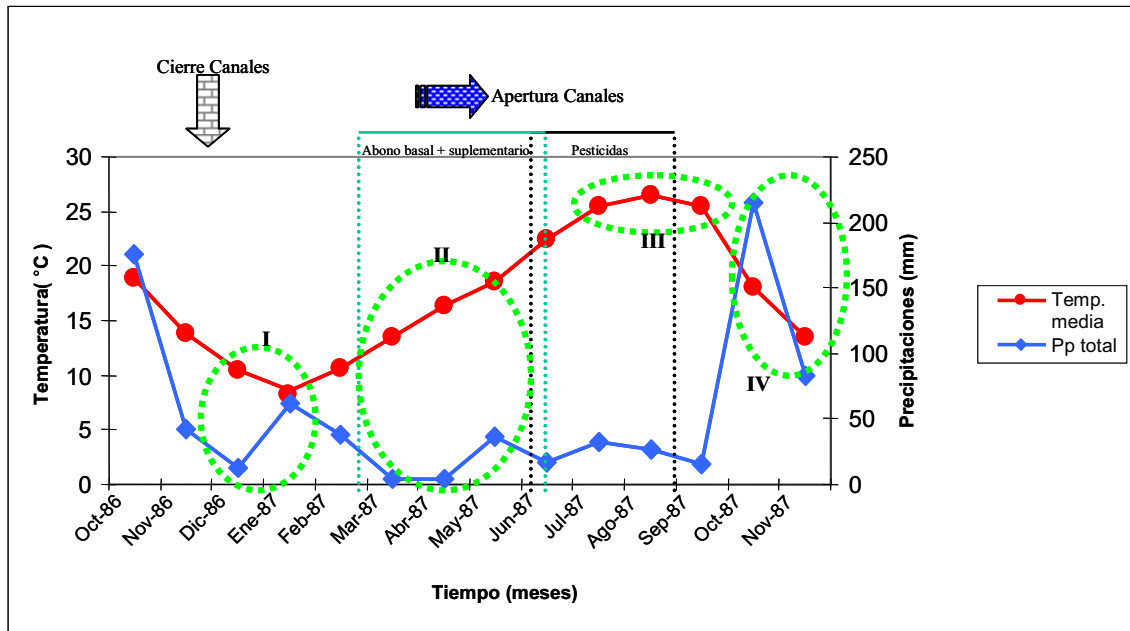
**Figura 9.- Vientos dominantes en el delta del Ebro (García, 1982).**



De la Figura 10 es posible observar durante el período de estudio al menos 4 situaciones meteorológicas diferentes; la primera donde se presentan bajas temperaturas y bajas precipitaciones (**I**: invierno; diciembre de 1986 a febrero de 1987), una segunda situación donde encontramos un alza en la temperatura ambiental y bajas precipitaciones (**II**: primavera: marzo a junio de 1987), una tercera situación donde la temperatura ambiental sigue en ascenso hasta alcanzar los máximos estivales y una baja precipitación (**III**: verano; junio a septiembre de 1987) y finalmente una época otoñal donde se observa un descenso en la temperatura ambiental y hay un aumento significativo en la precipitación (**IV**: otoño; octubre a noviembre de 1987)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Fuente: Instituto Nacional de Meteorología; Valores normales y estadísticos del observatorio meteorológico del Ebro, Tortosa (1961-1990).



**Figura 10 .- Gráfico de temperatura media (°C) versus precipitaciones totales (mm), entre los meses de octubre de 1986 y noviembre de 1987, en la estación meteorológica del Ebro en Tortosa. Los números romanos, sobre los círculos punteados verdes, indican situaciones meteorológicas diferentes, durante el período de estudio. (Fuente: Instituto Nacional de Meteorología; valores normales y estadísticos del observatorio meteorológico del Ebro)**



## CAPÍTULO I

### I. 3.- Objetivos

1.- Caracterizar la masa de agua y su dinámica anual en la bahía del Fangar a partir de parámetros, tales como la temperatura, la salinidad, oxígeno disuelto, los nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos, etc.) y el material particulado.

2.- Analizar las posibles interrelaciones y su importancia entre los parámetros bióticos y abióticos medidos (temperatura, salinidad).

3.- Buscar interacciones entre los parámetros medidos, tales como estacionalidad, índices de variación y tendencias, para el período del estudio.

4.- Proponer un modelo multinivel, con el fin de explicar la variación en la concentración de la “clorofila-a” con respecto a los diferentes parámetros medidos en la bahía a lo largo del período del estudio.

### **I.3.1.-Estructura del trabajo**

La presente tesis incluye en el capítulo I, una breve justificación de la investigación, posteriormente una descripción general del delta del Ebro. Sus características climáticas, oceanográficas, de cultivos (terrestres y marinos). Finalizando con y los objetivos del estudio.

En el capítulo II se explican los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la tesis.

A continuación en el capítulo III se desarrollan los resultados obtenidos de la investigación, separados en 4 ítems; Descripción de la variación de los parámetros estudiados, análisis multivariado de los parámetros, análisis de serie de tiempo y finalmente la construcción del modelo lineal mixto que nos explique las variaciones aleatorias de la clorofila-a en la bahía.

En el capítulo IV se desarrollan las discusiones del estudio.

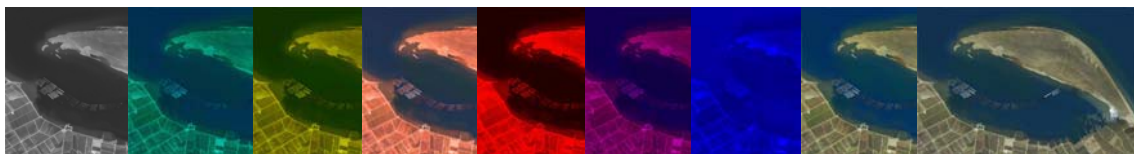
A continuación en el capítulo V se encuentran las conclusiones de la tesis.

Posteriormente en el capítulo VI hace referencia a las recomendaciones para tener en cuenta en próximos estudios.

Le sigue la bibliografía utilizada para el desarrollo de este estudio.

Finalmente y posterior a la bibliografía se adjuntan anexos con los resultados de las figuras “no significativas” del análisis de serie de tiempo.

## CAPÍTULO II



## MATERIALES Y MÉTODOS



## CAPÍTULO II

### II.- Materiales y Métodos

#### II. 1.- Área de estudio

Durante el período que va de octubre de 1986 a noviembre de 1987 se realizaron muestreos mensuales en 3 puntos de la bahía El Fangar, distribuidos de forma paralela a la costa (véase Figura 11).

Se escogieron 3 estaciones como puntos representativos en la bahía (boca, zona media y fondo de bahía) y uno de ellos coincide con la maricultura presente en el área (E f2). En todas las estaciones se muestreó a 3 niveles de profundidad: un primer nivel a los 30 cm de profundidad (superficie), otro nivel intermedio a los 2 m (medio), y un último nivel a los 4 m (fondo), tratando de esta manera el poder caracterizar la bahía en su dimensión vertical. Fondo se refiere a la profundidad de columna de agua cercana al fondo (50-60cm).

Estas estaciones se denominaron de la siguiente manera:

Fangar1 (E f1); estación que se encontraba en la boca de la bahía y cuya ubicación geográfica era Latitud: 40°47'2.36''N - Longitud: 0°43'25.46''E.

La estación Fangar2 (E f2); ubicada en las instalaciones del vivero “Devimar S.A.”, ubicada en la Latitud: 40°46'16.16''N – Longitud: 0°44'38.76''E.

Finalmente la estación Fangar3 (E f3); ubicada más al interior de la bahía (cercana a la barra del Fangar), de Latitud: 40°46'26.36''N – Longitud: 0°46'15''E.

Los muestreos consistieron en la medición directa de algunos parámetros (temperatura, salinidad, oxígeno) en las estaciones y profundidades establecidas, y en coleccionar muestras de agua de mar para su posterior análisis en el laboratorio.





**Figura 11.- Fotografías satelitales del delta del río Ebro (España; Cataluña; Mediterráneo occidental) y de la bahía “El Fangar” con las correspondientes estaciones de muestreo. (Fuente: Google Earth TM – 2007).**

## **II. 2.- Toma de datos en *Situ***

### Temperatura del agua de mar (° C)

Este parámetro se midió en cada estación y profundidad con un sensor de temperatura (termistor) anexo al oxímetro WTW, modelo oxi 91.

### Salinidad

La salinidad se midió utilizando un conductímetro, que se encontraba anexo al oxímetro WTW, modelo oxi 91. Las mediciones se realizaron para cada una de las estaciones y profundidades descritas anteriormente. La conductividad era directamente corregida a temperatura de 25°C. Se contaba con un sensor de repuesto, por si fallaba el que se utilizaba comúnmente. Además se realizaban calibraciones del aparato antes de cada salida a campo. No se utilizaron unidades en los valores de salinidad, sugerido en Reverdin *et al.*, 2002.

### Oxígeno disuelto (mg/l)

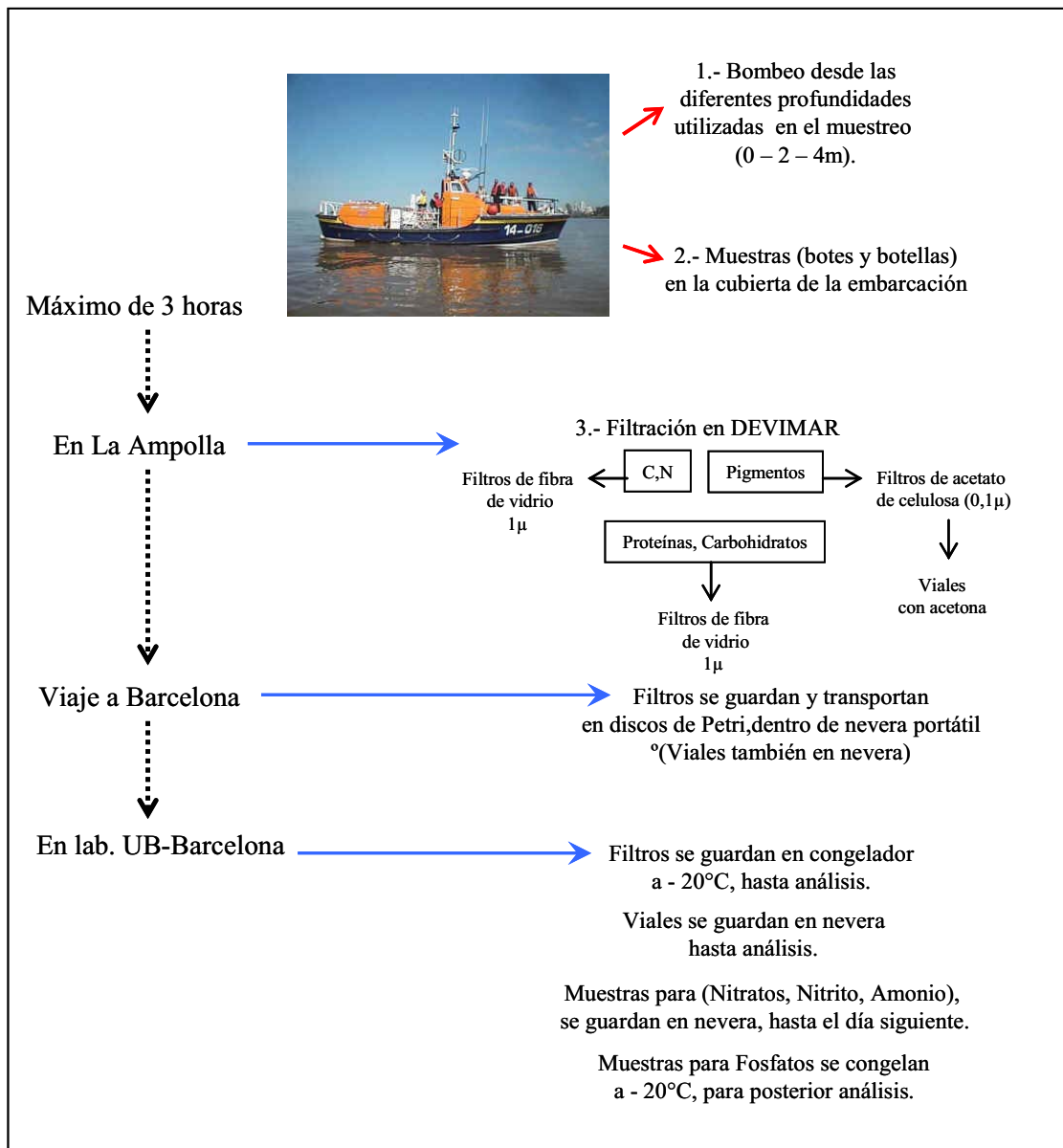
El oxígeno en este estudio se midió por medio de un oxímetro marca WTW, modelo oxi 91, en cada una de las estaciones y profundidades descritas anteriormente.

#### **II.2.1.- Muestreos (ver Figura 12, *esquema*)**

Los muestreos de agua de mar en las distintas estaciones y profundidades se llevaron a cabo utilizando una embarcación de 5m de eslora y con un motor de 10HP, propiedad de DEVIMAR S.A. (Depuradora y Viveros Marinos, S.A.), la cual salía hacia la bahía desde su propio embarcadero. A bordo de la embarcación se utilizó un sistema de bombeo de agua, consistente en una bomba de succión sumergible (marca JABSCO; modelo 18490-0000; 12 volts; 8,5 amps), provista de una manguera de 20mm, con marcas cada metro, desde la boca de succión. La bomba estaba alimentada por corriente continua proporcionada por una batería de automóvil, mediante cables. Este sistema tuvo un funcionamiento plenamente satisfactorio, proporcionando un caudal de hasta 6 lpm. Se esperaban entre 30 – 45 segundos cada vez que se hundía la manguera de succión a la siguiente profundidad para coger la muestra, con el fin de asegurarse que el agua recogida correspondía a la profundidad de muestreo. En la boca de salida de la manguera, es decir donde se tomaba la muestra, el agua era filtrada a través de una red

de plancton de 0,3mm. A continuación eran llenados los diferentes recipientes (botes de 5l ó botellas de 1l) para la posterior determinación, el mismo día o al día siguiente, de:

- Nitrato y Nitrito
- Amonio
- Fosfatos
- Clorofilas y Pigmentos



**Figura 12.- Esquema que resume la metodología de muestreo en situ y en el laboratorio de la UB.**

- Carbono y Nitrógeno particulado
- Proteínas y Carbohidratos
- Partículas totales y Espectro de partículas
- Fitoplancton (fijación con lugol)
- Zooplancton (captura con red y fijación con formol al 5%)

### II. 3.- Análisis en laboratorio

#### Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{g at/l}$ )

Para el análisis se utilizó el laboratorio en Barcelona, ubicado en la Facultad de Biología.

El procedimiento de determinación del nitrato se basó en el método de Morris y Riley (1963) con modificaciones sugeridas por Wood *et al.* (1967), Grasshoff (1964), Morris *et al.* (1981) y Grasshoff *et al.* (1983), basados en la reducción de los nitratos a nitritos mediante una columna reductora de Cu/Cd en medio básico ( $\text{pH} \approx 8.5$ ). Posteriormente el ion nitrito reacciona con la sulfamida, en medio ácido, formándose un diazocompuesto que forma un complejo (de color rosado) con la N-naftilendiamida. La formación del complejo es proporcional a la concentración de nitrato. Para el nitrito, presente en el agua, se utilizó el método de análisis de aguas de Shinn (1941), adaptado para el agua de mar por Bendschneider y Robinson (1952) y con las modificaciones descritas por Grasshoff *et al.* (1983). Finalmente se realizan medidas de absorbancia con espectrofotómetro a 550nm.

#### Amonio $\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{g at/l}$ )

Las muestras, captadas por bombeo, fueron trasladadas al laboratorio en botellas de 1l refrigeradas, previamente etiquetadas. El amonio se midió según el método de Solorzano (1969), con algunas modificaciones menores. Las muestras son tratadas en un medio con citrato alcalino y con hipoclorito de sodio y fenol, en presencia de nitroprusiato de sodio que actúa como catalizador. El indofenol azul formado con amonio es el que posteriormente se lleva a lectura en espectrofotómetro modelo Shimadzu UV120-02, a 640nm, utilizando una cubeta de 10cm de largo (o más corta, para concentraciones excepcionalmente altas).

### Fosfatos PO<sup>4-</sup> (µg at/l)

Las muestras obtenidas por bombeo se recogieron en botellas de plástico de 500cc, previamente etiquetadas, que eran conservadas en una nevera portátil a la temperatura del agua y posteriormente guardadas en el congelador a -20°C. En el laboratorio se procedió al análisis siguiendo el método de Murphy y Riley (1962), que consiste en provocar la formación de un complejo fosfomolibdico de color azul mediante la adición de molibdato amónico en medio ácido. Se procedía a la posterior lectura colorimétrica en un espectrofotómetro modelo Shimadzu UV120-02, a 880nm.

### Clorofilas (µg/l) y Feopigmentos (µg/l)

Se siguió el protocolo de Jeffrey y Humphrey, 1975 (según Parson *et al.*, 1984) y Lorenzen y Jeffrey, 1980 (en: Determination of photosynthetic pigments in sea water. UNESCO, 1969 y UNESCO, 1980).

En el laboratorio de DEVIMAR se filtraba un volumen de 500ml de muestra a través de filtros de acetato de celulosa de 0,45µm (Millipore) que posteriormente eran colocados en viales con 6ml de acetona al 90% y envueltos en papel de aluminio y guardados en nevera a +5°C. En el laboratorio, se procedía a la lectura a 750, 664, 647, 630, 510, 430nm en un espectrofotómetro modelo Shimadzu UV120-02. Posteriormente se determinó la concentración de cada pigmento (a, b y c) en las muestras, utilizándose las siguientes formulas (Parson *et al.*, 1984) y corrigiendo al volumen filtrado:

$$(Cl a) \text{ Clorofila a } \mu\text{g/l} = 11.85 E_{664} - 1.54 E_{647} - 0.08 E_{630}$$

$$(Cl b) \text{ Clorofila b } \mu\text{g/l} = 21.03 E_{647} - 5.43 E_{664} - 2.66 E_{630}$$

$$(Cl c) \text{ Clorofila c } \mu\text{g/l} = 24.52 E_{630} - 1.67 E_{664} - 7.60 E_{647}$$

Para feopigmentos el procedimiento era el mismo, solo que en el método colorimétrico se procedía a la lectura a 665nm y 750nm. Con los valores obtenidos se calcula según la ecuación para los feopigmentos de Lorenzen y Jeffrey (1980) en Parson *et al.* (1984):

$$\text{Feopigmentos (mg/m}^3\text{)} = \frac{26.7 (1.7 (665_a - 665_o)) \times v}{V \times l}$$

Donde;

$665_0$  = lectura a 665 antes de la acidificación con HCl

$665_a$  = lectura a 665 después de la acidificación con HCl

$v$  = volumen de acetona (al 90%) utilizado en el extracto (ml)

$V$  = volumen de agua filtrada en la muestra (l)

$l$  = longitud de la cubeta

### **Algunos aspectos generales sobre las metodologías utilizadas en la determinación de clorofilas y feopigmentos**

Queremos en este punto tratar brevemente sobre aspectos metodológicos utilizados en la determinación de clorofilas, mencionando algunos estudios comparativos (Billington, 1991) de las diferentes metodologías utilizadas por autores como Rivera *et al.* (2005) y Murray *et al.* (1986) donde discuten sobre el método HPLC concluyendo que proporcionaría una separación física de los pigmentos, solucionándose de esta manera mucha interferencia y problemas de calibración.

Otros autores como Lorenzen y Jeffrey (1980) consideran que el método cromatográfico debe ser esencial siempre cuando se necesite conocer la composición del pigmento, siendo el más ampliamente recomendado el empleo de cromatografía en determinación de pigmentos. Sin embargo, los estudios ambientales a menudo requieren de grandes números de análisis para clorofila y en estas circunstancias los métodos espectrofotométricos y/o métodos fluorométricos pueden ser la opción preferente en vista de su gran simplicidad, velocidad y a la conveniencia de un resultado simple (Murray *et al.*, 1986). También se debe recordar que, donde la estimación de biomasa es el objetivo último, el error analítico puede estar contrarrestado por la presencia otras incertezas (Lehman, 1981).

Las precisiones obtenidas por los métodos espectrofotométricos y fluorométricos son compatibles con las sugeridas y encontradas por Strickland y Parsons (1972). La precisión encontrada para el método HPLC, es ligeramente inferior, y debe ser la esperada, considerando que se requiere una mayor manipulación de muestras (Murray *et al.*, 1986). Para muestras de clorofila-a el método HPLC (rápido) entrega resultados que son aproximadamente 35 % más bajos que los otros métodos (Murray *et al.*, 1986).

En general y específicamente para la clorofila-a no hay ninguna prueba que muestre una diferencia sistemática entre el HPLC y los métodos ópticos, a condición de que los

objetivos que se busquen de la muestra (estudio) apunten a la identificación de alómeros y clorofilidos (Devlin, 1976; Barceló *et al.*, 1980; Murray *et al.*, 1986).

Murray *et al.* (1986) creen que la naturaleza no fiable de la corrección de feofitina (Barceló *et al.*, 1980), tanto en el método espectrofotométrico como en el método fluorométrico, es responsable de algunas de las diferencias que se han observado. En particular, esto explicaría la mejor relación de los resultados del método espectrofotométrico no corregidos con el método HPLC, para el caso de muestras con baja concentración de feofitina.

#### Carbono y Nitrógeno orgánico particulado ( $\mu\text{g/l}$ )

Las muestras de agua fueron recogidas en botellas de vidrio de color ámbar de 1l, con tapa de rosca con teflón, previamente lavadas con una mezcla sulfocrómica para eliminar todo resto de materia orgánica y enjuagadas con agua ultrapura. En el laboratorio de DEVIMAR las muestras se filtraron en filtros de fibra de vidrio (Millipore AP15 de 45mm de  $\varnothing$ ), de  $1\mu$  de tamaño de poro, previamente calcinados a  $500^\circ$ . Luego estos filtros eran puestos en obscuridad y transportados al laboratorio en una nevera portátil, a la temperatura del agua de mar, y posteriormente almacenados en el congelador a  $-20^\circ\text{C}$ , hasta su análisis. Posteriormente los filtros eran analizados conjuntamente tanto para C, como para N, en el Servicio Científico Técnico (SCT) de la UB, agregándoles como catalizador el pentóxido de vanadio. La determinación de C y N se realiza mediante la técnica de combustión/pirólisis y análisis de los gases resultantes en un analizador elemental (Carlo Erba, Modelo 1500). Se hizo una combustión completa de la muestra con exceso de oxígeno obteniendo los gases;  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{SO}_2$ , que se separan y cuantifican mediante cromatografía de gases.

#### Proteínas ( $\mu\text{g/l}$ )

Se tomaron las muestras de agua de las diferentes estaciones y profundidades en botellas de 1litro, posteriormente se filtraron en las instalaciones de Devimar en filtro de fibra de vidrio. A continuación se pusieron en una nevera para su conservación y posterior análisis en laboratorio. Una vez en este, la determinación de la concentración de las proteínas totales, se realizó por el método colorimétrico descrito por Bradford (1976) con las modificaciones realizadas por Setchell (1981). Se utilizó un “kit” de la casa Bio-Rad Laboratorios (1985. Richmond, CA, U.S.A.).

Las muestras son tratadas con reactivos (como el reactivo que se realiza disolviendo el magnesio 100 de Coomassie G250 azul en 50 ml de etanol al 95%. La solución después se mezcla con 100 ml de ácido fosfórico del 85% y se compone a 1 L con agua destilada. El reactivo se debe filtrar a través del papel de filtro Whatman N° 1 y después guardar en una botella ámbar en temperatura ambiente. Es estable por varias semanas. Sin embargo, durante este tiempo el tinte puede precipitarse de la solución, así que el reactivo guardado se debe filtrar antes del uso) y leídas a 595nm en el espectrofotómetro Shimadzu UV120-02.

#### Carbohidratos (particulado) ( $\mu\text{g/l}$ )

Las muestras de agua de mar colectadas en las diferentes estaciones y profundidades eran filtradas a través de una red de plancton limpia, de 0,3mm, para de esta manera remover el zooplancton grande. En DEVIMAR las muestras eran filtradas en un filtro de fibra de vidrio (Whatman GFC con tamaño de poro de 1-2 $\mu$ ) que se transportaba a Barcelona y se congelaba a -20°C, hasta su análisis. El método consiste en hidrolizar el filtro de fibra de vidrio con HCl y posteriormente determinar por solución MBTH (3-metil-2-benzothiazolinona hidrazona hidrocloreuro) el carbohidrato total particulado en la muestra, utilizando otros reactivos especiales (KBH<sub>4</sub>; cloruro ferroso; acetona; HCl; solución ácida periódica), en Parson *et al.*, 1984.

#### Partículas totales ( $\mu\text{m}^3$ ) y Espectro de partículas

Se realizó por conteo de cada una de las muestras obtenidas de las diferentes estaciones y profundidades, que se fijaban con unas gotas de lugol en el momento del muestreo. Al día siguiente, estas muestras fueron diluidas con agua de mar filtrada (tomando 5ml y llevándolos a 100ml de volumen a medir) y llevadas a un contador de partículas TAI (Coulter Electronics LTD.). De esta manera se tuvo el total de partículas y todo el espectro de partículas presentes en la muestra, en tamaños comprendidos entre 2 y 150 $\mu$ .



## **II. 4.- Análisis estadísticos de los datos**

### **II. 4.1.- Descripción de la variación de los parámetros medidos en la bahía El Fangar**

Para poder realizar la descripción de los parámetros medidos en la bahía se utilizó el programa SURFER<sup>®</sup> 6 (versión 3.2), donde se diseñaron gráficas que muestran la variación del parámetro en el tiempo, para cada profundidad y estación (de Figura 13 a la Figura 28). En este caso, la variabilidad de parámetros se presentó con diferencias de colores o caracteres de pigmentación y líneas. También se utilizó el programa S-PLUS<sup>®</sup> 4.5 en la creación de algunos gráficos condicionados.

### **II. 4.2.- Análisis Multivariado de los datos**

El objetivo principal del análisis multivariado es establecer relaciones o clases naturales sobre una colección heterogénea de objetos. En general, el análisis multivariado estudia, interpreta y elabora material estadístico sobre la base de un conjunto de  $n > 1$  variables, que pueden ser cuantitativas, cualitativas o una mezcla de estas (Mardia *et al.*, 1979; Cuadras, 1981). La información es multidimensional, permitiendo trabajar con muchas variables. Los supuestos son que las  $n$  variables son dependientes, de naturaleza similar y ninguna variable es de importancia superior a otra (Seber, 1984). Los métodos de análisis multivariado se detallan y resumen en la Figura 8.

Para estudiar los datos obtenidos, se utilizó el “Análisis de Componentes Principales” (ACP). El Análisis de Componentes Principales (ACP) pertenece a un grupo de técnicas estadísticas multivariantes, eminentemente descriptivas. Esta es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número, perdiendo la menor cantidad de información posible.

Los nuevos componentes principales o factores que se generan a partir de los datos serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí.

Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada “*a priori*”, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá pues, que estudiar tanto el signo, como la magnitud de las

correlaciones). Esto no siempre es fácil, siendo de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación.

El ACP permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando el conjunto de  $p$  variables originales en otro conjunto de  $q$  variables no correlacionadas ( $q \leq p$ ) llamadas componentes principales.

Las  $p$  variables son medidas sobre cada uno de los  $n$  individuos (o puntos de muestreo), obteniéndose una matriz de datos de orden  $np$  ( $p < n$ ).

En el ACP existe la opción de usar la matriz de correlaciones o bien, la matriz de covarianzas a partir de los datos originales. En la primera opción se está dando la misma importancia a todas y a cada una de las variables (para hacer la relación de variables independientes de la magnitud, sobre todo cuando las variables originales son de diferente magnitud). Esto puede ser conveniente cuando se considera que todas las variables son igualmente relevantes. La segunda opción (covarianzas) se puede utilizar cuando todas las variables tienen las mismas unidades de medida, cuando se juzgue conveniente destacar cada una de las variables en función de su grado de variabilidad.

Las  $q$  nuevas variables (componentes principales) son obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales. Los componentes se ordenan en función del porcentaje de varianza explicada. En este sentido, el primer componente (componente 1) será el más importante por ser el que explica mayor porcentaje de la varianza de los datos. Queda a criterio decidir cuántos componentes se elegirán en el estudio. El análisis se realiza en el espacio de las variables y, en forma dual, en el espacio de las estaciones. Se acostumbra a representar gráficamente los puntos-variables (columnas) y los puntos-estaciones (filas) tomando como ejes de coordenadas los componentes (Gabriel, 1971; Gabriel y Odoroff, 1990). A veces, puede facilitar la interpretación de los resultados el observar una ubicación similar de los puntos en los planos respectivos. Aunque el plano de puntos-variables no se superpone al plano de puntos-estaciones, es de gran utilidad "interpretar" la cercanía de un grupo de puntos-estaciones, a ciertas variables. Por otra parte, el ACP tiene la ventaja de no exigir supuestos tales como la normalidad u homocedasticidad.

Entre los usos más frecuentes del ACP están:

**1)** Como técnica de **análisis exploratorio** que permite descubrir interrelaciones entre los datos y de acuerdo con los resultados, proponer los análisis estadísticos más apropiados.

**2) Reducir la dimensionalidad de la matriz de datos** con el fin de evitar redundancias y destacar relaciones. En la mayoría de los casos, tomando sólo los primeros componentes, se puede explicar la mayor parte de la variación total contenida en los datos originales.

**3) Construir variables no observables** (componentes) a partir de variables observables. Por ejemplo la inteligencia de una persona no es observable directamente, en cambio, se pueden medir distintos aspectos de ésta mediante pruebas psicométricas. Las variables que miden los distintos aspectos de la inteligencia tienden a covariar; esto sugiere que expresan las mismas características, pero de diferente forma y que sólo hay un pequeño número de rasgos no directamente medibles, que se denominan **Indicadores sintéticos** y que vienen estimados por los componentes.

**4) Bajo ciertas circunstancias, es de gran utilidad usar estos componentes no correlacionados, como datos de entrada para otros análisis (como por ejemplo para un posterior análisis de validación de hipótesis).**

#### II. 4.2.1.- Cálculo de las puntuaciones factoriales

Para el cálculo y desarrollo del análisis se utilizó el programa S-PLUS<sup>®</sup> 4.5.

Las puntuaciones factoriales son aquellas puntuaciones que tienen los componentes principales, para cada caso, y que permitirán su representación gráfica.

En S-PLUS se calculan mediante la expresión basada sobre la siguiente definición propuesta por Mardia, Kent y Bibby (1979):

Si  $X$  es un vector aleatorio con media y covarianza de matriz  $\Sigma$ , entonces la transformación del componente principal es la transformación:

$$X \rightarrow y = \Gamma^t(x - \mu)$$

donde  $\Gamma$  es ortogonal, y  $\Gamma^t \Sigma \Gamma = \Lambda$ , es diagonal, y

$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_p \geq 0 \dots$ . El  $i$ ésimo componente principal de  $x$  puede ser definido como el  $i$ ésimo elemento del vector  $y$ , nombrado, como:

$$y_i = \gamma_i(x - \mu)$$

. Aquí  $\gamma_i$  es la  $i$ ésima columna de  $\Gamma$  y puede ser llamado el  $i$ ésimo vector de los **coeficientes de los componentes principales**.

Los coeficientes (o pesos) de los componentes principales, que representan un importante resumen de la influencia de las variables originales a los componentes principales, y por lo tanto forman una base fundamental a la interpretación.

#### **II. 4.2.2.- Interpretación de los factores**

Para que un factor sea fácilmente interpretable debe tener las siguientes características, muchas de las cuales son difíciles de conseguir:

- ◆ Los coeficientes factoriales deben ser próximos a 1.
- ◆ Una variable debe tener coeficientes elevados sólo con un factor.
- ◆ No deben existir factores con coeficientes similares.

#### **II. 4.2.3.- Interpretación de los gráficos**

Los puntos-estaciones y los puntos-variables se representan en los planos formados por cada par de componentes, que vienen a constituir los ejes del sistema de coordenadas.

#### **II. 4.2.4.- Representación de la nube de puntos-variables (columnas):**

Si se toma en cuenta el plano principal (formado por el primer y segundo componente) entonces un punto-variable viene representado por la coordenada que le corresponda a esa variable, en cada uno de esos componentes.

Las proximidades entre los puntos-variables indican el grado de correlación que existe entre ellas. Cuando la correlación es igual a uno, los puntos coinciden.

La coordenada de un punto sobre un eje es igual a la correlación de esa variable con respecto a éste. Por lo tanto, indica la contribución que esta variable tiene en la formación del eje. Para facilitar la interpretación se analizan los siguientes casos extremos:

- a) En el caso de que todas las **p** variables están no correlacionadas, se obtendrán **p** componentes igualmente importantes, que serán las mismas variables.
- b) En el caso de que todas las variables tengan una correlación perfecta se genera un solo componente, que es la combinación lineal de las **p** variables, igualmente ponderadas, y que explica el 100% de la variación total.
- c) En el caso de que se tenga una variable no correlacionada con las demás, uno de los componentes coincidirá con esta variable.

#### **II. 4.2.5.- Representación de la nube de puntos-estaciones (filas):**

Para interpretar la nube de puntos-estaciones en un plano principal, conviene tener en cuenta los siguientes aspectos:

- I) Los puntos-estaciones no quedan encerrados en un círculo de radio uno (1). Los puntos-variables sí.
- II) Un punto-estación situado en el extremo de uno de los ejes, significaría que ese individuo estaría muy relacionado con el respectivo componente.
- III) Cuando existen puntos-estaciones cercanos al origen, significaría que estas estaciones tienen poca o ninguna relación con los dos componentes.
- IV) Las proximidades entre estaciones se interpretan como similitud de comportamiento de éstas, con respecto a las variables. Por ejemplo, dos puntos-estaciones que están muy cercanos en el plano, significaría que ambas estaciones tienen valores próximos en cada una de las respectivas variables.
- V) Un punto-estación extremadamente alejado de la nube, podría significar una de estas dos cosas:
  - i) Que existe un error en la introducción del dato o en la medición.
  - ii) Que se trata de una estación excepcional, el cual conviene sacar del análisis principal y usarlo como estación (u observación) suplementaria. O bien, en el caso de que sean varios, analizarlos por separado.

En ambos casos, se requiere realizar un nuevo ACP.

Cuando se presentan varias nubes de puntos muy diferenciadas, significaría que puede haber varias sub - observaciones (“sub-poblaciones”) de estaciones (p. ej. estaciones más internas de la bahía, como E f2 y E f3 y a la profundidad del fondo). Si el propósito del estudio es detectar grupos diferentes, el ACP ha logrado su objetivo. Pero si el objetivo es estudiar la interrelación entre las variables (p. ej. temperatura, amonio, clorofila-a, etc.), la aparición de varias “sub-observaciones” de estaciones interferiría en este análisis, entonces convendría realizar un ACP en cada una de estas sub-poblaciones, pudiéndose comparar dos planos (uno referido a la nube de puntos-estaciones y el otro, a la nube de puntos-variables), para facilitar la interpretación de los resultados.

#### **II. 4.2.6.- Criterios para seleccionar el número de componentes**

Como ya se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos básicos del ACP es reducir la dimensionalidad de los datos. Lo ideal sería seleccionar el primero o los dos primeros componentes, ya que de esta forma se podría analizar en una recta o en un plano las posibles interrelaciones existentes entre los puntos variables y los puntos estaciones.

Los criterios que más se utilizan para decidir el número de componentes a seleccionar son:

**i) Gráfico de autovalores:** consiste en representar el porcentaje de variación explicada respecto al número del componente. En el eje de las ordenadas se registra el porcentaje de variación explicada. En el eje de las abscisas se coloca el número del componente según su orden de importancia de acuerdo a la variación explicada. Por lo general, los puntos del gráfico presentan una figura similar al perfil de una bota. Al analizar este gráfico se busca el punto de quiebre, donde el cambio de la pendiente se hace mayor, y la abscisa correspondiente a este punto indica el número de componentes a retener.

**ii) Promedio de autovalores:** se calcula el promedio de todos los autovalores y se eliminan aquellos autovalores que están por debajo de este promedio. Si se trabaja con la matriz de correlaciones, este promedio es uno. Mediante este criterio se tiende a retener menos componentes que en el criterio anterior y aunque es más objetivo, puede considerarse menos flexible ya que en el primer caso se puede elegir el número de componente, haciendo uso de su experiencia personal.

Aparte de los criterios señalados, es importante atender otros aspectos relacionados con la naturaleza de la investigación. Por ejemplo; un componente con muy poca contribución puede estar altamente correlacionado con alguna variable importante en la investigación, entonces no sería conveniente excluir este componente en el análisis final.

#### **II. 4.2.7.- Descripción de los datos**

En el archivo se ordenaron los datos de la base original, que correspondientes a la toma de muestras de agua de mar y a la medición de varios parámetros en la bahía El Fangar en el delta del Ebro. Las variables utilizadas en el análisis fueron las siguientes:

- **EstProf:** es una variable “resumen”, que tiene la información sobre estación, profundidad, y fecha en la que se recogieron los datos. Sus filas están organizadas de la

siguiente manera, por ejemplo: **F11071086**, significaría: dato recogido en la estación 1, en la profundidad 1, y en la fecha 07/10/86.

- **temperatura**
- **salinidad**
- **oxígeno**
- **nitratos**
- **nitritos**
- **amonio**
- **fosfatos**
- **clorofila-a**
- **clorofila-b**
- **clorofila-c**
- **feopigmentos**
- **carbono**
- **nitrógeno**
- **proteína**
- **carbohidrato**
- **partículas**

#### **II. 4.3.- Análisis de Series de Tiempo**

El análisis de la serie de tiempo, en este caso, considero tres componentes importantes a determinar;

**a) La variabilidad temporal:**

Se obtuvo determinando el índice de variación s-index (Chatfield, 1989; Bjørnstad *et al.*, 1999; Saito *et al.*, 1999). Este índice se obtuvo calculando el logaritmo de cada dato N. Posteriormente se calculó la desviación estándar sobre los datos logaritmizados (cabe recordar en este punto que si la serie de tiempo presenta ceros se debe sumar un 1). La desviación estándar de (log N) se calculó para toda la serie, posteriormente esta se separó de forma estacional en datos de otoño, invierno, primavera y verano. De esta forma se obtuvieron índices de variación (s-index) estacionales, logrando de esta manera, una medida de la variación que expresa cada variable a través del tiempo, aplicables a diferentes grupos de datos, lo que permitió además una diversa exploración

sobre las diferentes variables entregadas por los parámetros medidos en la bahía (Bjørnstad *et al.*, 1999; Saito *et al.*, 1999).

**b) La autocorrelación temporal: (( $k = \text{Corr}(Z_t, Z_{t-k})$ ))**

Es aquella que se relaciona a la memoria del sistema, es decir la correlación que puede existir entre una variable (ejemplo: salinidad) en una época determinada (tiempo; mes), al comparar con la misma variable en otro tiempo anterior o posterior. En una “serie de tiempo”, existen efectos acumulativos y multiplicativos a través del tiempo. El ejemplo más simple, para aclarar este punto, sería el de la estatura, donde existiría una correlación positiva entre la estatura que una persona tuvo el año pasado y la que tiene ahora. Esa correlación se va perdiendo a medida que se retrocede en los años, es decir, se pierde lo que se denominaría “memoria” del sistema (Chatfield, 1989). Ocurriría lo mismo en los sistemas naturales, ya que un posible aumento en la concentración de alguna variable duraría un período que se reflejaría en la estructura de la autocorrelación. Desde un punto de vista práctico, el análisis de autocorrelación indicaría si la variable presenta ciclos a través del tiempo y la duración de estos “ciclos”, pudiéndose hablar de fluctuaciones estacionales, que en el análisis se reflejarían como una correlación significativa. En general su labor sería la de medir la correlación de la serie consigo misma a distancia  $k$ . Esta función no depende del punto en el tiempo de referencia, solo dependerá de la distancia que separa a las observaciones. Para determinar la autocorrelación se utilizó en programa estadístico SPSS<sup>®</sup>, versión 11.5 para Windows, utilizándose el método del error típico del modelo de independencia, y con una probabilidad al 95% ( $\alpha=0,5$ ).

**c) Función de Correlación Cruzada:**

Este análisis se utilizó para evaluar si una variable (p. ej. temperatura) estaba correlacionada con otra (e.g. amonío), permitiendo de esta manera conocer la fluctuación de las variables a través del tiempo y a su vez saber si están correlacionadas de forma instantánea o con desfases (positivos o negativos). Un ejemplo clásico para el mejor entendimiento, sería el del viento que sopla sobre el agua. El viento comienza a soplar, luego este se intensifica y posteriormente, con un desfase  $k$  (que en realidad puede ser de  $-k$  a  $k$ ), el agua se empieza a mover. Al realizar un análisis de correlación simple no encontraríamos relación alguna. Pero si el análisis considera un desfase, se logrará primeramente comprender la relación y el tiempo en que tarda en manifestarse



esta relación. Para determinar la función de correlación cruzada se utilizó el programa estadístico SPSS<sup>®</sup>, versión 11.5 para Windows, con una probabilidad del 95% ( $\alpha=0,5$ ).

#### **II. 4.4.- Creación del modelo (lineal mixto) a proponer, con su correspondiente análisis estadístico.**

Previo a la ordenación de una base de datos para la creación del modelo lineal mixto (Laird y Ware, 1982; Vonesh y Chinchilli, 1997), se realizó un análisis exploratorio de los datos (Cnaan *et al.*, 1997).

El problema de datos ausentes, fue tratado específicamente con el método *ad-hoc* y precisamente la aproximación *cross-sectional* (Verbeke y Molenberghs, 2000), en la que el efecto del tratamiento esta representado por las diferencias de evolución en el tiempo. Se reemplazaron los valores que faltaban en la base de datos, por la media de observaciones disponibles en otras estaciones, para las mismas covariantes (media móvil).

Este análisis exploratorio permitió observar en algunos meses la presencia de 2 muestreos, es decir la repetición de muestreos para un mismo mes (debido a que se realizaron 2 muestreos en un mismo mes, en 2 ocasiones, noviembre de 1986 y mayo de 1987). Para controlar este problema, se optó por incluir una variable auxiliar, creándose 2 bases de datos idénticas, solo que las diferencias estaban en la presencia de esta variable auxiliar, las diferentes fechas del muestreo y la sustitución del valor del parámetro obtenido para ese día. Posteriormente mediante un ANOVA se comprobó que no había diferencia significativas entre las dos series de datos, por lo que para el análisis y posterior propuesta del modelo, se selecciono al azar solo una (Sáez, 2001).

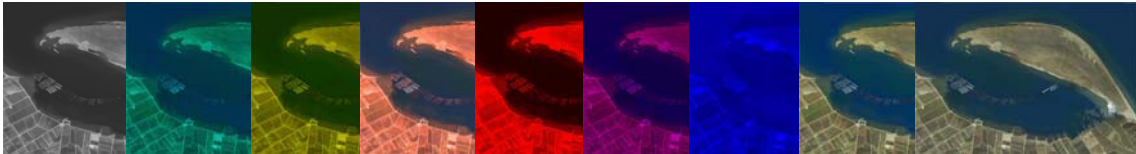
Se escogió como variable explicativa la clorofila-a ya que es el principal pigmento en plantas acuáticas, y microalgas. Además de un indicador de biomasa fitoplanctónica, base de la cadena alimenticia en el mar. Es probablemente el parámetro que con más frecuencia se estudia en oceanografía (Aminot y Rey, 2000). Y como análisis complementario a la propuesta del modelo para clorofila-a, se realizó la creación y propuesta del modelo “clorofilas totales” (como variable explicativa), donde se agregaron en esta variable la suma de clorofilas-a, b y c, medidas en el estudio.

En la creación de los modelos se utilizó el programa S-PLUS<sup>®</sup> 4.5 para Windows (Pinheiro y Bates, 2000; Venables y Ripley, 1999; Everitt, 1994), programa que

permitió tratar los datos estadísticos asociados (Davidian y Giltinan, 1995), así como también el análisis de los errores (residuos). Las estimaciones del modelo fueron al 95% de significancia ( $\alpha= 0.05$ ).



## CAPÍTULO III



## RESULTADOS



## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### III 1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS A LO LARGO DEL ESTUDIO.

##### **Temperatura**

La Figura 13a muestra las isotermas para las 3 estaciones estudiadas, destacando con colores rojos las altas temperaturas y con azules las bajas. En la Figura 13b se muestra la temperatura media del agua de mar con sus desviaciones correspondientes para las 3 estaciones, durante el tiempo del estudio.

En la gráfica superior (Figura 13a), correspondiente a la estación Fangar1 (**E f1**), ubicada en la boca de la bahía, es posible observar un aumento gradual de la temperatura a partir del mes de abril de 1987, con valores de 14,3°C, alcanzándose las más altas temperaturas entre los meses de julio y septiembre de 1987, con valores que oscilaron entre los 22° y 27,2°C. Por otra parte las temperaturas más bajas se encontraron entre los meses de diciembre de 1986 y febrero de 1987, con valores de entre 10,3° y 5,7°C.

Para la estación Fangar2 (**E f2**), correspondiente a la zona media de la bahía, y específicamente en los viveros, la temperatura tuvo un comportamiento similar a la estación anterior, con un aumento en los meses de julio a octubre de 1987, con valores entre los 23,5° y los 27,1°C. Entre los meses de diciembre de 1986 y marzo de 1987, las temperaturas alcanzaron los valores más bajos, entre los 12,8° y 4,9°C.

Finalmente la estación Fangar3 (**E f3**), ubicada en la zona interior de la bahía, presentó similares tendencias, con valores altos de temperatura entre los meses de julio y octubre de 1987, comprendidos entre 20,3° y 27,3°C. Las temperaturas mínimas se encontraron entre los meses de diciembre de 1986 y marzo de 1987, con valores que oscilaron entre los 8,2° y 15,6°C.

En general, la columna de agua (superficie, medio y fondo) se mantuvo estable y homogénea durante algunos meses del estudio. Fue posible observar zonas de alta temperatura (entre 25,9° y 27,3°C) en septiembre y octubre de 1987, que se ubicaron en el fondo, para las 3 estaciones estudiadas.

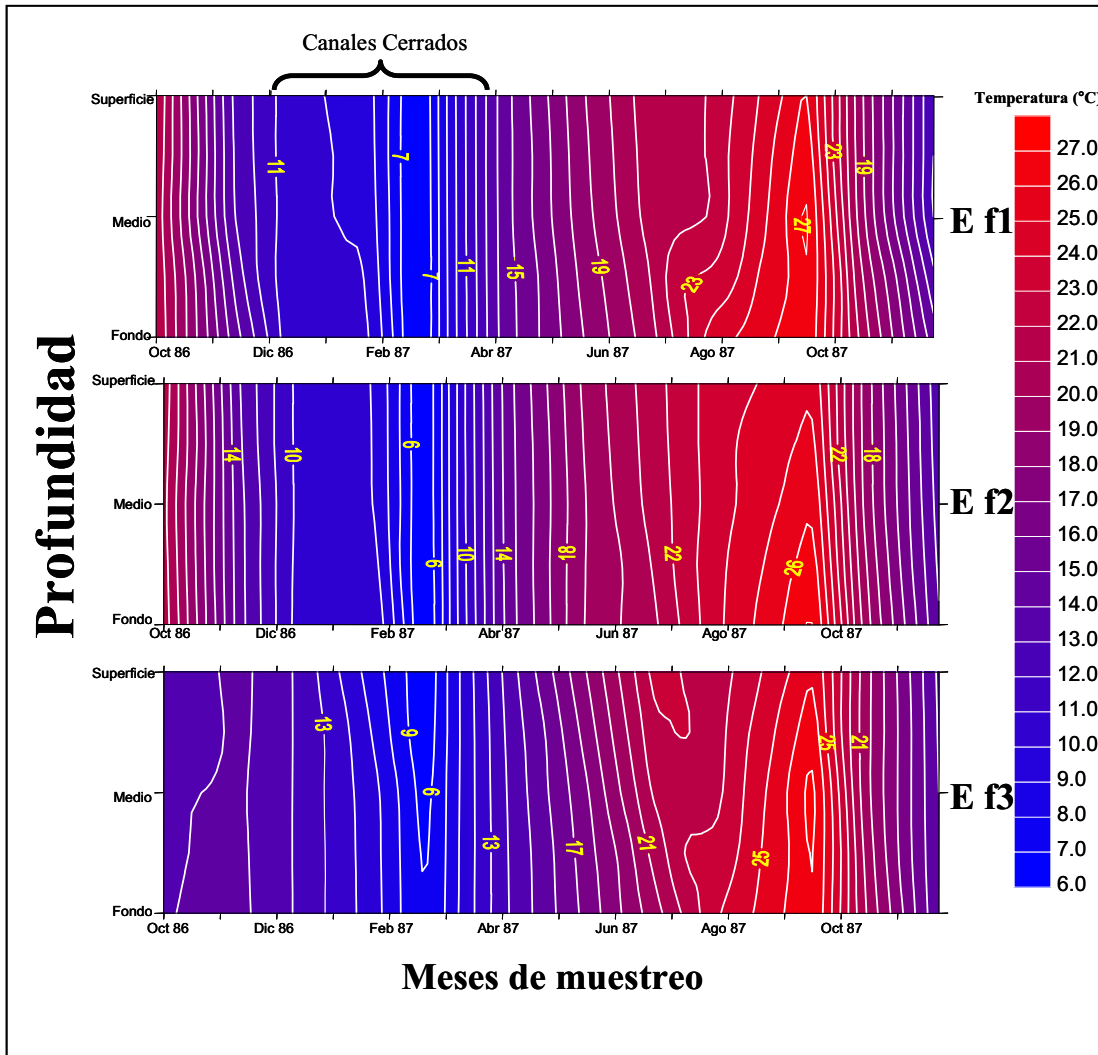


Figura 13a.- Gráficos de temperatura (isotermas), en la bahía del Fangar, a lo largo del periodo octubre de 1986 a noviembre de 1987.

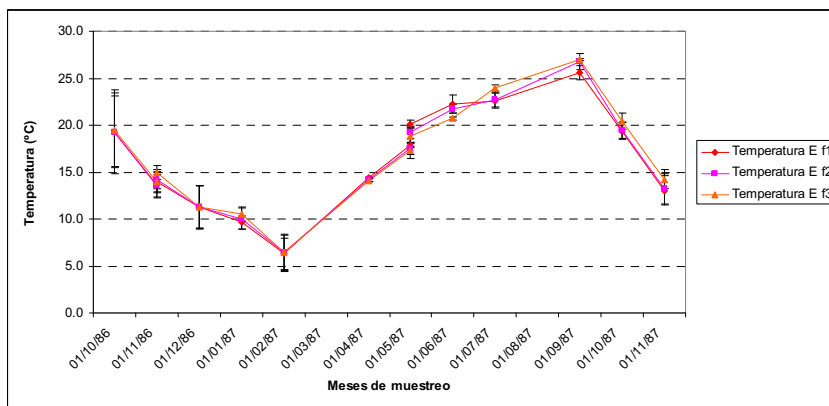


Figura 13b.- Temperatura promedio del agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el periodo de estudio.

También es posible observar que, en E f1 y para el período del otoño de 1986, el valor medio mínimo de temperatura se ubicó en el fondo, con 10,3°C, mientras que la máxima se ubicó en la superficie con 22°C. Se observa además que las temperaturas medias mínimas, para este período, presentaron variaciones mínimas en la columna de agua. Para el invierno de 1987 el valor medio mínimo volvió a ubicarse en el fondo con un valor de 5,7°C y la máxima con un valor de 10,3°C también se ubicó en el fondo. La temperatura media mínima en la columna de agua para este período fue muy similar en la columna de agua. En la primavera de 1987 el valor medio mínimo de temperatura se encontró en el fondo, y fue de 14,2°C, encontrándose el valor máximo en superficie, con 19,8°C. Además se observa que los valores medios mínimos de temperatura fueron similares en toda la columna de agua.

En el verano de 1987 se produce un aumento general en las temperaturas, la media de temperatura más baja se encontró en el fondo, alcanzando los 20,6°C, mientras que la media máxima se ubicó en la zona media de la columna de agua con 27,2°C. Para el otoño de 1987, el valor medio mínimo de temperatura, tanto en el nivel medio de la columna de agua, como en superficie, fue de 12°C, mientras que el valor medio máximo se encontró en el fondo, alcanzando los 20,8°C.

En la estación E f2 el valor medio mínimo de temperatura para el otoño de 1986 se encontró en la zona media de la columna de agua, con 12,3°C, ubicándose el valor medio máximo en la superficie con 21,7°C. Para el invierno de 1987, el valor medio mínimo de temperatura se encontró en superficie, con 9°C, mientras que la media máxima se ubicó en el fondo con 9,9°C, destacándose la poca oscilación térmica de la columna de agua (diferencia entre mínimos y máximos). La primavera de 1987 presentó un valor medio mínimo en el fondo de 4,9°C, mientras que la media máxima también se encontró en el fondo, con 18,3°C. Para el verano de 1987 el valor medio mínimo se encontró en el fondo, con 19,9°C, ubicándose también en esta profundidad el valor medio máximo, con 23,7°C. En el otoño de 1987 el valor medio mínimo de temperatura se encontró en superficie, con 18,5°C, ubicándose en el fondo la media máxima, con 27,1°C.

Para la estación E f3 se puede observar, en general, una tendencia similar a las otras estaciones, observándose que durante el período en que los canales se encuentran cerrados, la columna de agua se mantiene muy homogénea y fría (período invernal). También es posible encontrar un aumento de las temperaturas entre los meses de junio y



noviembre de 1987, para toda la columna de agua, llegando a valores máximos en la zona media de la columna de agua, con 27,3°C.

### **Salinidad**

La Figura 14a muestra las distribuciones de concentraciones de salinidad en los meses de muestreo y profundidad, para las 3 estaciones estudiadas, destacando con colores azules las altas concentraciones y con celestes las bajas. Mientras que en la Figura 14b se graficó la salinidad promedio del agua de mar en las 3 estaciones medidas en la bahía, durante el estudio.

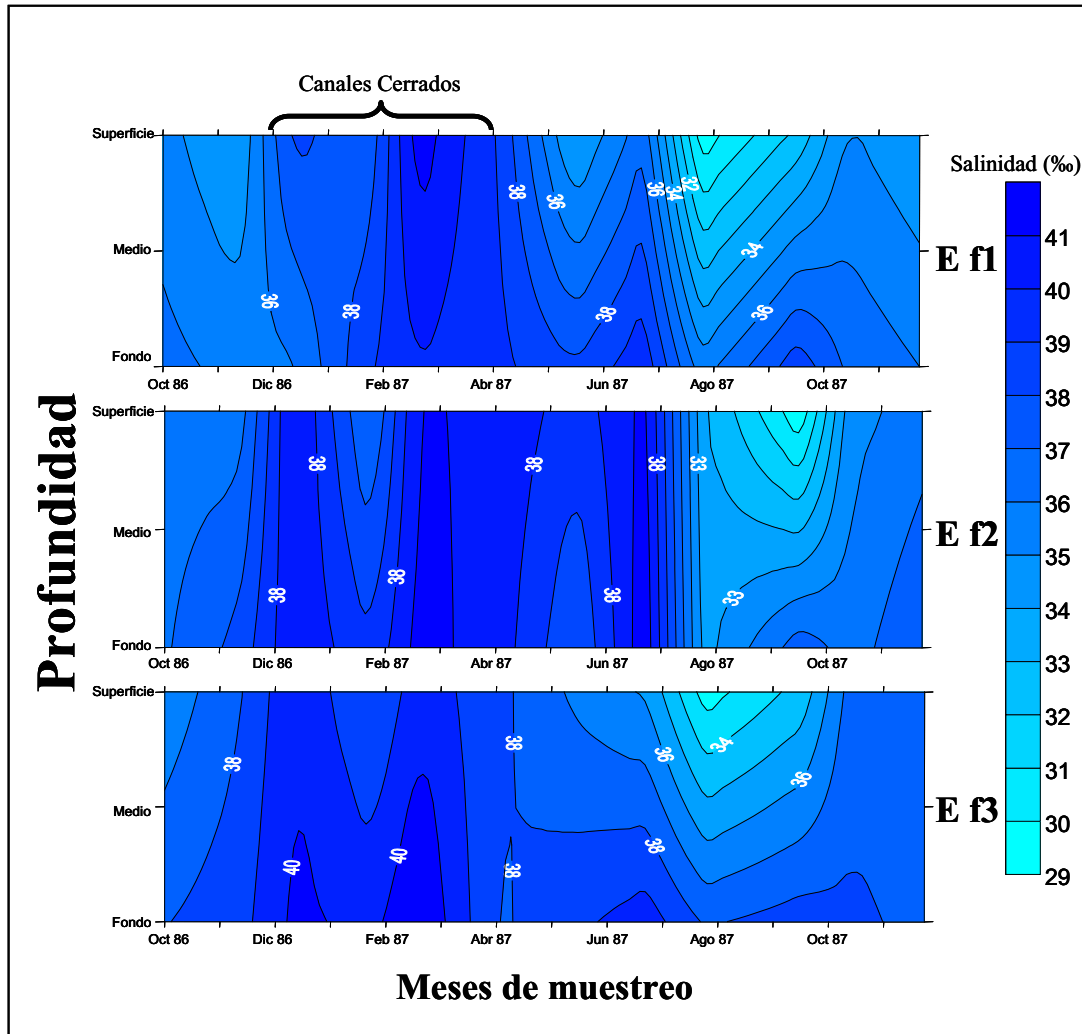
En la gráfica correspondiente a la estación E f1, se observa entre los meses de enero y mayo de 1987 (invierno - primavera) una masa de agua de elevada de salinidad, con un valor de 39 (febrero de 1987) y que abarca a toda la columna de agua, alcanzando el fondo. También es posible destacar tres zonas de agua de baja salinidad. La primera de estas zonas de agua con un valor de 33,3 estaba centrada en la superficie en el mes de noviembre de 1986. La segunda zona se ubicó entre mayo y junio de 1987, con valores entre 29,5 y 33,1, también en superficie. La tercera zona de baja salinidad, se generó en la superficie entre los meses de julio y octubre de 1987, con valores de entre 29,5 y 34,1. En el mes de agosto de 1987 esta zona alcanza el fondo de la bahía con un valor de 35,5. Es posible observar a fines de octubre de 1987, una zona de agua en el fondo, con una salinidad aproximada de 37.

En la estación E f2 es posible observar tendencias similares a la de la estación anterior. Una zona de agua de origen superficial entre los meses de enero y febrero de 1987, con un valor de 38,5. Entre abril y junio de 1987 es posible observar otra zona de agua en el fondo, capaz de llegar a superficie, con 38,4 (sin llegar a un mínimo superficial). Finalmente es posible observar una zona de agua superficial, de baja salinidad, entre los meses de julio y octubre de 1987, con valores comprendidos entre los 32,3 y 34,9, con valores en el fondo en el mes de agosto de 1987 cercanos al 32,7.

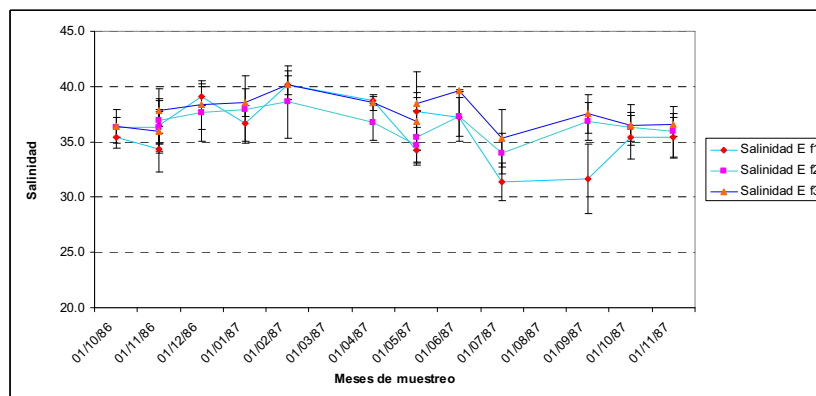
En la estación E f3 es posible observar que existen dos zonas de agua de alta salinidad en el fondo, en los meses de diciembre de 1986 (40,2) y febrero de 1987 (41,1). Entre julio y octubre de 1987 es posible ver una zona de agua superficial, con un valor mínimo de salinidad de 32,5, alcanzando los niveles medios de la columna de agua.

En general, entre noviembre de 1986 y junio de 1987, la estructura de la salinidad es relativamente homogénea y estable en la bahía, con valores de entre 38 y 41,06

(superficie y fondo), con la excepción de valores superficiales bajos (mínimos) en diciembre de 1986 y enero de 1987.



**Figura 14a.- Gráficos de concentraciones de salinidad en la bahía del Fangar, durante el período octubre de 1986 a noviembre de 1987.**



**Figura 14b.- Salinidad promedio del agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

## **Oxígeno (ml/l)**

La Figura 15a muestra las distribuciones de concentraciones de oxígeno (ml/l) para las 3 estaciones en los meses y profundidades estudiadas, destacando con colores azules las altas concentraciones y con celestes las bajas. En la Figura 15b se grafica la concentración promedio de oxígeno frente a los meses del estudio, para las 3 estaciones estudiadas.

En la estación E f1 es posible observar entre octubre de 1986 y febrero de 1987 un incremento de la concentración de oxígeno que pasa de 5,5ml/l a 7ml/l. A partir de febrero de 1987 se observa una disminución paulatina, hasta 5,0ml/l, en el mes de julio de 1987. Destaca el mes de febrero de 1987, donde se observó la máxima concentración de oxígeno con un valor de 6,8ml/l (máxima anual). En agosto y septiembre de 1987, la disminución se hace más drástica, hasta llegar a los 2,7ml/l en el fondo (mínimo anual), lo que correspondería a una zona hipóxica según Díaz y Rosenberg (1995). A partir de octubre de 1987, los niveles de concentración de oxígeno se recuperan hasta alcanzar los 5,9ml/l en la superficie, en el mes de noviembre de 1987.

En la estación E f2 se puede observar que, entre octubre y noviembre de 1986, existen concentraciones bajas de oxígeno, con valores de entre 4 y 5ml/l. Entre diciembre de 1986 y abril de 1987, se observa una zona de alta concentración, con un valor máximo de 7,5ml/l, observado en el mes de febrero de 1987, mientras que en el mes de junio de 1987, es posible observar un núcleo superficial de alta concentración de oxígeno, con un valor de 6ml/l. Posteriormente destaca una zona profunda de baja concentración de oxígeno, que abarca toda la columna de agua entre los meses de agosto y octubre de 1987, con un mínimo de 3,5ml/l en el fondo.

En la estación E f3 se observa que la columna de agua muy homogénea, con valores altos en concentración de oxígeno, que van desde 5,8 a 6,6ml/l, entre los meses de febrero y mayo de 1987. El máximo de 6,6ml/l se localiza en aguas superficiales en el mes de febrero de 1987. A partir de junio de 1987 comienza un descenso en la concentración de oxígeno. Es posible observar una estructura muy particular en la columna de agua que se presenta entre julio y octubre de 1987, con concentraciones altas en la superficie, alcanzando máximos de 5,4ml/l en septiembre y bajas concentraciones en zonas profundas con mínimos de 2,8ml/l, durante el mismo mes, constituyendo un fondo hipóxico. Esta estructura es típica de zonas con abundante producción de fitoplancton en la superficie (concentraciones de oxígeno elevadas), con una fuerte sedimentación y descomposición en el fondo (concentraciones de oxígeno

muy bajas, aceleradas por la elevada temperatura), como zonas eutróficas y zonas de descarga de aguas residuales.

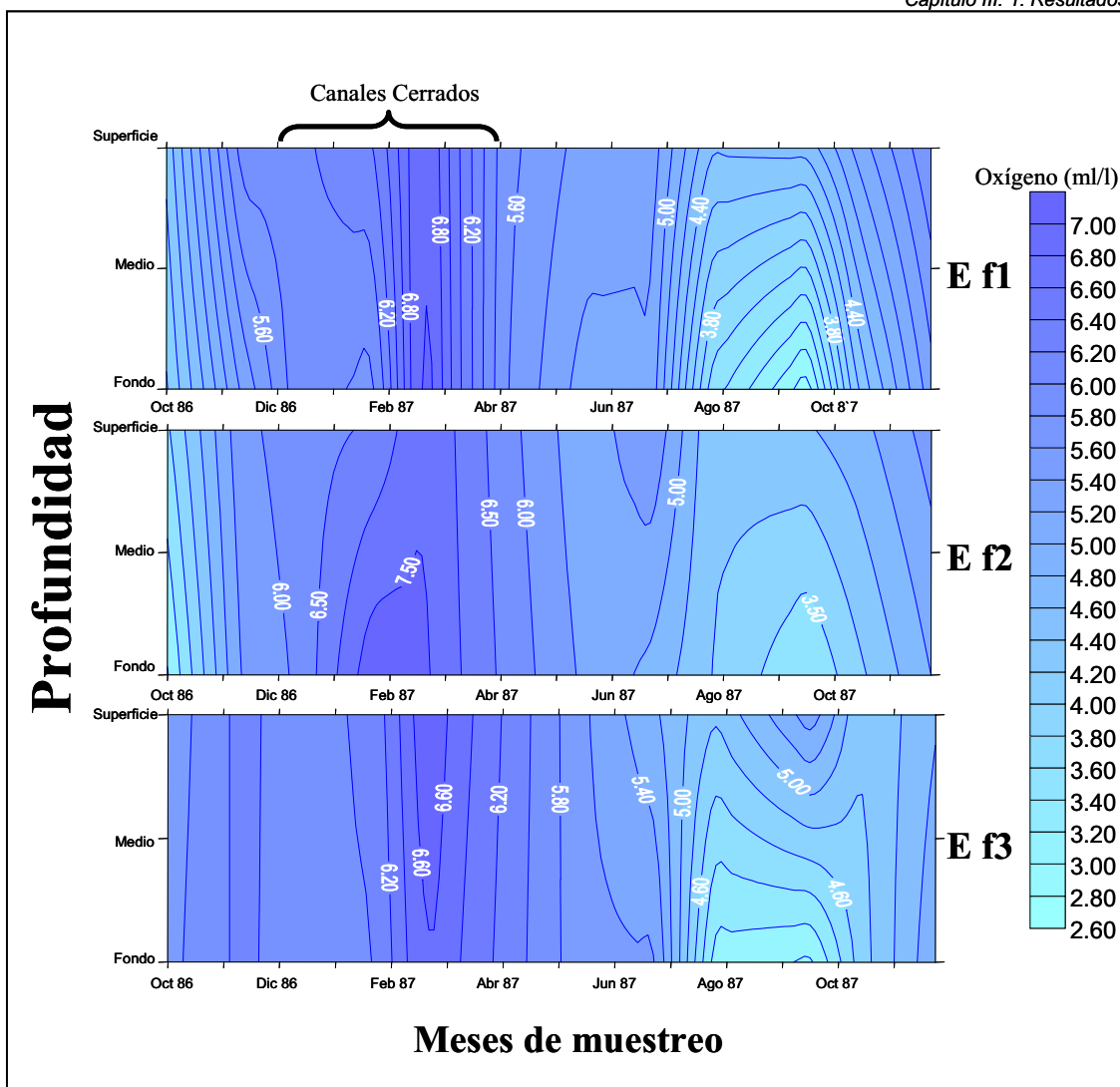


Figura 15a.- Gráficos de concentración de oxígeno (ml/l) en la bahía El Fangar, durante el período octubre de 1986 a noviembre de 1987.

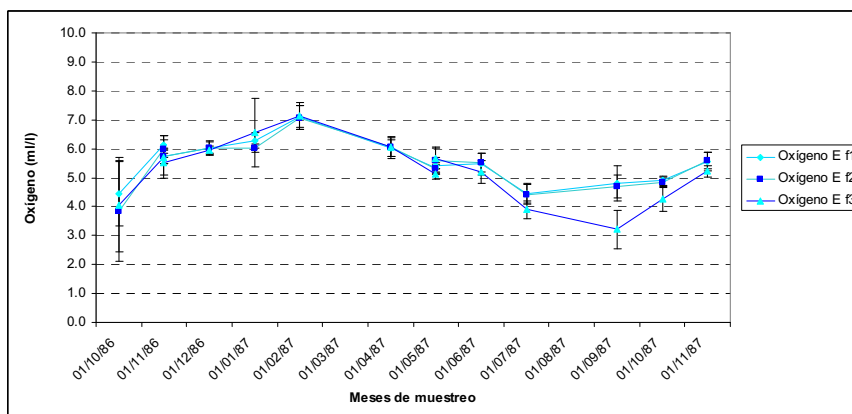


Figura 15b.- Oxígeno promedio del agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.

### **Nitratos ( $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ )**

La Figura 16a muestra las distribuciones de las concentraciones de nitrato en los meses y profundidades muestreadas, para las 3 estaciones estudiadas, destacando con tonalidad marrón las altas concentraciones y con ocre las bajas. En la Figura 16b se graficó la concentración promedio de nitratos frente a los meses del estudio, para las 3 estaciones medidas.

En la estación E f1 se destaca una alta concentración de nitratos a fines de enero de 1987, con niveles máximos de  $8,5\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en superficie. A finales de mayo de 1987 se observa un segundo máximo en superficie de  $3,5\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ .

En la zona media de la bahía, en la estación E f2, la columna de agua presentó también concentraciones altas de nitrato a fines del mes de enero de 1987, con valores de  $17,6\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ .

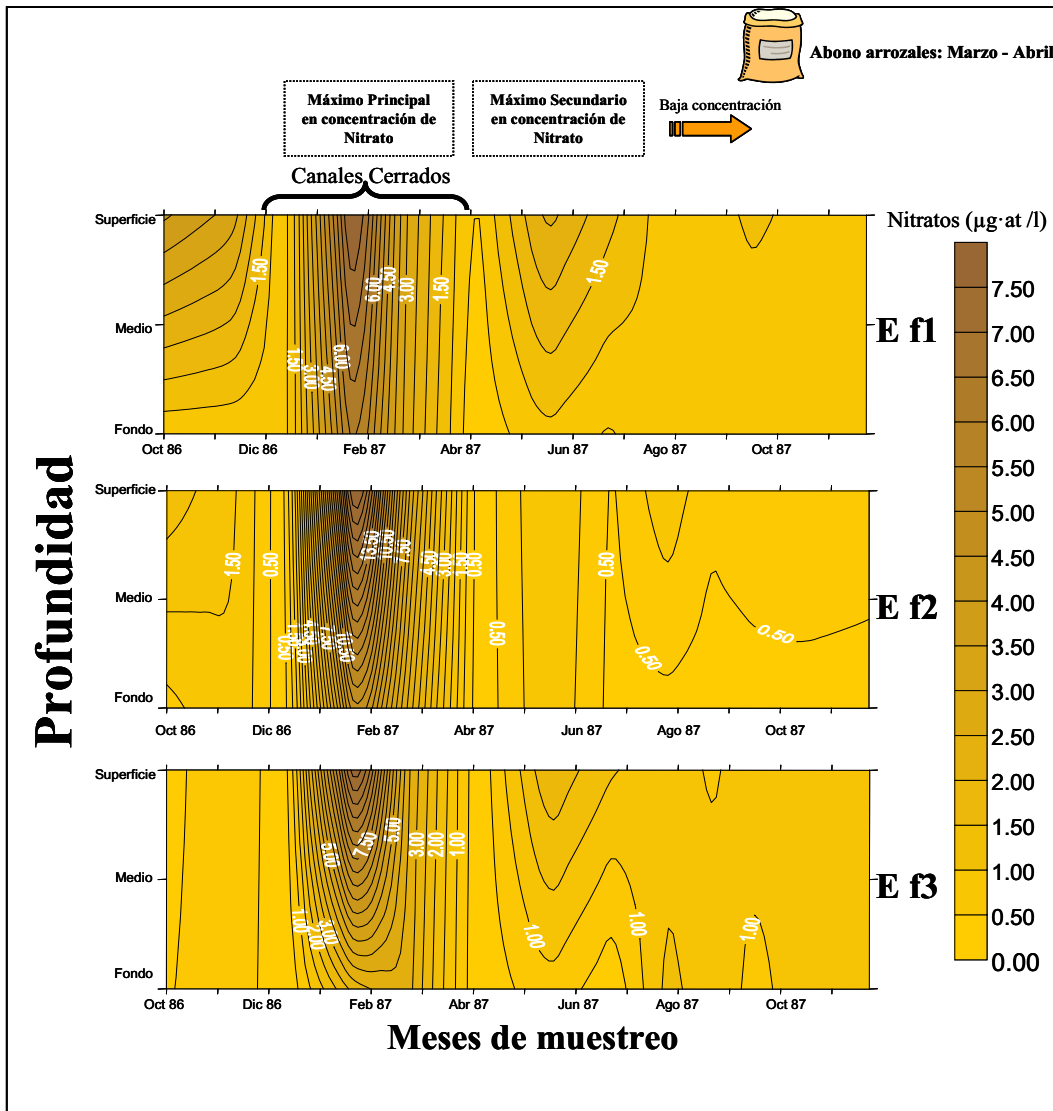
En la estación E f3 se observa una situación similar, con un incremento de la concentración entre diciembre de 1986 y febrero de 1987, y una disminución posterior hasta abril, cuando se repite el mínimo anual en la superficie. A partir de mayo las concentraciones aumentan paulatinamente hasta alcanzar un segundo máximo a mediados de mayo (entre  $2,5$  y  $3\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ ), para descender a niveles inferiores a  $1,5\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  durante el resto del año.

### **Nitritos ( $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ )**

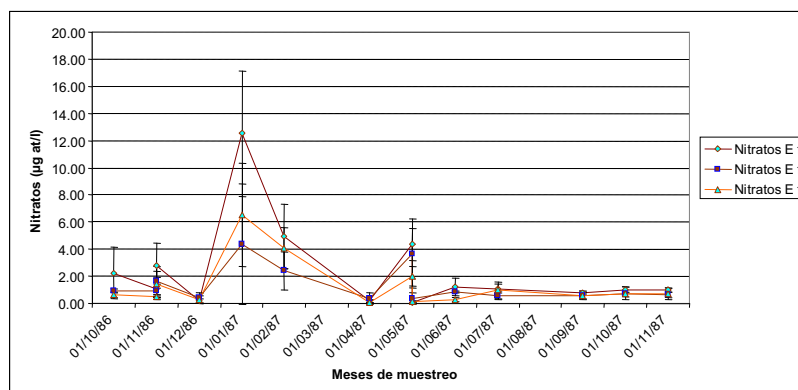
En la estación E f1, se puede observar que la columna de agua se comporta de forma relativamente homogénea durante todo el período de estudio, con valores situados entre  $0,1$  y  $0,51\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ . Sólo al inicio del estudio, entre los meses de octubre y noviembre de 1986, se observan concentraciones superiores de hasta los  $2,2\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ .

En la estación E f2 se observó una alta concentración de nitrito en la superficie con un valor máximo de  $0,7\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  en el mes de febrero de 1987, abarcando toda la columna de agua. Durante el resto del estudio, la columna de agua se mantuvo relativamente homogénea.

En la estación E f3 se observaron 3 máximos de nitrito a lo largo del año, con picos superficiales. El primero de ellos, ocurrió a fines de enero y principios de febrero de 1987, con  $0,47\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ . El segundo máximo, se presenta entre junio y julio de 1987, con  $0,48\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ . Finalmente, el tercer máximo se presentó a mediados de octubre de 1987, con un valor de  $0,38\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  (ver Figuras 17a y 17b).

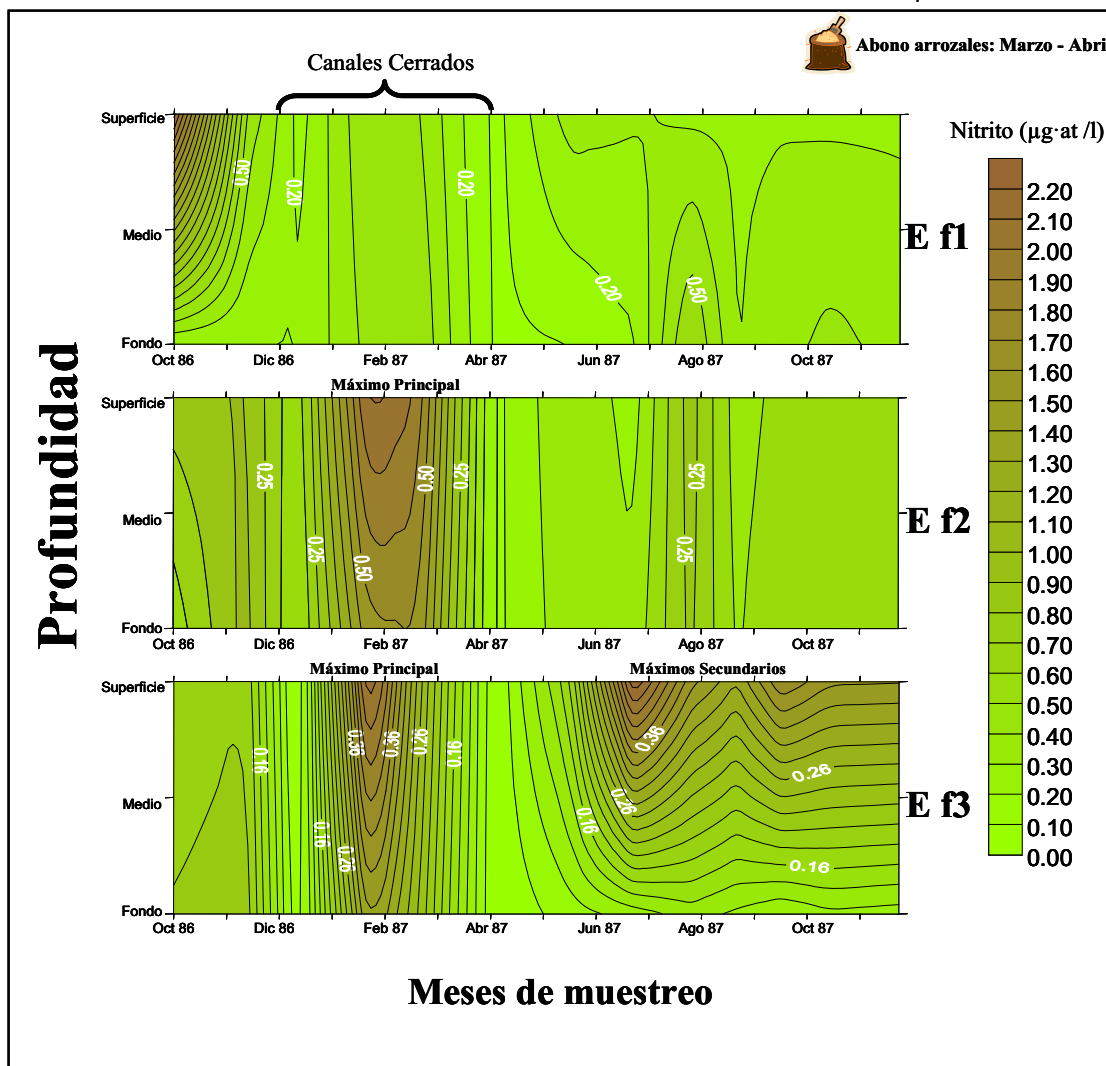


**Figura 16a.- Gráficos de concentración de nitratos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en la bahía el Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**

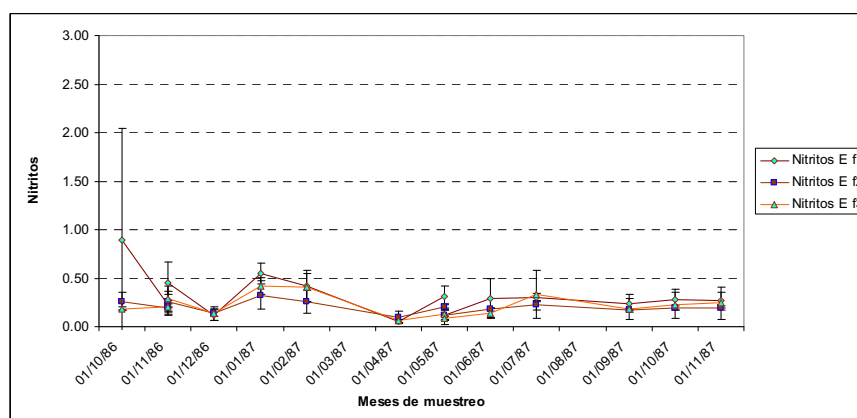


**Figura 16b.- Nitratos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) promedio en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**





**Figura 17a.- Gráficos de concentración de nitrito ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 17b.- Nitritos ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ) promedio en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

### **Amonio ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ )**

En la Figura 18a, es posible observar la distribución de la concentración de amonio. Y en la Figura 18b se observa la concentración promedio de amonio durante los meses de muestreo, en las 3 estaciones estudiadas.

Para la estación E f1, es posible observar que la concentración de amonio es relativamente homogénea en toda la columna de agua, entre los meses de octubre de 1986 y mayo de 1987, con valores que oscilan entre 0,9 y 3,9 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . A partir del mes de junio de 1987, se observa un aumento en la concentración de amonio, con valores altos en toda la columna de agua, que sobrepasan los 20 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , junto al fondo. De julio a octubre de 1987, los valores seguían siendo altos, pero se observan valores más altos en superficie (23,9 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ).

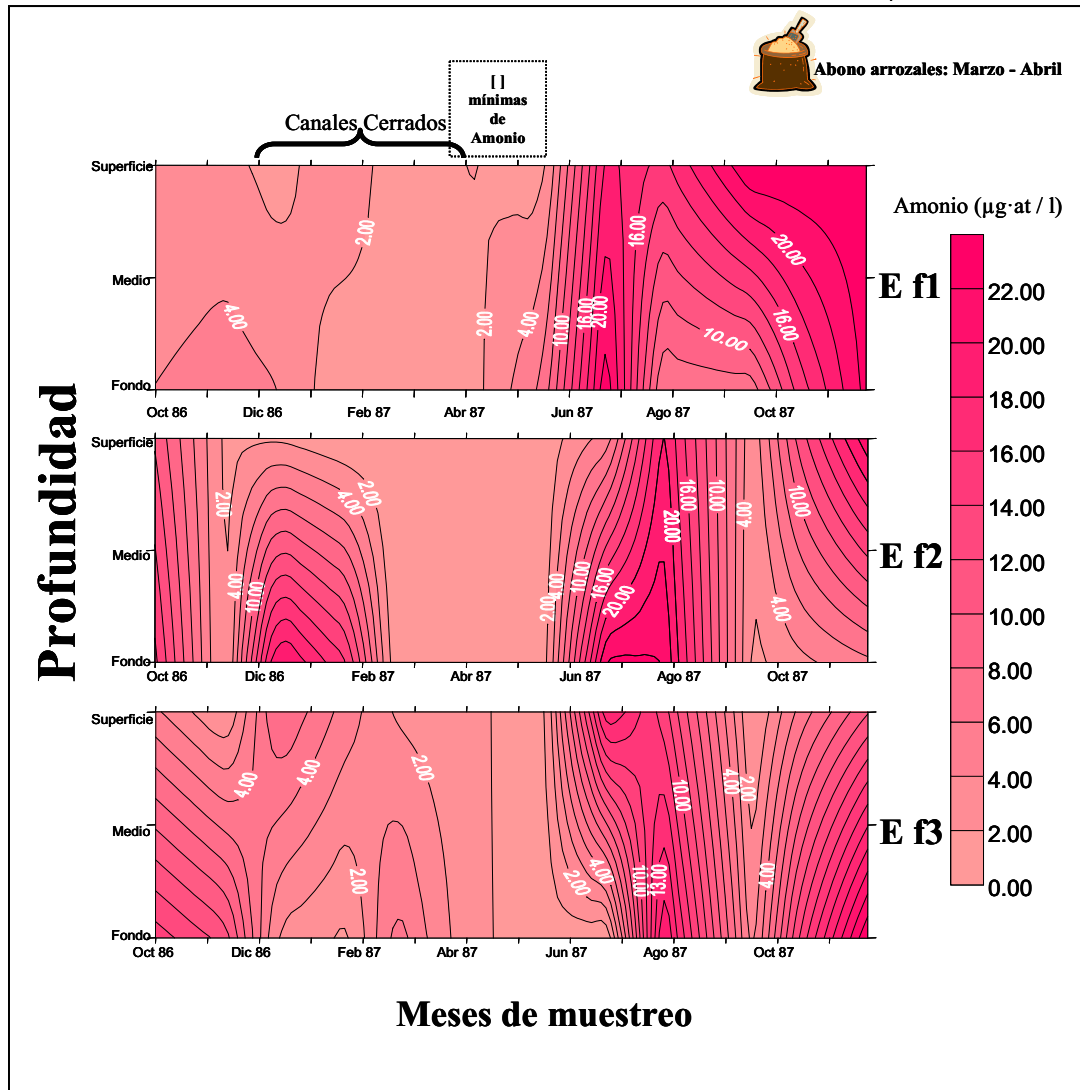
En la estación E f2, se observa que la columna de agua en octubre de 1986 es bastante homogénea. Pero a partir de diciembre de 1986, se presenta una zona cercana al fondo, con una concentración de amonio de 22,7 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Posteriormente, en el mes de julio de 1987, se presenta otra zona cercana al fondo, con un valor de 24,1 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . A partir de agosto de 1987, los valores descienden hasta un mínimo de 0,03 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  en el mes de septiembre de 1987. También se observó un máximo superficial en octubre de 1987 que coincide con la estación E f1.

En la estación E f3, aparece una zona superficial a fines del mes de junio de 1987 un valor de 14 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En cambio, en el mes siguiente, julio de 1987, aparece otra zona, pero ahora en el fondo, con un valor de 15 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Para el resto del período de estudio, la concentración de amonio presentó valores de entre 0,4 y 10,6 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

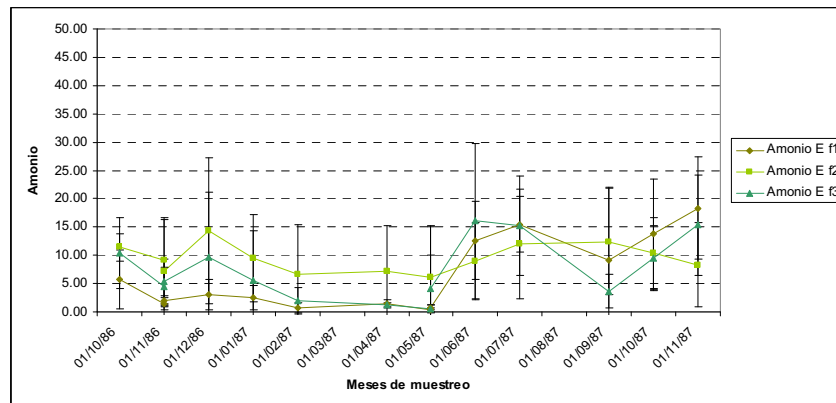
### **Fosfatos ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ )**

En la Figura 19a, es posible observar la distribución de la concentración de fosfatos. Mientras que en la Figura 19b se observa la concentración promedio de fosfatos durante los meses de muestreo, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía.

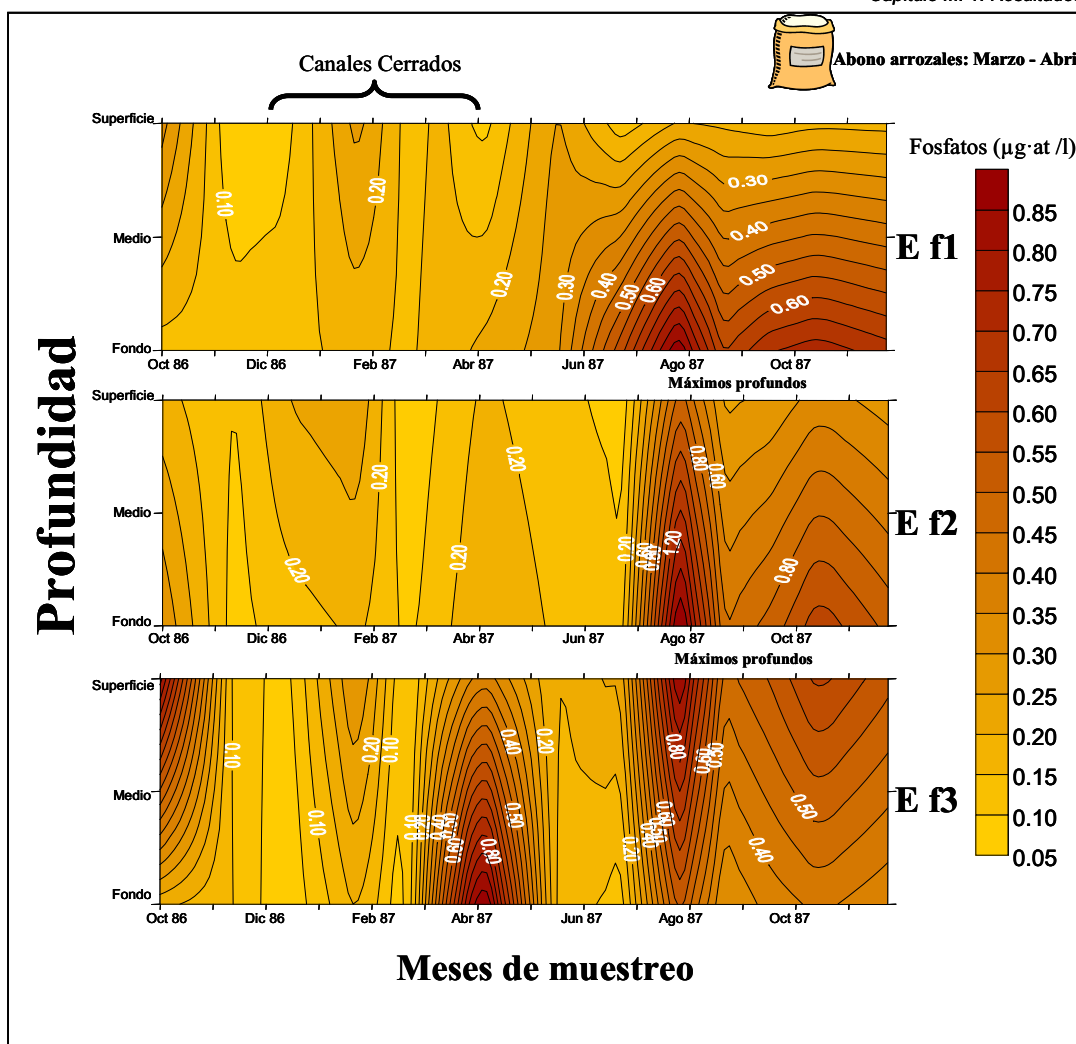
En la estación E f1, es posible observar que dicha concentración es bastante homogénea, con valores superficiales que van desde los 0,08 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  a los 0,27 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , entre los meses de octubre de 1986 a mayo de 1987. En julio de 1987, se observa una zona de agua



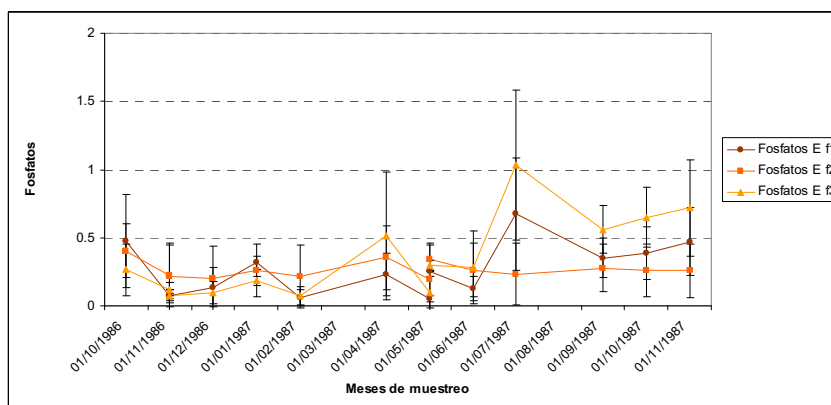
**Figura 18a.- Gráficos de concentración de amonio ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 18b.- Amonio ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ) promedio en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**



**Figura 19a.- Gráficos de concentración de fosfatos ( $\mu\text{g-at/l}$ ), en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 19b.- Fosfatos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) promedio en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

profunda con un valor de  $0,89\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En los meses posteriores es posible observar valores que van desde los  $0,13\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  en superficie a los  $0,73\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  en el fondo.

Para la estación E f2, se observa que entre octubre de 1986 y junio de 1987, la columna de agua muestra valores homogéneos, situados entre  $0,01\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $0,28\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Desde julio de 1987, se observa un incremento en las concentraciones de fosfatos de la columna de agua. En dicho mes se observa una zona de agua profunda con alta concentración de fosfatos ( $1,6\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ). En octubre de 1987, se observa otro máximo profundo, esta vez con valores de  $1,06\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

En la estación E f3, se observa que en octubre de 1986 se presentó un máximo superficial de  $0,9\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En enero de 1987, se observó un segundo máximo superficial de  $0,31\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En abril de 1987, se observó una zona de agua de fondo, con una alta concentración de fosfatos ( $1,05\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ), la cual llegaba hasta la superficie con un valor de  $0,15\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Entre junio y agosto de 1987, se observó una zona de agua con alta concentración en la superficie, con un pico de  $0,97\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . A partir de septiembre de 1987, se presentó una tendencia en la columna de agua con respecto a la concentración de fosfatos, con la formación de un pico superficial, hasta mediados de octubre de 1987, con un valor de  $0,67\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

En general la concentración de fosfatos en la bahía presentó altos niveles a partir del mes de agosto de 1987, para las 3 estaciones estudiadas, continuando la tendencia en meses posteriores. Destaca el hecho de la presencia de una zona profunda de alta concentración solo en E f3 en el mes de abril de 1987.

### **Clorofila-a ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )**

En la Figura 20a, es posible observar la distribución de la concentración de clorofila-a a lo largo del año en la bahía del Fangar. En la Figura 20b se observa la concentración promedio de clorofila-a frente a los meses de muestreo, en las 3 estaciones estudiadas.

En la estación E f1, es posible observar una alta concentración de clorofila-a de  $4,1\mu\text{g}/\text{l}$ , en el mes de diciembre de 1986, en la mitad superior de la columna de agua. En febrero de 1987, se observó una pequeña zona en el fondo, con un valor de  $1,7\mu\text{g}/\text{l}$ . A partir de julio y hasta octubre de 1987 se observaron valores altos, con un pico en el fondo en el mes de agosto de 1987, que alcanza los  $6,5\mu\text{g}/\text{l}$ . Esta zona de valores altos no alcanza a llegar de forma importante a la superficie.

En la estación E f2, se observan valores altos entre octubre y diciembre de 1986, alternando los picos superficiales con los profundos. Posteriormente, en mayo de 1987, se observó indistintamente un segundo máximo en el fondo, con un valor de 3,1µg/l. Finalmente, en septiembre de 1987, se presentó un tercer máximo en el fondo, con un valor de 4,7µg/l, alcanzando la superficie con un valor de 4,5µg/l.

En la estación E f3, se observó una alta concentración en octubre de 1986, con un valor máximo de 11,5µg/l, en la superficie. Entre diciembre de 1986 y julio de 1987, se encontraron valores bajos y homogéneos. En agosto de 1987, se observó un incremento de clorofila-a en la superficie, con un valor máximo de 3,8µg/l. A partir de octubre de 1987, la columna de agua volvió a ofrecer valores bajos.

El valor máximo estival se aparta de la norma, donde generalmente ocurre que hay presencia de máximos primaverales y otoñales, y mínimos invernales. Esto se discutirá mas adelante.

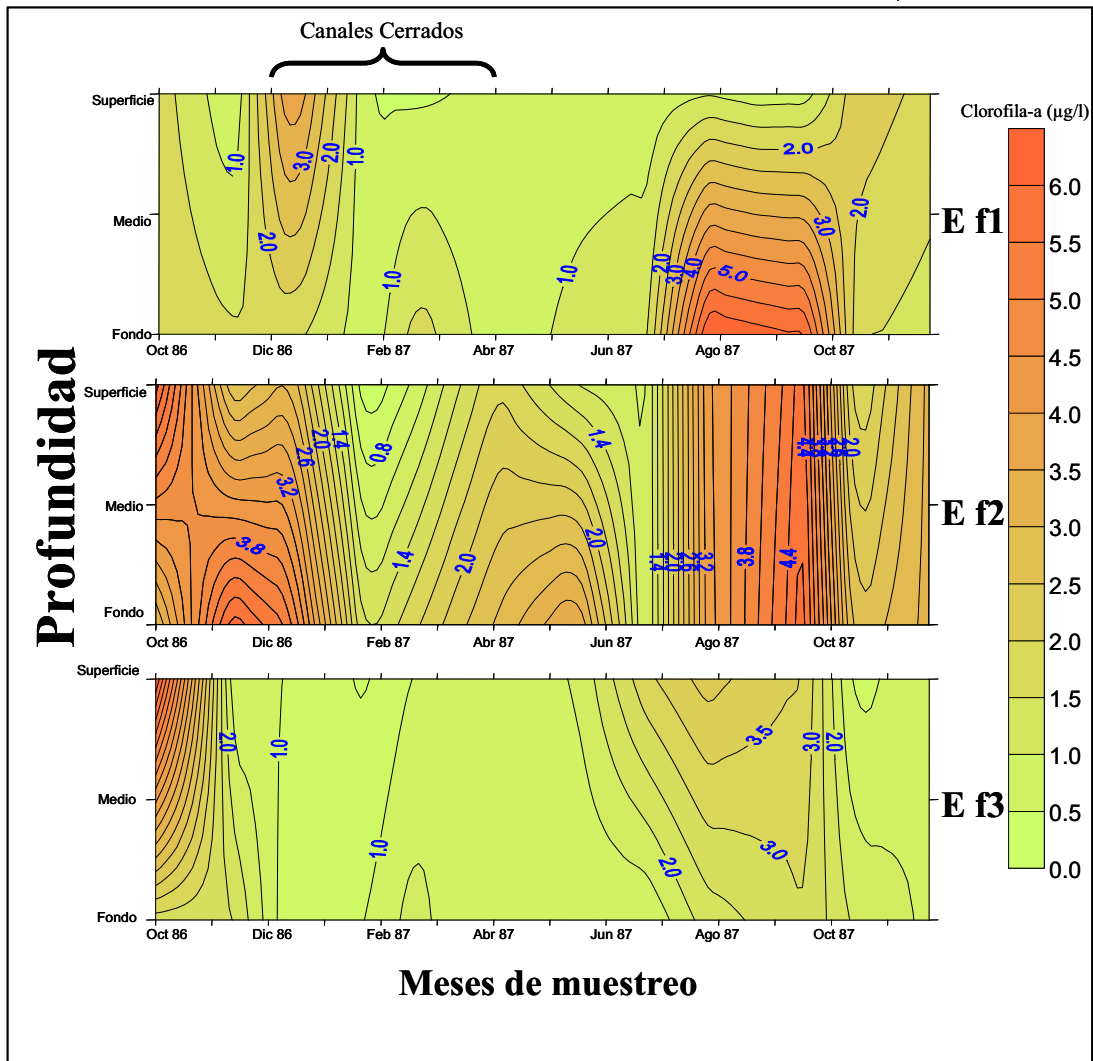


Figura 20a.- Gráficos de concentración de clorofila-a (µg/l) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.

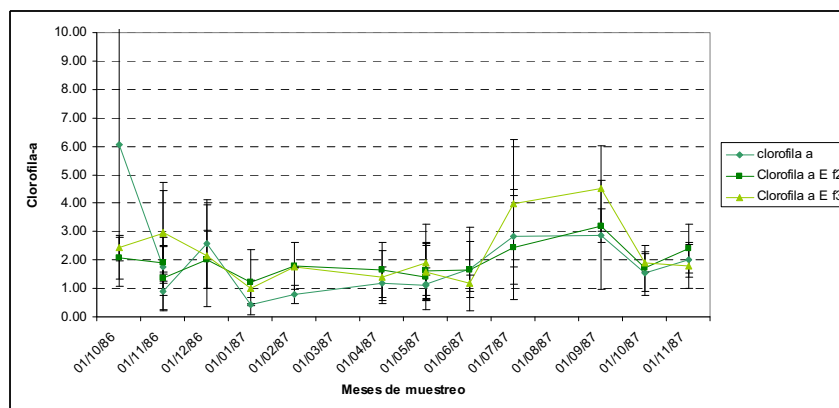


Figura 20b.- Concentración promedio de clorofila-a (µg/l) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.

### **Clorofila-b ( $\mu\text{g/l}$ )**

En la Figura 21a es posible observar la distribución de la concentración de clorofila-b a lo largo del tiempo en la bahía del Fangar. Mientras que en la Figura 21b se graficó la concentración promedio de clorofila-b contra los meses de muestreo, para las 3 estaciones estudiadas.

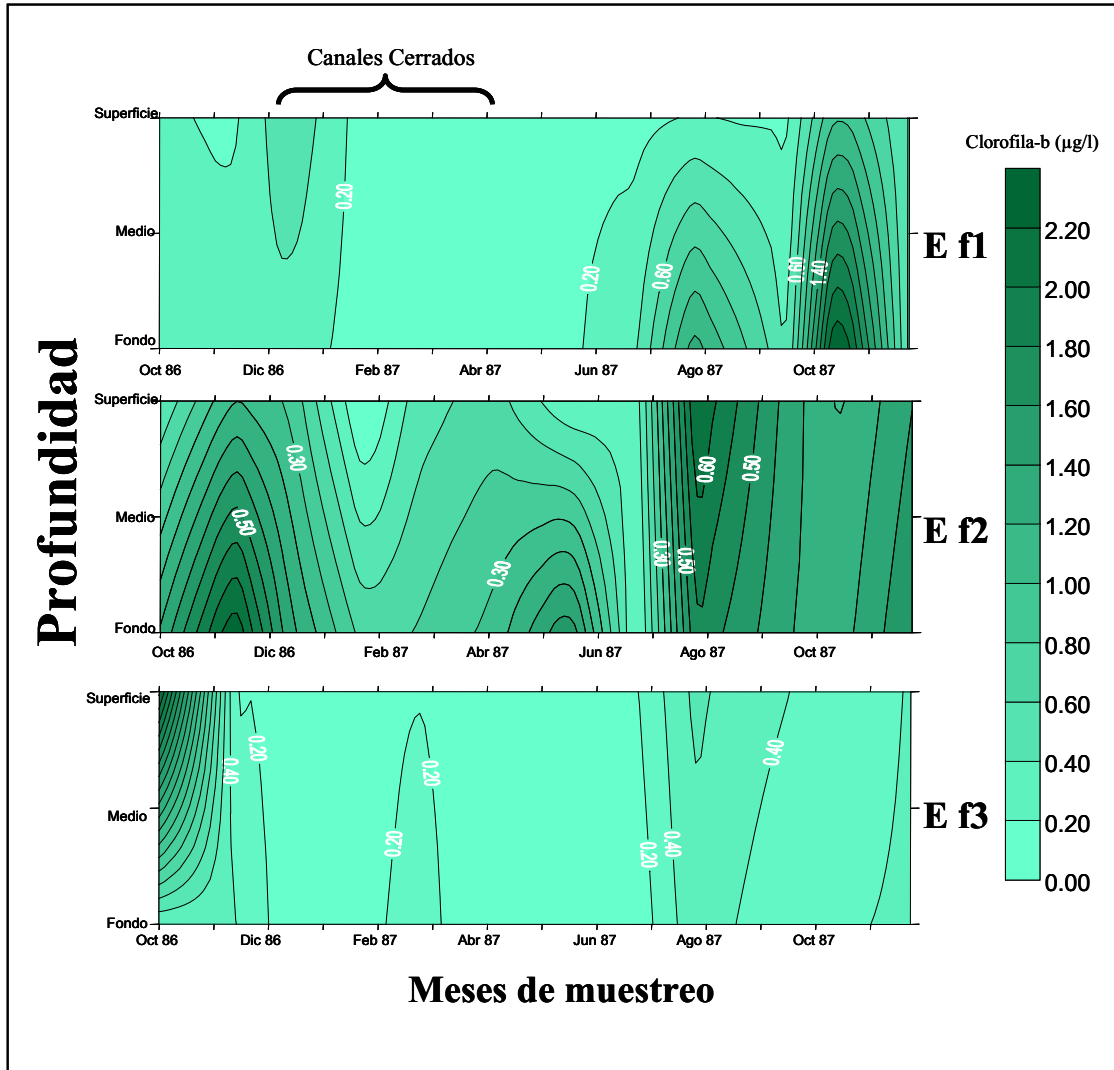
En la estación E f1, se puede observar que la columna de agua presentó características muy homogéneas durante los meses de octubre de 1986 a junio de 1987. En agosto de 1987, se observó un máximo de clorofila-b en el fondo de la estación, con un valor de  $0,85\mu\text{g/l}$  y, en octubre de 1987, se observó un segundo máximo en el fondo, con un valor de  $2,6\mu\text{g/l}$ , con valores decrecientes, hasta los  $1,1\mu\text{g/l}$  en la superficie.

En la estación E f2, se encontró en noviembre de 1986 un primer máximo en el fondo, con un valor de  $0,7\mu\text{g/l}$ . En mayo de 1987, se observó un segundo máximo en el fondo con un valor de  $0,5\mu\text{g/l}$ . En julio y agosto de 1987 se observaron altas concentraciones de clorofila-b en la superficie, con valores situados entre  $0,65\mu\text{g/l}$  y  $0,54\mu\text{g/l}$ , y valores algo menores en el fondo.

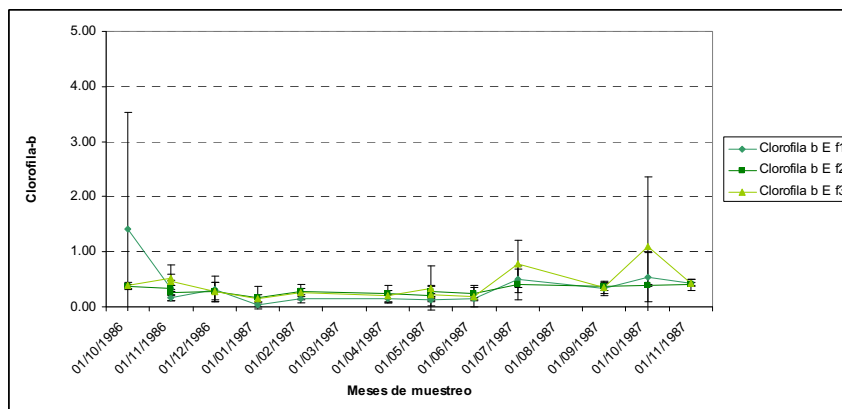
En la estación E f3, se encontró una concentración alta de clorofila-b en el mes de octubre de 1986, con un valor máximo de  $4\mu\text{g/l}$  en la superficie. El resto del año, la columna de agua se mantuvo entre los  $0,001\mu\text{g/l}$  y  $0,6\mu\text{g/l}$  de clorofila-b. Donde llama la atención una concentración superficial alta en agosto de 1987.

La bahía de El Fangar globalmente mostró altos niveles en la concentración de clorofila-b en los meses de julio y agosto de 1987, para las 3 estaciones estudiadas. También se observaron picos otoñales elevados en noviembre de 1986 y octubre de 1987, también en las 3 estaciones.





**Figura 21a.- Gráficos de concentración de clorofila-b ( $\mu\text{g/l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 21b.- Concentración promedio de clorofila-b ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

### **Clorofila-c ( $\mu\text{g/l}$ )**

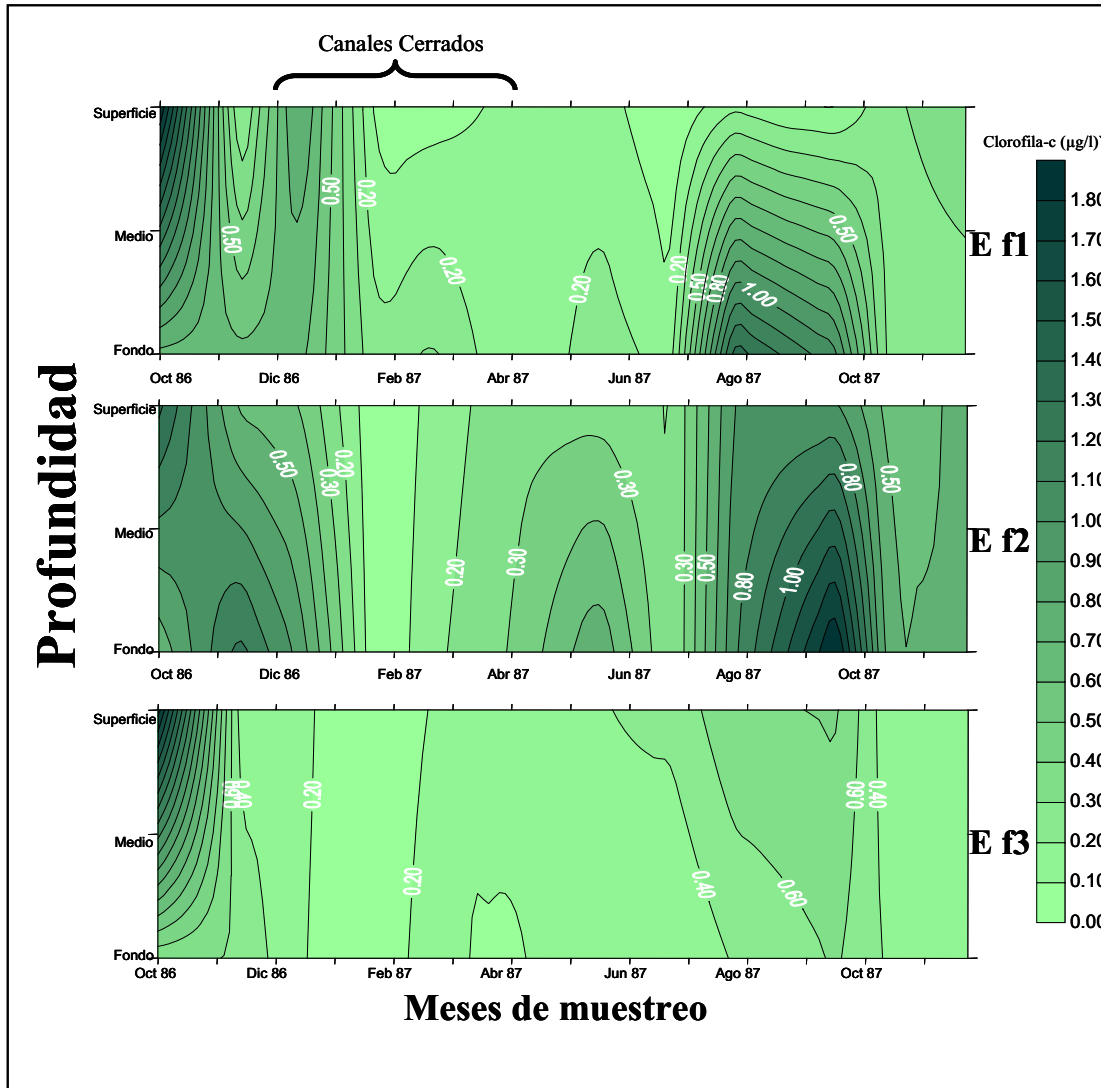
En la Figura 22a es posible observar la distribución de la concentración de clorofila-c a lo largo del tiempo en la bahía del Fangar. Mientras que en la Figura 22b se graficó la concentración promedio de clorofila-c contra los meses de muestreo, para las 3 estaciones estudiadas.

En E f1, se observaron valores relativamente altos de clorofila-c en los períodos de octubre a diciembre de 1986 y julio – septiembre de 1987 ( $1,3\mu\text{g/l}$ ). En el primer caso, predominan los máximos superficiales, mientras que en el segundo, predominan los profundos. El resto del año (enero - junio de 1987), se encuentran valores relativamente bajos y homogéneos ( $0,01\mu\text{g/l}$  y  $0,12\mu\text{g/l}$ ).

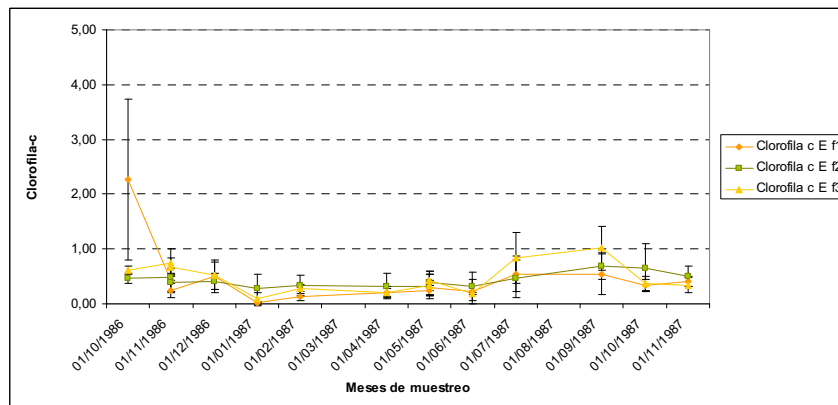
En la estación E f2, además de las máximas que se observaron en E f1 (octubre – diciembre de 1986 y julio – septiembre de 1987), aparece un tercer máximo más atenuado en mayo de 1987, con un pico junto al fondo ( $0,6\mu\text{g/l}$ ) y valor bajo en superficie.

En la estación E f3, solo se observan concentraciones altas en el otoño de 1986 ( $3,9\mu\text{g/l}$ ) y otoño de 1987, siendo mucho más acusado el de 1986. También es observable un incremento, aunque algo menores, en los meses de agosto y septiembre de 1987, con un valor de  $1\mu\text{g/l}$ .

La observación global de la bahía con respecto a la concentración de la clorofila-c, durante el período de estudio, muestra un panorama con máximo estival y otro otoñal, separados por un período invernal-primaveral de mínimos, con algún incremento esporádico en mayo de 1987.



**Figura 22a.- Gráficos de concentración de clorofila-c ( $\mu\text{g/l}$ ), en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 22b.- Concentración promedio de clorofila-c ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

### **Feopigmentos ( $\mu\text{g/l}$ )**

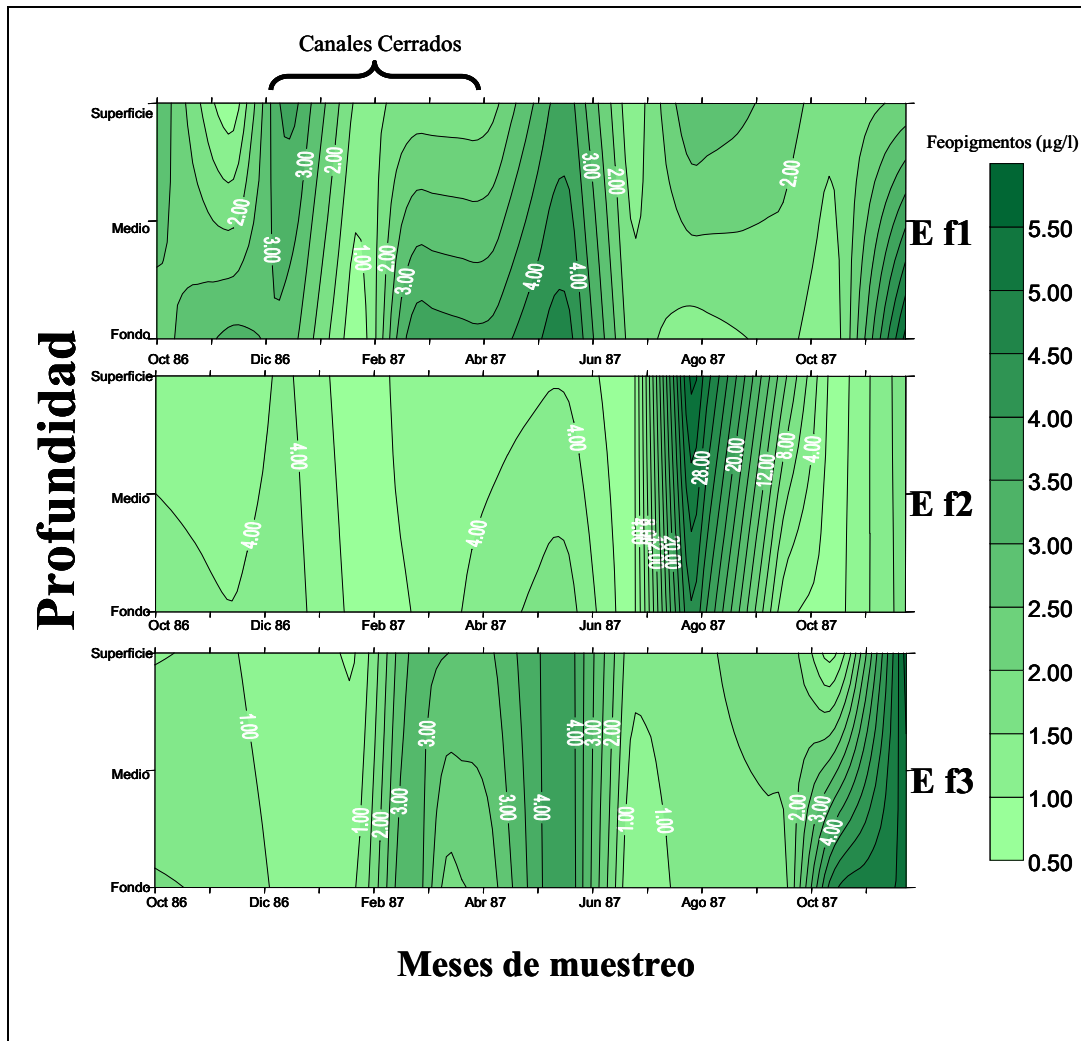
En la Figura 23a es posible observar la distribución de la concentración de feopigmentos a lo largo del tiempo en la bahía del Fangar. Mientras que en la Figura 23b se graficó la concentración promedio de feopigmentos contra los meses de muestreo, para las 3 estaciones estudiadas.

En la estación E f1 se observan oscilaciones importantes de la concentración de feopigmentos a lo largo del año, con máximos en diciembre de 1986 (con  $3,9\mu\text{g/l}$  en superficie), mayo de 1987 ( $4,9\mu\text{g/l}$ , profundo), agosto de 1987 ( $2,65\mu\text{g/l}$  en superficie) y noviembre de 1987 (con  $5,6\mu\text{g/l}$  en el fondo).

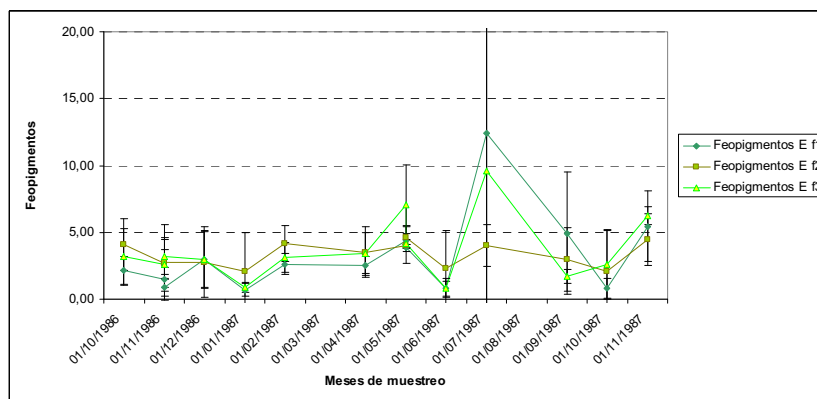
En general, la estación E f2 muestra una columna de agua homogénea con respecto a la concentración de feopigmentos entre los meses de octubre de 1986 a junio de 1987, con valores entre  $0,14\mu\text{g/l}$  y  $7,3\mu\text{g/l}$ . Se observa un máximo profundo en mayo, al igual que en la estación E f1. Entre julio y septiembre de 1987, se registran los valores más altos del año, con un máximo superficial de  $33,1\mu\text{g/l}$ , en el mes de agosto de 1987.

En la estación E f3, se observan valores bajos en los períodos octubre 1986 – enero 1987 y junio 1987 – septiembre 1987. Los valores más altos se observan en el período febrero 1987 – mayo 1987, con concentraciones de entre 2 y  $4\mu\text{g/l}$  y distribución relativamente homogénea en toda la columna de agua. A partir de octubre de 1987, se observa un segundo máximo de feopigmentos, con valores que alcanzan los  $6,1\mu\text{g/l}$  sobre el fondo en el mes de noviembre de 1987.

La concentración de feopigmentos en la bahía presenta sus valores máximos entre febrero y junio de 1987, también se observó un máximo en E f2, en los meses de julio y agosto de 1987. Por otro lado los valores mínimos encontrados en la bahía con respecto a la concentración de feopigmentos se observaron en los meses de enero y abril de 1987, para la estación E f2, con un valor de  $0,37\mu\text{g/l}$ .



**Figura 23a.- Gráficos de concentración de feopigmentos (µg/l) en la bahía del Fangar, lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 23b.- Concentración promedio de feopigmentos (µg/l) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

### **Carbono orgánico particulado ( $\mu\text{g/l}$ )**

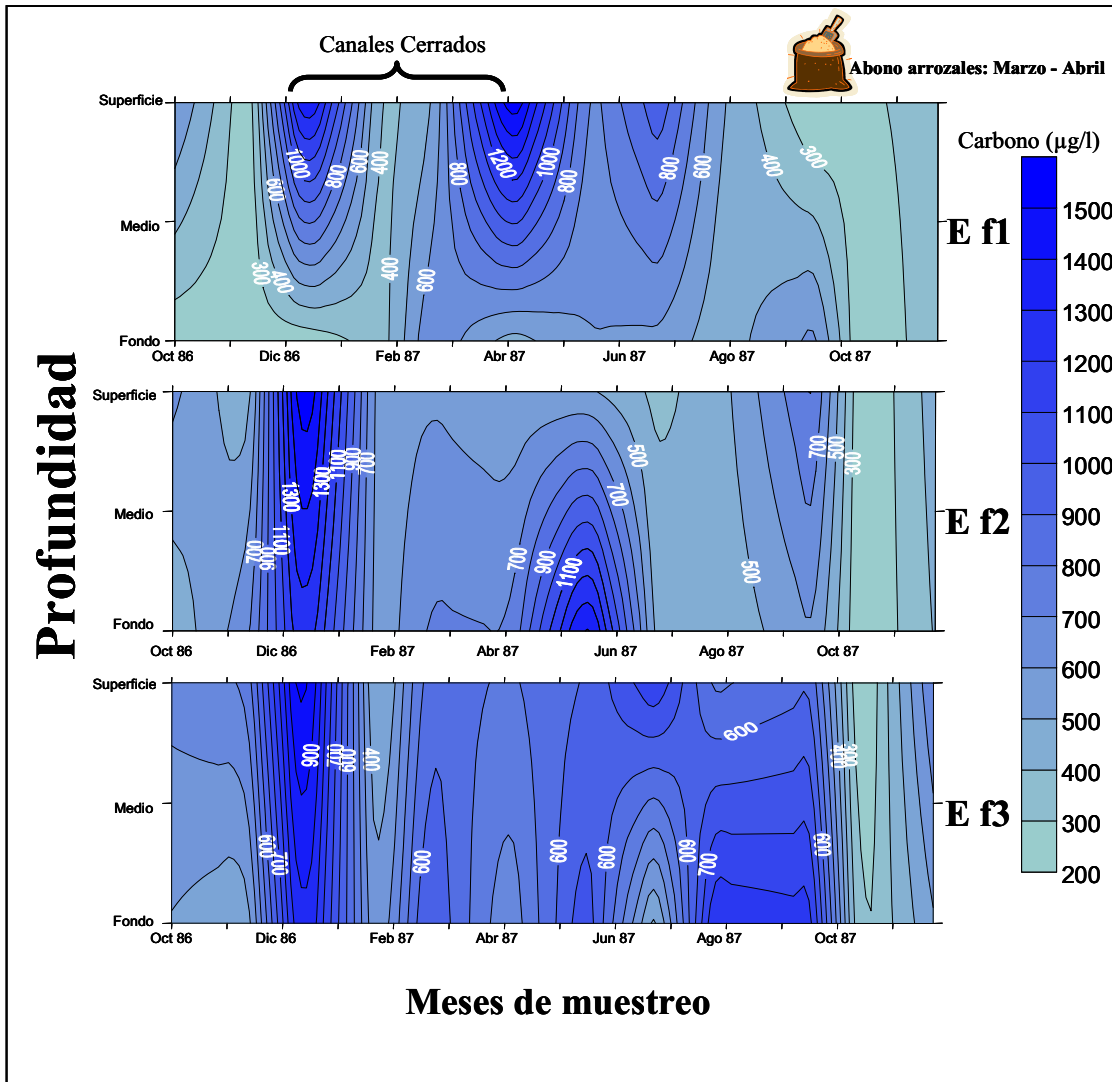
En la Figura 24a es posible observar la distribución de la concentración de carbono orgánico particulado a lo largo del tiempo en la bahía del Fangar. Mientras que en la Figura 24b se graficó la concentración promedio de carbono orgánico particulado contra los meses de muestreo, para las 3 estaciones estudiadas.

Para la estación E f1, se observaron altas concentraciones de carbono en la superficie, en los meses de diciembre de 1986, abril y junio de 1987, con valores de  $1618\mu\text{g/l}$ ,  $661\mu\text{g/l}$  y  $970\mu\text{g/l}$ , respectivamente. En cambio, en el mes de septiembre de 1987 se observa una alta concentración en el fondo, con  $621\mu\text{g/l}$ .

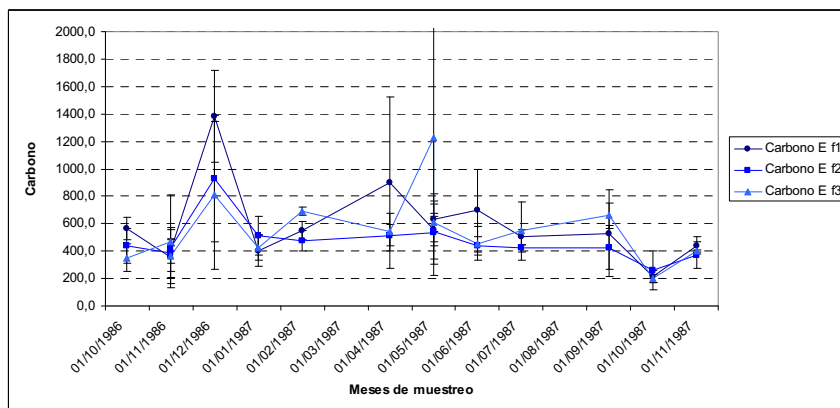
Los resultados encontrados para la estación E f2, muestran una alta concentración de carbono durante el mes de diciembre de 1986, con un máximo superficial de  $1657\mu\text{g/l}$  y un mínimo profundo de  $1308\mu\text{g/l}$ . En el mes de mayo de 1987, se observó un segundo máximo en el fondo, con un valor de  $1468\mu\text{g/l}$ . En el mes de septiembre de 1987 se observó un tercer máximo de carbono (en la superficie), con un valor de  $811\mu\text{g/l}$ .

En E f3, se encuentra una gran variabilidad de valores de carbono, tanto a lo largo del año, como en la vertical. Se encuentran máximos superficiales, en diciembre de 1986 ( $1012\mu\text{g/l}$ ) y junio de 1987 ( $744\mu\text{g/l}$ ) y máximos junto al fondo, en febrero de 1987 ( $658\mu\text{g/l}$ ) y agosto de 1987 ( $780\mu\text{g/l}$ ). Los valores mínimos se registran en octubre de 1987, al igual que en E f1 y E f2.

La observación en forma global de la bahía con respecto a la concentración de carbonos muestra valores máximos en diciembre de 1986 y enero de 1987, otro de febrero a julio de 1987 y otro de agosto a septiembre de 1987. Los valores mínimos en los meses de octubre y noviembre de 1986, en octubre de 1987 y otro no tan acusado en febrero de 1987.



**Figura 24a.- Gráficos de concentración de carbono orgánico particulado ( $\mu\text{g/l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 24b.- Concentración promedio de carbono orgánico particulado ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.**

### **Nitrógeno orgánico particulado ( $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ )**

En la Figura 25a se pueden ver el gráfico que describe las variaciones de la concentración de nitrógeno orgánico particulado ( $> 1\mu\text{m}$ ) en las 3 estaciones y en las diferentes profundidades, en la bahía El Fangar, a lo largo del período del estudio. Mientras que en la Figura 25b se graficó la concentración promedio de nitrógeno inorgánico particulado contra los meses de muestreos, para las 3 estaciones estudiadas.

En la estación E f1 se observó una alta concentración de nitrógeno en el mes de diciembre de 1986, con un valor máximo de  $112\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  en superficie. Posteriormente, en el mes de febrero de 1987 se observó una alta concentración en el fondo, con un valor de  $79,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Finalmente en septiembre de 1987 se presentó otro máximo de nitrógeno en el fondo, con  $78\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

En la estación E f2 se observó una alta concentración de nitrógeno en el fondo, durante el mes de diciembre de 1986, con un valor de  $102\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En el mes de mayo de 1987, se encontró un segundo máximo en el fondo, con un valor de  $129\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , y en el mes de septiembre de 1987 se encontró un tercer máximo, esta vez en superficie, con un valor máximo de  $133\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , alcanzando la zona profunda de la columna de agua con un valor de  $99\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

En la estación E f3, la concentración de nitrógeno, entre diciembre de 1986 y mayo de 1987, fue bastante homogénea, con valores de entre  $12,5\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $49,5\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , se observa un mínimo superficial en enero de 1987 y otro mínimo profundo en abril de 1987. A partir de junio de 1987, y hasta septiembre de 1987, se encontraron altas concentraciones en superficie, con valores entre  $100\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $102\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . A partir de octubre de 1987, la columna de agua nuevamente aparece con valores bajos, y bastante homogénea.

El comportamiento global en la concentración de nitrógeno en la bahía muestra una clara oscilación de este parámetro, a lo largo del estudio. Con valores máximos en diciembre de 1986, febrero de 1987 y septiembre-octubre de 1987. Mientras que el valor mínimo en la concentración de nitrógeno se observó en enero de 1987.



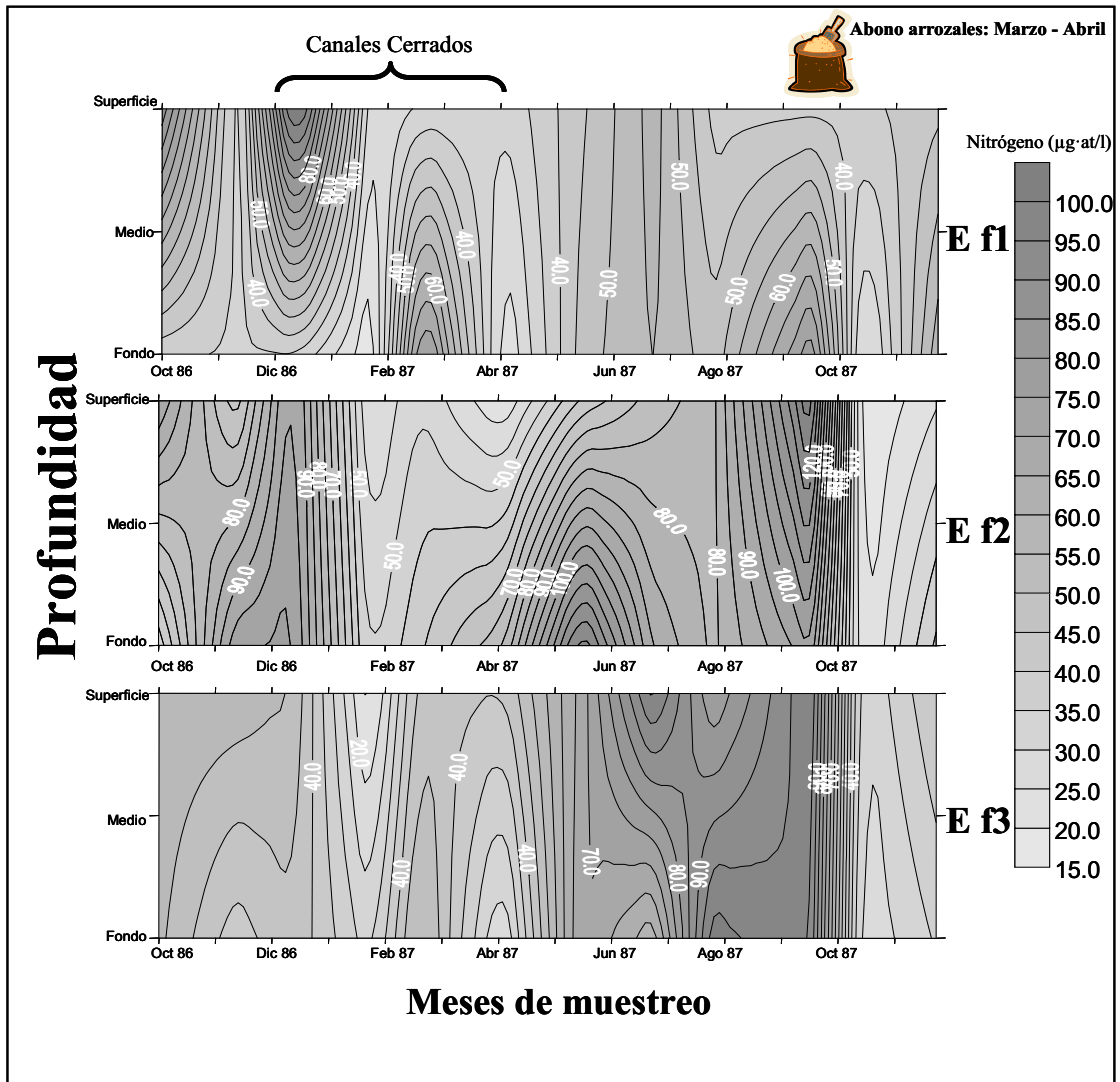


Figura 25a.- Gráficos de concentración de nitrógeno orgánico particulado ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.

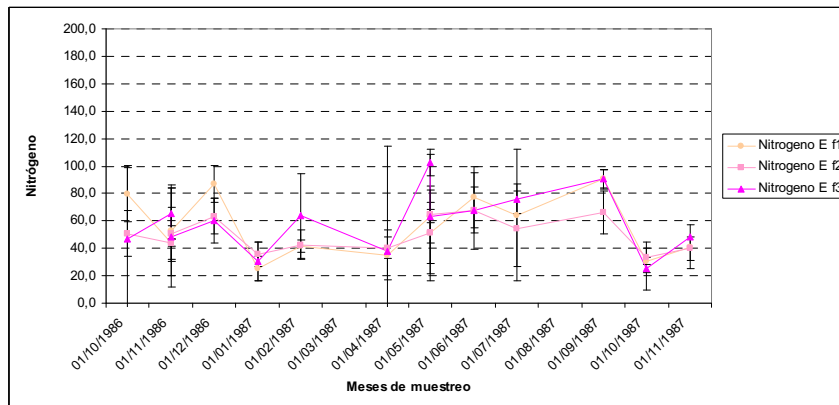


Figura 25b.- Concentración promedio de nitrógeno orgánico particulado ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.

### **Proteínas ( $\mu\text{g/l}$ )**

La Figura 26a muestra el gráfico de la variación en la concentración de proteínas en las tres estaciones de la bahía El Fangar, durante los meses de muestreo. Mientras que en la Figura 26b se graficó la concentración promedio de proteínas en los meses de muestreo para las 3 estaciones estudiadas.

La estación E f1 mostró un máximo en superficie, en el mes de diciembre de 1986, con un valor de  $1136\mu\text{g/l}$ . Posteriormente en los meses de mayo y julio de 1987 se encontraron máximos de proteínas, ubicadas en el fondo, con valores de  $524\mu\text{g/l}$  y  $552\mu\text{g/l}$ , respectivamente. El resto de los meses presentaron una columna de agua relativamente homogénea con respecto a la concentración de proteínas.

En la estación E f2 se puede observar también un pico en superficie, en el mes de diciembre de 1986, con un valor de  $1491\mu\text{g/l}$ , siendo la única zona de alta concentración a lo largo del período de estudio, ya que la columna de agua se presentó bastante homogénea.

En la estación E f3 se observaron oscilaciones continuas de la concentración de proteínas a lo largo del año, con máximos en diciembre de 1986 (profundo), febrero de 1987 (con  $427\mu\text{g/l}$ , superficial), mayo de 1987 (con  $446\mu\text{g/l}$ , profundo) y septiembre – octubre de 1987 (con  $511\mu\text{g/l}$ , superficial). Mínimos en enero de 1987 (con  $104\mu\text{g/l}$ , superficial), a finales de abril de 1987 (con  $165\mu\text{g/l}$ , superficial) y junio – julio de 1987 (con  $130\mu\text{g/l}$ , profundo). El máximo de diciembre de 1986 se corresponde con el de las otras 2 estaciones. El resto de máximos y mínimos solo se observaron en E f1 y E f2.

Globalmente la concentración de proteínas, en la bahía, también presenta una oscilación similar al nitrógeno a lo largo del estudio.

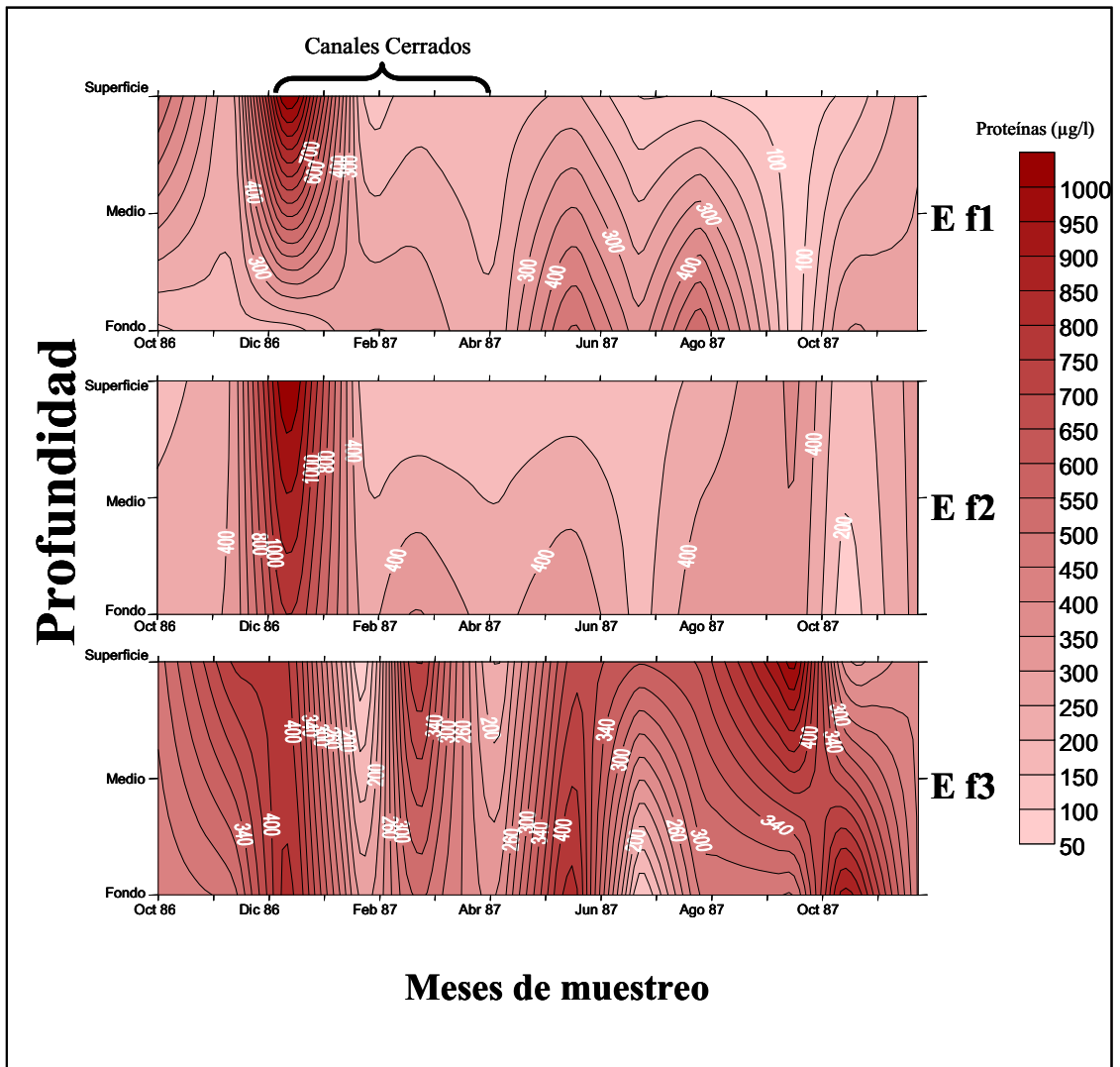


Figura 26a.- Gráficos de concentración de proteínas (µg/l) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre 1986 y noviembre 1987.

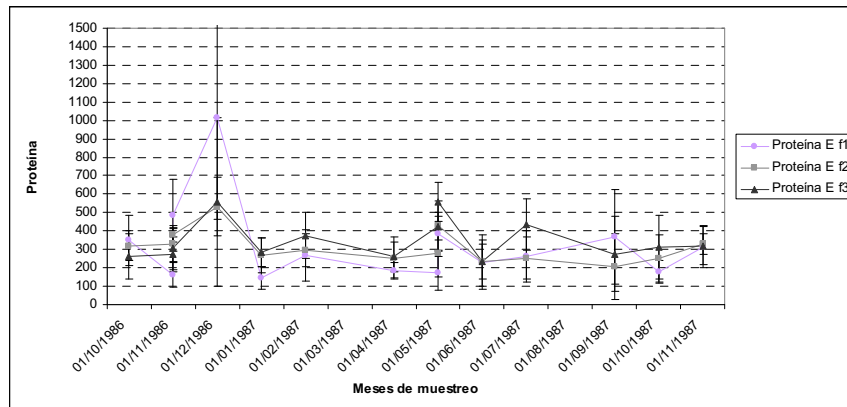


Figura 26b.- Concentración promedio de proteínas (µg/l) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.

### **Carbohidratos ( $\mu\text{g/l}$ )**

Para la estación E f1 es posible observar una alta concentración de carbohidratos en el mes de diciembre de 1986 (máxima en superficie, con un valor de  $331\mu\text{g/l}$ ). En el mes de mayo de 1987 se encontró un máximo en el fondo, con un valor de  $216\mu\text{g/l}$ . Y en octubre de 1987, en superficie, se encontró un valor de  $226\mu\text{g/l}$ .

En la gráfica de la estación E f2 es posible observar, en diciembre de 1986, una alta concentración de carbohidratos en superficie, con un valor de  $1302\mu\text{g/l}$ , alcanzando el fondo de la estación, con un valor de  $443\mu\text{g/l}$ . El resto de los meses la columna de agua presentó características bastante homogéneas con respecto a la concentración de carbohidratos.

En la estación E f3 se observan varios episodios de concentración elevada, en los meses de noviembre de 1986 (máximo superficial de  $222\mu\text{g/l}$ ), mayo de 1987 (máximo en el fondo con  $196\mu\text{g/l}$ ), junio de 1987 (máximo superficial de  $308\mu\text{g/l}$ ), septiembre de 1987 (máximo superficial de  $207\mu\text{g/l}$ ) y octubre de 1987 (máximo en el fondo con  $195\mu\text{g/l}$ ). Ver figura 27a y 27b.

### **Partículas ( $\mu\text{m}^3$ )**

La Figura 28a muestra la variación de las concentraciones de partículas en la bahía El Fangar durante los meses de muestreo para las 3 estaciones estudiadas. Mientras que en la Figura 28b se graficó la concentración promedio de partículas contra los meses de muestreo para las 3 estaciones, con las correspondientes desviaciones estándar.

Para la estación E f1 las concentraciones máximas aparecen en el período octubre – diciembre de 1986 (pico superficial en diciembre de  $3,74\mu\text{m}^3$ ) y el período marzo – septiembre de 1987 en las zonas próximas al fondo, en la estación que se ubico en la boca de la bahía. En este período aparecen valores mínimos en superficie y máximos en el fondo. A partir de mayo de 1987, aparece una elevada concentración de partículas en el fondo, con un valor de  $2,97 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ , que se continúa hasta el mes de septiembre de 1987, con un valor de  $4,6 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ . En este período de tiempo, la columna de agua se encuentra con bajas concentraciones de partículas en superficie y elevadas en el fondo. En los meses de enero a marzo de 1987 la columna de agua se presentó homogénea, lo mismo sucedió a partir de octubre de 1987.

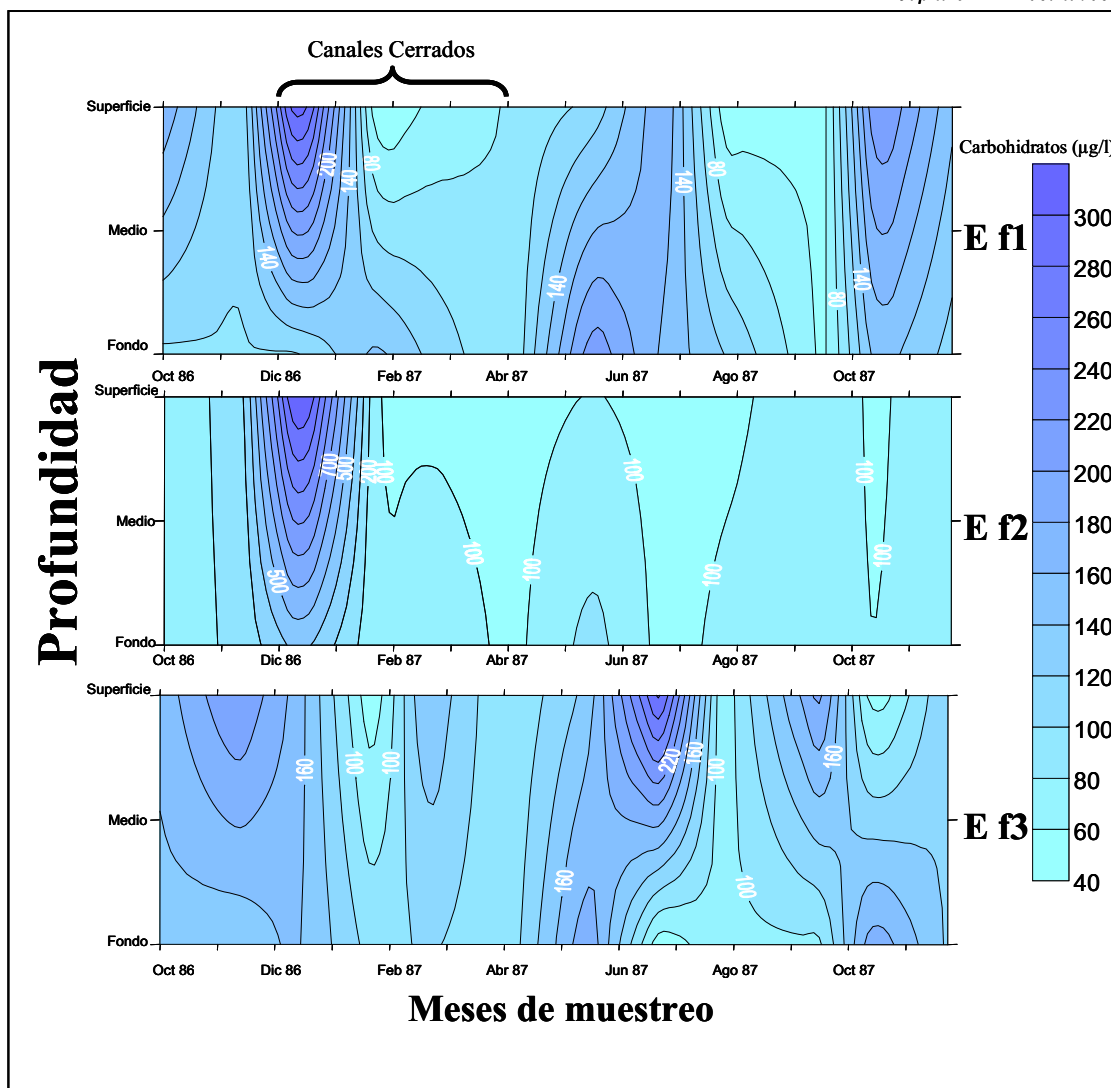


Figura 27a.- Gráficos de concentración de carbohidratos ( $\mu\text{g/l}$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del período octubre de 1986 y noviembre de 1987.

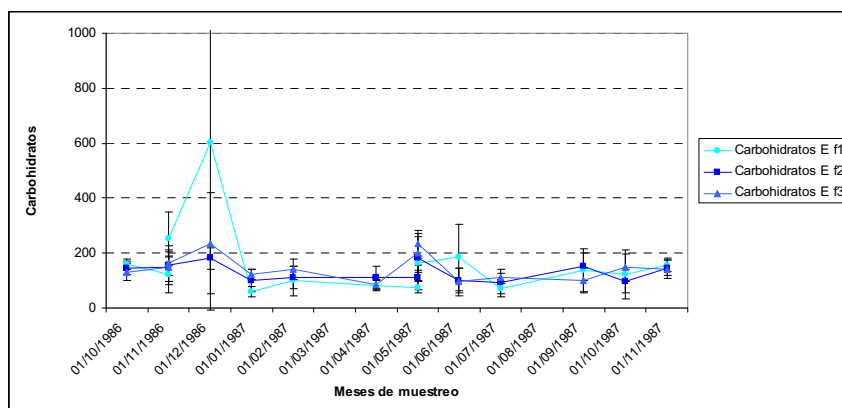
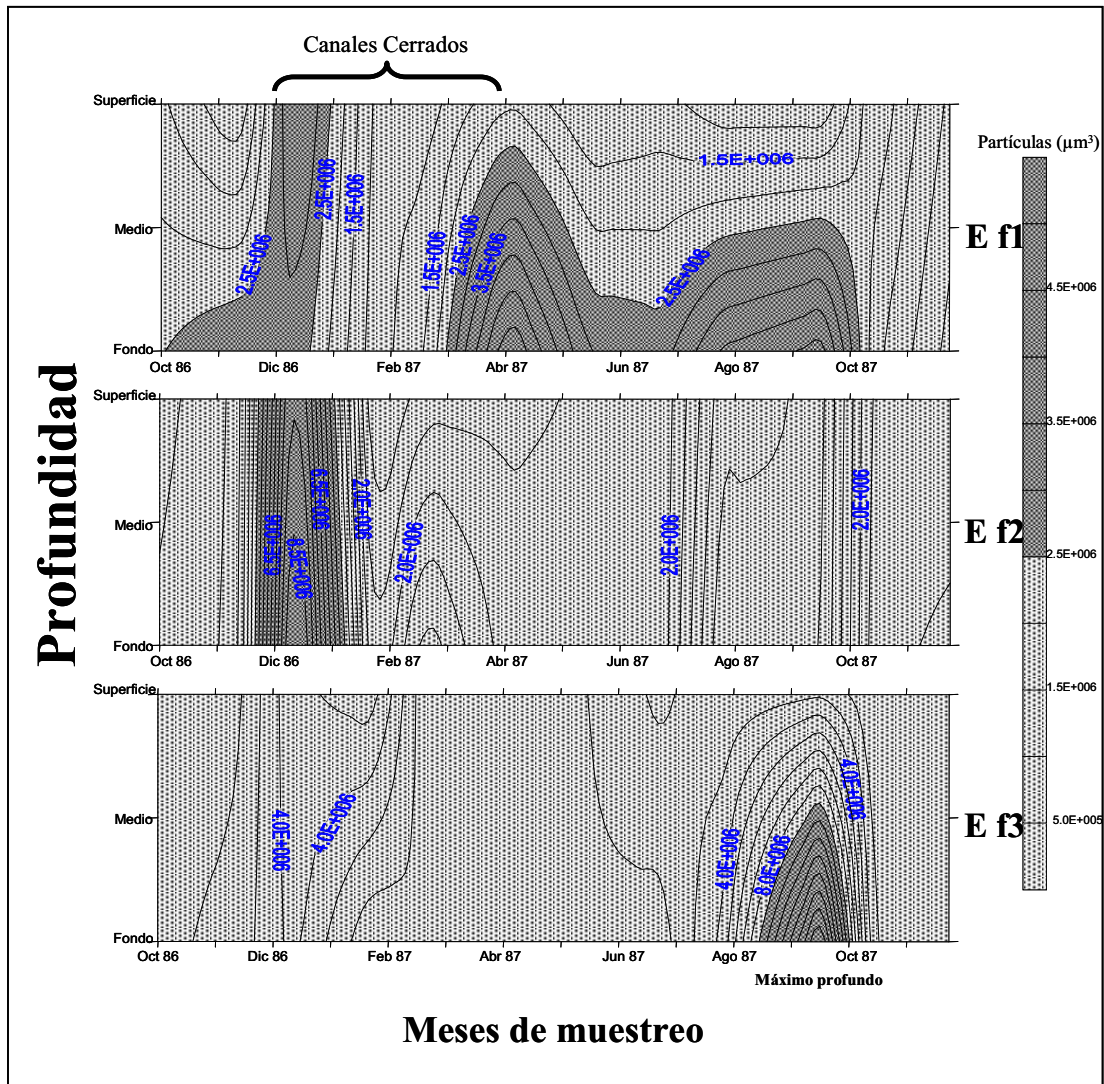
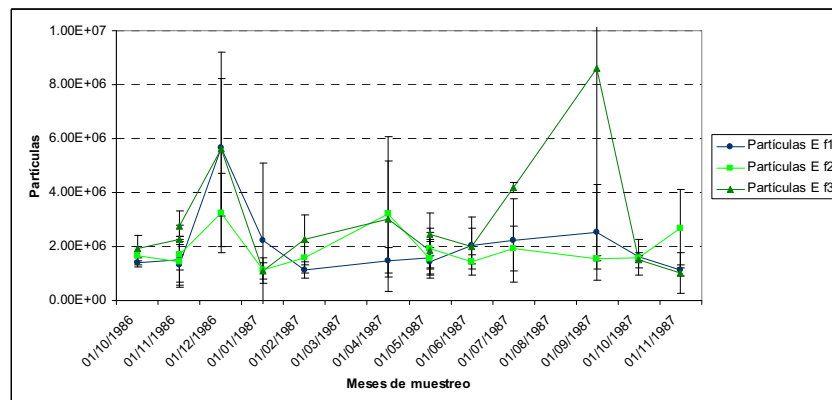


Figura 27b.- Concentración promedio de carbohidratos ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el período de estudio.



**Figura 28a.- Gráficos de concentración de partículas ( $\mu\text{m}^3$ ) en la bahía del Fangar, a lo largo del periodo octubre de 1986 y noviembre de 1987.**



**Figura 28b.- Concentración promedio de partículas ( $\mu\text{m}^3$ ) en agua de mar, en las 3 estaciones estudiadas en la bahía El Fangar, durante el periodo de estudio.**

La estación E f1 es la zona de la bahía menos protegida del viento y con mayor mezcla vertical por el oleaje. La concentración de partículas, casi todo el año, presenta niveles altos de concentración, excepto en invierno (diciembre de 1986 y enero de 1987).

En la estación E f2 se observó, una alta concentración de partículas para el mes de diciembre de 1986, con un valor máximo junto al fondo de  $9,7 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ , y mínimo superficial de  $8,5 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ . Desde febrero de 1987 la columna de agua se presentó relativamente homogénea, con respecto a la concentración de partículas.

E f2 es la estación que se ubica mas al centro de la bahía, es una zona mas resguardada y donde existiría un mayor consumo de partículas por los bivalvos sembrados en el área de los viveros. Se observó un valor máximo en la concentración de partículas en diciembre de 1986, con  $9,6 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ .

Para la estación E f3 entre octubre de 1986 y julio de 1987, la columna de agua presenta características de homogeneidad con respecto a la concentración de partículas. En septiembre de 1987 aparece un máximo de partículas en el fondo, con un valor de  $1,7 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ , con efectos (de distribución en la columna de agua) que alcanza hasta la zona media de la columna de agua.

La estación E f3 correspondía al fondo de la bahía, la zona más protegida, además una zona donde la mezcla vertical vendría dada por el viento en períodos de tormentas y por los aportes de agua dulce desde el delta, con valor máximo en el otoño de 1987.

## CAPÍTULO III

### III 2.- RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTIVARIADO

En la Tabla II, se representan las desviaciones estándares (Standard deviation) de cada componente principal, por debajo de la proporción de varianza explicada (Proportion of Variance) por cada una de ellos y, a continuación la varianza explicada acumulada (Cumulative Proportion)

Los datos de varianza explicada son muy importantes para saber cuántos componentes principales vamos a utilizar en nuestro análisis. No hay una regla bien definida sobre el número que se debe utilizar, con lo cual deberemos decidir en función del número de variables iniciales (hay que recordar que se trata de reducirlas en la medida de lo posible) y de la proporción de varianza explicada acumulada. Idealmente, los dos primeros componentes principales corresponden a un porcentaje (%) elevado de la variabilidad, de manera que la representación sobre los dos primeros ejes factoriales es de buena calidad. Este no es exactamente nuestro caso, de donde surge la necesidad de proponer el siguiente gráfico (Figura 29).

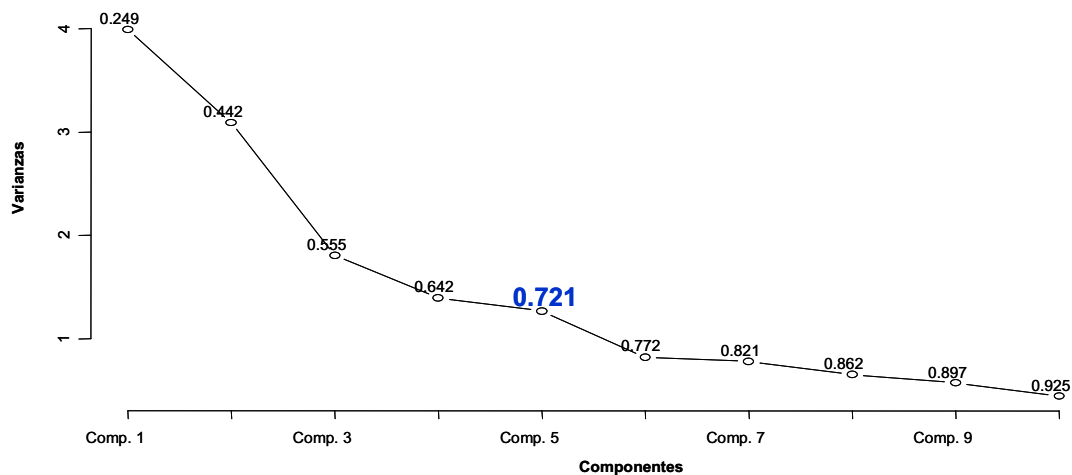


Figura 29.- Gráfico de autovalores



<b>Importance of components :</b>						
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	
Standard deviation	1.9977440	1.7574794	1.3436367	1.18001278	1.12385435	
Proportion of Variance	0.2494363	0.1930459	0.1128350	0.08702689	0.07894054	
Cumulative Proportion	0.2494363	0.4424822	0.5553172	0.64234404	0.72128458 (72%)	
<b>Importance of components (continue):</b>						
	Comp. 6	Comp. 7	Comp. 8	Comp. 9	Comp. 10	
Standard deviation	0.90401351	0.88108786	0.80687864	0.75429804	0.66404677	
Proportion of Variance	0.05107753	0.04851974	0.04069082	0.03556035	0.02755988	
Cumulative Proportion	0.77236211	0.82088185	0.86157267	0.89713301	0.92469289	
<b>Importance of components (continue):</b>						
	Comp. 11	Comp. 12	Comp. 13	Comp. 14	Comp. 15	Comp. 16
Standard deviation	0.56134686	0.54771749	0.48040116	0.40606498	0.33978	0.280496297
Proportion of Variance	0.01969439	0.01874965	0.01442408	0.01030555	0.007216045	0.004917386
Cumulative Proportion	0.94438729	0.96313694	0.97756102	0.98786657	0.99508261	1.000000000

**Tabla II.- Desviaciones estándar de cada componente principal, con la proporción de la varianza explicada de cada componente y la proporción acumulada de la varianza explicada.**

A la vista de la salida que ofrece S-plus© (Tablas II, III y IV) y de la Figura 29, se observa que el primer componente es el que recoge la mayor parte de la variabilidad de los datos de la muestra (24.9%), el segundo factor el 19.3%, el tercero el 11.3%, el cuarto componente un 8.7%, y finalmente un quinto componente con 72% de varianza total explicada, el resto de componentes recoge ya una menor variabilidad. De lo anteriormente expuesto podemos afirmar que los resultados que ofrece el Análisis de Componentes Principales (ACP) para este caso no estarían bien correlacionados, ya que tan sólo logramos reducir la dimensión de las variables si optamos por el modelo con 5 componentes (72% de varianza explicada), que parece el más lógico, de acuerdo con el criterio del 70% de decisión (véase, como ejemplo: Mardia *et al.*, 1979; Legendre y Legendre, 1979).

En cuanto al criterio del promedio de autovalores, que en este caso es para valores mayores a 1, se pueden excluir todos los componentes excepto los cinco primeros. En la Tabla III, donde se ponen los valores propios de las componentes, el número de factores es 5, cuando teníamos al principio 16 variables. Eso es debido a las variables redundantes. Comprendemos bien que la información pudiera ser sintetizada y resumida en 4 dimensiones, sin olvidar que la varianza explicada en este caso está alrededor del 72%, por lo que resultados han de ser interpretados con cierta cautela, puesto que se está perdiendo el 28% de la información original. Lo más aceptable entonces es optar por el criterio del 70%, es decir, el número de dimensiones "útiles" máximo, es 5. Y donde los valores propios de los componentes no sean inferiores a 1.

**Tabla III.- Valores propios de los componentes**

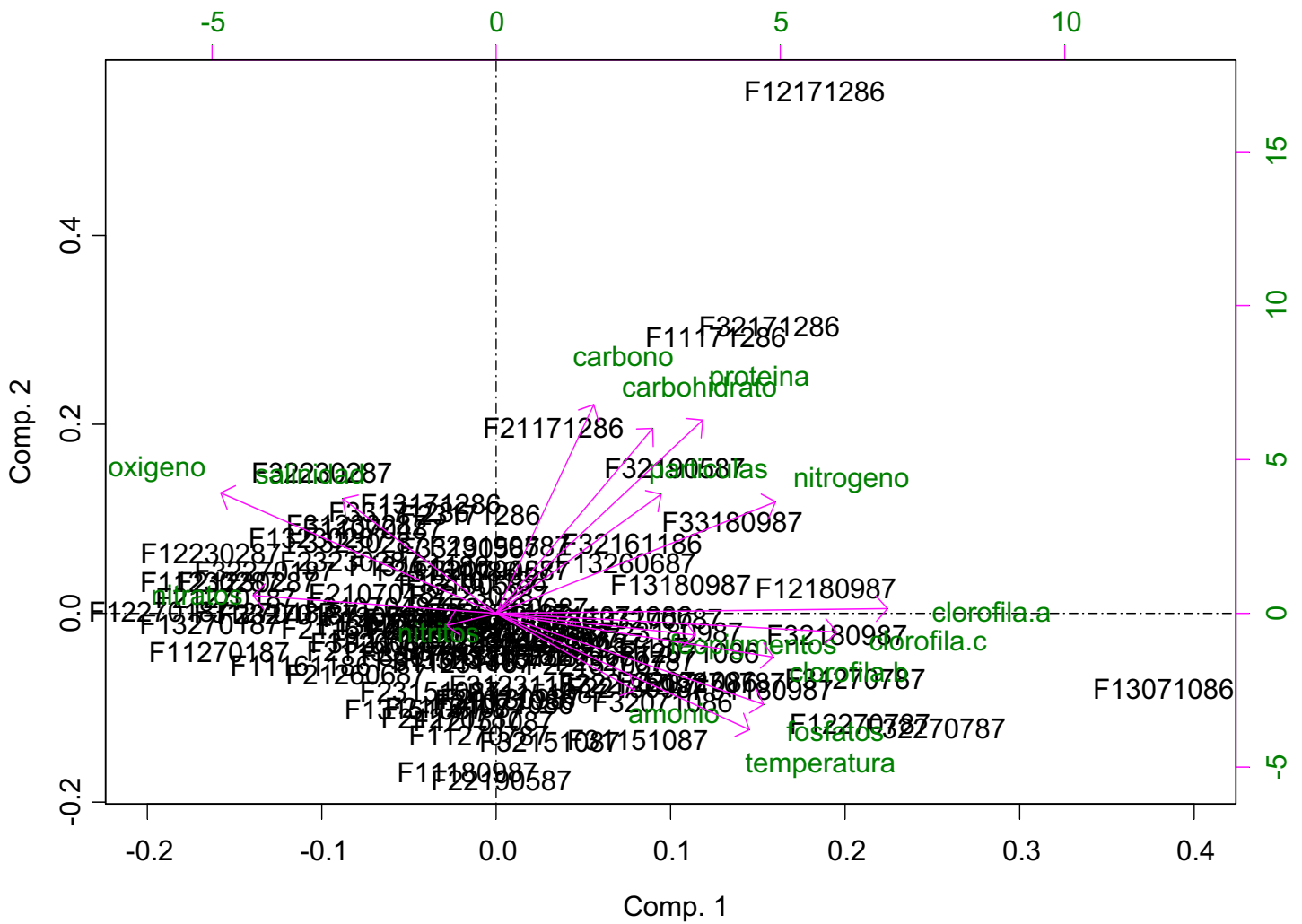
Valores propios							
Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	Comp. 8
3.990981	3.088734	1.80536	1.39243	1.263049	0.8172404	0.7763158	0.6510531
Comp. 9	Comp. 10	Comp. 11	Comp. 12	Comp. 13	Comp. 14	Comp. 15	Comp. 16
0.5689655	0.4409581	0.3151103	0.2999945	0.2307853	0.1648888	0.1154567	0.07867817

Por otra parte, es importante ver la tabla de la matriz de “pesos” (ver Tabla IV) para determinar la contribución de cada variable en la construcción de cada componente (donde los números que aparecen en la tabla, son los denominados “loadings” (o matriz de pesos), y donde se expresa el “peso” de la correlación entre cada uno de los parámetros con cada una de las componentes (hasta la Comp. 6)):

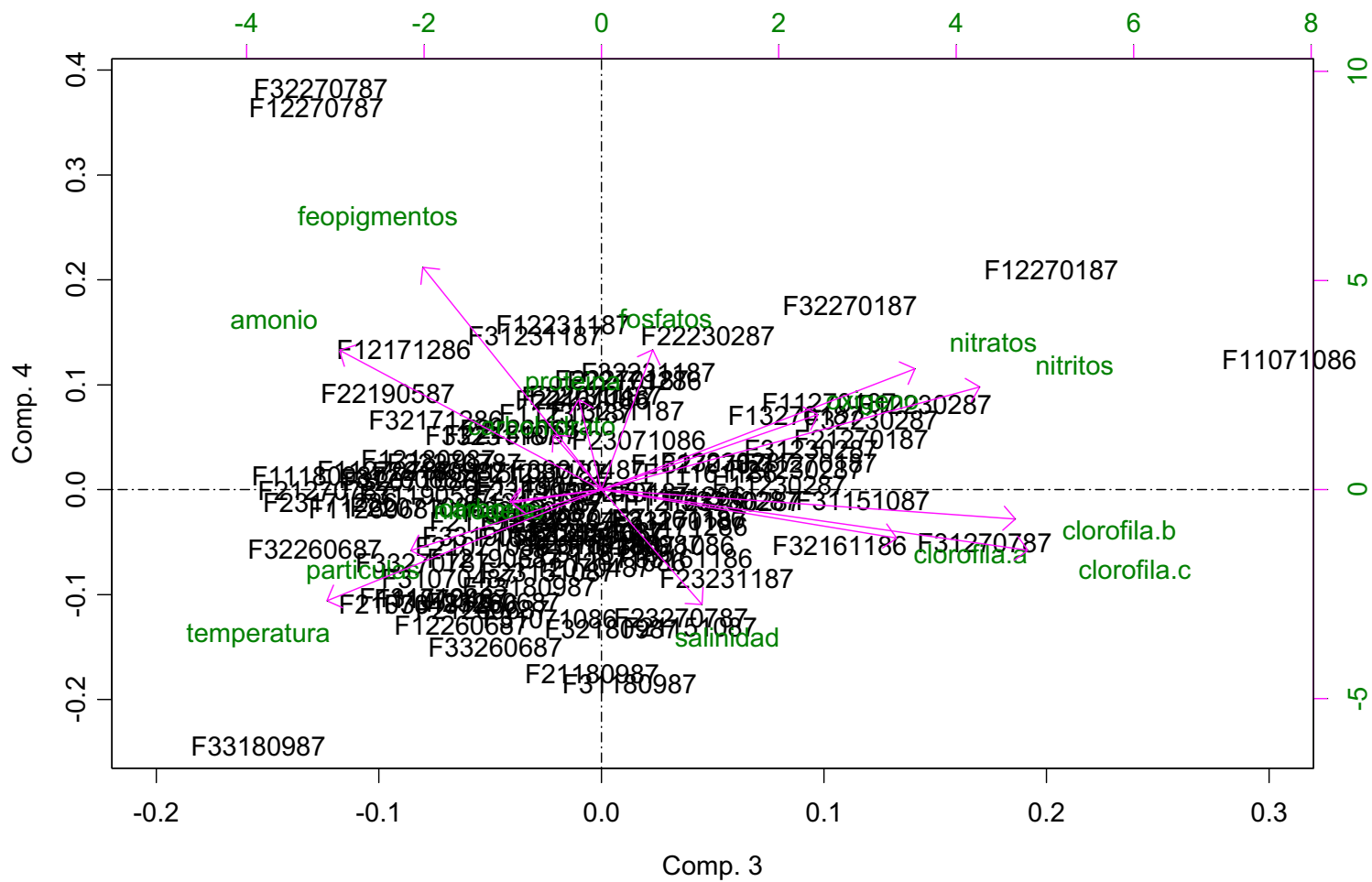
**Tabla IV.- Matriz de los “pesos” de los componentes escogidos**

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
<b>temperatura</b>	0.270	-0.260	-0.278	-0.272	0.345	
<b>salinidad</b>	-0.163	0.256	0.102	-0.281	-0.164	0.463
<b>oxígeno</b>	-0.293	0.269	0.220	0.184	-0.295	
<b>nitratos</b>	-0.259		0.318	0.296	0.348	0.196
<b>nitritos</b>			0.384	0.252	0.585	
<b>amonio</b>	0.147	-0.172	-0.265	0.342	-0.171	-0.235
<b>fosfatos</b>	0.285	-0.204		0.343	-0.124	0.390
<b>Clorofila-a</b>	0.416		0.299	-0.118		
<b>Clorofila-b</b>	0.295		0.420		-0.321	
<b>Clorofila-c</b>	0.362		0.432	-0.148		
<b>feopigmentos</b>	0.212		-0.181	0.544		0.329
<b>carbono</b>	0.104	0.466			0.112	
<b>nitrógeno</b>	0.297	0.249			0.348	
<b>proteínas</b>	0.220	0.432		0.221		-0.153
<b>carbohidrato</b>	0.166	0.413		0.134		-0.298
<b>partículas</b>	0.176	0.266	-0.193	-0.149		0.553

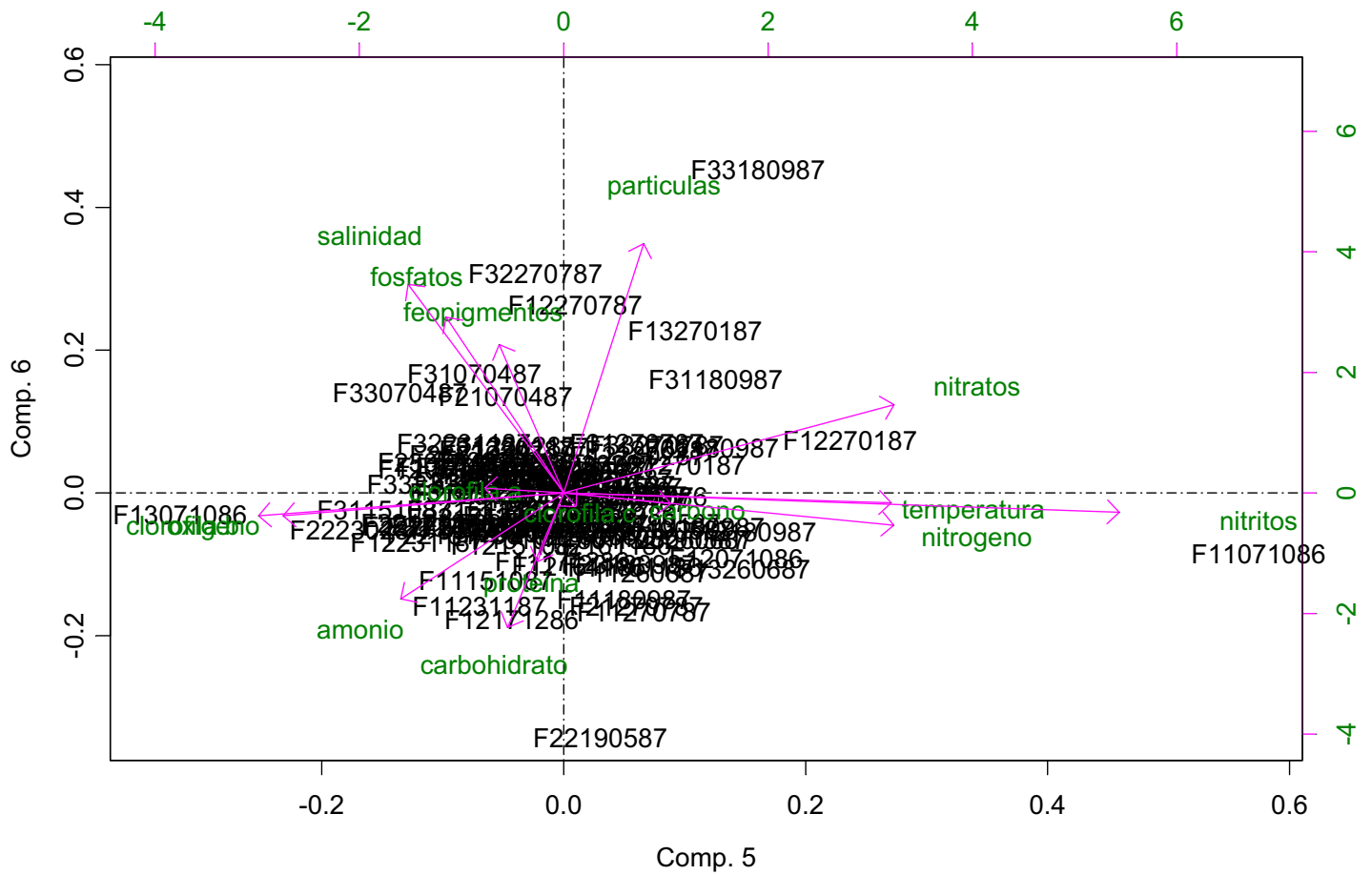
Los primeros gráficos especificados corresponden a las proyecciones de variables originales, junto con los parámetros asociados a la variable **EstProf** (donde incluye la información de diferentes estaciones, profundidades y fechas de toma de datos). En el plano definido por los dos primeros componentes principales (aquí llamadas comp. 1 y comp.2), obtenemos la Figura 30 y, de la misma manera, proyectamos la misma información en el plano de los componentes 3 y 4 (Figura 31), y finalmente el plano de los componentes 5 y 6 (Figura 32).



**Figura 30. Gráfico de proyecciones de variables que representa a la componente 1 versus la componente 2.**



**Figura 31. Gráfico de proyecciones de variables que representa a la componente 3 versus la componente 4.**



**Figura 32.** Gráfico de proyecciones de variables que representa a la componente 5 versus la componente 6.

### **III.2.1.- INTERPRETACIÓN DE LOS COMPONENTES**

#### **Componente 1**

En primer lugar las características relacionadas con la clorofila-a viene explicada por el primer factor (comp.1). Así, el índice (o peso) de “saturación” de la clorofila-a es de 0.42 (ver Tabla IV), de la clorofila-b es de 0.30, de clorofila-c de 0.36, y de los feopigmentos, de 0.21. Existen también valores máximos secundarios para nitrógeno (0.3), oxígeno (-0.29), temperatura (0.27) y nitratos (-0.26). Se observan índices mínimos para carbono (0.1) y amonio (0.15).

Esto parece reflejar aumentos en la densidad de los pigmentos clorofilicos en relación con el sistema ecológico y químico de la bahía (alta concentración de fitoplancton). El primer factor (Comp.1) tiene una relación negativa con el oxígeno, correspondiéndose a la profundidad media de las estaciones de la bahía (las mas interiores presentarían baja salinidad por los aportes de agua dulce de los arrozales y lagunas cercanas). Los índices de otras variables como carbono y amonio probablemente indican que dichos elementos serían menos importantes para este componente.

En general este componente nos estaría indicando una situación de elevada producción de fitoplancton que se estaría alimentando, consumiendo oxígeno (sobre todo en el fondo) y donde los nitritos desaparecen de la columna de agua (bajas concentraciones). Características similares a las que se observan en los meses de noviembre-diciembre de 1986, abril-mayo de 1987 y finalmente agosto de 1987.

#### **Componente 2**

Correspondería a aguas marinas de baja temperatura y alta concentración de oxígeno, con aportes de fosfatos, que contienen material particulado rico en carbono (y carbohidratos), con proteínas, pero con escasa relación con pigmentos (fitoplancton). Todas estas variables vendrían parcialmente explicadas por la segunda componente (comp. 2), características que se asemejan a las condiciones que aparecen en los meses de marzo-abril de 1987.

Una posible interpretación a esta situación sería aquella en que se ha removido sedimento del fondo rico en bacterias y detritus, pero sin llegar a afectar los niveles de oxígeno.

En la representación gráfica de la nube de puntos-variables junto con la nube de “objetos” asociados a la variable “**EstProf**”, que resume información sobre estaciones, profundidades y fechas, cuyos elementos están diseñados aquí como FXYZ donde el símbolo F se refiere al nombre de la bahía (El Fangar), el símbolo X representa las diferentes estaciones ( $X = 1, 2, 3$ ), el símbolo Y indica el nivel de la profundidad asociada a la estación X ( $Y = 1$  (superficie), 2 (media agua), 3 (fondo)), y finalmente Z representa la fecha de toma de datos, que corresponde a la profundidad Y, de la estación X, en formato (día/mes/año). Observándose que las variables correlacionadas entre sí caen cerca unas de otras, y que las variables relacionadas negativamente caen en zonas opuestas. Así como las variables más “importantes” para explicar la variación, que aparecen lejos del origen.

Del gráfico de la Figura 30 se observa que la mayoría de las observaciones se acumulan en los valores centrales de ambos componentes (comp.1 y comp.2) y algunos datos se dispersan, tanto en el primer eje, como en el segundo. Sin embargo las variables “más explicativas”, es decir, las que explican la mayor parte de la variación observada son:

- **clorofila a:** su situación y presencia sería la primera estación, en la profundidad media 2, asociada a la fecha 18/09/1987 (es decir, asociada al objeto F12180987).
- **clorofila c:** donde sus abundancias mayores estarían relacionadas a la estación 3 y a profundidad media, en la fecha 18/09/1987.
- **clorofila b:** donde su abundancia mayor está relacionada a la estación 3, en superficie y en la fecha 27/07/1987 (F31270787).
- **Fosfatos:** donde su concentración estaría relacionada tanto a la estación 1, en una profundidad media y en la fecha 27/07/1987 (F12270787), como a la estación 3, también en profundidad media y en la fecha 27/07/87.
- **Feopigmentos:** donde su abundancia estaría relacionada a la estación 2, en la zona profunda de la columna de agua, y en la fecha 18/09/1987 (F23180987).

Las variables explicativas que aparecen en la zona opuesta del primer componente son:

- **Nitratos:** que estaría asociado a la estación 2, en superficie y en fecha 27/01/1987 (F31270187).
- **Oxígeno:** donde no es posible determinar u observar tendencias claras en sus condiciones por esta componente, quizá con F32230287.

Todas estas variables están cerca de la primer componente y alejadas del origen.



Por otro lado las variables que caen cerca del segundo componente y que pueden ser explicadas por ésta, son:

- **carbono, carbohidratos y proteína:** indicarían que las más adecuadas condiciones en la bahía se darían en F11171286 y F32171286, dado que tienen similares condiciones.

Al formar un ángulo de 45° las variables como salinidad (F32230287) y temperatura pueden ser explicadas tanto por la primera, como por la segunda componente. También hay que señalar la presencia de algunos datos alejados (outliers) como por ejemplo (F13071086).

Por lo tanto, podríamos resumir que el gráfico de la Figura 30 identifica tres grupos de variables cuyas “situaciones” o circunstancias correspondientes, estarían considerablemente relacionadas, y que serían las siguientes:

Grupos	VARIABLES	condiciones correspondientes
G1	Clorofila a Clorofila b Clorofila c Feopigmentos Fosfatos Temperatura	F12180987, F32180987, F31270787, F23180987, F12270787, F32270787
G2	Carbono Carbohidratos Proteína Partículas Nitrógeno	F32171286, F11171286, F21171286, F32190587, F33180987, F32161186
G3	Nitratos Oxígeno Salinidad	F21270187, F332270187, F12230287, F32230287

### Componente 3

Muestra condiciones donde la abundancias de las clorofilas son mayores, en especial los tipos b y c (ver Tabla IV), también abundancia de nitratos, nitritos, oxígeno y niveles bajos de amonio, lo que podríamos llamar y/o interpretar como “aguas eutróficas oxigenadas con alta producción primaria” y donde no aparecen fosfatos, ni nitrógeno.

#### **Componente 4**

Componente relacionado sobre todo con la abundancia de feopigmentos, que estaría asociada a niveles altos de fosfatos y niveles bajos de salinidad, lo cual nos señalaría aportes de componente terrestre (aporte de aguas de los canales de regadío del delta).

En general este componente se manifestaría en aquellas estaciones interiores de la bahía, como lo son E f2 y E f3.

#### **Componente 5**

Relacionado sobre todo con temperaturas altas y bajos niveles de oxígeno, junto con niveles muy altos de nitritos, una clara ausencia de relación con clorofilas y buena relación con nitrógeno particulado. Esta situación parece representativa de verano-otoño con descomposición importante y aportes “terrestres” (salinidad relacionada negativamente), con una baja producción.

## CAPÍTULO III

### III 3.- RESULTADOS DEL ANALISIS DE SERIE DE TIEMPO

#### III. 3. a.- Análisis de serie de tiempo; “s-index”

En las 3 tablas siguientes (Tablas V, VI y VII) se han ordenado y resumido los valores de los índices de variación s-index por profundidad, en las diferentes épocas del año en que se realizó el estudio, para las tres estaciones estudiadas. En la parte inferior de las tablas es posible observar el índice de variación s-index de cada estación, donde se encuentra integrada la época del año, dando énfasis al índice de variación de los parámetros, en las diferentes profundidades. Se han destacado en negro aquellos valores de s-index superiores a 0,30.

El análisis de s-index que se resume en la Tabla V, muestra la síntesis estacional para cada profundidad en la estación E fl. Se observa que muchos de los parámetros estudiados presentan muy poca variación en las diferentes estaciones del año. Valores como salinidad y oxígeno, ya sea en el análisis entre estaciones o para el resumen integrado a todo el estudio, son un claro ejemplo. Existen también otros parámetros con s-index algo mayores (destacados en “negrita”), que indican variaciones a lo largo del año y en el transcurrir de las estaciones (primavera, verano, otoño, invierno), sobre todo si miramos en la zona media de la columna de agua.

Como ejemplo podemos considerar el caso de las partículas. Claro es el caso de la primavera de 1987, donde el s-index alcanzo los 0,55, tendencia que muestra un aumento gradual en el s-index desde el inicio del estudio para las partículas en la zona media de la columna de agua, desde el otoño de 1986 a la primavera de 1987, siendo esta última la mas alta variación en la concentración de partículas.

Las concentraciones de partículas en la zona media de media de la columna de agua presentaron variación en sus concentraciones, estas ocurrieron en otoño de 1986 (0,32), en el invierno de 1987 (0,39) y en primavera de 1987 (0,55), siendo esta última las mas alta variación en la concentración de este parámetro.

Si observamos los valores de s-index del amonio (índice de variación) en el estudio completo para la estación E fl (Ver Tabla V), vemos altas variabilidades en las 3

Tabla V.- Resumen del índice de variación s-index para E f1. Resumen estacional para cada profundidad y de los 14 meses del estudio.

**s-index E f1 - Z 1 (superficie)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitratos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	ceopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.16	0.03	0.07	0.30	0.23	0.12	0.06	0.25	0.07	0.20	0.28	0.41	0.30	0.38	0.27	0.43
Invierno 87	0.12	0.02	0.03	0.27	0.04	0.31	0.04	0.01	0.01	0.01	0.05	0.24	0.06	0.11	0.15	0.13
Primavera 87	0.09	0.04	0.02	0.31	0.07	0.15	0.05	0.01	0.01	0.01	0.18	0.27	0.11	0.09	0.08	0.21
Verano 87	0.04	0.04	0.03	0.08	0.0047	0.08	0.01	0.03	0.01	0.03	0.12	0.29	0.08	0.08	0.27	0.13
Otoño 87	0.14	0.01	0.03	0.01	0.00	0.0019	0.0026	0.05	0.12	0.02	0.06	0.10	0.04	0.24	0.14	0.30

**s-index E f1 - Z 2 (media agua)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitratos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	ceopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.15	0.01	0.10	0.21	0.03	0.46	0.03	0.14	0.02	0.02	0.08	0.37	0.20	0.25	0.16	0.32
Invierno 87	0.12	0.01	0.03	0.29	0.04	0.11	0.01	0.08	0.02	0.03	0.27	0.10	0.07	0.02	0.02	0.39
Primavera 87	0.08	0.02	0.01	0.34	0.02	0.18	0.01	0.03	0.01	0.01	0.14	0.10	0.08	0.08	0.10	0.55
Verano 87	0.05	0.04	0.03	0.05	0.02	0.39	0.02	0.21	0.02	0.08	0.15	0.07	0.06	0.32	0.11	0.04
Otoño 87	0.14	0.02	0.05	0.01	0.0038	0.12	0.01	0.05	0.01	0.15	0.49	0.11	0.16	0.24	0.16	0.30

**s-index E f1 - Z 3 (fondo)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitratos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	ceopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.15	0.00	0.07	0.0015	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.01	0.05	0.0034	0.01	0.06	0.0042	0.04
Invierno 87	0.13	0.01	0.04	0.23	0.03	0.20	0.01	0.11	0.02	0.02	0.29	0.15	0.35	0.05	0.08	0.33
Primavera 87	0.08	0.01	0.02	0.17	0.01	0.39	0.02	0.09	0.01	0.04	0.08	0.08	0.25	0.29	0.30	0.19
Verano 87	0.05	0.02	0.09	0.05	0.05	0.25	0.04	0.23	0.10	0.14	0.04	0.06	0.09	0.39	0.19	0.10
Otoño 87	0.10	0.01	0.06	0.01	0.01	0.12	0.01	0.04	0.30	0.0005	0.36	0.26	0.30	0.05	0.09	0.48

**s-index E f1 Estudio Completo (14 meses)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitratos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	ceopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Z1	0.18	0.04	0.06	0.27	0.11	0.49	0.03	0.17	0.08	0.12	0.16	0.28	0.18	0.33	0.29	0.25
Z2	0.18	0.03	0.06	0.27	0.04	0.33	0.02	0.15	0.04	0.08	0.21	0.21	0.14	0.32	0.16	0.28
Z3	0.18	0.02	0.10	0.22	0.05	0.41	0.09	0.22	0.14	0.11	0.19	0.20	0.21	0.23	0.16	0.33

no son importantes en el análisis multivariado  
sin diferencias entre meses para la estacionalidad

0.00

Tabla VI.- Resumen del índice de variación s-index para E f2. Resumen estacional para cada profundidad y de los 14 meses del estudio.

**s-index E f2 - Z 1 (superficie)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.16	0.03	0.12	0.25	0.03	0.40	0.04	0.14	0.04	0.08	0.14	0.31	0.11	0.41	0.51	0.43
Invierno 87	0.14	0.03	0.03	0.29	0.05	0.08	0.07	0.11	0.03	0.04	0.27	0.02	0.05	0.02	0.03	0.34
Primavera 87	0.10	0.01	0.05	0.26	0.03	0.04	0.02	0.07	0.03	0.00	0.07	0.01	0.16	0.01	0.17	0.03
Verano 87	0.02	0.06	0.06	0.09	0.03	0.34	0.10	0.20	0.07	0.08	0.66	0.15	0.12	0.14	0.17	0.19
Otoño 87	0.12	0.01	0.04	0.02	0.01	0.17	0.02	0.11	0.02	0.01	0.47	0.26	0.09	0.22	0.25	0.01

**s-index E f2 - Z 2 (media agua)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.16	0.004908	0.20	0.000132	0.000086	0.06	0.001113	0.02	0.000583	0.01	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.05
Invierno 87	0.14	0.000594	0.05	0.000505	0.000161	0.004484	0.000512	0.0003910	0.000487	0.000733	0.01	0.01	0.01	0.004624	0.004471	0.01
Primavera 87	0.10	0.000151	0.05	0.000054	0.000020	0.0000918	0.000079	0.0006972	0.000042	0.000182	0.001379	0.001548	0.002303	0.000741	0.000374	0.001410
Verano 87	0.03	0.000020	0.06	0.000011	0.000003	0.000186	0.000011	0.000112	0.000010	0.000024	0.000188	0.000198	0.000314	0.000104	0.000096	0.000198
Otoño 87	0.11	0.000003	0.05	0.000003	0.000001	0.000009	0.000003	0.000020	0.000003	0.000003	0.000048	0.000038	0.000032	0.000028	0.000028	0.000017

**s-index E f2 - Z 3 (fondo)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.16	0.02	0.17	0.18	0.03	0.58	0.08	0.11	0.05	0.05	0.06	0.25	0.16	0.25	0.24	0.42
Invierno 87	0.15	0.01	0.02	0.23	0.04	0.64	0.03	0.06	0.01	0.05	0.15	0.07	0.07	0.09	0.11	0.19
Primavera 87	0.10	0.02	0.04	0.25	0.02	0.21	0.02	0.05	0.04	0.06	0.10	0.23	0.17	0.11	0.37	0.01
Verano 87	0.05	0.04	0.07	0.01	0.02	0.48	0.14	0.20	0.07	0.13	0.59	0.07	0.04	0.13	0.16	0.19
Otoño 87	0.11	0.01	0.06	0.00	0.01	0.12	0.03	0.04	0.02	0.00	0.41	0.22	0.15	0.35	0.19	0.08

**s-index E f2 Estudio Completo (14 meses)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Z 1	0.19	0.05	0.08	0.36	0.06	0.50	0.07	0.19	0.06	0.08	0.43	0.20	0.20	0.24	0.36	0.33
Z 2	0.19	0.002092	0.10	0.000770	0.000218	0.03	0.000668	0.01	0.000872	0.002425	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
Z 3	0.19	0.03	0.12	0.33	0.05	0.51	0.12	0.14	0.05	0.10	0.34	0.18	0.13	0.20	0.21	0.27

no son importantes en el analisis multivariado

Tabla VII.- Resumen del índice de variación s-index para E f3. Resumen estacional para cada profundidad y de los 14 meses del estudio.

**s-index E f3 - Z 1 (superficie)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.02	0.02	0.01	0.14	0.03	0.28	0.15	0.45	0.36	0.33	0.06	0.18	0.02	0.09	0.07	0.29
Invierno 87	0.06	0.01	0.02	0.32	0.05	0.13	0.05	0.10	0.04	0.05	0.26	0.15	0.29	0.32	0.21	0.38
Primavera 87	0.10	0.01	0.02	0.35	0.03	0.16	0.06	0.05	0.01	0.03	0.11	0.03	0.16	0.25	0.12	0.19
Verano 87	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.40	0.08	0.04	0.06	0.04	0.07	0.06	0.06	0.08	0.23	0.07
Otoño 87	0.09	0.0002	0.02	0.0041	0.0005	0.15	0.02	0.11	0.04	0.02	0.60	0.30	0.14	0.06	0.24	0.01

**s-index E f3 - Z 2 (media agua)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.02	0.02	0.01	0.13	0.05	0.33	0.10	0.10	0.05	0.04	0.29	0.17	0.02	0.10	0.03	0.22
Invierno 87	0.06	0.01	0.02	0.11	0.04	0.30	0.04	0.12	0.05	0.07	0.29	0.05	0.07	0.07	0.06	0.15
Primavera 87	0.08	0.02	0.02	0.39	0.04	0.25	0.08	0.03	0.0042	0.01	0.06	0.10	0.23	0.25	0.15	0.16
Verano 87	0.04	0.01	0.02	0.08	0.01	0.44	0.01	0.13	0.07	0.06	0.20	0.05	0.09	0.02	0.25	0.13
Otoño 87	0.09	0.01	0.01	0.01	0.0021	0.41	0.0002	0.15	0.01	0.08	0.26	0.28	0.03	0.09	0.24	0.10

**s-index E f3 - Z 3 (fondo)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Otoño 86	0.02	0.01	0.01	0.11	0.03	0.34	0.03	0.20	0.07	0.07	0.07	0.21	0.07	0.12	0.03	0.20
Invierno 87	0.06	0.01	0.02	0.10	0.03	0.24	0.09	0.07	0.04	0.05	0.19	0.11	0.14	0.10	0.02	0.14
Primavera 87	0.07	0.01	0.02	0.16	0.01	0.11	0.18	0.04	0.00	0.03	0.18	0.12	0.38	0.21	0.18	0.00
Verano 87	0.05	0.01	0.06	0.16	0.0046	0.49	0.07	0.12	0.07	0.06	0.10	0.19	0.12	0.17	0.08	0.46
Otoño 87	0.10	0.0035	0.03	0.02	0.0014	0.16	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.17	0.12	0.20	0.11	0.03

**s-index E f3 Estudio Completo (14 meses)**

	temperatura	salinidad	oxígeno	nitratos	nitritos	amonio	fosfatos	clorofila a	clorofila b	clorofila c	feopigmentos	carbono	nitrogeno	proteina	carbohidratos	particulas
Z 1	0.14	0.03	0.04	0.28	0.05	0.31	0.09	0.26	0.17	0.17	0.23	0.17	0.24	0.21	0.21	0.24
Z 2	0.14	0.02	0.04	0.19	0.03	0.40	0.05	0.16	0.06	0.08	0.23	0.17	0.21	0.15	0.19	0.16
Z 3	0.14	0.01	0.06	0.20	0.03	0.39	0.09	0.13	0.05	0.02	0.21	0.17	0.23	0.15	0.14	0.34

no son importantes en el análisis multivariado

estaciones (en diferentes épocas del año), así como en las 3 profundidades estudiadas. Existiendo, en comparación, con otros de los parámetros medidos, diferencias significativas al comparar el s-index entre parámetros a lo largo del estudio (Ej.: oxígeno, fosfatos;  $p < 0,0001$ ). Un ejemplo sería el valor de s-index de 0,31 para el invierno de 1987 en superficie, coincidiendo con la “apertura de los canales. La zona media de la columna de agua presentó altos valores de s-index, tanto en otoño de 1986 (0,46), como en el verano de 1987 (0,39). Para el fondo de la columna de agua el valor máximo de s-index se encontró en la primavera de 1987 (0,39), coincidiendo con valores superiores a  $10\mu\text{g-at/l}$ .

Al observar los valores de s-index promedio para los 14 meses del estudio, nos damos cuenta que los resultados apuntan a altas variaciones en la concentración del amonio en la estación mas externa de la bahía, siendo un poco menores, pero igual de importantes, en las estaciones internas. Estas variaciones se iniciarían desde comienzos del verano. Algo similar ocurriría para proteínas a lo largo de la columna de agua, a excepción del fondo, donde hay una muy baja variación en la concentración de proteínas.

Aquellos valores que se presentan en las tablas con valores inferiores a “0,00...”, indican que en los meses que corresponden a una de las estaciones del año (Ej.: otoño), no presentaron diferencias de s-index, o estas diferencias fueron muy pequeñas.

En la Tabla VI se resumen los valores de s-index para la estación E f2. En superficie llaman la atención los valores relativamente altos de s-index, tanto para amonio (otoño de 1986 y verano de 1987), como para feopigmentos (verano y otoño de 1987), proteínas (otoño de 1986), carbohidratos (otoño de 1986) y partículas (otoño de 1986 e invierno de 1987).

En la zona media de la columna de agua los valores de s-index fueron bastante bajos. En el fondo, destacan valores de s-index altos para amonio, en otoño de 1986 (0,58), invierno de 1987 (0,64) y verano de 1987 (0,48). Los feopigmentos también destacan en el fondo de la bahía, con un s-index elevado, tanto en verano (0,59), como en otoño de 1987 (0,41).

En el resumen del estudio completo para E f2, solo el parámetro amonio, para la profundidad Z1 (superficie) y Z3 (fondo), así como los feopigmentos en Z1, presentaron

valores elevados de s-index (alta variabilidad en sus concentraciones), en comparación a los otros parámetros estudiados.

En la Tabla VII, se sintetizan los valores del s-index para la estación E f3. Es posible observar altos s-index para nitratos en superficie, tanto en el invierno de 1987 (0,32), como para la primavera de 1987 (0,35). También el amonio mostró un s-index alto en el verano de 1987 (0,40), Parámetros como las clorofilas a, b y c mostraron s-index altos en el otoño de 1986. Por otro lado, se observa el alto valor de s-index para feopigmentos en el otoño de 1987, con un índice de variación de 0,60. En la zona media de la columna de agua los parámetros no presentaron grandes variaciones del s-index, con excepción del amonio, en otoño de 1986 (0,33), verano de 1987 (0,44) y otoño de 1987 (0,41). En el fondo de la estación E f3 el amonio alcanzó un índice de variación de 0,49 en verano de 1987 y en la misma época ocurre lo mismo con las partículas, con un valor de 0,46. Para el estudio completo de la E f3, el amonio presentó las mayores variaciones en el s-index en toda la columna de agua.

### **III. 3. b.- Autocorrelación muestral (Función de autocorrelación; FAC)**

El correlograma de la Figura 33, donde observamos la autocorrelación muestral simple para temperatura, muestra la presencia de ciclicidad en la FAC (función de autocorrelación =  $k = \text{Corr}(\mathbf{Z}_t, \mathbf{Z}_{t-k})$ ). Es posible observar un patrón ondulatorio, con una autocorrelación significativa y negativa en Lag 7<sup>1</sup> ( $p = 0,099$ ), otros Lag presentan una baja correlación, también es posible observar ciclicidad, con un patrón ondulatorio, y con una marcada FAC negativa. En la autocorrelación parcial se observan correlaciones bajas y no significativas (ver anexo figuras no significativas).

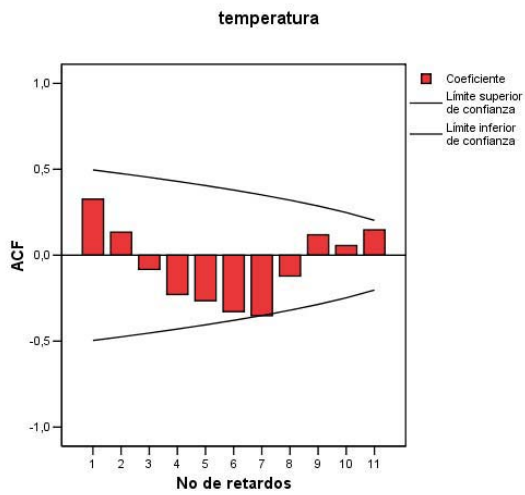
Para salinidad el correlograma (Figura 34) mostró una baja correlación para la serie muestral, con excepción del Lag 5, con una autocorrelación negativa significativa ( $p = 0,093$ ). Para el correlograma de la autocorrelación parcial la salinidad no presentó valores significativos.

Al observar el correlograma correspondiente al oxígeno (Figura 35), destaca el Lag 8 con un valor significativo ( $p = 0,090$ ). Mientras que la autocorrelación parcial del

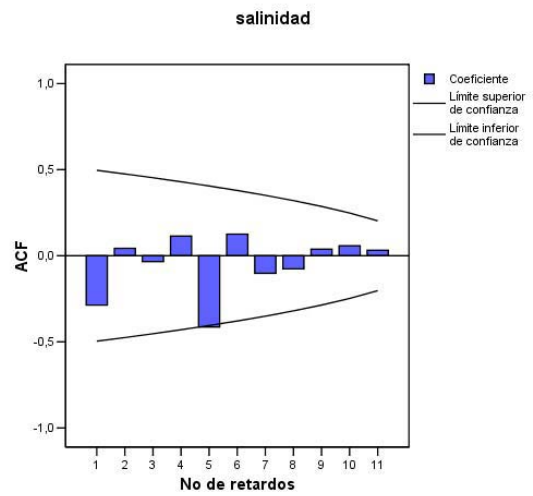
---

<sup>1</sup> Lag, para entenderlo más claramente, sería el lapso de tiempo, la unidad, que en nuestro caso es “mes”.

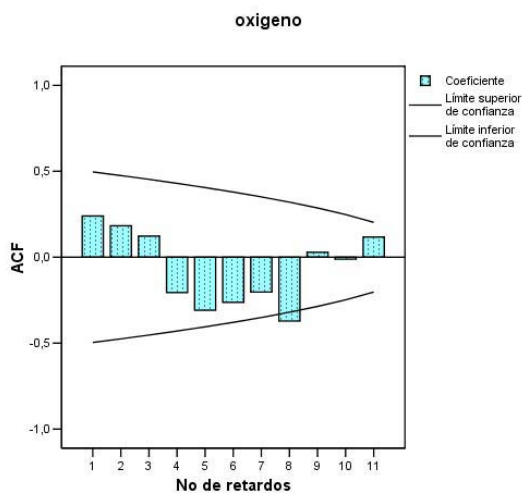




**Figura 33.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para temperatura.**



**Figura 34.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para salinidad.**



**Figura 35.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para oxígeno.**

oxígeno muestra valores de correlación no significativos.

El correlograma para el fosfato (Figura 36) muestra valores significativos para el Lag 8 ( $p=0,026$ ), observándose valores de autocorrelación bajos para la FAC parcial.

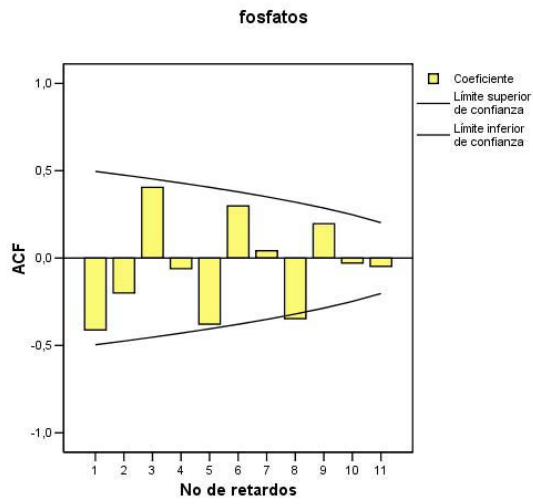
La Figura 37 muestra el correlograma de la clorofila-a, donde es posible observar dos picos en la función de autocorrelación, es decir valores significativos, en el Lag 8 ( $p=0,174$ ) y en Lag 11 ( $p=0,029$ ). La autocorrelación parcial no muestra valores significativos para el análisis.

La clorofila-c (Figura 38) muestra en Lag 8 un valor significativo ( $p=0,086$ ) y en la autocorrelación parcial no se observaron datos significativos.

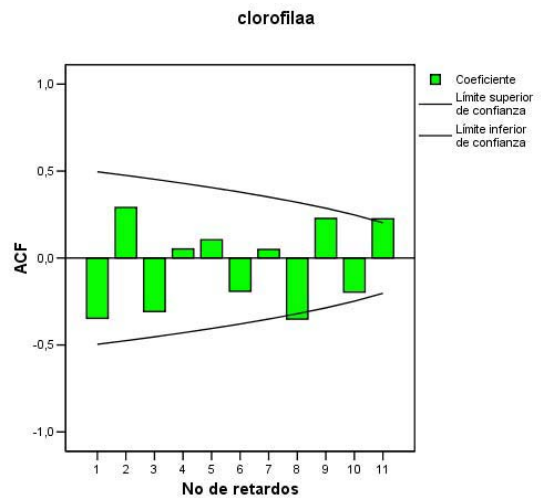
El correlograma de los fopigmentos (Figura 39) muestra un valor significativo en Lag 1 ( $p=0,037$ ), no mostrando valores correlacionados o significativos, en el análisis de la autocorrelación parcial.

Para el carbono, el correlograma (Figura 40) de la FAC muestra valores significativos en Lag 1 ( $p=0,020$ ), Lag 9 ( $p=0,3$ ), Lag 10 ( $p=0,005$ ) y Lag 11 ( $p=0,001$ ). Para la autocorrelación parcial observamos un dato significativo en Lag 1 (Figura 41).

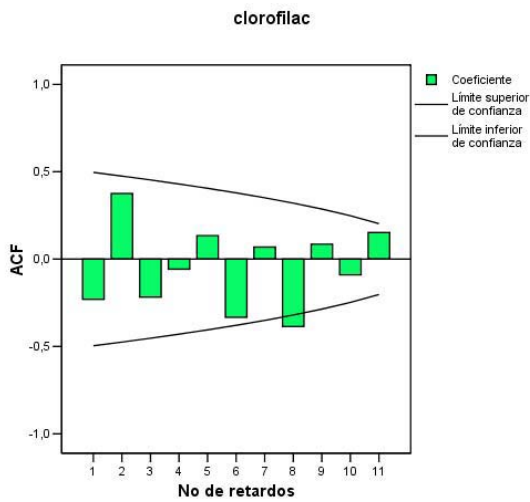
El análisis de autocorrelación para el nitrógeno muestra 3 valores significativos, estos son el Lag 1 ( $p=0,045$ ), el Lag 9 ( $p=0,036$ ) y Lag 10 ( $p=0,019$ ) (Figura 42), mientras que la autocorrelación parcial no presento datos significativos.



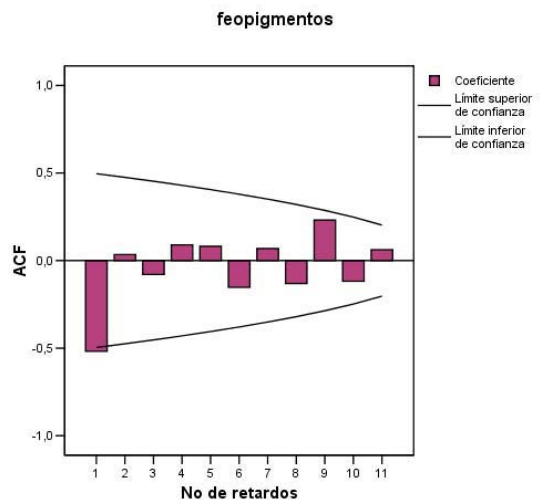
**Figura 36.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para fosfatos.**



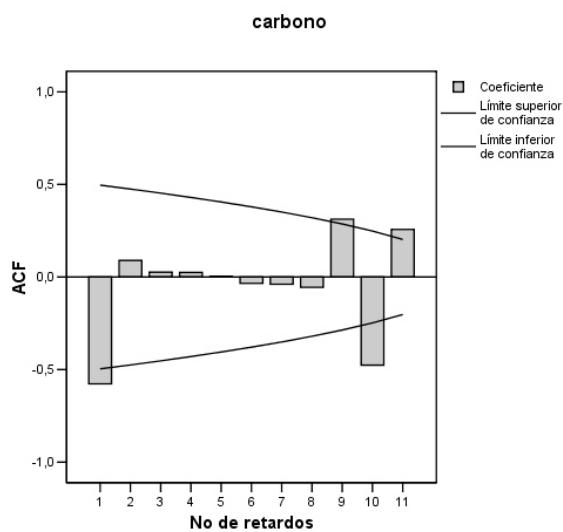
**Figura 37.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para clorofila-a.**



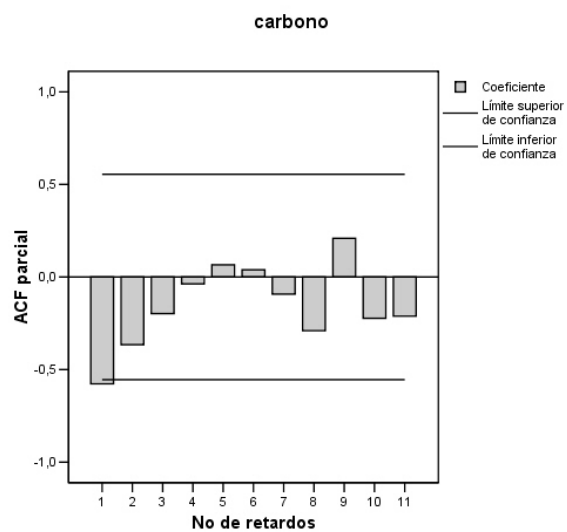
**Figura 38.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para clorofila-c.**



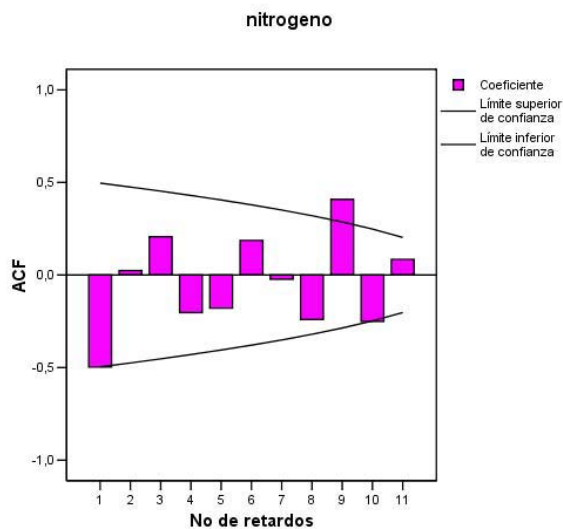
**Figura 39.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para feopigmentos.**



**Figura 40.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para carbono.**



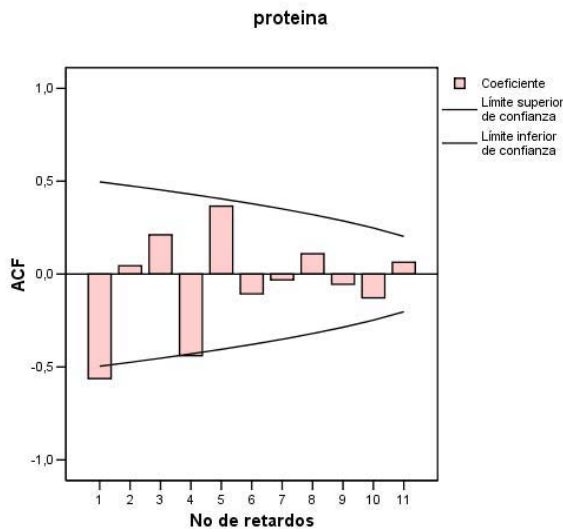
**Figura 41.- Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para carbono.**



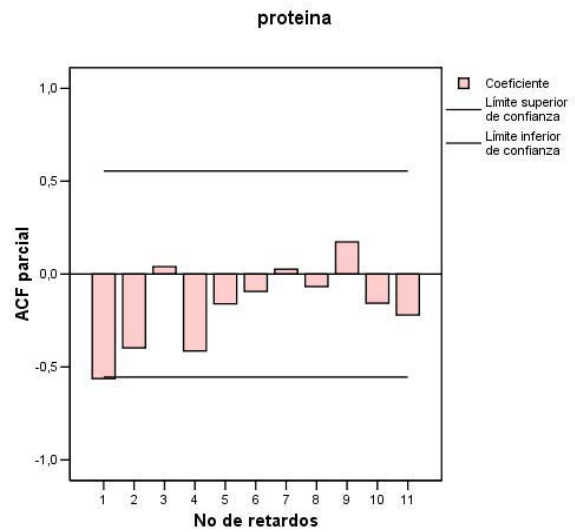
**Figura 42.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para nitrógeno.**

La Figura 43 muestra el correlograma de las proteínas, se pueden observar 2 valores significativos, en Lag 1 ( $p = 0,023$ ) y en Lag 4 ( $p = 0,037$ ). En el análisis de autocorrelación parcial se observó el pico significativo en Lag 1 (Figura 44).

Los parámetros como el amonio, los nitratos, los nitritos, carbohidratos y partículas presentaron valores no significativos a lo largo del estudio, tanto en el análisis de autocorrelación, como en la autocorrelación parcial (ver anexo Figuras III.3 b; no significativas).



**Figura 43.- Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para proteína.**



**Figura 44.- Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para proteína.**

### III. 3. c.- Correlación Cruzada (Función de Correlación Cruzada; FCC)

El primer correlograma importante que aparece en los resultados es el de la función de correlación cruzada entre temperatura y oxígeno (Figura 45), muestra que en Lag 0, es decir, sin desfase en el número de retardos (también llamadas asincrónicas cuando el valor es negativo) la función es significativa y de valor negativo (-0,74). Esto quiere decir que el parámetro temperatura afectaría de forma instantánea e inversa a las variaciones en el parámetro oxígeno.

En la Figura 46 se observa el resultado de la FCC entre temperatura y nitratos. Se observa que en el Lag -1, es decir con desfase, aparece un valor de correlación negativa significativa de la FCC, de -0,61, indicando que la temperatura afectaría a la concentración de nitratos con un retardo de un mes. Ocurriendo primero cambios en la temperatura, que se verían reflejados en variaciones en la concentración de los nitratos, con un desfase temporal de meses consecutivos.

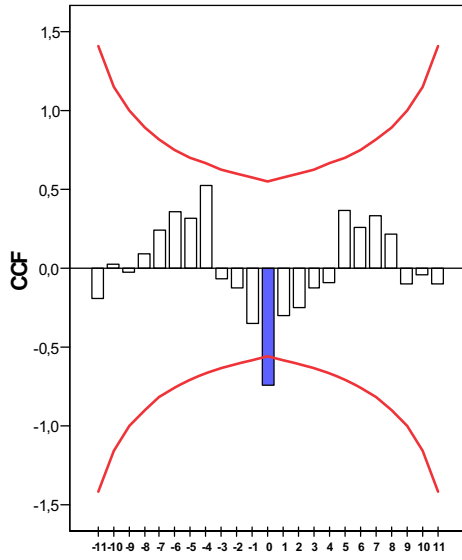
Para la FCC entre temperatura y clorofila-a, se observan los resultados en la Figura 47. En el Lag -1 aparece una correlación significativa positiva de la FCC, de 0,63. Esto indicaría, al igual que en el caso anterior, que a una variación en la temperatura, le correspondería una variación en la concentración de clorofila-a, con un desfase temporal de meses consecutivos, pero en este caso con un valor positivo.

El siguiente correlograma importante es el de la Figura 48, donde se muestra la FCC entre temperatura y clorofila-c, con la misma tendencia que en el resultado anterior (para temperatura y clorofila-a), es decir para una número de retardo -1 (Lag -1), el valor de la FCC es positiva y significativa, con un valor de 0,6.

El resultado que muestra la Figura 49, donde se observa el correlograma de la FCC entre temperatura y nitrógeno, indica que a un número de retardo -1 (Lag -1), el valor de la FCC es significativo, con un valor positivo de 0,6. Lo cual indica que, a una variación en la temperatura le seguiría una variación en la concentración de nitratos, con un desfase en Lag -1. Por tanto indicaría una correlación entre meses consecutivos.

Todas las demás Figuras o correlogramas del parámetro temperatura frente al resto de parámetros medidos en el estudio, no son significativos en el análisis de FCC.

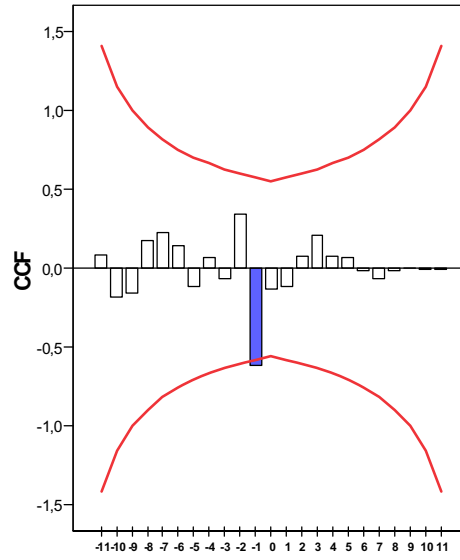
Temperatura con Oxígeno



No de retardos

Figura 45.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y oxígeno durante el estudio.

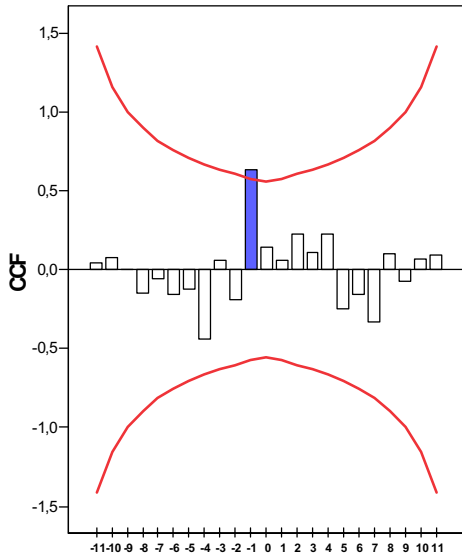
Temperatura con Nitratos



No de retardos

Figura 46.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y nitratos durante el estudio.

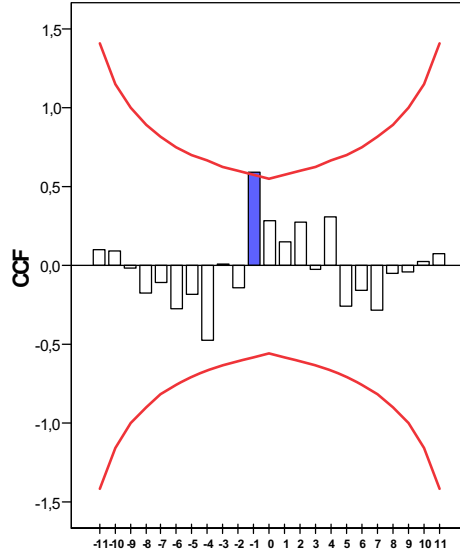
Temperatura con Clorofila-a



No de retardos

Figura 47.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y clorofila-a durante el estudio.

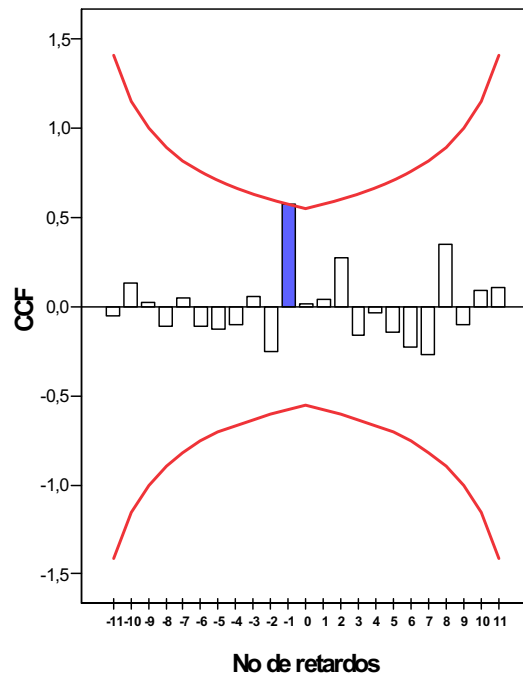
Temperatura con Clorofila-c



No de retardos

Figura 48.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y clorofila-c durante el estudio.

### Temperatura con Nitrógeno



**Figura 49.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y nitrógeno durante el estudio.**



La Figura 50 muestra el correlograma entre salinidad y oxígeno. En esta gráfica se observa que en el Lag 0 (sin retardo), el valor de la FCC es significativo para un valor positivo de 0,7, indicando que es sincrónica. Variaciones en concentraciones de la salinidad provocarían una respuesta instantánea (o sincrónica) en las variaciones de las concentraciones de oxígeno.

El resultado de la FCC entre la salinidad y los nitratos, representado en el correlograma de la Figura 51, muestra un valor significativo negativo de -0,83, en el Lag -6. Lo que indicaría que tras variaciones en la temperatura, habría una alta asincronía, de más de 6 meses, con variación en la concentración de nitrato.

La Figura 52 nos muestra el resultado de la FCC entre salinidad y amonio. En ella observamos en Lag -1 un valor significativo de -0,73, indicando una asincronía entre las variables, con un desfase de al menos 1 mes.

Otro correlograma que presenta una tendencia o resultado similar a la Figura 52, es el que se representa en la Figura 53, donde se observa que para salinidad frente a fosfatos, la FCC es significativa, con un valor negativo de -0,8 (asincrónico), que explicaría variaciones o fluctuaciones asincrónicas entre estas 2 series, con una alta relación negativa entre ellas.

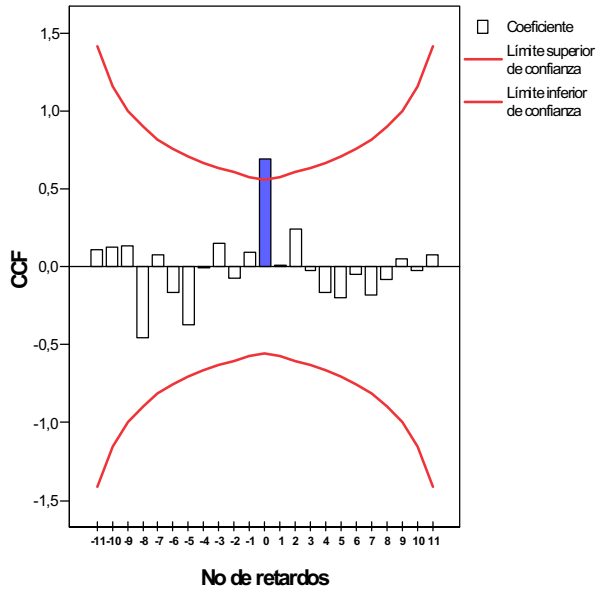
El resultado del análisis de correlación cruzada entre salinidad y nitrógeno (Figura 54), mostró una alta sincronía, con un valor significativo de 0,68 en Lag 3, lo que indicaría que con un mayor desfase en el tiempo, estas variables se encontrarían relacionadas significativamente de forma positiva.

Todas las otras figuras de la función de correlación cruzada para el parámetro salinidad, son no significativas en el análisis de la FCC (ver anexo figuras no significativas).

La Figura 55 muestra el resultado del análisis de correlación cruzada entre oxígeno y fosfatos, indicando que son variables sincrónicas sin retardo, es decir con Lag 0, con un valor significativo de la FCC de -0,73.

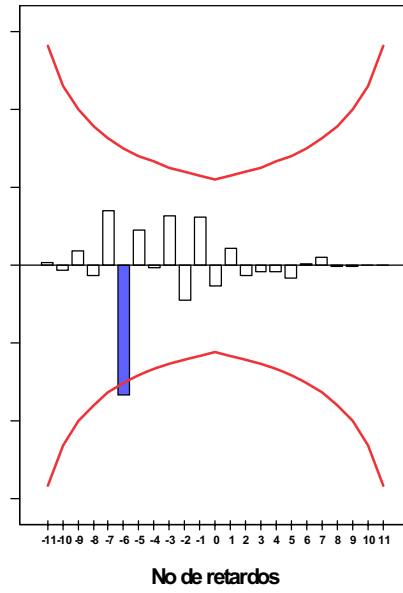
El resultado de la FCC entre oxígeno y clorofila-c, de la Figura 56, muestra que en Lag 0 se logra el valor significativo de -0,68, por lo que ambas variables responden instantáneamente, sin retardos y de forma negativa.

Salinidad con Oxígeno



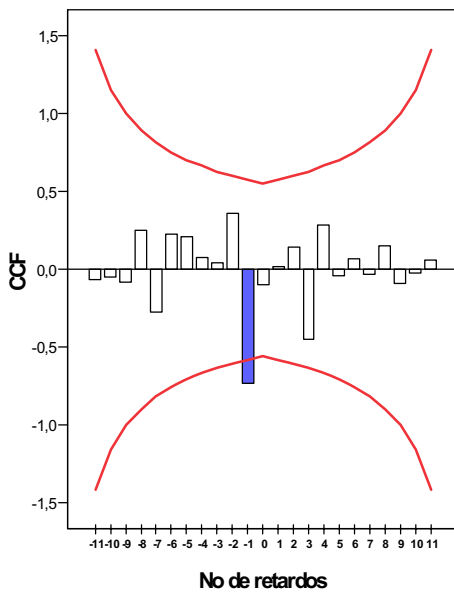
No de retardos  
Figura 50.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y oxígeno durante el estudio.

Salinidad con Nitratos



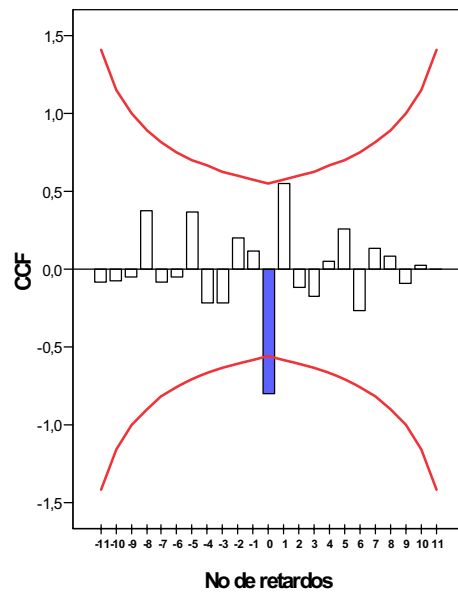
No de retardos  
Figura 51.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y nitratos durante el estudio.

Salinidad con Amonio



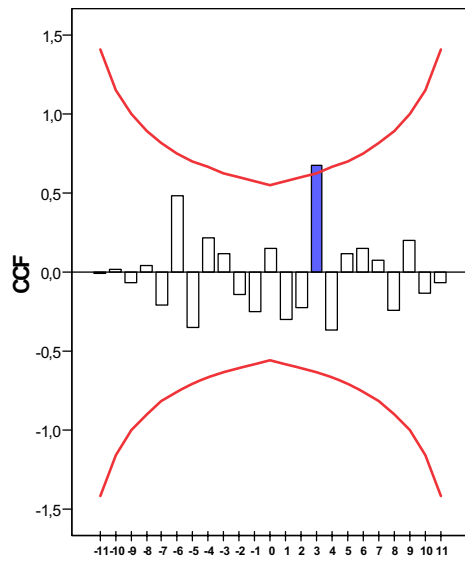
No de retardos  
Figura 52.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y amonio durante el estudio.

Salinidad con Fosfatos



No de retardos  
Figura 53.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y fosfatos durante el estudio.

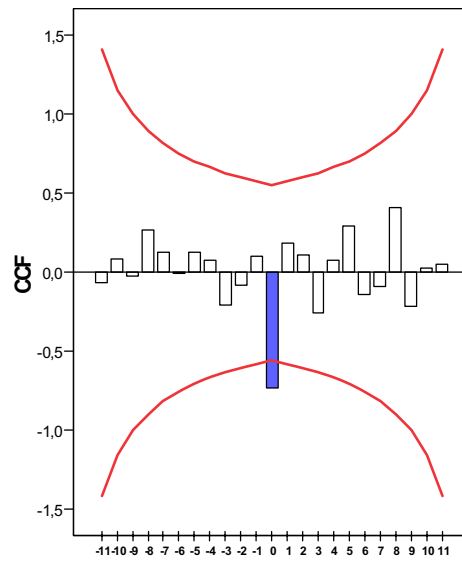
**Salinidad con Nitrogeno**



No de retardos

**Figura 54.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y nitrógeno durante el estudio.**

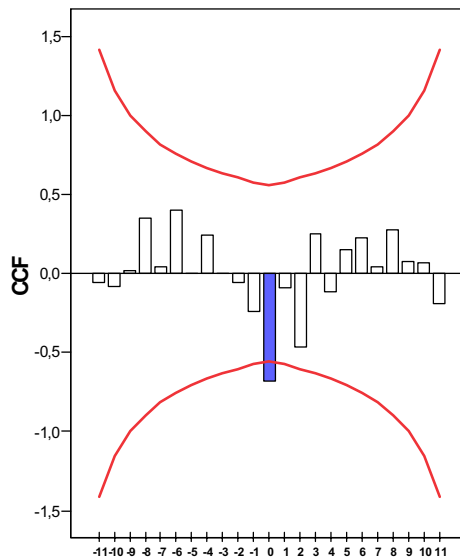
**Oxígeno con Fosfatos**



No de retardos

**Figura 55.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y fosfatos durante el estudio.**

**Oxígeno con Clorofila-c**



No de retardos

**Figura 56.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y clorofila-c durante el estudio.**

El resto de Figuras donde que muestran los resultados de la FCC para oxígeno frente al resto de variables resultaron no significativas para el análisis.

El nitrato mostró una relación o “respuesta” instantánea a los cambios o variaciones en las concentraciones de los parámetros, para los cuales la FCC fue estadísticamente significativa (nitrito, carbono, proteínas, carbohidratos y partículas).

La Figura 57 muestra que el análisis de FCC para nitrato frente a nitrito presentó el valor significativo mas alto, con 0,93 en Lag 0, existiendo una alta relación positiva entre estos parámetros, de modo que al aumentar o disminuir las concentraciones de nitrato, lo hacen instantáneamente, y de igual forma las de nitrito.

La FCC (Figura 58) que enfrente a nitrato con carbono, alcanzó un valor significativo de -0,62 en Lag 0, explicando que a medida que el nitrato aumenta o disminuye, el carbono lo hará de forma contraria.

La FCC para nitrato frente a proteínas (Figura 59), logró un valor significativo de -0,61, en Lag 0, mostrando una tendencia muy similar al comportamiento entre nitrato y carbono, explicado en el párrafo anterior.

El valor significativo para la FCC entre nitrato y carbohidratos (Figura 60) se logró en el Lag 0, y fue de -0,65, mostrando una tendencia similar a casos anteriormente descritos.

Finalmente el resultado de la FCC para el parámetro nitrato frente a partículas, alcanzó un valor significativo de -0,82, también en Lag 0 (Figura 61). Siendo esta relación mas estrecha, en comparación a situaciones donde el nitrato se enfrentaba con los otros parámetros anteriormente descritos (y donde se alcanzaron valores significativos de la FCC). Por consiguiente, varían tanto el nitrato como las partículas, de forma negativa (aumentando uno y disminuyendo el otro, o viceversa), y sincrónicamente.

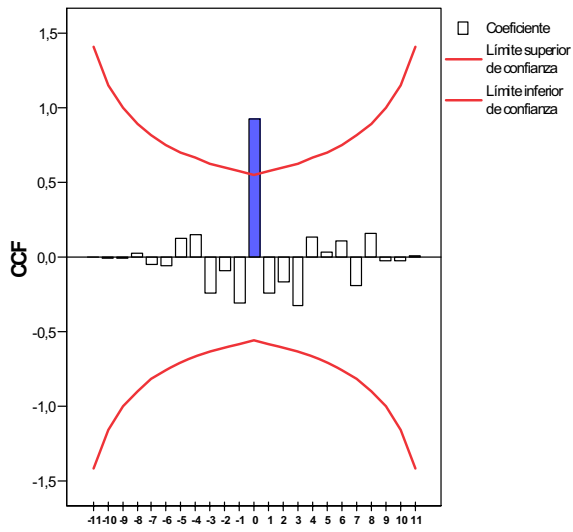
Para el nitrito ocurre un caso similar al del nitrato, con valores significativos que aparecen de forma instantánea o sincrónica, es decir en Lag 0.

El resultado de la FCC para nitrito frente a carbono, alcanzó un valor significativo de -0,63, para el Lag 0, o retardo 0 (Figura 62).

En la Figura 63 se muestra el análisis de FCC entre nitrito y carbohidratos, con un valor significativo de -0,62, con comportamiento similar a la relación entre nitrito y carbono, anteriormente descrita.

Para el resultado del análisis de FCC entre nitrito y partículas, se obtuvo un valor

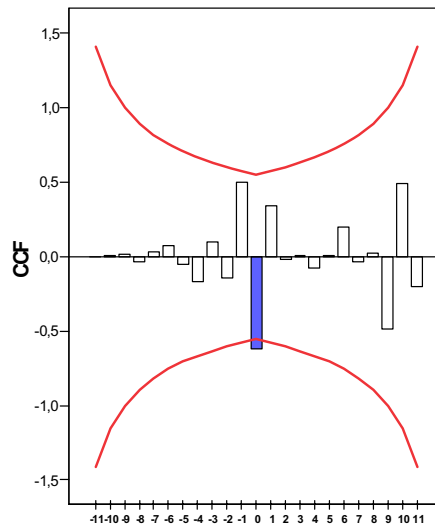
Nitratos con Nitritos



No de retardos

Figura 57.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y nitritos durante el estudio.

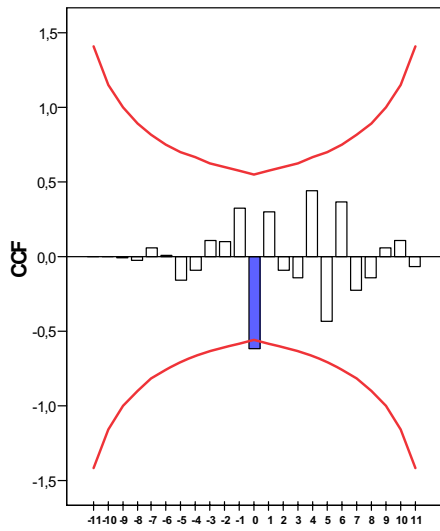
Nitratos con Carbono



No de retardos

Figura 58.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y carbono durante el estudio.

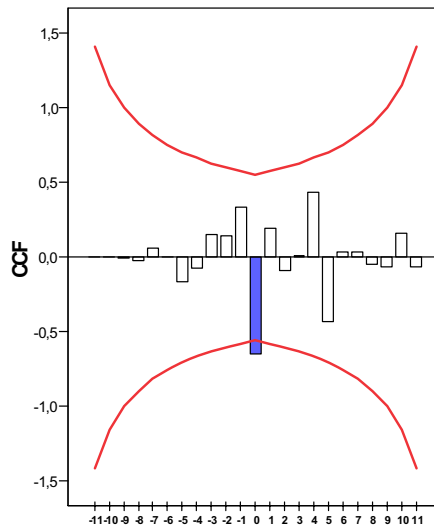
Nitratos con Proteínas



No de retardos

Figura 59.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y proteínas durante el estudio.

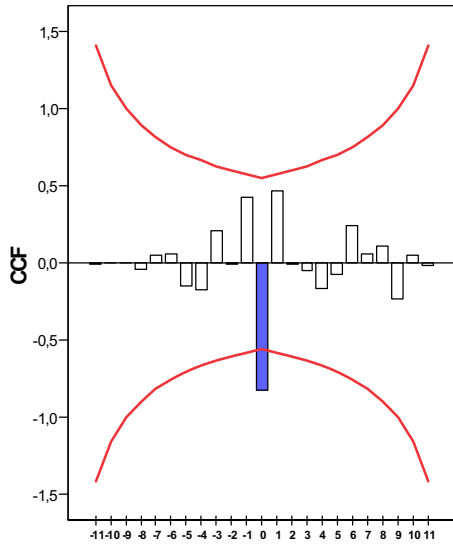
Nitratos con Carbohidratos



No de retardos

Figura 60.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y carbohidratos durante el estudio.

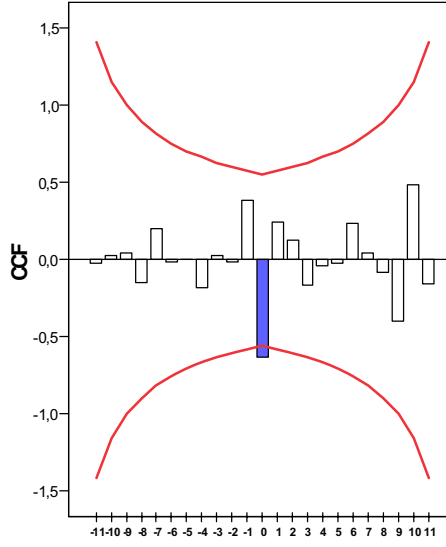
**Nitratos con Partículas**



No de retardos

**Figura 61.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y partículas durante el estudio.**

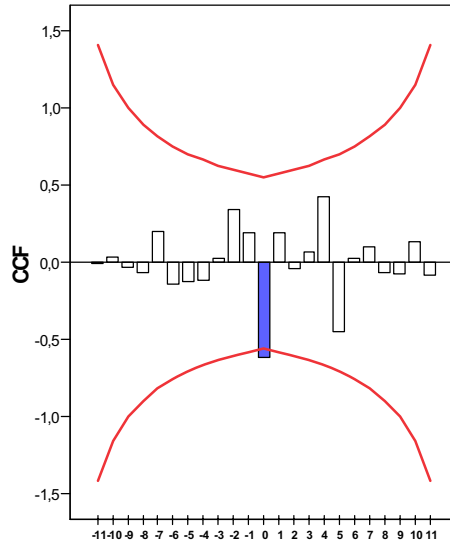
**Nitritos con Carbono**



No de retardos

**Figura 62.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y carbono durante el estudio.**

**Nitritos con Carbohidratos**



No de retardos

**Figura 63.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y carbohidratos durante el estudio.**

significativo de  $-0,77$  (Figura 64), siendo esta relación la más fuerte para el parámetro nitrito, y explicando que al aumentar la concentración de nitrito, lo harían de forma contraria las partículas, en forma sincrónica, y viceversa.

En la Figura 65 se observa el resultado del análisis de FCC entre fosfato y clorofila-b con un valor significativo de  $0,56$  en Lag 0.

El resultado que nos muestra la Figura 66, enfrenta fosfato con nitrógeno y arrojó un desfase (o asincronía) de entre 2 y 3 meses, (Lag 2 y Lag 3), con valores significativos de  $0,63$  y  $-0,74$ , respectivamente. Esto quiere decir que variaciones en la concentración de fosfato se relacionan con la de nitrógeno con un desfase de 2 y 3 meses, siendo en el segundo mes positiva, o sea aumentan o disminuyen las dos, mientras que en el mes 3 la relación es negativa, explicando que un aumento en la concentración de fosfato se advertiría y se relacionaría 3 meses después con una variación, en este caso con una disminución, en la concentración del nitrógeno.

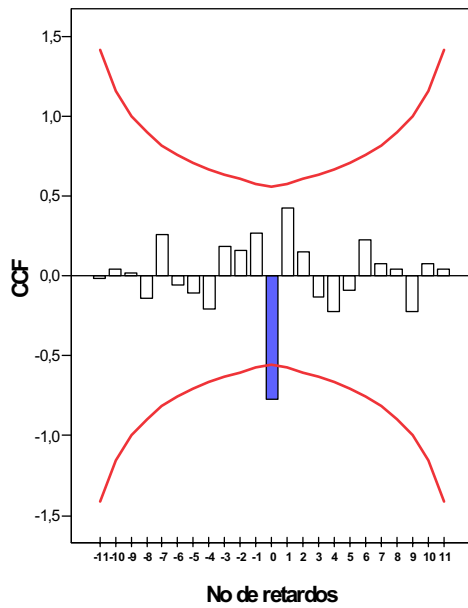
La Figura 67 muestra un alto valor significativo sincrónico (Lag 0) de la FCC, con una correlación de  $0,93$ , entre la clorofila-a y la clorofila-c. Siendo una de las más altas correlaciones entre parámetros observada en los resultados de la FCC.

En la Figura 68 observamos una tendencia similar a la anterior, con un valor significativo sincrónico entre clorofila-a y feopigmentos, de  $0,66$  (Lag 0).

Interesante es el resultado de la Figura 69, donde se observa clorofila-a frente a carbono. En ella se pueden ver dos barras significativas y opuestas. La primera correlación es sincrónica y positiva, con un valor de  $0,70$ , mientras que la segunda barra presenta una correlación negativa significativa en el retardo Lag 1, con un valor de  $-0,62$ . Esto indicaría que, a cambios en la concentración de clorofila-a, sucederían cambios instantáneos en las concentraciones de carbono, de modo que al aumentar uno de estos parámetros, aumentaría el otro, o viceversa. Pero a continuación en la escala de retardos (tiempo), ocurriría lo contrario y la correlación se hace negativa, de modo que al aumentar uno, disminuiría el otro, y viceversa.

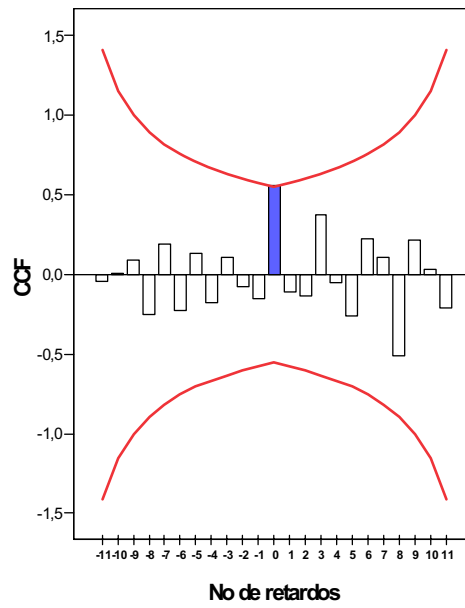
Para la Figura 70, donde vemos al parámetro clorofila-a frente a nitrógeno, observamos que la FCC es significativa y positivamente sincrónica (Lag 0), con un valor de  $0,74$ . A cambios en la concentración de clorofila-a, le suceden cambios instantáneos en la concentración de nitrógeno.

**Nitritos con Partículas**



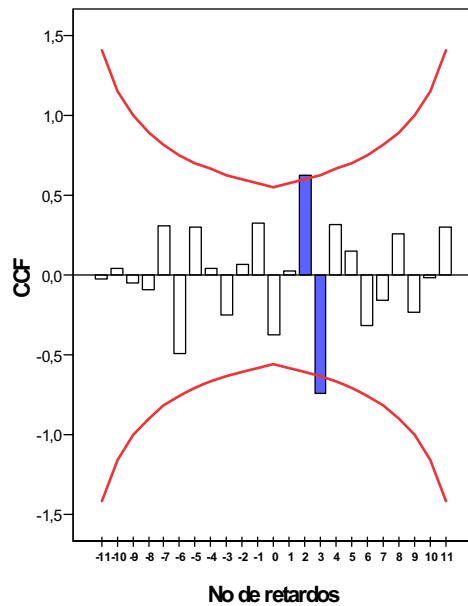
**Figura 64.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y partículas durante el estudio.**

**Fosfatos con Clorofila-b**



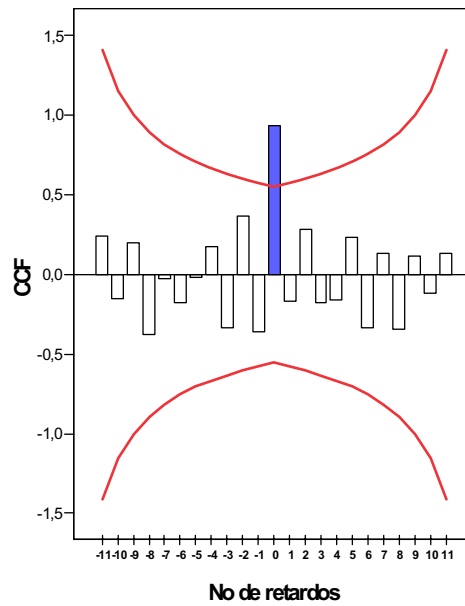
**Figura 65.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y clorofila-b durante el estudio.**

**Fosfatos con Nitrógeno**



**Figura 66.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y nitrógeno durante el estudio.**

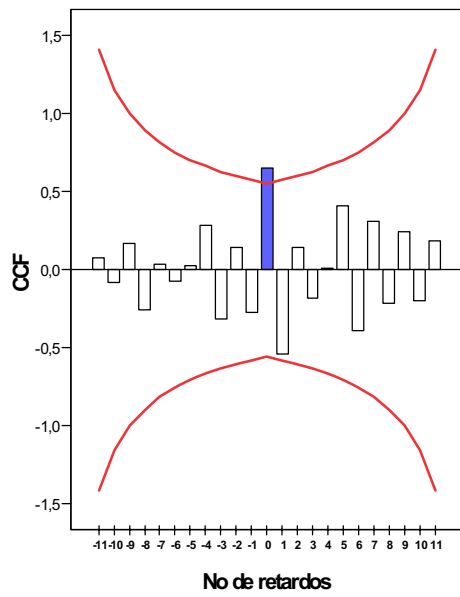
**Clorofila-a con Clorofila-c**



**Figura 67.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y clorofila-c durante el estudio.**

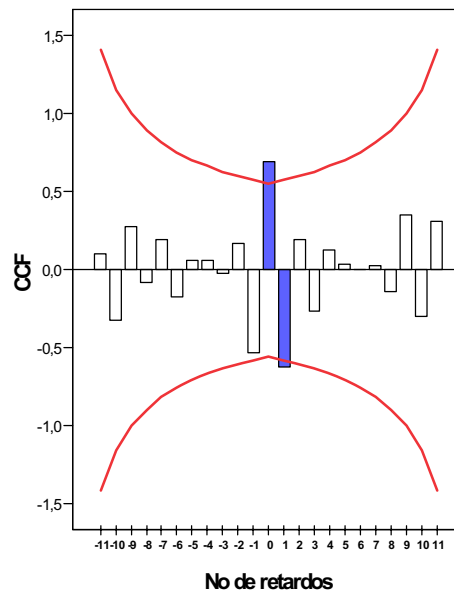


**Clorofila-a con Feopigmentos**



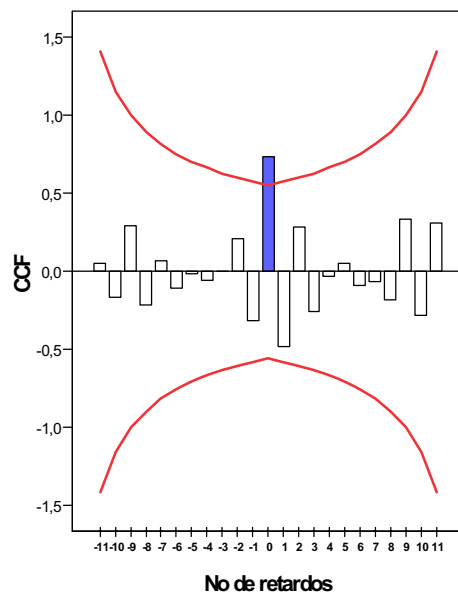
**Figura 68.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y feopigmentos durante el estudio.**

**Clorofila-a con Carbono**



**Figura 69.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y carbono durante el estudio.**

**Clorofila-a con Nitrógeno**



**Figura 70.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y nitrógeno durante el estudio.**

Caso muy similar es el de la Figura 71, de clorofila-a frente a partículas. La FCC es significativa y positivamente sincrónica, con un valor en la correlación de 0,72.

En la Figura 72, enfrentamos la clorofila-b con la clorofila-c, y muestra que la FCC es significativa y sincrónica, además de positiva, con un valor de 0,59. Indicando que al variar las concentraciones de clorofila-b en el medio, ocurren variaciones instantáneas en la concentración de clorofila-c.

En la Figura 73, enfrentamos la clorofila-b con proteínas, y se observa una correlación significativa negativa a desfase Lag -1, con un valor de -0,64.

La FCC para clorofila-c frente a feopigmentos se muestra en la Figura 74. En ella es posible observar una correlación significativa, sincrónica, con un valor de 0,67. Posteriormente aparece otra correlación significativa negativa con desfase Lag 1, con un valor de -0,62. Esto se entendería como que a tiempo cero los 2 parámetros enfrentados responderían simultáneamente a cambios en sus concentraciones, mientras que con el paso del tiempo (desfase) esta correlación se haría inversa.

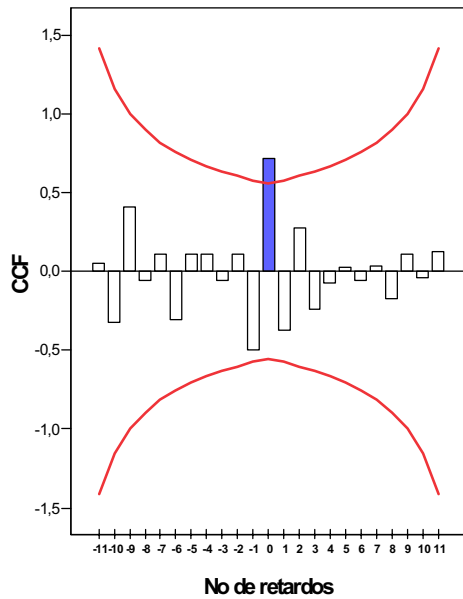
La Figura 75 muestra la FCC entre clorofila-c y carbono, en la cual es posible apreciar que hay una correlación significativa negativa en desfase Lag 1, con un valor de -0,57. A pesar de ser un valor bajo, se considera significativa ya que en la figura la barra de Lag 1 coincide con el límite de confianza negativo.

En la Figura 76 se observan los resultados de la FCC para clorofila-c frente a nitrógeno, mostrándonos una correlación significativa sincrónica, con un valor de 0,61. Lo que nos indicaría que con cambios en la concentración de clorofila-c, ya sea aumentando o disminuyendo, ocurrirían cambios simultáneos en la concentración de nitrógeno, en el mismo sentido.

Casi idéntico es el resultado de la FCC para la clorofila-c frente a partículas. En la Figura 77, vemos que existe una correlación significativa sincrónica, con un valor de 0,61.

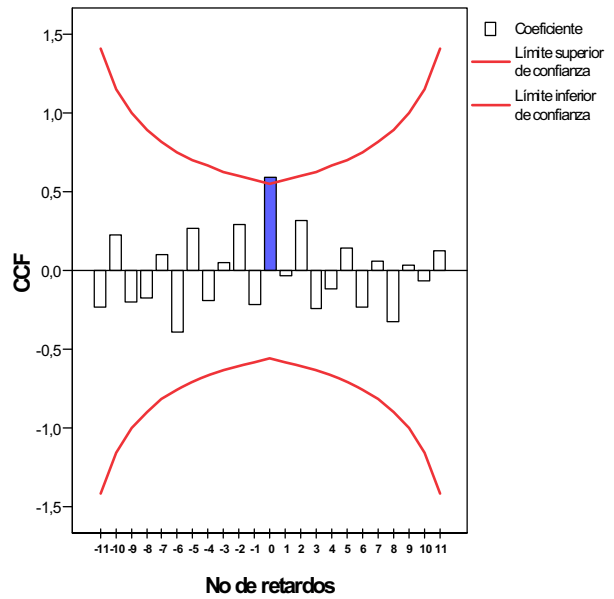
En la Figura 78 se muestran los resultados de la FCC para feopigmentos frente a carbono. Se observa una correlación significativa negativa con desfase Lag -1 (o retardo -1), con un valor de -0,61.

**Clorofila-a con Partículas**



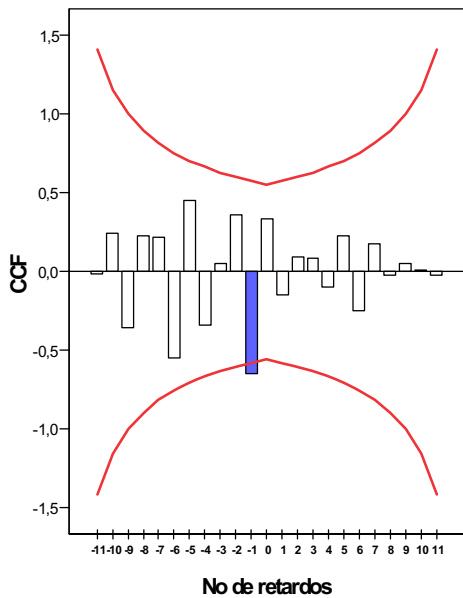
**Figura 71.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y partículas durante el estudio.**

**Clorofila-b con Clorofila-c**



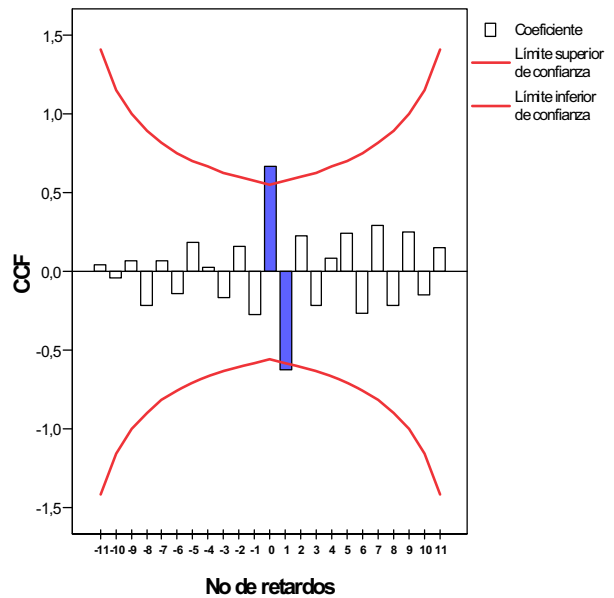
**Figura 72.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y clorofila-c durante el estudio.**

**Clorofila-b con Proteínas**



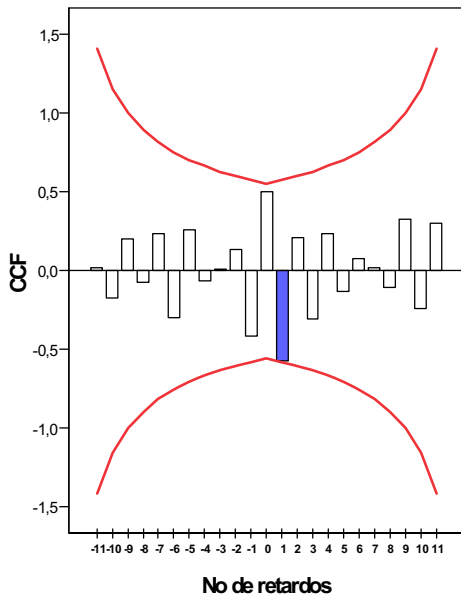
**Figura 73.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y proteínas durante el estudio.**

**Clorofila-c con Feopigmentos**



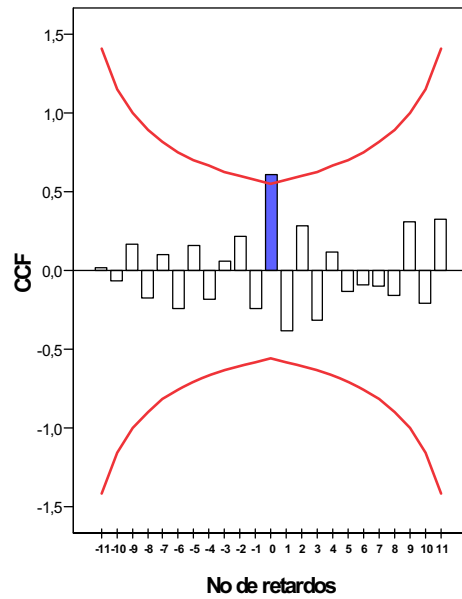
**Figura 74.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y feopigmentos durante el estudio.**

**Clorofila-c con Carbono**



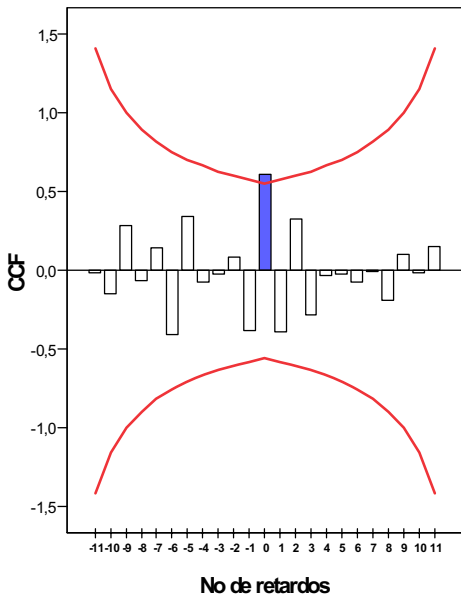
**Figura 75.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y carbono durante el estudio.**

**Clorofila-c con Nitrógeno**



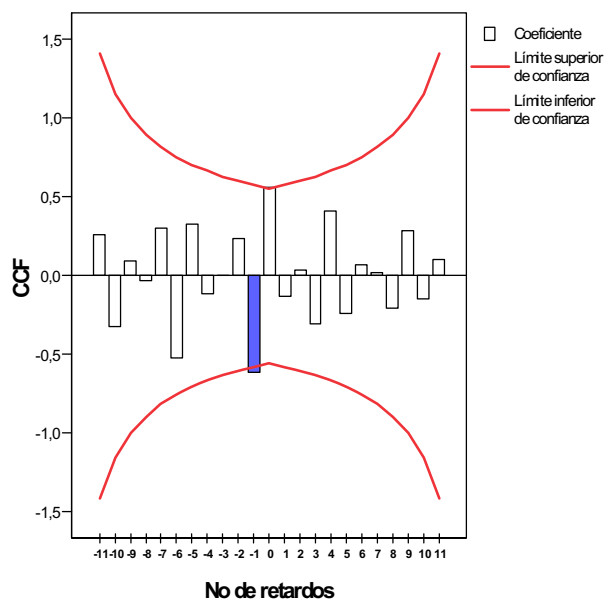
**Figura 76.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y nitrógeno durante el estudio.**

**Clorofila-c con Partículas**



**Figura 77.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y partículas durante el estudio.**

**Feopigmentos con Carbono**



**Figura 78.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre feopigmentos y carbono durante el estudio.**

El siguiente resultado significativo aparece en la Figura 79, donde se enfrentan feopigmentos con nitrógeno. La correlación sería negativa, con un desfase en Lag -1, y con un valor de -0,68.

En la Figura 80, se enfrentan feopigmentos con proteína. A una primera barra significativa sincrónica positiva, con un valor de 0,71, le continúa una segunda barra significativa negativa con un desfase en Lag -1, y con un valor de -0,66.

Finalmente en la Figura 81, aparece una barra significativa al enfrentar la FCC de feopigmentos y carbohidratos. Esta correlación es negativa, con un desfase en Lag -1 y con un valor de la función de -0,75.

En la Figura 82, se enfrentan carbono con nitrógeno. Observamos una primera barra que indica una correlación significativa sincrónica positiva, con un valor de 0,82. Posteriormente, observamos una segunda barra, que nos muestra una correlación significativa negativa a desfase Lag 1, con un valor de -0,60.

Por otra parte la Figura 83 muestra el resultado de la FCC entre carbono y carbohidratos. Con una correlación significativa sincrónica positiva, con un valor de 0,57.

La Figura 84 nos mostró una tendencia similar a la anterior, con una correlación significativa sincrónica positiva de 0,80, entre carbono y partículas.

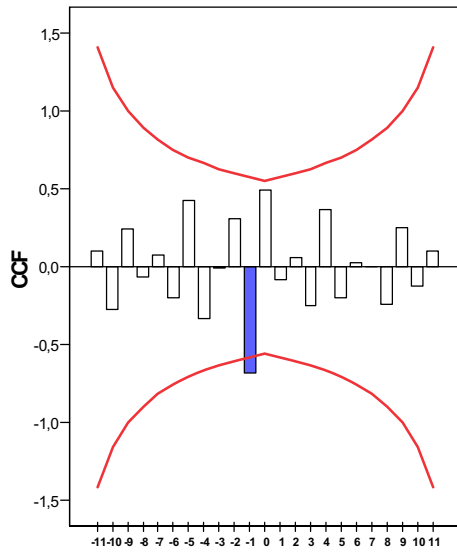
En la Figura 85 se observan los resultados para la FCC entre nitrógeno y carbohidratos, presentándose una correlación significativa positiva sincrónica, con un valor de 0,67.

En la Figura 86, se enfrenta nitrógeno con partículas. El resultado de la FCC muestra primeramente una barra donde habría una correlación significativa sincrónica, con un valor de 0,67, y posteriormente aparece una correlación significativa negativa con desfase Lag -1, con un valor de -0,60.

La FCC que se muestra en la Figura 87, enfrenta proteínas con carbohidratos. Se observa que hay correlación significativa sincrónica, con un valor de 0,88.

Similar es el comportamiento que vemos en la Figura 88, donde se enfrentan proteínas y partículas. La gráfica de la FCC muestra la presencia de una correlación significativa sincrónica, con un valor de 0,58. Explicaría que, al aumentar o disminuir la concentración de proteínas, aumentarían o disminuirían las concentraciones de carbohidratos y/o partículas de forma simultánea.

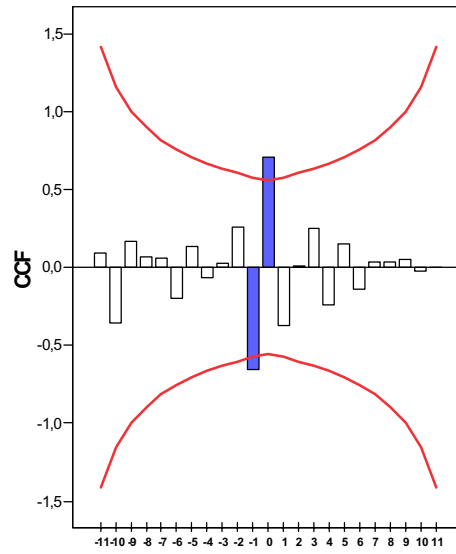
**Feopigmentos con Nitrógeno**



No de retardos

**Figura 79.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre feopigmentos y nitrógeno durante el estudio.**

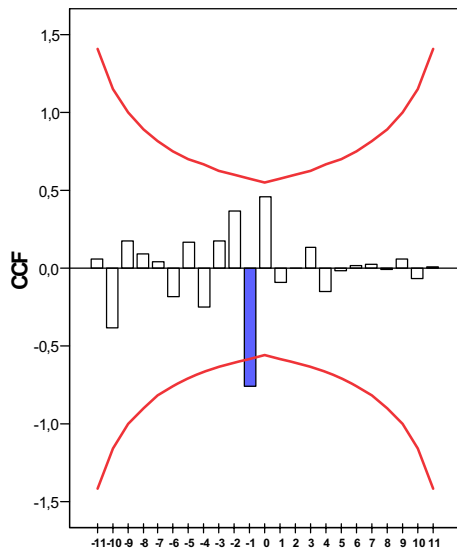
**Feopigmentos con Proteínas**



No de retardos

**Figura 80.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre feopigmentos y proteínas durante el estudio.**

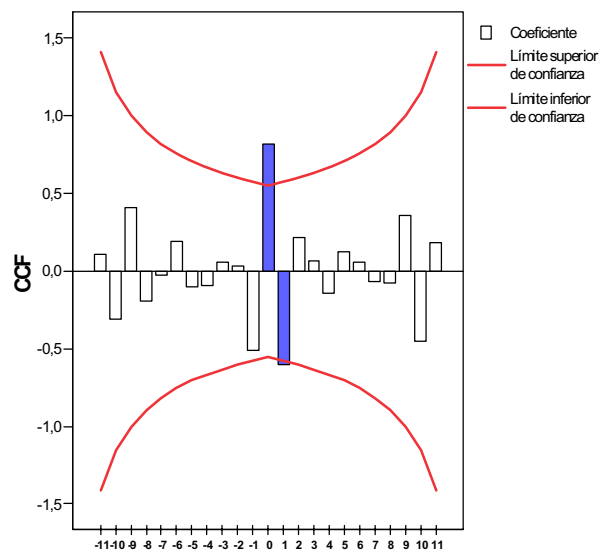
**Feopigmentos con Carbohidratos**



No de retardos

**Figura 81.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre feopigmentos y carbohidratos durante el estudio.**

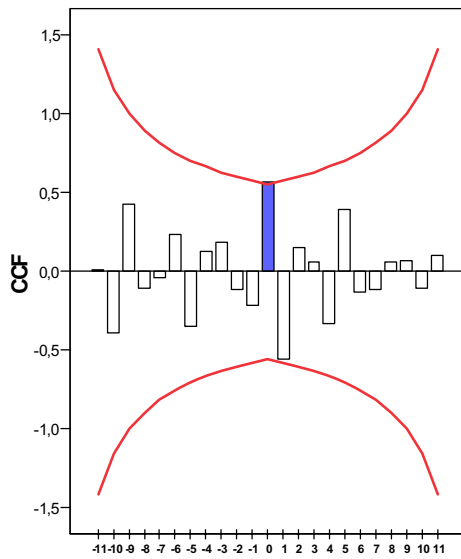
**Carbono con Nitrógeno**



No de retardos

**Figura 82.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre carbono y nitrógeno durante el estudio.**

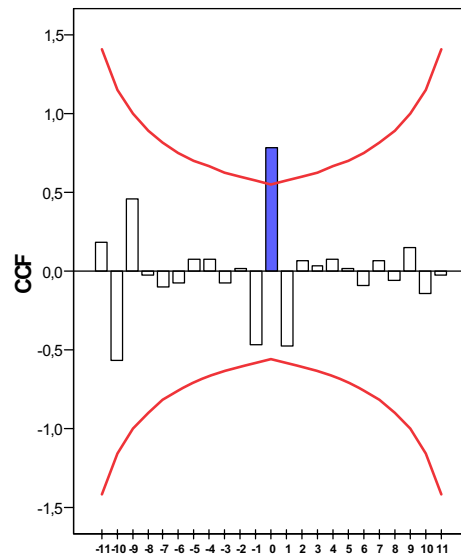
**Carbono con Carbohidratos**



No de retardos

**Figura 83.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre carbono y carbohidratos durante el estudio.**

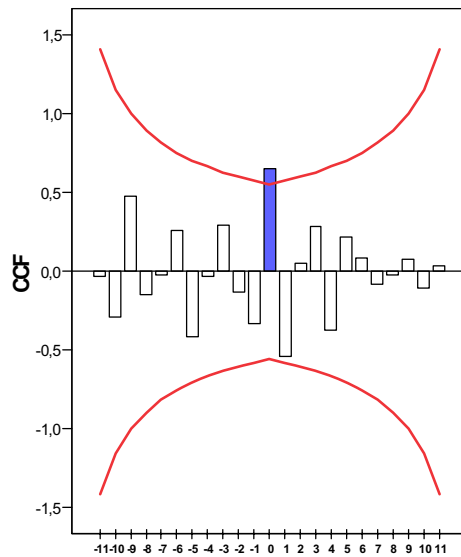
**Carbono con Partículas**



No de retardos

**Figura 84.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre carbono y partículas durante el estudio.**

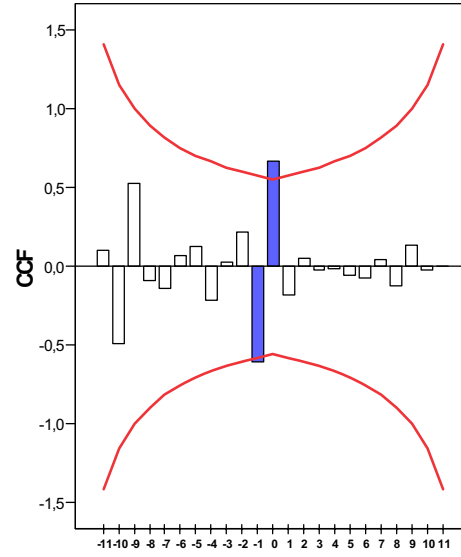
**Nitrógeno con Carbohidratos**



No de retardos

**Figura 85.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitrógeno y carbohidratos durante el estudio.**

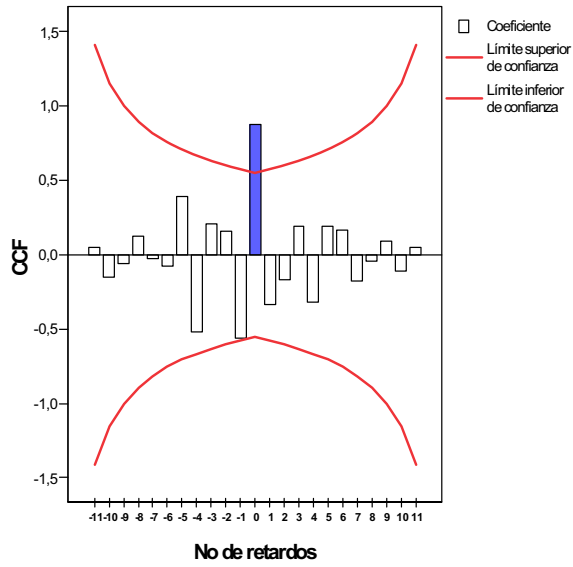
**Nitrógeno con Partículas**



No de retardos

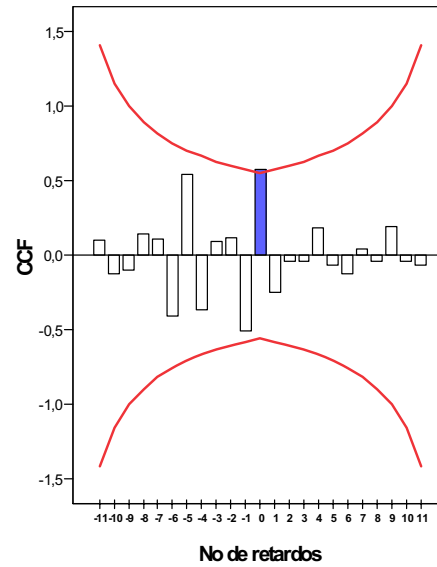
**Figura 86.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitrógeno y partículas durante el estudio.**

**Proteínas con Carbohidratos**



**Figura 87.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre proteínas y carbohidratos durante el estudio.**

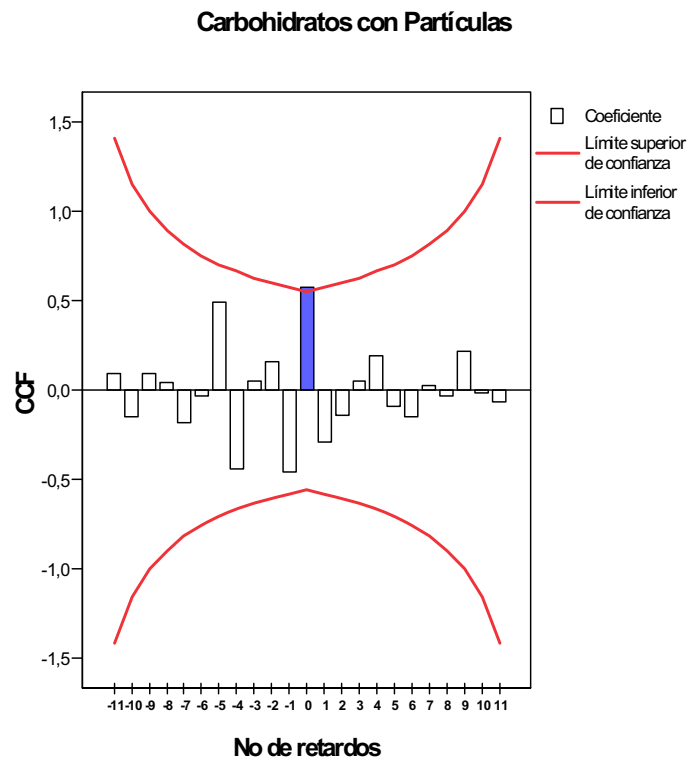
**Proteínas con Partículas**



**Figura 88.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre proteínas y partículas durante el estudio.**



Para la Figura 89, donde se enfrentan carbohidratos con partículas, el resultado nos muestra que estarían correlacionadas significativamente, de forma sincrónica (Lag 0), con un valor de 0,58.

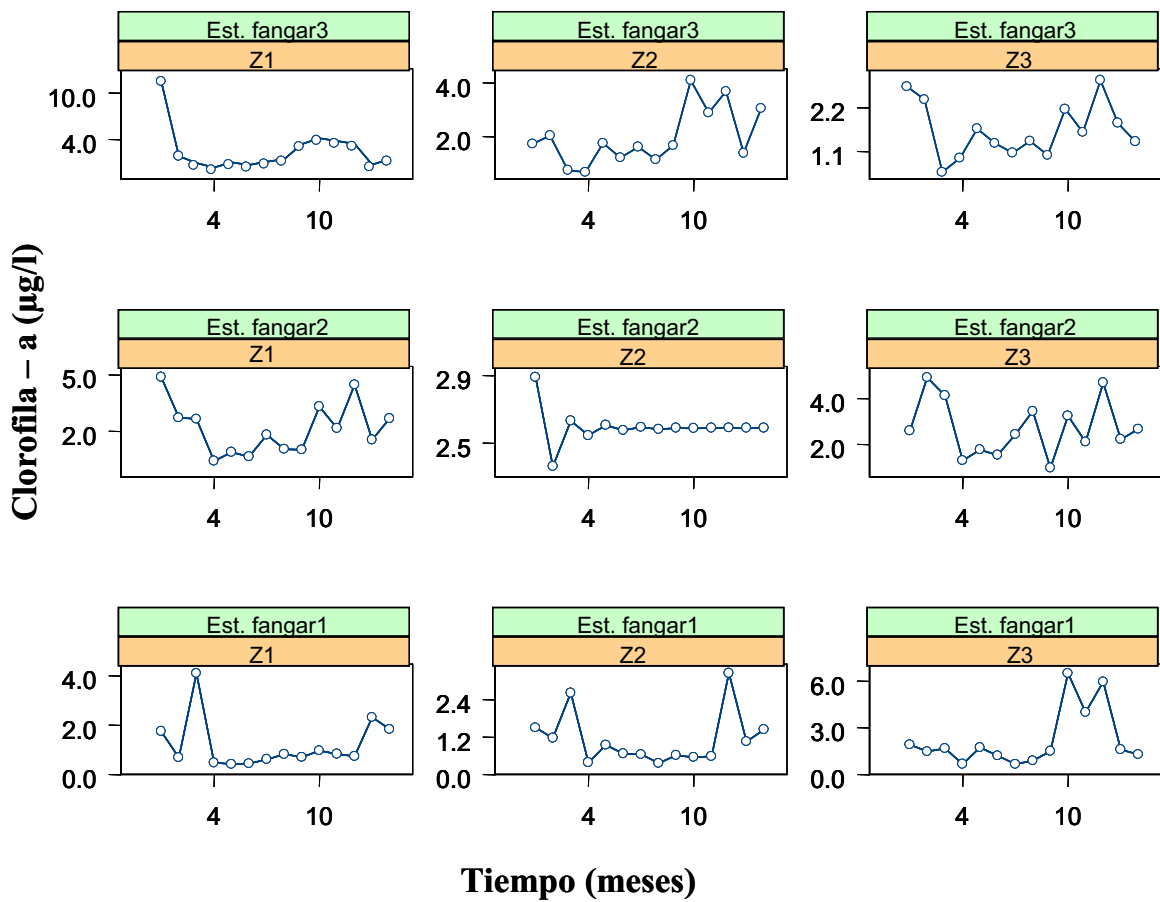


**Figura 89.-Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre carbohidratos y partículas durante el estudio.**

### Capítulo III

**III.4.- Resultados del estudio de modelos mixtos propuestos para explicar la variación aleatoria de la clorofila-a y de manera complementaria la variación aleatoria de “clorofilas totales”.**

**III.4.1.- Propuesta y aplicación del modelo mixto en el análisis del parámetro clorofila-a.**



**Figura 90 .- Relación entre clorofila-a (µg/l) y tiempo (meses), para las tres estaciones por cada profundidad de muestreo (Z1, Z2, Z3), entre los años 1986 y 1987 en la bahía El Fangar.**

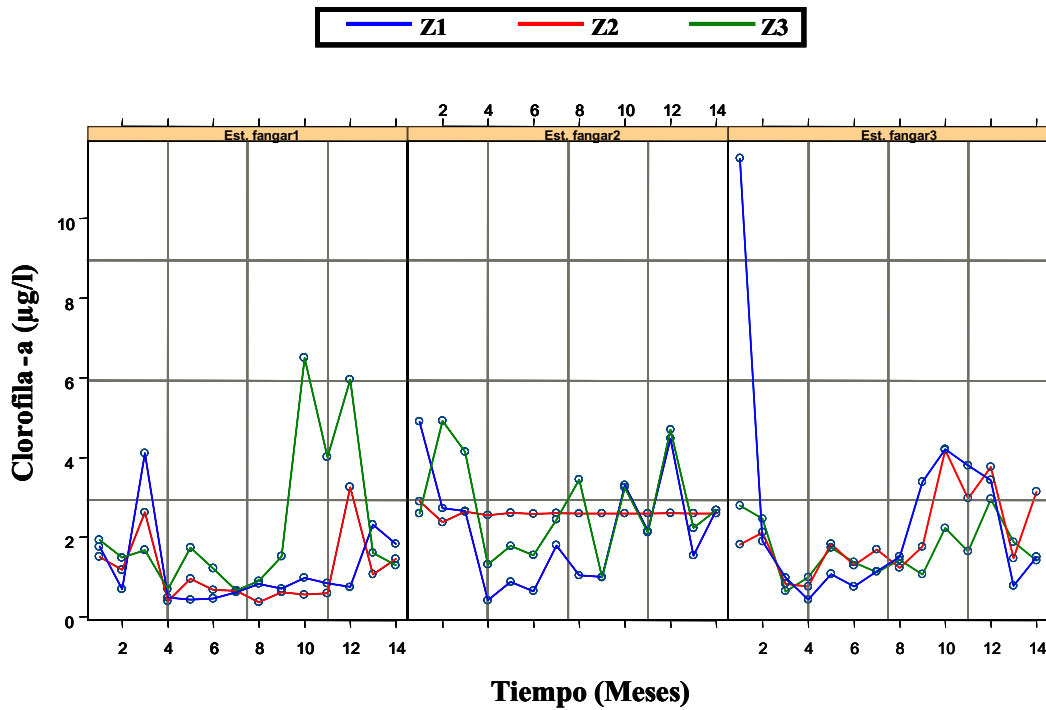


Figura 91 .- Relación entre la concentración de “clorofila-a” y tiempo para las tres estaciones estudiadas, incluyendo en cada estación las 3 profundidades estudiadas (Z1: azul, Z2: rojo y Z3: verde), durante los años 1986 y 1987.

Comparando las curvas de las gráficas en la Figura 90 y la Figura 91 se observa que la “clorofila-a” tiene un perfil diferente por cada profundidad y por cada estación. Se observa que la ordenada en el origen varía entre estaciones y profundidades. Por lo tanto, este comportamiento puede analizarse como sigue:

En primer lugar nos interesa estudiar la relación entre la respuesta de la clorofila-a y el tiempo en el periodo estudiado.

En primer lugar proponemos ajustar un modelo (modelo de regresión multinivel) representativo, donde la variación en la concentración de clorofila-a depende linealmente del seno ( $w \cdot Tiempo$ ) y el coseno ( $w \cdot Tiempo$ ), cuya frecuencia estimada corresponde aproximadamente a;  $w \sim 0.1$  ( $w$  sería un parámetro estimado no lineal que haría variar el tiempo reduciéndolo o ampliándolo).

### Situación: Regresión por cada estación/profundidad

$$y_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1ij} \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + \beta_{2ij} \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$

$$i=1, 2, 3 ; j=1, 2, 3$$

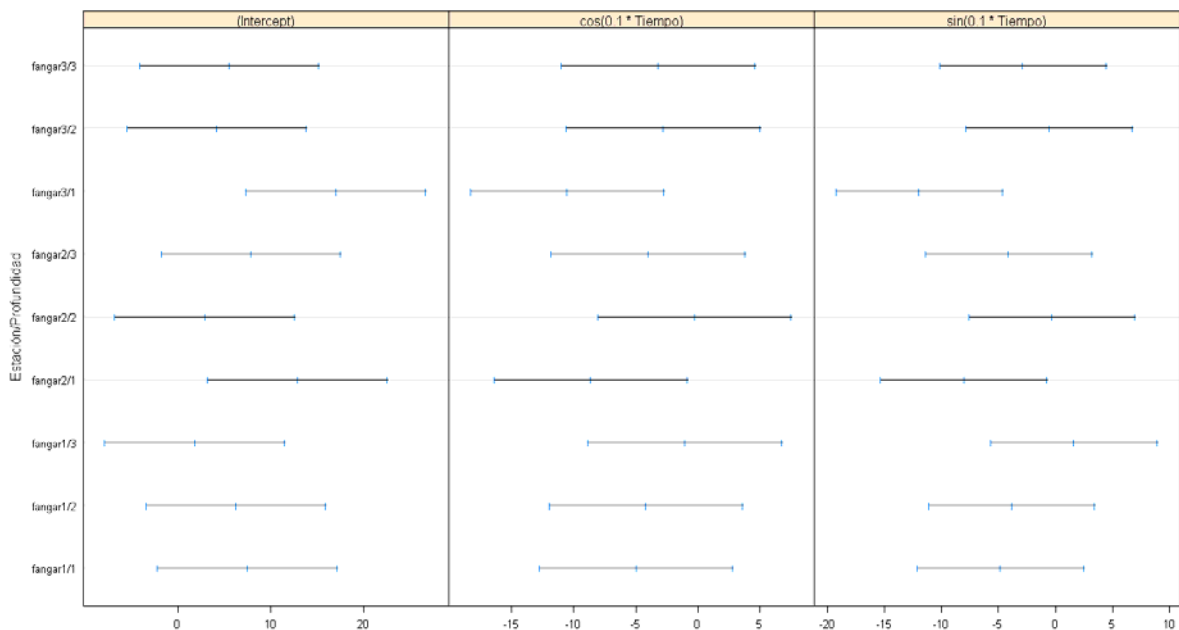
**Tabla VIII.- Anova del t test (Student) de los valores estimados de la regresión por cada estación y profundidad.**

Modelo: Clorofila-a ~ cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo)   Estación/Profundidad				
<b>Coefficientes:</b>				
<b>(Intercepto)</b>				
	Estimado	Error Est.	t valor	Pr(> t )
fangar1/1	7.519589	4.878831	1.5412684	0.1264418964
fangar1/2	6.293987	4.878831	1.2900604	0.2000349446
fangar1/3	1.856936	4.878831	0.3806109	0.7043074507
fangar2/1	12.932397	4.878831	2.6507161	0.0093529324
fangar2/2	2.918625	4.878831	0.5982222	0.5510578516
fangar2/3	7.939899	4.878831	1.6274182	0.1068269835
fangar3/1	17.102188	4.878831	3.5053862	0.0006866135
fangar3/2	4.217137	4.878831	0.8643745	0.3894717113
fangar3/3	5.578636	4.878831	1.1434370	0.2556146473
<b>cos(0.1 · Tiempo)</b>				
	Estimado	Error Est.	t valor	Pr(> t )
fangar1/1	-4.9418795	3.921066	-1.26034078	0.210509039
fangar1/2	-4.1475429	3.921066	-1.05775899	0.292739513
fangar1/3	-1.0043507	3.921066	-0.25614225	0.798372486
fangar2/1	-8.5809925	3.921066	-2.18843355	0.030989648
fangar2/2	-0.2361163	3.921066	-0.06021737	0.952103907
fangar2/3	-3.9807385	3.921066	-1.01521843	0.312476435
fangar3/1	-10.4628435	3.921066	-2.66836705	0.008907147
fangar3/2	-2.7507515	3.921066	-0.70153154	0.484617236
fangar3/3	-3.1528678	3.921066	-0.80408434	0.423274875

**sen(0.1 · Tiempo)**

	Estimado	Error Est.	t valor	Pr(> t )
fangar1/1	-4.7752571	3.669439	-1.30135905	0.196155972
fangar1/2	-3.7751787	3.669439	-1.02881644	0.306072992
fangar1/3	1.6566090	3.669439	0.45146117	0.652644642
fangar2/1	-7.9686821	3.669439	-2.17163524	0.032271824
fangar2/2	-0.2633554	3.669439	-0.07176994	0.942929790
fangar2/3	-4.0490129	3.669439	-1.10344207	0.272510203
fangar3/1	-11.8883616	3.669439	-3.23983123	0.001629009
fangar3/2	-0.4936017	3.669439	-0.13451696	0.893266898
fangar3/3	-2.8141343	3.669439	-0.76691141	0.444959221

Residual standard error: 1.377604 on 99 degrees of freedom



**Figura 92.- Intervalos de confianza de cada parámetro (intercepto, cos (0.1 · tiempo) y sen (0.1 · tiempo)) por cada estación y profundidad.**

En la figura 92 se observa que hay una gran variabilidad por cada estación y por cada profundidad del intercepto, el seno y coseno (0.1 · Tiempo). Lo que sugiere que un modelo mixto ajustaría y explicaría la variación en la concentración de clorofila-a.

Entonces proponemos la inclusión de efectos aleatorios de las variables estación y nivel de profundidad por cada estación sobre los parámetros del modelo; dado que tanto las estaciones como profundidades han sido seleccionadas de una manera aleatoria (la variación en la concentración de clorofila-a en la bahía en función del tiempo, teniendo en cuenta el efecto aleatorio de las estaciones y los niveles de profundidades por cada estación).

El modelo de regresión multinivel (o modelo mixto) que se propone, tiene la siguiente estructura general:

**Modelo 1:**

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) + (\beta_1 + b_{1i}) \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + (\beta_2 + b_{2i}) \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + b_{3ij} + \varepsilon_{ij}$$

$i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$

Donde:

- $y_{ij}$  representa la concentración de la clorofila-a (Y), en la estación  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) perteneciente al nivel  $j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) de la profundidad;
- $\beta_0$  corresponde a la constante del modelo (intercepto);
- $\beta_1, \beta_2$  son parámetros del modelo ( $\beta_0, \beta_1$  y  $\beta_2$  han de ser estimados y se supone que son comunes a todas las estaciones);
- $w$  es un parámetro teórico estimado para que el modelo fuese lineal, que en nuestro modelo es  $\sim 0,1$

$t_{ij}$  es el tiempo (meses) de la observación de la concentración de clorofila-a en la estación  $i$  al nivel de la profundidad  $j$ .

$b_{0i}$  es un valor propio para cada estación que se añadirá a la constante  $b_0$ , siguiendo una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2 b_0$ . Recordar que  $b_i$  son independientes entre sí.

$b_{1i}$  tendría un valor diferente para cada estación, siguiendo una distribución:  $b_{1i} \sim N(0, \sigma^2 b_1)$ , y es un valor que se añade al coeficiente fijo  $b_1$ .

$b_{2i}$  tendría un valor diferente para cada estación, siguiendo una distribución:  $b_{2i} \sim N(0, \sigma^2 b_2)$ , y es un valor que se añade al coeficiente fijo  $b_2$ .

$b_{3ij}$  es el efecto aleatorio de la profundidad asociado a cada estación.

$\varepsilon_{ij}$  es el error de pronóstico en la estación  $i$ , asociado a la profundidad  $j$ . Son independientes para diferentes  $i$  y  $j$ .

**Tabla de sintaxis (código) del Modelo 1 propuesto en SPlus:**

```
data.fr.lme0
lme [clorofila-a ~ cos(0.1·Tiempo) + sen(0.1·Tiempo), random=list (Estación = pdIdent
(~cos(0.1·Tiempo)+sen(0.1·Tiempo)), Profundidad=pdDiag (~cos (0.1 · Tiempo) + sen (0.1·Tiempo)),
data=data.fr, method="ML"]
> summary(data.fr.lme0)

Linear mixed-effects (lme) model fit by maximum likelihood
Data: data.fr (nombre del archivo que contiene la base de datos)
```

**Tabla IX.- Resumen del análisis estadístico e índices del Modelo 1 propuesto:**

<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>logLik</b>			
459.4680	482.1583	-221.7340			
<b>Efectos Fijos:</b>					
Clorofila-a ~ cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo)					
Standardized Within-Group Residuals:					
Min	Q1	Med	Q3	Max	
-1.439929	-0.568461	-0.254101	0.225484	6.276222	
Number of Observations: 126					
<b>Efectos Aleatorios:</b>					
Formula: ~cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo)   Estación (diferencia entre estaciones)					
Structure: Diagonal					
	(Intercepto)	cos(0.1 · Tiempo)	sen(0.1 · Tiempo)		
StdDev:	0.000143	<b>0.419699</b>	7.545307e-06		
Formula: ~1   Profundidad %in% Estación (diferencia entre la profundidad en las estaciones)					
	(Intercepto)	Residual (error)			
StdDev:	0.287881	1.367873			

**AIC**; Akaike Information Criterion; corresponde al criterio de información de Akaike, (Akaike, 1987).  
**BIC**; Bayesian Information Criterion; corresponde al criterio de información bayesiano, (Raftery, 1986).  
**logLik**; valor máximo del logaritmo de verosimilitud (Pinheiro, J. y D. Bates, 2000; Verbeke, G. y Molenberghs, G., 2000; El Halimi, 2005).

La Tabla IX (resumen estadístico e índices) muestra la estimación de la desviación estándar de los efectos aleatorios entre estaciones tiene un valor de 0.41 para el efecto del cos(0.1 · Tiempo), explicando la variabilidad entre estaciones. Mientras que los valores de las desviaciones fueron bastante bajos.

**Tabla X.- Anova de los valores estimados del Modelo 1, con respecto al valor t (prueba t de Student).**

**Efectos fijos:** Clorofila-a ~  $\cos(0.1 \cdot \text{Tiempo}) + \text{sen}(0.1 \cdot \text{Tiempo})$

Parámetro	Valor	Error Est.	GL	t-valor	p-valor
<b>(Intercepto)</b>	7.373266	1.637247	115	4.503454	<b>0.0000</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo)</b>	-4.362009	1.336221	115	-3.264438	<b>0.0014</b>
<b>sen(0.1 · Tiempo)</b>	-3.818997	1.229228	115	-3.106826	<b>0.0024</b>

La información de los resultados de la Tabla X resume los valores significativos (p-valor), asociado al test t de Student, de los valores fijos del modelo 1 propuesto, donde se establece el valor del intercepto y al efecto del tiempo asociado. Los valores nos indican que las variables, anteriormente mencionadas, contribuyen positivamente a la explicación de la variabilidad en la concentración de clorofila-a.

**Tabla XI.- Anova de los valores estimados del Modelo 1, con respecto al valor F (prueba de Fisher).**

**Efectos fijos:** Clorofila-a ~  $\cos(0.1 \cdot \text{Tiempo}) + \text{sen}(0.1 \cdot \text{Tiempo})$

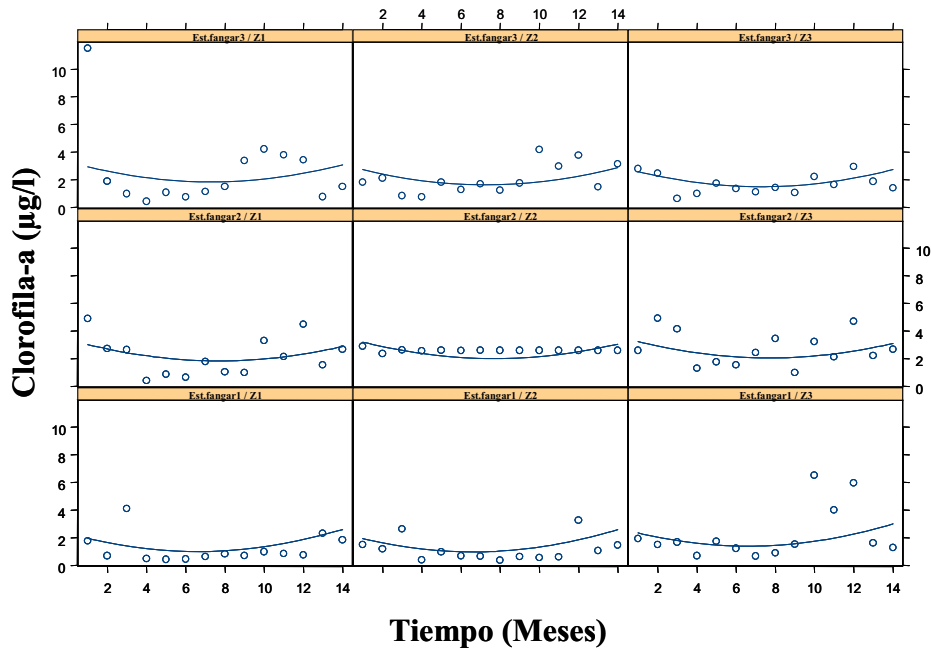
Parámetro	numDF	den DF	F-valor	p-valor
<b>(Intercepto)</b>	1	115	97.64573	<b>&lt; 0.0001</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo)</b>	1	115	1.07377	0.3023
<b>sen(0.1 · Tiempo)</b>	1	115	9.65237	<b>0.0024</b>

**numDF;** corresponde a los grados de libertad del numerador (Pinheiro, J. y D. Bates, 2000; Verbeke, G. y Molenberghs, G., 2000).

**denDF;** corresponde a los grados de libertad del denominador que se estiman de los datos (Pinheiro, J. y D. Bates, 2000; Verbeke, G. y Molenberghs, G., 2000).

La Tabla XI muestra que el p-valor asociado al test F, de Fisher, de los valores fijos del modelo M1 propuesto, donde se obtuvieron valores significativos de la ordenada en el origen (intercepto) y el efecto asociado al  $\text{sen}(0.1 \cdot \text{Tiempo})$ , contribuyendo positivamente a explicar la variabilidad en la concentración de la clorofila-a en la bahía.





**Figura 93.- Gráficas de los valores observados de clorofila-a contra el tiempo, durante el período de estudio. Cada panel corresponde a una estación y a una profundidad (Z). Los círculos corresponden a los valores observados (datos) y la línea corresponde a la línea predictora a partir del primer modelo.**

En la Figura 93 se observan en las gráficas los valores observados (datos) y la curva es una línea predictora ajustada del primer modelo planteado, se observa que la tendencia al comparar puntos y curva, es similar, y que algunos puntos se encuentran alejados de la línea de tendencia, esta diferencia se explicaría por el error. La parte aleatoria del modelo muestra que los valores de las desviaciones estándar del intercepto (0.000143670) y del  $\text{sen}(0.1 \cdot \text{Tiempo})$  ( $7.545307\text{e-}06$ ) son demasiado pequeños sugiriendo que estos parámetros deben ser eliminados del modelo propuesto Modelo 1, dando lugar a un nuevo modelo M1.1 donde  $b_{0i}=0$  y  $b_{2i}=0$

### Modelo 1.1

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + (\beta_2 + b_{1i}) \cos(w \cdot t_{ij}) + b_{3ij} + \varepsilon_{ij}$$

$$i=1, 2, 3 ; j=1, 2, 3$$

Después de ajustar el nuevo modelo (M1.1) y compararlo con el Modelo 1, el resultado de los índices y el p-valor se resumen en la siguiente tabla.

<b>Anova:</b>							
Modelo	gl	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor
M1	8	459.4680	482.1583	-221.7340			
M1.1	6	455.4680	472.4857	-221.7340	M1 v/s M1.1	5.369134e-08	<b>1</b>

**L.Ratio;** prueba que está basada en la proporción de probabilidad (Wilks, 1938).

Los criterios (Pinheiro & Bates, 2000; Verbeke y Molenberghs, 2000) y el p-valor (Schervish, 1996) muestran que los dos modelos son iguales, en este caso y por criterio escogeremos el modelo que tenga menos parámetros, es decir el Modelo 1.1.

La propuesta es encontrar el modelo más robusto, estadísticamente hablando, para luego interpretar la información contenida y analizar la contribución de las variables explicativas, para esto es conveniente seguir la estrategia de incorporar cada vez una variable explicativa en la parte fija del modelo.

En el siguiente Modelo, (**Modelo 2**), se incorpora el efecto de las variables explicativas suponiendo que en este modelo no se interactúa con la profundidad. La pregunta que se intenta contestar con este modelo es; ¿Cuales son los parámetros que hacen que la concentración de clorofila-a pueda variar?:

**Modelo 2:**

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + \beta_2 \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + (\sum_p \phi_{p,i} X_i) + b_{2i} \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + b_{3ij} + \epsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$

Nota: En color azul la parte fija del modelo y en color marrón la parte aleatoria del modelo.

Donde:

$(\sum_p \phi_p \cdot X_p)$  es:

- $\phi_p$       parámetro asociado a la variable explicativa y que explicaría el “efecto” de esta variable explicativa. Es decir el peso de la contribución de la variable explicada  $X_p$  en la explicación de la variación de la concentración de la Cl-a.
- $X_p$       es una abreviación de  $X_{ijp}$ , que corresponde a la observación de la variable explicada, que en este caso no depende ni de la estación  $i$ , ni de la profundidad  $j$ . O sea  $X_{ijp} = X_p$ .

A modo de ejemplo:

$X_1$       variable explicativa temperatura

$\phi_1$       peso o ponderación de la contribución de la variable temperatura en la explicación de la variación de la concentración de Cl-a

Y así sucesivamente con salinidad ( $X_2$ ), oxígeno ( $X_3$ ), etc.

**Tabla XII.- Resumen del análisis estadístico e índices del Modelo M2:**

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood		
<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>logLik</b>
247.3014	306.8633	-102.6507
<b>Efectos fijos:</b>		
Clorofila-a ~ cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) + Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio + Fosfatos + Clorofila-b + Clorofila-c + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas + Carbohidratos + Partículas		
Se incorpora a la parte fija el efecto de las variables explicativas, suponiendo que estas <b>no</b> interactúan con la profundidad.		

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.603195	-0.536559	0.048755	0.407063	4.166648

Number of Observations: 126

**Efectos aleatorios:**

Formula:  $\sim -1 + \cos(0.1 \cdot \text{Tiempo})$  | Estación (diferencia entre estaciones)

Structure: Diagonal

$\cos(0.1 \cdot \text{Tiempo})$

StdDev: **2.54269e-06**

Formula:  $\sim 1$  | Profundidad %in% Estación (diferencia entre la profundidad en las estaciones)

(Intercepto)      Residual

StdDev: **1.735920e-06**      0.546483

**Tabla XIII.- Anova de los valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo M2. En color azul valores significativos.**

Parámetro	Valor	Error Std.	GL	t-valor	p-valor
(Intercepto)	0.893576	1.350223	100	0.661798	0.5096
cos(0.1 · Tiempo)	0.395286	0.759008	100	0.520792	0.6037
sin(0.1 · Tiempo)	0.445777	0.728133	100	0.612218	0.5418
Temperatura	-0.014361	0.022213	100	-0.64649	0.5194
Salinidad	-0.024745	0.027364	100	-0.904271	0.368
Oxígeno	-0.039353	0.110837	100	-0.355052	0.7233
Nitratos	0.034756	0.027447	100	1.266292	0.2084
Nitritos	-1.355526	0.306641	100	-4.420559	<b>&lt; 0.0001</b>
Amonio	0.004413	0.008452	100	0.522136	0.6027
Fosfatos	0.683888	0.279388	100	2.447805	<b>0.0161</b>
Clorofila-b	0.619937	0.197821	100	3.133832	<b>0.0023</b>
Clorofila-c	2.183781	0.231313	100	9.440787	<b>&lt; 0.0001</b>
Feopigmentos	-0.028994	0.016151	100	-1.795214	0.0756
Carbono	-0.000305	0.000292	100	-1.042294	0.2998
Nitrógeno	0.015422	0.003309	100	4.66027	<b>&lt; 0.0001</b>
Proteínas	0.000542	0.000530	100	1.02165	0.3094
Carbohidratos	0.000035	0.000772	100	0.045697	0.9636
Partículas	0.000000	0.000000	100	0.867256	0.3879

**Tabla XIV.- Anova de los valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo M2. En color azul valores significativos.**

Parámetro	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercepto)	1	100	1502.049	<b>&lt; 0.0001</b>
cos(0.1 · Tiempo)	1	100	7.568	<b>0.0071</b>
sin(0.1 · Tiempo)	1	100	53.0993	<b>&lt; 0.0001</b>
Temperatura	1	100	71.302	<b>&lt; 0.0001</b>
Salinidad	1	100	12.1842	<b>0.0007</b>
Oxígeno	1	100	0.022	0.8823
Nitratos	1	100	32.5514	<b>&lt; 0.0001</b>
Nitritos	1	100	0.0328	0.8566
Amonio	1	100	4.0566	<b>0.0467</b>
Fosfatos	1	100	111.135	<b>&lt; 0.0001</b>
Clorofila-b	1	100	195.1053	<b>&lt; 0.0001</b>
Clorofila-c	1	100	159.0853	<b>&lt; 0.0001</b>
Feopigmentos	1	100	0.0608	0.8057
Carbono	1	100	19.1578	<b>&lt; 0.0001</b>
Nitrógeno	1	100	25.2949	<b>&lt; 0.0001</b>
Proteínas	1	100	3.072	0.0827
Carbohidratos	1	100	0.0075	0.9309
Partículas	1	100	0.7521	0.3879

La Tabla XIV del test de Fisher muestra que las variables explicativas; intercepto, cos y sen (0.1 · Tiempo), temperatura, salinidad, nitratos, amonio, fosfatos, clorofila-b, clorofila-c, carbono y nitrógeno presentan valores significativos (p< 0.05), lo que indica que contribuyen a explicar la varianza (Modelo 2), es decir las variaciones de concentración de clorofila-a en la bahía.

<b>Anova:</b>								
	Modelo	gl	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor
(M1.1)	1.1	6	455.4680	472.4857	-221.7340			
(M2)	2	21	247.3014	306.8633	-102.6507	1 v/s 2	238.1666	< 0.0001

**L.Ratio;** prueba que está basada en la proporción de probabilidad (Wilks, 1938).

El resultado del ANOVA muestra que el p-valor es inferior a 0.0001 (p< 0.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula (donde H<sub>0</sub>: el modelo M1.1 es equivalente al modelo M2) y el modelo representativo pasa a ser el que tiene los valores mínimos de AIC y/o BIC, y un valor máximo de logLik (probabilidad). En este caso el modelo más adecuado es el M2. También se observa que en el modelo M2 los valores de la desviación estándar de la parte aleatoria son pequeñas, así el intercepto = 1.735920e-06 y el cos(0.1 · Tiempo) = 1.565558e-05. Esto sugiere que el modelo debe ser sin la parte aleatoria, es decir:

### Modelo 3:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + \beta_2 \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + \left( \sum_p \phi_{p,j} X_i \right) + \varepsilon_{ij}$$

$i=1, 2, 3 ; j=1, 2, 3$

El resultado de la comparación se resume en el siguiente Anova:

<b>Anova:</b>								
	Modelo	gl	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor
(M2)	2	21	247.3014	306.8633	-102.6507			
(M3)	3	19	243.3014	297.1908	-102.6507	2 v/s 3	4.00107e-08	1

El resultado del p-valor indica que ambos modelos son iguales, optamos por el modelo que tenga menos parámetros, es decir por el modelo M3. Por consecuencia los resultados del ajuste de este modelo quedan de la siguiente manera:

**Tabla XV.- Resumen del análisis estadístico e índices del Modelo 3:**

Generalized least squares fit by maximum likelihood					
Modelo: Clorofila-a ~ (cos(0.1 · Tiempo) + sin(0.1 · Tiempo) + Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio + Fosfatos + Clorofila-b + Clorofila-c + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas + Carbohidratos + Partículas)					
AIC	BIC	logLik			
243.3014	297.1908	-102.6507			
Standardized residuals:					
Min	Q1	Med	Q3	Max	
-3.60319511	-0.53655998	0.04875569	0.40706388	4.16664800	
Residual standard error: 0.5464839					

**Tabla XVI.- Anova de los valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo M3. En color azul valores significativos.**

Parámetro	Valor	Error Std.	GL	t-valor	p-valor
<b>(Intercepto)</b>	0.8935756	1.3502233	100	0.661798	0.5095
<b>cos(0.1 · Tiempo)</b>	0.3952856	0.7590079	100	0.520792	0.6036
<b>sin(0.1 · Tiempo)</b>	0.4457765	0.7281334	100	0.612218	0.5417
<b>Temperatura</b>	-0.0143607	0.0222133	100	-0.64649	0.5193
<b>Salinidad</b>	-0.0247448	0.0273644	100	-0.904271	0.3679
<b>Oxígeno</b>	-0.0393527	0.1108365	100	-0.355052	0.7232
<b>Nitratos</b>	0.0347556	0.0274468	100	1.266292	0.2081
<b>Nitritos</b>	-1.3555259	0.3066413	100	-4.420559	<b>&lt; 0.0001</b>
<b>Amonio</b>	0.004413	0.0084518	100	0.522136	0.6026
<b>Fosfatos</b>	0.6838879	0.2793882	100	2.447805	<b>0.016</b>
<b>Clorofila-b</b>	0.6199368	0.1978207	100	3.133832	<b>0.0022</b>
<b>Clorofila-c</b>	2.1837806	0.2313134	100	9.440787	<b>&lt; 0.0001</b>
<b>Feopigmentos</b>	-0.0289939	0.0161507	100	-1.795214	0.0754
<b>Carbono</b>	-0.0003047	0.0002923	100	-1.042294	0.2996
<b>Nitrógeno</b>	0.0154224	0.0033093	100	4.66027	<b>&lt; 0.0001</b>
<b>Proteínas</b>	0.0005419	0.0005304	100	1.02165	0.3092
<b>Carbohidratos</b>	0.0000353	0.000772	100	0.045697	0.9636
<b>Partículas</b>	0.000000	0.000000	100	0.867256	0.3877

**Tabla XVII.- Anova de los valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo M3. En color azul valores significativos.**

<b>Parámetro</b>	<b>numDF</b>	<b>denDF</b>	<b>F-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>(Intercepto)</b>	1	100	1287.4706	< <b>0.0001</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo)</b>	1	100	6.4869	<b>0.0123</b>
<b>sin(0.1 · Tiempo)</b>	1	100	45.5137	< <b>0.0001</b>
<b>Temperatura</b>	1	100	61.116	< <b>0.0001</b>
<b>Salinidad</b>	1	100	10.4436	<b>0.0016</b>
<b>Oxígeno</b>	1	100	0.0189	0.891
<b>Nitratos</b>	1	100	27.9012	< <b>0.0001</b>
<b>Nitritos</b>	1	100	0.0281	0.8671
<b>Amonio</b>	1	100	3.4771	0.0649
<b>Fosfatos</b>	1	100	95.2586	< <b>0.0001</b>
<b>Clorofila-b</b>	1	100	167.2331	< <b>0.0001</b>
<b>Clorofila-c</b>	1	100	136.3588	< <b>0.0001</b>
<b>Feopigmentos</b>	1	100	0.0521	0.8199
<b>Carbono</b>	1	100	16.421	<b>0.0001</b>
<b>Nitrógeno</b>	1	100	21.6813	< <b>0.0001</b>
<b>Proteínas</b>	1	100	2.6331	0.1076
<b>Carbohidratos</b>	1	100	0.0065	0.936
<b>Partículas</b>	1	100	0.6447	0.4238

Después de eliminar los parámetros no significativos del modelo (formando un nuevo modelo que se llamara Modelo 4) y se realizará una comparación con el Modelo 3, el resultado se resume en el siguiente resumen del Anova:

<b>Anova:</b>								
	<b>Modelo</b>	<b>gl</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>logLik</b>	<b>Test</b>	<b>L.Ratio</b>	<b>p-valor</b>
	<b>(M3)</b>	3	19	243.3014	297.1908	-102.6507		
	<b>(M4)</b>	4	13	258.8559	295.7276	-116.4279	3 v/s 4	27.55450 < 0.0001

El p-valor muestra que los Modelos 3 y 4 son diferentes y los criterios de los índices rechazan el nuevo Modelo 4, indicando que el modelo que mejor explica la variación en la concentración de clorofila-a es el Modelo 3.



Se examinó el efecto fijo de la profundidad sobre la concentración de la clorofila-a en cuestión, suponiendo que una buena parte de la variabilidad tiene que ver con el factor profundidad.

Buscamos conocer por medio de un modelo ¿cuales son las variables explicativas que afectan la concentración de clorofila-a por niveles de profundidad?.

Lo que se comprobará es confirmar mediante el siguiente modelo propuesto:

La variable indicadora **Prf** que representa el factor profundidad, lo que permite tener en cuenta la diferencia que hay en la concentración de clorofila-a entre la profundidad superficial (profundidad control ó profundidad 0m) y la profundidad media (2m) por un lado. Y por otra parte, la diferencia entre la profundidad superficial y la profundidad del fondo (4m). En este caso se debe utilizar una parametrización relativa a un código, que permita una buena interpretación. Se considero lo siguiente:

#### Modelo 5:

$$y_{ij} = [\beta_0 + \beta_1 \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + \beta_2 \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + (\sum_p \phi_p \cdot X_i)] \cdot (\theta_2 \text{Prf}_{i,2} + \theta_3 \text{Prf}_{i,3}) + \mathbf{b}_{0i} + \mathbf{b}_{1i} \text{sen}(w \cdot t_{ij}) + \mathbf{b}_{2i} \text{cos}(w \cdot t_{ij}) + \mathbf{b}_{3i,j} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\theta$  parámetro que corresponde a la diferencia de profundidad entre la superficie y la zona media de la columna de agua (2m);  $\theta_2$ . Mientras que  $\theta_3$  corresponde a la diferencia de profundidad entre la superficie (0m) y el fondo (4m).

$\text{Prf}_{i,2} = 1$  si estamos en Z2 (2m)  
 $= 0$  otra Z

$\text{Prf}_{i,3} = 1$  si estamos en Z3 (4m)  
 $= 0$  otra Z

**Tabla XVIII.- Resumen del análisis estadístico e índices del Modelo M5:**

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood				
<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>logLik</b>		
190.7751	346.7706	-40.3875		
<b>Efectos fijos:</b>				
Clorofila-a ~ [cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) + Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio + Fosfatos + Clorofila-b + Clorofila-c + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas + Carbohidratos + Partículas] · Profundidad				
Se incorpora a la parte fija el efecto de la profundidad sobre la variación en la concentración de clorofila-a, suponiendo que esta variabilidad tiene que ver con las diferencias en la profundidad				
Standardized residuals:				
Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.456308058	-0.533461383	-0.002634408	0.477171634	3.840899449
Residual standard error: 0.3334033				

**Tabla XIX.- Anova de los valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo M5. En color azul se destacan los valores significativos.**

Variable	Valor	Error Est.	GL	t-valor	p-valor
(Intercepto)	2.473755	1.879031	66	1.316506	0.1922
cos(0.1 · Tiempo)	1.055673	1.208917	66	0.873239	0.3854
sin(0.1 · Tiempo)	0.303765	1.186781	66	0.255957	0.7987
Temperatura	-0.091152	0.03757	66	-2.426163	<b>0.0178</b>
Salinidad	-0.026647	0.037895	66	-0.703175	0.4842
Oxígeno	-0.276103	0.223892	66	-1.233198	0.2215
Nitratos	0.000721	0.033539	66	0.021492	0.9829
Nitrito	-1.542506	0.368519	66	-4.18569	<b>&lt; 0.0001</b>
Amonio	0.032843	0.014642	66	2.243121	<b>0.028</b>
Fosfatos	1.717124	0.481987	66	3.562596	<b>0.0007</b>
Clorofila-b	0.894763	0.478571	66	1.869653	0.0656
Clorofila-c	1.433994	0.554796	66	2.584722	<b>0.0118</b>
Feopigmentos	-0.050172	0.017091	66	-2.935515	<b>0.0045</b>
Carbono	-0.000356	0.000352	66	-1.009606	0.3161
Nitrógeno	0.034841	0.005818	66	5.988612	<b>&lt; 0.0001</b>
Proteínas	-0.00075	0.000763	66	-0.982985	0.3289
Carbohidratos	-0.000132	0.000829	66	-0.159309	0.8739
Partículas	0.000000	0.000000	66	0.587346	0.5588
Profundidad2	-6.499392	3.059315	4	-2.12446	<b>0.0371</b>
Profundidad3	-8.544125	3.438235	4	-2.485032	<b>0.0153</b>
cos(0.1 · Tiempo) : Profundidad2	-0.566848	1.80232	66	-0.31451	0.754
cos(0.1 · Tiempo) : Profundidad3	-1.983969	1.716528	66	-1.155803	0.2516
sin(0.1 · Tiempo) : Profundidad2	0.363089	1.778639	66	0.204139	0.8388
sin(0.1 · Tiempo) : Profundidad3	-1.218858	1.69821	66	-0.717731	0.4752
Temperatura : Profundidad2	0.078435	0.051539	66	1.521858	0.1324
Temperatura : Profundidad3	0.127516	0.052222	66	2.441814	<b>0.0171</b>
Salinidad : Profundidad2	0.11246	0.064368	66	1.747145	0.0849
Salinidad : Profundidad3	0.156552	0.08273	66	1.89234	0.0625
Oxígeno : Profundidad2	0.197058	0.290664	66	0.677958	<b>0.5</b>
Oxígeno : Profundidad3	0.44474	0.270562	66	1.643766	0.1046
Nitratos : Profundidad2	0.094785	0.092241	66	1.027579	0.3076
Nitratos : Profundidad3	0.019575	0.069636	66	0.281112	0.7794
Nitritos : Profundidad2	-0.268252	1.793367	66	-0.14958	0.8815
Nitritos : Profundidad3	2.723866	1.011827	66	2.692029	<b>0.0088</b>
Amonio : Profundidad2	-0.025373	0.021919	66	-1.157562	0.2509
Amonio : Profundidad3	-0.030548	0.019836	66	-1.539984	0.1279
Fosfatos : Profundidad2	-1.67184	0.92851	66	-1.800562	0.076
Fosfatos : Profundidad3	-0.881127	0.632167	66	-1.393821	0.1677
Clorofila-b : Profundidad2	5.43427	1.419841	66	3.82738	<b>0.0003</b>
Clorofila-b : Profundidad3	-0.642104	0.535248	66	-1.199637	0.2342
Clorofila-c : Profundidad2	-1.680374	0.807214	66	-2.081695	<b>0.0409</b>
Clorofila-c : Profundidad3	2.265914	0.7199	66	3.14754	<b>0.0024</b>
Feopigmentos : Profundidad2	0.148766	0.095336	66	1.56044	0.123
Feopigmentos : Profundidad3	0.030721	0.029741	66	1.032962	0.3051
Carbono : Profundidad2	0.001303	0.000997	66	1.307405	0.1952
Carbono : Profundidad3	0.00127	0.000663	66	1.91512	<b>0.0594</b>
Nitrógeno : Profundidad2	-0.023523	0.007973	66	-2.95041	<b>0.0043</b>
Nitrógeno : Profundidad3	-0.032282	0.007995	66	-4.037632	<b>0.0001</b>
Proteínas : Profundidad2	-0.002929	0.001853	66	-1.580959	0.1183
Proteínas : Profundidad3	0.001094	0.001257	66	0.870797	0.3868
Carbohidratos : Profundidad2	0.00721	0.004221	66	1.708106	0.0919
Carbohidratos : Profundidad3	0.000267	0.003228	66	0.082647	0.9344
Partículas : Profundidad2	0.000000	0.000000	66	-0.683154	0.4967
Partículas : Profundidad3	0.000000	0.000000	66	-0.662276	0.5099

Tabla XX.- Anova de los valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo M5. En color azul se destacan los valores significativos.

Variable	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercepto)	1	66	1537.3399	< 0.0001
cos(0.1 · Tiempo)	1	66	7.7458	0.0069
sin(0.1 · Tiempo)	1	66	54.3469	< 0.0001
Temperatura	1	66	72.9772	< 0.0001
Salinidad	1	66	12.4705	0.0007
Oxígeno	1	66	0.0225	0.8811
Nitratos	1	66	33.3162	< 0.0001
Nitritos	1	66	0.0336	0.8551
Amonio	1	66	4.1519	0.0453
Fosfatos	1	66	113.7461	< 0.0001
Clorofila-b	1	66	199.6893	< 0.0001
Clorofila-c	1	66	162.8231	< 0.0001
Feopigmentos	1	66	0.0622	0.8037
Carbono	1	66	19.608	< 0.0001
Nitrógeno	1	66	25.8892	< 0.0001
Proteínas	1	66	3.1441	0.0804
Carbohidratos	1	66	0.0077	0.9302
Partículas	1	66	0.7698	0.3832
Profundidad	2	4	0.0488	0.9524
cos(0.1 · Tiempo) : Profundidad	2	66	1.2799	0.2843
sin(0.1 · Tiempo) : Profundidad	2	66	0.3046	0.7383
Temperatura : Profundidad	2	66	0.2192	0.8037
Salinidad : Profundidad	2	66	1.5324	0.223
Oxígeno : Profundidad	2	66	0.2463	0.7823
Nitratos : Profundidad	2	66	2.0743	0.1331
Nitritos : Profundidad	2	66	8.3519	0.0005
Amonio : Profundidad	2	66	3.071	0.0525
Fosfatos : Profundidad	2	66	0.4196	0.6589
Clorofila-b : Profundidad	2	66	1.467	0.2374
Clorofila-c : Profundidad	2	66	7.7000	0.0009
Feopigmentos : Profundidad	2	66	0.6982	0.5008
Carbono : Profundidad	2	66	0.0991	0.9058
Nitrógeno : Profundidad	2	66	4.959	0.0096
Proteínas : Profundidad	2	66	0.9977	0.3738
Carbohidratos : Profundidad	2	66	1.0605	0.3516
Partículas : Profundidad	2	66	0.1679	0.8458

En la Tabla XX, se resumen los valores de la prueba F para el Modelo 5, se observa que las variables intercepto, cos y sen ( $0.1 \cdot \text{tiempo}$ ), temperatura, salinidad, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, clorofila-b, clorofila-c, feopigmentos, nitrógeno y partículas tienen valores significativos, por lo que contribuyen a explicar la varianza explicada, es decir la variación de la concentración de clorofila-a en la bahía.

A estas variables se agrega el efecto de la interacción entre la salinidad y la profundidad, nitratos y la profundidad, nitritos y profundidad, amonio y profundidad, clorofila-c y profundidad, finalmente nitrógeno y profundidad, todas estas interacciones con valores significativos en el Modelo 5, por lo que también contribuirían a explicar la variación en la concentración de clorofila-a en la bahía.

Se resume en el siguiente recuadro el ANOVA donde se compara el Modelo 3 con el Modelo 5:

<b>Anova:</b>								
	Modelo	GL	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor
(M3)	3	19	243.3014	297.1908	-102.6507			
(M5)	5	55	190.7751	346.7706	-40.3875	3 v/s 5	124.5263	< 0.0001

El resultado del ANOVA muestra que el p-valor es inferior a 0.0001 ( $p < 0.05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula (donde  $H_0$ : el modelo M3 es equivalente al modelo M5) y el modelo representativo pasa a ser el que tiene los valores mínimos de AIC y/o BIC, y un valor máximo de logLik (probabilidad). En este caso el mejor modelo es el M5.

Después de eliminar aquellas variables que no son significativas en nuestro Modelo 5 (es decir que no explican en el modelo la variación en la concentración de clorofila-a) el resultado queda de la siguiente manera:

**Tabla XXI.- Resumen del análisis estadístico e índices del modelo M5**

Summary:					
Generalized least squares fit by maximum likelihood					
<b>Modelo:</b> Clorofila-a ~ (cos(0.1 · Tiempo) + sin(0.1 · Tiempo) + Temperatura + Salinidad + Nitratos + Amonio + Fosfatos + Clorofila-b + Clorofila-c + Carbono + Nitrógeno) + (Nitritos + Amonio + Clorofila-c + Nitrógeno) : Profundidad					
AIC	BIC	logLik			
218.8083	281.2065	-87.40416			
Standardized residuals:					
Min	Q1	Med	Q3	Max	
-3.74304868	-0.52915167	0.09627613	0.48100665	3.48524041	
Residual standard error: 0.4842012					

**Tabla XXII.- Anova de los valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo M5 (solo con valores significativos). En color azul se destacan los valores significativos.**

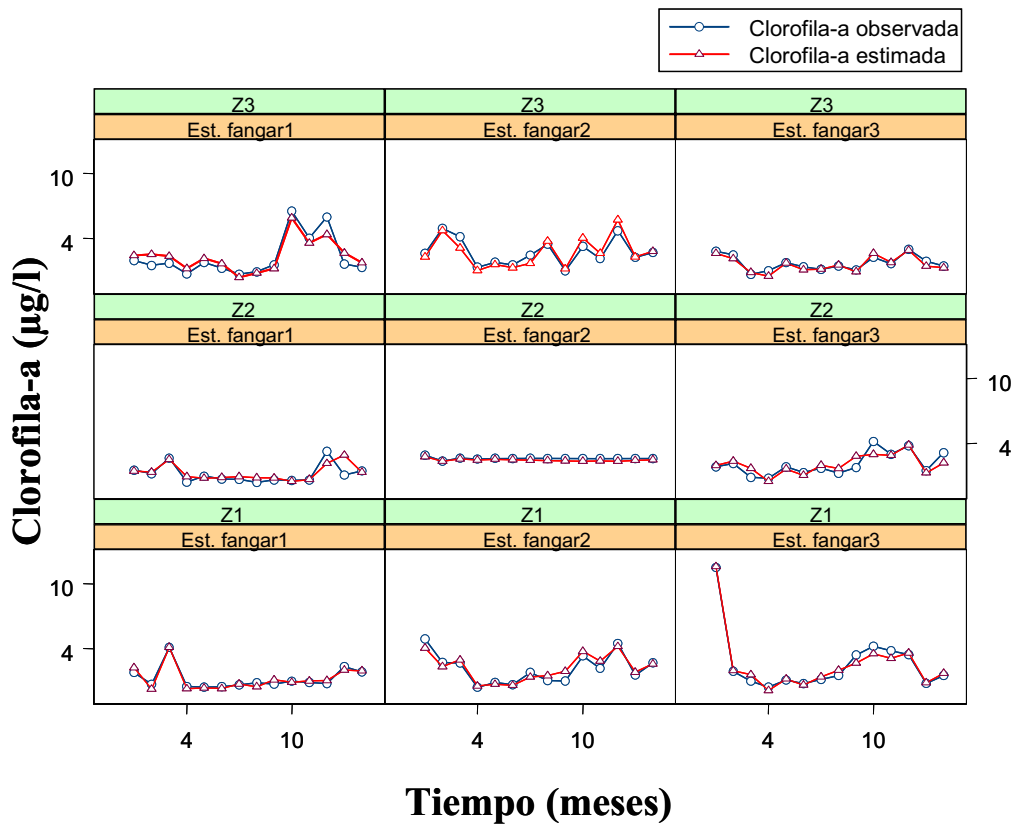
Variable	Valor	Error Est.	GL	t-valor	p-valor
(Intercepto)	-0.8195672	1.2224135	126	-0.67045	0.504
cos(0.1 · Tiempo)	-0.0769357	0.6247086	126	-0.123155	0.9022
sen(0.1 · Tiempo)	-0.0546251	0.5765115	126	-0.094751	0.9247
Temperatura	-0.0090841	0.0120209	126	-0.755688	0.4515
Salinidad	0.0209731	0.0261948	126	0.800658	0.4251
Nitratos	0.044902	0.0245434	126	1.829491	0.0702
Amonio	0.0247199	0.0116294	126	2.125642	<b>0.0359</b>
Fosfatos	0.6199213	0.2409642	126	2.57267	<b>0.0115</b>
Clorofila-b	0.6235914	0.1977401	126	3.153591	<b>0.0021</b>
Clorofila-c	2.0390608	0.2467053	126	8.265169	<b>&lt; 0.0001</b>
Carbono	-0.0000144	0.0002402	126	-0.060117	0.9522
Nitrógeno	0.0221081	0.0036271	126	6.095218	<b>&lt; 0.0001</b>
Nitritos : Profundidad	-1.6944767	0.2994299	126	-5.659011	<b>&lt; 0.0001</b>
Nitritos : Profundidad2	-0.9897421	0.7547025	126	-1.311433	0.1926
Nitritos : Profundidad3	0.3063892	0.5414596	126	0.565858	0.5727
Amonio : Profundidad2	-0.0146913	0.0158675	126	-0.925877	0.3566
Amonio : Profundidad3	-0.0326876	0.0150663	126	-2.169576	<b>0.0323</b>
Clorofila-c : Profundidad2	0.2009063	0.4288219	126	0.468508	0.6404
Clorofila-c : Profundidad3	1.1274754	0.3478138	126	3.241606	<b>0.0016</b>
Nitrógeno : Profundidad2	-0.0028949	0.0047128	126	-0.614259	0.5404
Nitrógeno : Profundidad3	-0.0133066	0.0033701	126	-3.948475	<b>0.0001</b>

**Tabla XXIII.- Anova de los valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo M5 (solo con valores significativos). En color azul se destacan los valores significativos.**

Variable	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercepto)	1	105	1550.1417	< 0.0001
cos(0.1 · Tiempo)	1	105	7.8103	0.0062
sin(0.1 · Tiempo)	1	105	54.7995	< 0.0001
Temperatura	1	105	73.5849	< 0.0001
Salinidad	1	105	12.5743	0.0006
Nitratos	1	105	33.5738	< 0.0001
Amonio	1	105	4.1934	0.0431
Fosfatos	1	105	105.3762	< 0.0001
Clorofila-b	1	105	208.2935	< 0.0001
Clorofila-c	1	105	144.2743	< 0.0001
Carbono	1	105	21.1907	< 0.0001
Nitrógeno	1	105	23.8074	< 0.0001
Nitritos : Profundidad	3	105	9.0653	< 0.0001
Amonio : Profundidad	2	105	4.6209	0.0119
Clorofila-c : Profundidad	2	105	0.5633	0.571
Nitrógeno : Profundidad	2	105	6.8192	0.0016

De la Tabla XXIII observamos que la interacción clorofila-c : profundidad aparece no significativa, pero al eliminarla del modelo 5 y al compararlo con el modelo sin esta interacción (M5.1), el resultado es negativo, ya que los valores de los índices AIC y BIC, son menores en M5 y presenta un mayor logLik (criterios de índices), lo que indica que el modelo que mejor explica la variabilidad en la concentración de la clorofila-a es el modelo 5. El resumen de esta comparación se explica en la tabla siguiente:

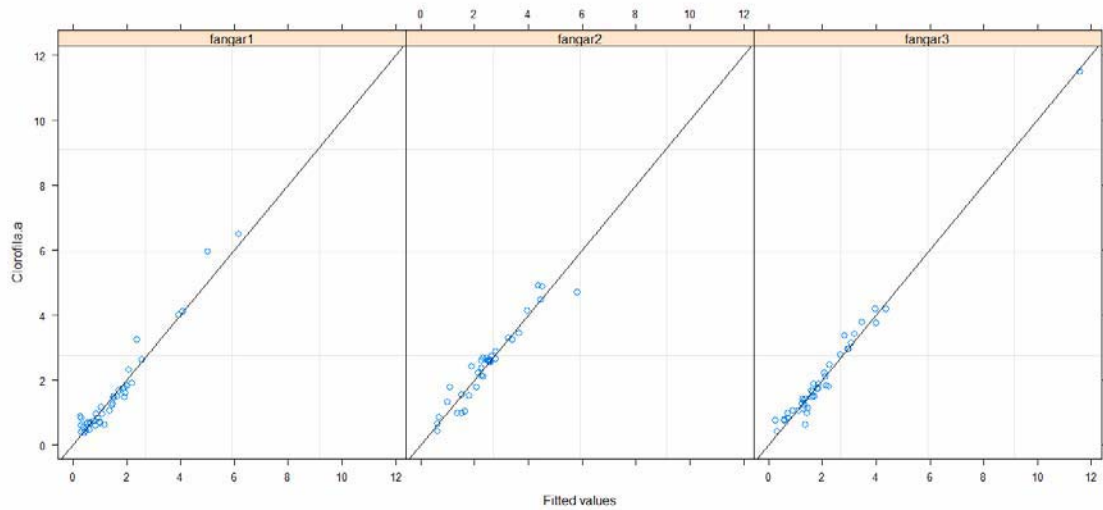
<b>Anova:</b>								
Modelo	GL	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor	
(M5)	3	22	218.8083	281.2065	-87.4041			
(M5.1)	5	20	226.9773	283.7029	-93.4886	5 v/s 5.1	12.1689	0.0023



**Figura 94.- Relación entre clorofila-a ( $\mu\text{g/l}$ ) y tiempo (meses), para las tres estaciones por cada profundidad de muestreo (Z1, Z2 y Z3), entre los años 1986 y 1987 en la bahía El Fangar. La línea de la gráfica en color azul muestra los valores observados de clorofila-a y en color rojo los valores estimados por el modelo M5.**

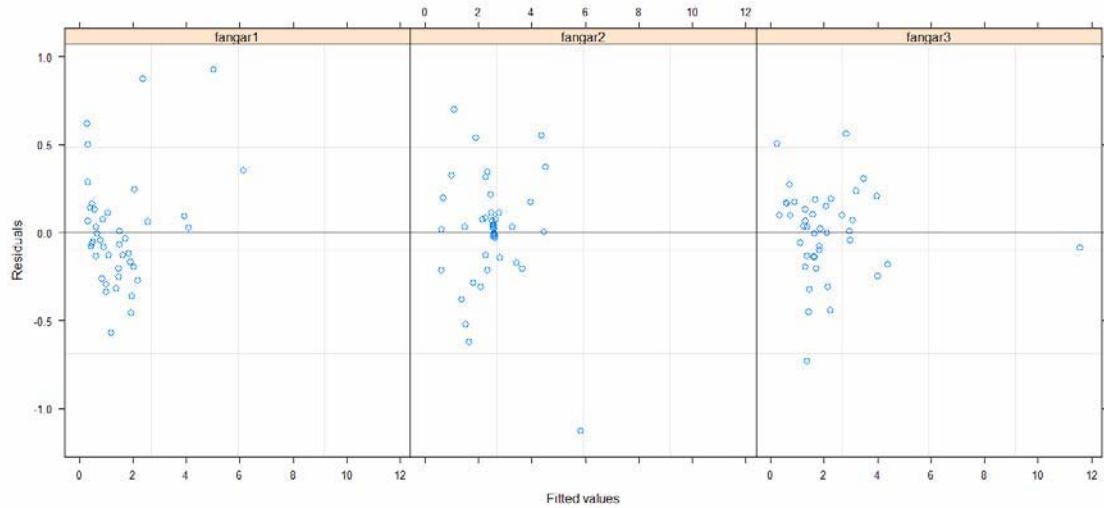
Una vez elegido el modelo más adecuado y que mejor explica la variación de la concentración de la clorofila-a en la bahía (estadísticamente robusto y al 95% de confianza), observamos gráficamente lo que se obtuvo al comparar los datos reales con los estimados por el modelo propuesto. En la Figura 94 enfrentamos los valores de clorofila-a observados y los valores estimados por el modelo 5, donde se observan tendencias similares, con diferencias explicadas por el error (5%).





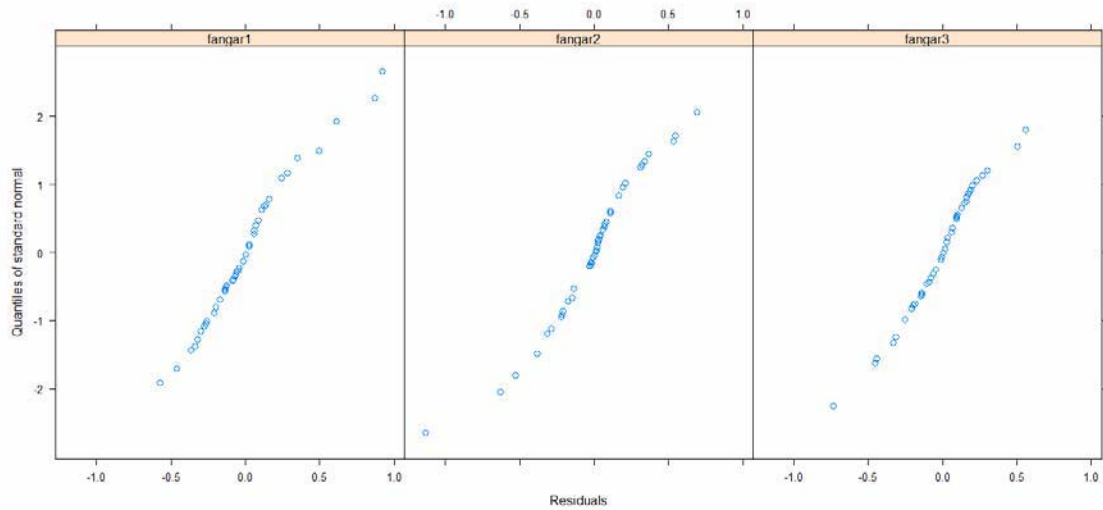
**Figura 95.- Gráfico de los valores observados contra los valores estimados**

La Figura 95 muestra que los valores de clorofila-a (observados y estimados) se ajustan a la línea de 45°, lo que nos indica un análisis de gran fiabilidad y peso estadístico, justificando la validez del modelo M5 propuesto y validado estadísticamente.



**Figura 96.- Gráfico de dispersión de los errores (residuos) del modelo M5 contra los valores ajustados por estaciones.**

Los puntos de la gráfica en la Figura 96 muestran que la varianza es constante, ya que si los puntos se mostrasen muy dispersos, esta debiese ser modelada. También se observan escasos valores extraordinarios (“outliers”).

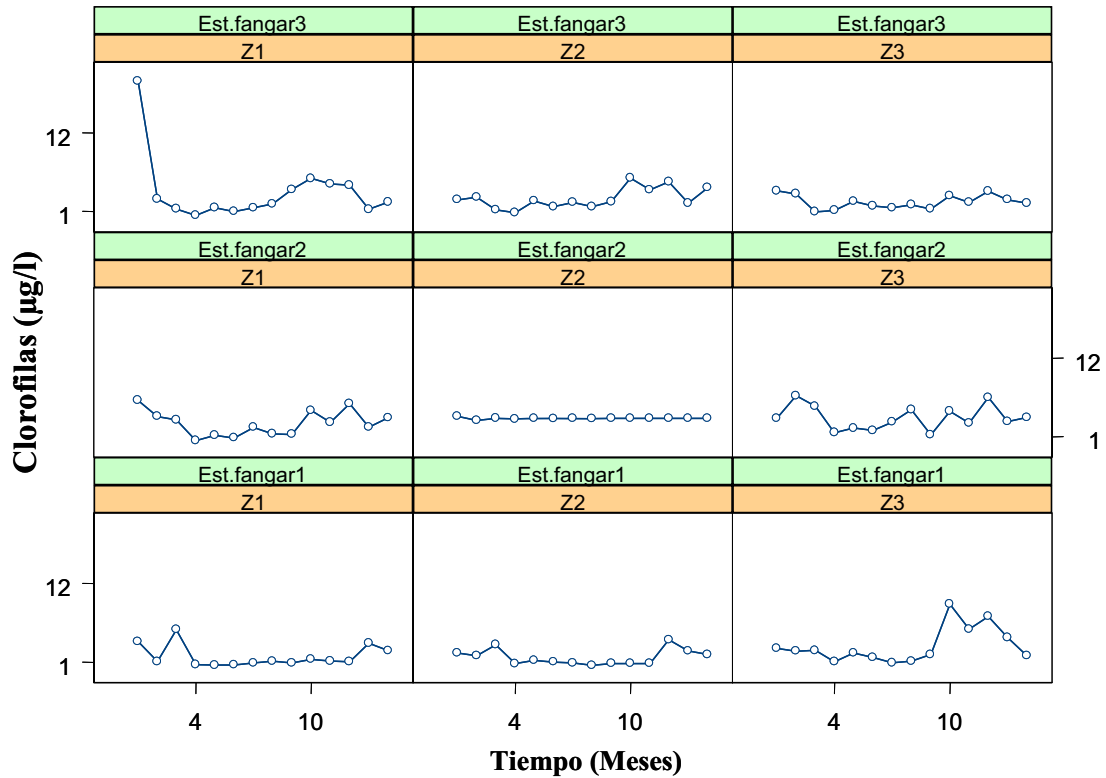


**Figura 97.- Gráfico de los cuantiles normalizados estándar contra los errores (residuos) ajustados por estaciones para el modelo M5.**

En la Figura 97 se muestra la normalidad de los errores, con escasa presencia de datos “outliers”.

### III.4.2.- Propuesta y aplicación del modelo mixto complementario en el análisis del parámetro “clorofilas totales”.

#### Modelo “clorofilas totales” completo (interacción con la profundidad)



**Figura 98.- Relación entre clorofilas totales ( $\mu\text{g/l}$ ) y tiempo (meses), para las tres estaciones por cada profundidad de muestreo (Z1, Z2, Z3), entre los años 1986 y 1987 en la bahía El Fangar.**

Comparando las curvas de las gráficas en la Figura 98 se observa que las “clorofilas totales” tiene un perfil diferente por cada profundidad y por cada estación. Se observa que la ordenada en el origen varía entre estaciones y profundidades. Por lo tanto, este comportamiento puede analizarse como sigue:

```
data.fr.cls.lme1<-lme
```

```
Efectos Fijos = clorofilas~ [cos(0.1·Tiempo) + sen(0.1·Tiempo) +  
Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio +  
Fosfatos + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas +  
Carbohidratos + Partículas]• Profundidad
```

```
Efectos Aleatorios = list (Estación= pdDiag(~ cos(0.1· Tiempo) +  
(sen(0.1 · Tiempo), Profundidad= pdDiag ~ cos(0.1· Tiempo) + sen(0.1·  
Tiempo))),  
data = data.fr.cls.lme1,method="ML"
```

**Tabla XXVI.- Resumen del análisis estadístico e índices del modelo clorofilas totales; (data.fr.cls.lme1).**

```
summary: Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood  
Data: data.fr.cls.lme1  
      AIC      BIC    logLik  
495.1473 651.1429 -192.5737  
Efectos Aleatorios:  
Formula: ~sen(0.1 · Tiempo) + cos(0.1 · Tiempo) | Estación (diferencia  
entre estaciones)  
Structure: Diagonal  
      (Intercepto)      sen(0.1 · Tiempo)      cos(0.1 · Tiempo)  
StdDev: 1.168526e-05      1.211182e-05      2.079191e-05  
Formula: ~cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) | Profundidad %in%  
Estación (diferencia entre la profundidad en las estaciones)  
Structure: Diagonal  
      (Intercepto)      cos(0.1 · Tiempo)      sen(0.1 · Tiempo)      Residuos  
StdDev: 1.925832e-05      3.777064e-06      3.200803e-06      1.115635
```

```
Efectos Fijos: clorofilas ~ (cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) +  
Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio +  
Fosfatos + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas +  
Carbohidratos + Partículas) • Profundidad
```

**Tabla XXV.- Anova de valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo completo de clorofilas totales. En color azul se destacan los valores significativos.**

VARIABLES	Valor	Error Est.	GL	t-valor	p-valor
(Intercepto)	8.843349	5.851641	72	1.51126	0.1351
cos(0.1 · Tiempo)	-4.114414	3.771942	72	-1.090795	0.279
sen(0.1 · Tiempo)	-9.172785	3.358672	72	-2.731075	<b>0.0079</b>
Temperatura	-0.076071	0.120761	72	-0.629928	0.5307
Salinidad	-0.080273	0.119632	72	-0.671003	0.5044
Oxígeno	0.493405	0.684707	72	0.720608	0.4735
Nitratos	-0.199591	0.099161	72	-2.012805	<b>0.0479</b>
Nitritos	-1.577386	0.898393	72	-1.755787	0.0834
Amonio	0.057253	0.044968	72	1.273196	0.207
Fosfatos	8.63426	1.168132	72	7.39151	<b>0.0000</b>
Feopigmentos	-0.091961	0.054294	72	-1.693744	0.0946
Carbono	0.000064	0.001131	72	0.056714	0.9549
Nitrógeno	0.062764	0.016732	72	3.75113	<b>0.0004</b>
Proteínas	-0.002789	0.002405	72	-1.159737	0.25
Carbohidratos	-0.000364	0.002551	72	-0.142563	0.887
Partículas	0.00000	0.00000	72	-0.549602	0.5843
Profundidad2	-11.291827	9.656385	4	-1.169364	0.3072
Profundidad3	-3.458065	10.428155	4	-0.331609	0.7568
cos(0.1 · Tiempo):Profundidad2	3.128897	5.694311	72	0.549478	0.5844
cos(0.1 · Tiempo):Profundidad3	1.542875	5.410973	72	0.285138	0.7764
sen(0.1 · Tiempo):Profundidad2	8.964807	5.409917	72	1.657106	0.1018
sen(0.1 · Tiempo):Profundidad3	5.806138	5.064476	72	1.146444	0.2554
Temperatura:Profundidad2	0.11234	0.162338	72	0.692015	0.4912
Temperatura:Profundidad3	0.223832	0.163596	72	1.368202	0.1755
Salinidad:Profundidad2	0.14396	0.205413	72	0.700835	0.4857
Salinidad:Profundidad3	-0.052203	0.249894	72	-0.208899	0.8351
Oxígeno:Profundidad2	-0.428986	0.897981	72	-0.477723	0.6343
Oxígeno:Profundidad3	-0.379283	0.834238	72	-0.454646	0.6507
Nitratos:Profundidad2	0.082134	0.250705	72	0.327612	0.7442
Nitratos:Profundidad3	-0.12547	0.193372	72	-0.648851	0.5185
Nitritos:Profundidad2	3.07057	5.373977	72	0.571377	0.5695
Nitritos:Profundidad3	9.130092	2.474795	72	3.689231	<b>0.0004</b>
Amonio:Profundidad2	-0.113288	0.064912	72	-1.74525	0.0852
Amonio:Profundidad3	-0.117678	0.058489	72	-2.011983	<b>0.048</b>
Fosfatos:Profundidad2	-6.847908	2.727466	72	-2.510721	<b>0.0143</b>
Fosfatos:Profundidad3	-7.578294	1.750989	72	-4.328009	<b>0.0000</b>
Feopigmentos:Profundidad2	0.221958	0.291755	72	0.760768	0.4493
Feopigmentos:Profundidad3	0.026376	0.093911	72	0.280858	0.7796
Carbono:Profundidad2	-0.002122	0.003021	72	-0.702314	0.4847
Carbono:Profundidad3	-0.000317	0.00208	72	-0.15257	0.8792
Nitrógeno:Profundidad2	-0.036026	0.023354	72	-1.542597	0.1273
Nitrógeno:Profundidad3	-0.041105	0.022923	72	-1.793146	0.0771
Proteínas:Profundidad2	0.005152	0.00517	72	0.996659	0.3223
Proteínas:Profundidad3	0.005427	0.003917	72	1.385348	0.1702
Carbohidratos:Profundidad2	0.009144	0.012688	72	0.72064	0.4735
Carbohidratos:Profundidad3	0.003535	0.010142	72	0.348612	0.7284
Partículas:Profundidad2	0.0000	0.0000	72	0.378033	0.7065
Partículas:Profundidad3	0.0000	0.0000	72	0.62819	0.5319

A partir de aquí comienza el modelo de regresión normal con interacción, sin efectos aleatorios. Ya que el test rechaza los efectos aleatorios del modelo mixto. Esto se intuye y es observable en los valores extremadamente bajos de las desviaciones estándar.

```
data.fr.cls.gls<-gls
(clorofilas ~ (cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) + Temperatura +
Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio + Fosfatos +
Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas + Carbohidratos +
Partículas) · Profundidad,
data=data.fr.cls,method="ML"
```

**Tabla XXVI.- Resumen del análisis estadístico e índices del modelo “clorofilas totales sin efectos aleatorios; (data.fr.cls.gls); M2.**

```
summary
Generalized least squares fit by maximum likelihood

Modelo: clorofilas ~ (cos(0.1 · Tiempo) + sen(0.1 · Tiempo) +
Temperatura + Salinidad + Oxígeno + Nitratos + Nitritos + Amonio +
Fosfatos + Feopigmentos + Carbono + Nitrógeno + Proteínas +
Carbohidratos + Partículas) · Profundidad

Data: data.fr.cls.gls
      AIC      BIC      logLik
483.1473  622.1252 -192.5737
```

Anova(data.fr.cls.gls; data.fr.cls.lme1)									
	Modelo	GL	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor	
data.fr.cls.gls	2	49	483.1473	622.1252	-192.5737				
data.fr.cls.lme1	1	55	495.1473	651.1429	-192.5737	1 vs 2	7.124743e-08	1	

El anova de comparación nos indica que se rechaza el modelo mixto y sugiere quedarse con el modelo de sin efectos aleatorios (ambos modelos son iguales, pero quedamos con el que tiene menos parámetros por conveniencia). Confirmando las sospechas observables en los valores muy bajos de las desviaciones estándar.

El resultado del p-valor indica que ambos modelos son iguales, optamos por el modelo que tenga menos parámetros, es decir M2. Los resultados del ajuste de este modelo quedan de la siguiente manera:

Tabla XXVII.- Anova de valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo 2 de clorofilas totales. En color azul se destacan los valores significativos.

VARIABLES	Valor	Error Est.	t-valor	p-valor
(Intercepto)	8.843349	5.851641	1.51126	0.1348
cos(0.1 · Tiempo)	-4.114414	3.771942	-1.090795	0.2787
sen(0.1 · Tiempo)	-9.172785	3.358672	-2.731075	0.0078
Temperatura	-0.076071	0.120761	-0.629928	0.5306
Salinidad	-0.080273	0.119632	-0.671003	0.5042
Oxígeno	0.493405	0.684707	0.720608	0.4733
Nitratos	-0.199591	0.099161	-2.012805	0.0476
Nitritos	-1.577386	0.898393	-1.755787	0.0831
Amonio	0.057253	0.044968	1.273196	0.2067
Fosfatos	8.63426	1.168132	7.39151	0.0000
Feopigmentos	-0.091961	0.054294	-1.693744	0.0943
Carbono	0.000064	0.001131	0.056714	0.9549
Nitrógeno	0.062764	0.016732	3.75113	0.0003
Proteínas	-0.002789	0.002405	-1.159737	0.2497
Carbohidratos	-0.000364	0.002551	-0.142563	0.887
Partículas	0.0000	0.0000	-0.549602	0.5842
Profundidad2	-11.291827	9.656385	-1.169364	0.2458
Profundidad3	-3.458065	10.428155	-0.331609	0.7411
cos(0.1 · Tiempo):Profundidad2	3.128897	5.694311	0.549478	0.5842
cos(0.1 · Tiempo):Profundidad3	1.542875	5.410973	0.285138	0.7763
sen(0.1 · Tiempo):Profundidad2	8.964807	5.409917	1.657106	0.1015
sen(0.1 · Tiempo):Profundidad3	5.806138	5.064476	1.146444	0.2551
Temperatura:Profundidad2	0.11234	0.162338	0.692015	0.491
Temperatura:Profundidad3	0.223832	0.163596	1.368202	0.1752
Salinidad:Profundidad2	0.14396	0.205413	0.700835	0.4855
Salinidad:Profundidad3	-0.052203	0.249894	-0.208899	0.8351
Oxígeno:Profundidad2	-0.428986	0.897981	-0.477723	0.6342
Oxígeno:Profundidad3	-0.379283	0.834238	-0.454646	0.6506
Nitratos:Profundidad2	0.082134	0.250705	0.327612	0.7441
Nitratos:Profundidad3	-0.12547	0.193372	-0.648851	0.5183
Nitritos:Profundidad2	3.07057	5.373977	0.571377	0.5694
Nitritos:Profundidad3	9.130092	2.474795	3.689231	0.0004
Amonio:Profundidad2	-0.113288	0.064912	-1.74525	0.0849
Amonio:Profundidad3	-0.117678	0.058489	-2.011983	0.0477
Fosfatos:Profundidad2	-6.847908	2.727466	-2.510721	0.0141
Fosfatos:Profundidad3	-7.578294	1.750989	-4.328009	0.0000
Feopigmentos:Profundidad2	0.221958	0.291755	0.760768	0.4491
Feopigmentos:Profundidad3	0.026376	0.093911	0.280858	0.7796
Carbono:Profundidad2	-0.002122	0.003021	-0.702314	0.4846
Carbono:Profundidad3	-0.000317	0.00208	-0.15257	0.8791
Nitrógeno:Profundidad2	-0.036026	0.023354	-1.542597	0.127
Nitrógeno:Profundidad3	-0.041105	0.022923	-1.793146	0.0768
Proteínas:Profundidad2	0.005152	0.00517	0.996659	0.322
Proteínas:Profundidad3	0.005427	0.003917	1.385348	0.1699
Carbohidratos:Profundidad2	0.009144	0.012688	0.72064	0.4733
Carbohidratos:Profundidad3	0.003535	0.010142	0.348612	0.7283
Partículas:Profundidad2	0.0000	0.0000	0.378033	0.7064
Partículas:Profundidad3	0.0000	0.0000	0.62819	0.5317



Tabla XXVIII.- Anova de valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo 2 de clorofilas totales. En color azul se destacan los valores significativos.

VARIABLES	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercepto)	1	78	310.86104	<.0001
cos(0.1 · Tiempo)	1	78	1.60036	0.2096
sen(0.1 · Tiempo)	1	78	17.31551	0.0001
Temperatura	1	78	14.75258	0.0002
Salinidad	1	78	2.49645	0.1181
Oxígeno	1	78	0.00967	0.9219
Nitratos	1	78	6.72133	0.0114
Nitritos	1	78	0.51438	0.4754
Amonio	1	78	1.14922	0.287
Fosfatos	1	78	27.32824	<.0001
Feopigmentos	1	78	0.1345	0.7148
Carbono	1	78	9.10838	0.0034
Nitrógeno	1	78	13.89345	0.0004
Proteínas	1	78	0.45127	0.5037
Carbohidratos	1	78	0.22731	0.6349
Partículas	1	78	0.02108	0.8849
Profundidad	2	78	0.46627	0.6291
cos(0.1 · Tiempo):Profundidad	2	78	2.54689	0.0848
sen(0.1 · Tiempo):Profundidad	2	78	2.20082	0.1175
Temperatura:Profundidad	2	78	0.17809	0.8372
Salinidad:Profundidad	2	78	0.35709	0.7008
Oxígeno:Profundidad	2	78	0.11202	0.8942
Nitratos:Profundidad	2	78	1.31547	0.2742
Nitritos:Profundidad	2	78	3.22644	0.0451
Amonio:Profundidad	2	78	2.0108	0.1408
Fosfatos:Profundidad	2	78	5.38749	0.0064
Feopigmentos:Profundidad	2	78	0.58459	0.5598
Carbono:Profundidad	2	78	0.16538	0.8479
Nitrógeno:Profundidad	2	78	0.46276	0.6313
Proteínas:Profundidad	2	78	2.57079	0.0829
Carbohidratos:Profundidad	2	78	0.23331	0.7925
Partículas:Profundidad	2	78	0.12279	0.8846

```
data.fr.cls.gls1
(clorofilas~(sen(0.1·Tiempo) + Temperatura + Nitratos + Fosfatos +
Carbono + Nitrógeno)+(cos(0.1·Tiempo)+ Nitritos +Fosfatos):Profundidad

data=data.fr.cls,method="ML"
```

**Tabla XXIX.- Resumen del análisis estadístico e índices del modelo clorofilas totales; (data.fr.cls.gls1); M3.**

```
summary(data.fr.cls.gls1)
Generalized least squares fit by maximum likelihood

Modelo: clorofilas ~ (sen(0.1 · Tiempo) + Temperatura + Nitratos +
Fosfatos + Carbono + Nitrógeno) + (cos(0.1 · Tiempo) + Nitritos +
Fosfatos):Profundidad

Data: data.fr.cls
      AIC      BIC      logLik
480.7217  526.1022 -224.3608
```

```
anova(data.fr.cls.gls1;data.fr.cls.gls)
```

	Modelo	GL	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-valor
data.fr.cls.gls1	3	16	480.7217	526.1022	-224.3608			
data.fr.cls.gls	2	49	483.1473	622.1252	-192.5737	3 vs 2	63.57434	<b>0.0011</b>

El resultado del ANOVA muestra que el p-valor es inferior a 0.05 ( $p < 0.05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula (donde  $H_0$ : el modelo 2 es equivalente al modelo 3) y el modelo representativo pasa a ser el que tiene los valores mínimos de AIC y/o BIC, y un valor máximo de logLik (probabilidad).

Después de eliminar aquellas variables que son no significativas en nuestro modelo propuesto (es decir que no explican en el modelo la variación en la concentración de clorofilas totales) el resultado queda de la siguiente manera:

**Tabla XXX.- Anova de valores de la prueba t (de Student) y sus correspondientes p-valores para el modelo 3 de clorofilas totales. En color azul se destacan los valores significativos.**

<b>VARIABLES</b>	<b>Valor</b>	<b>Error Est.</b>	<b>t-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>(Intercepto)</b>	<b>5.334972</b>	<b>2.0737111</b>	<b>2.572669</b>	<b>0.0114</b>
<b>sen(0.1 · Tiempo)</b>	<b>-5.331178</b>	<b>1.4926118</b>	<b>-3.571711</b>	<b>0.0005</b>
<b>Temperatura</b>	<b>0.02781</b>	<b>0.0330573</b>	<b>0.841278</b>	<b>0.402</b>
<b>Nitratos</b>	<b>-0.178565</b>	<b>0.0694549</b>	<b>-2.570957</b>	<b>0.0115</b>
<b>Fosfatos</b>	<b>5.729196</b>	<b>0.9522951</b>	<b>6.016198</b>	<b>0.0000</b>
<b>Carbono</b>	<b>-0.000432</b>	<b>0.0006699</b>	<b>-0.645173</b>	<b>0.5201</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>0.032613</b>	<b>0.0074976</b>	<b>4.349777</b>	<b>0.0000</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo):Profundidad1</b>	<b>-2.490055</b>	<b>1.7665948</b>	<b>-1.409523</b>	<b>0.1615</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo):Profundidad2</b>	<b>-5.011575</b>	<b>1.7280382</b>	<b>-2.900153</b>	<b>0.0045</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo):Profundidad3</b>	<b>-4.26155</b>	<b>1.7598365</b>	<b>-2.42156</b>	<b>0.0171</b>
<b>Nitritos:Profundidad1</b>	<b>-1.442795</b>	<b>0.8083882</b>	<b>-1.784779</b>	<b>0.077</b>
<b>Nitritos:Profundidad2</b>	<b>5.952615</b>	<b>2.7479365</b>	<b>2.166213</b>	<b>0.0324</b>
<b>Nitritos:Profundidad3</b>	<b>5.668841</b>	<b>1.7329552</b>	<b>3.271199</b>	<b>0.0014</b>
<b>Fosfatos:Profundidad2</b>	<b>-1.570721</b>	<b>1.432034</b>	<b>-1.096846</b>	<b>0.2751</b>
<b>Fosfatos:Profundidad3</b>	<b>-3.912893</b>	<b>1.0349213</b>	<b>-3.780861</b>	<b>0.0003</b>

**Tabla XXXI.- Anova de valores de la prueba F (de Fisher) y sus correspondientes p-valores para el modelo 3 de clorofilas totales. En color azul se destacan los valores significativos.**

<b>VARIABLES</b>	<b>numDF</b>	<b>denDF</b>	<b>F-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>(Intercepto)</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>380.0985</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>sen(0.1 · Tiempo)</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>0.0966</b>	<b>0.7565</b>
<b>Temperatura</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>26.8094</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>Nitratos</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>12.1939</b>	<b>0.0007</b>
<b>Fosfatos</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>35.0155</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>Carbono</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>6.5832</b>	<b>0.0116</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>18.7554</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>cos(0.1 · Tiempo):Profundidad</b>	<b>3</b>	<b>111</b>	<b>3.0714</b>	<b>0.0308</b>
<b>Nitritos:Profundidad</b>	<b>3</b>	<b>111</b>	<b>3.3941</b>	<b>0.0205</b>
<b>Fosfatos:Profundidad</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>6.552</b>	<b>0.002</b>

En este caso no descartamos la variable tiempo, ya que se hace significativa en el test t-Student, por precaución y aporte al modelo (peso estadístico) se mantiene en este.

### Modelo final para “clorofilas totales”:

**Clorofilas** ~ (sen (0.1 · Tiempo) + Temperatura + Nitratos + Fosfatos + Carbono + Nitrógeno) + (cos (0.1 · Tiempo) + Nitritos + Fosfatos) : Profundidad

La expresión matemática:

$$y_{ij} = [\beta_0 + \beta_1 \text{sen} (0.1 \cdot t_{ij}) + \sum_p \phi_{p,i} X_i] + (\text{cos} (0.1 \cdot t_{ij}) + \text{nitritos}_{ij} + \text{fosfatos}_{ij}) \cdot (\theta_2 \text{Prf}_{i,2} + \theta_3 \text{Prf}_{i,3}) + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, \dots, 3; j = 1, \dots, 3$$

Donde:

$y_{ij}$  representa la concentración de las clorofilas totales (Y), en la estación  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) perteneciente al nivel  $j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) de la profundidad

$\beta_0$  corresponde a la constante del modelo (intercepto)

$\beta_1$ , es el parámetro del modelo ( $\beta_1$  ha de ser estimado y se supone que es común a todas las estaciones)

$\varepsilon_{ij}$  es el error de pronóstico en la estación  $i$ , asociado a la profundidad  $j$ . Son independientes para diferentes  $i$  y  $j$ .

$$T_1 = \text{sen} (0.1 \cdot \text{Tiempo})$$

$$T_2 = 0 \cdot \text{cos} (0.1 \cdot \text{Tiempo}) = 0$$

$$X_2 = \text{Temperatura}$$

$$X_3 = \text{Nitratos}$$

$$X_4 = \text{Fosfatos}$$

$$X_5 = \text{Carbono}$$

$$X_6 = \text{Nitrógeno} \dots$$

$(\sum_p \phi_p \cdot X_p)$  es:

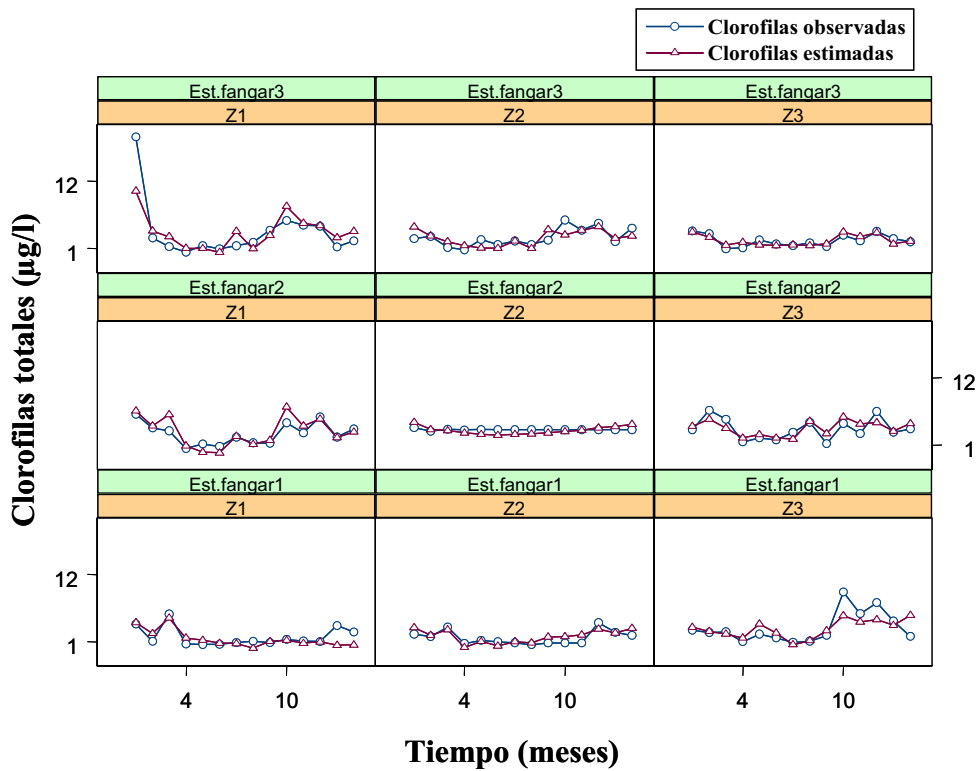
$\phi_p$  parámetro asociado a la variable explicativa y que explicaría el “efecto” de esta variable explicativa. Es decir el peso de la contribución de la variable explicada  $X_p$  en la explicación de la variación de la concentración de las Clorofilas.

$X_p$  es una abreviación de  $X_{ijp}$ , que corresponde a la observación de la variable explicada, que en este caso no depende ni de la estación  $i$ , ni de la profundidad  $j$ . O sea  $X_{ijp} = X_p$ .

$\theta$  parámetro que corresponde a la diferencia de profundidad entre la superficie y la zona media de la columna de agua (2m);  $\theta_2$ . Mientras que  $\theta_3$  corresponde a la diferencia de profundidad entre la superficie (0m) y el fondo (4m).

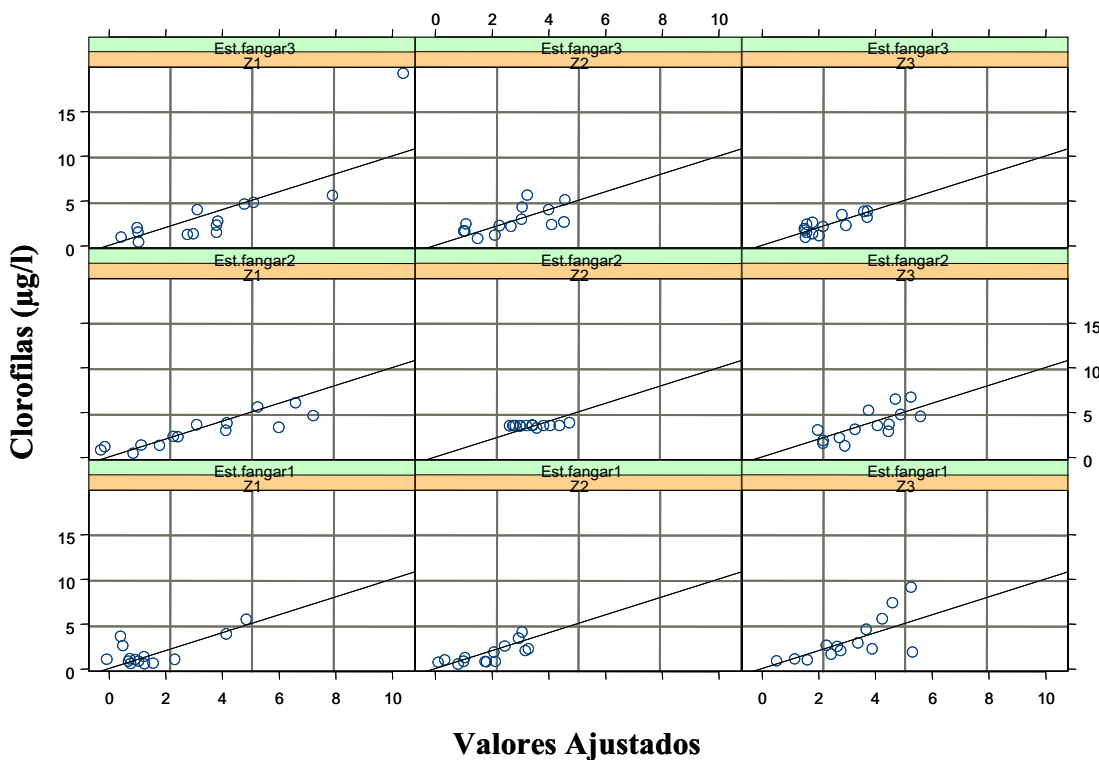
$Prf_{i,2} = 1$  si estamos en Z2 (2m)  
 $= 0$  otra Z

$Prf_{i,3} = 1$  si estamos en Z3 (4m)  
 $= 0$  otra Z



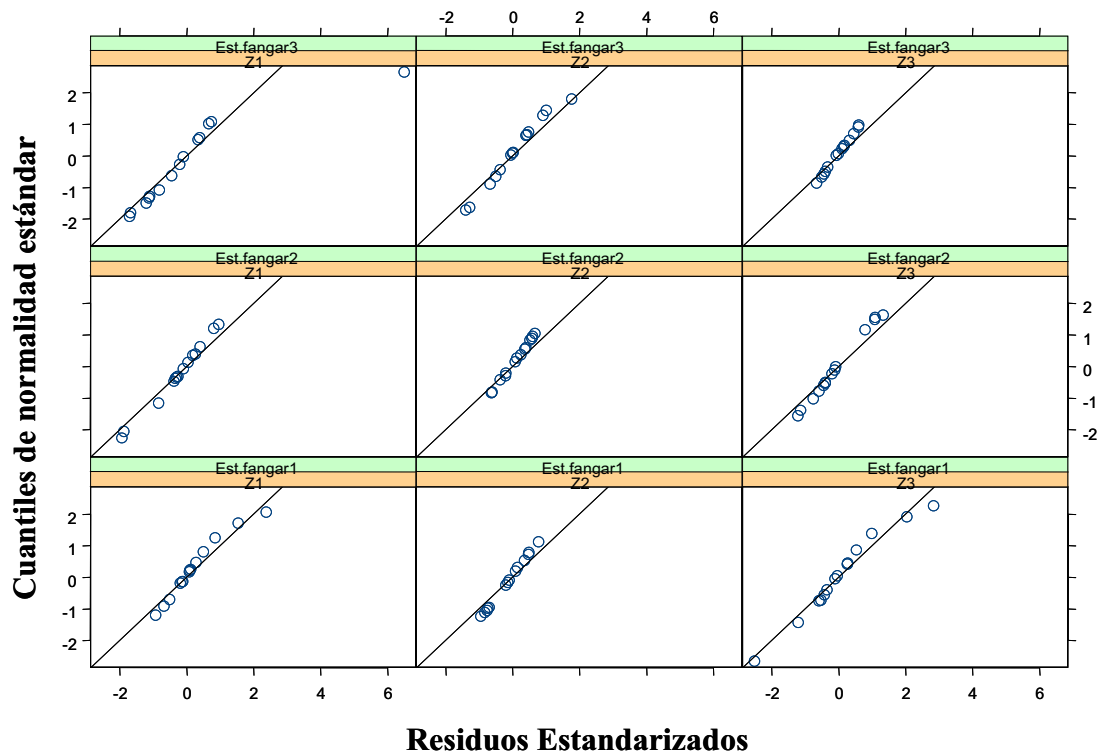
**Figura 99.- Relación entre clorofilas totales (µg/l) y tiempo (meses), para las tres estaciones por cada profundidad de muestreo (Z1, Z2 y Z3), entre los años 1986 y 1987 en la bahía El Fangar. La línea de la gráfica en color azul muestra los valores observados de clorofilas totales y en color rojo los valores estimados por el modelo final ajustado.**

Una vez elegido el modelo más adecuado y que mejor explica la variación de la concentración de las “clorofilas totales” en la bahía (estadísticamente robusto y al 95% de confianza), observamos gráficamente lo que se obtuvo al comparar los datos reales con los estimados por el modelo propuesto. En la Figura 99 enfrentamos los valores de clorofilas observados y los valores estimados por el modelo propuesto, donde se observan tendencias similares, con pequeñas diferencias explicadas por el error (5%).



**Figura 100.- Gráfico de los valores observados contra los valores estimados**

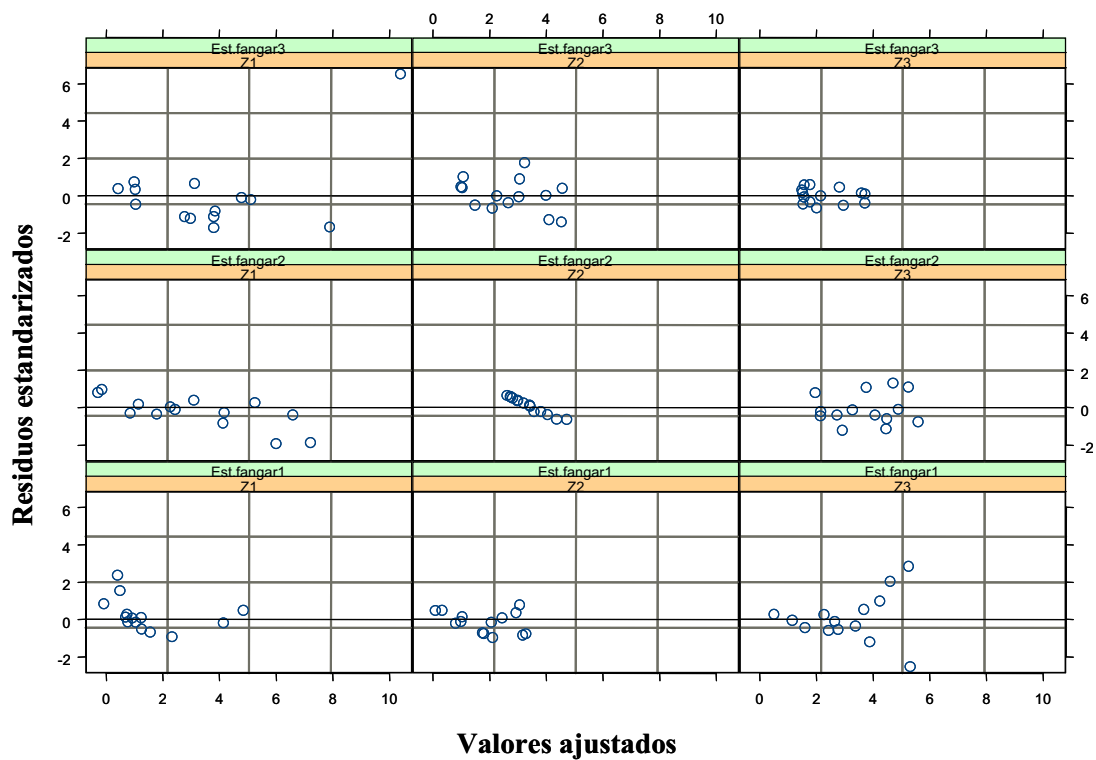
La Figura 100 muestra que los valores de clorofilas (observados y estimados) se ajustan a la línea de 45°, lo que nos indica un análisis de gran fiabilidad y peso estadístico, justificando la validez del modelo final propuesto y validado estadísticamente.



**Figura 101.- Gráfico de los cuantiles normalizados estándar contra los errores (residuos) ajustados por estaciones para el modelo final propuesto.**

En la Figura 101 se muestra la normalidad de los errores en el modelo final propuesto, con escasa presencia de datos “outliers”.

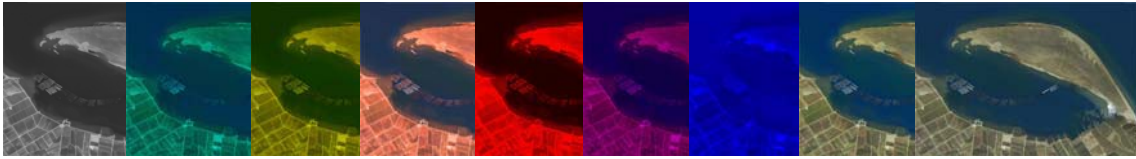




**Figura 102.- Gráfico de dispersión de los errores estandarizados (residuos) del modelo final propuesto contra los valores ajustados por estaciones.**

Los puntos de la gráfica en la Figura 102 muestran que la varianza es constante, ya que si los puntos se mostrasen muy dispersos, esta debiese ser modelada. También se observan escasos valores extraordinarios (“outliers”).

## CAPÍTULO IV



## DISCUSIÓN



## CAPÍTULO IV

### IV. 1.- Discusión

Autores como Camp y Delgado (1987) mencionan que las bahías del delta se comportan habitualmente como estuarios en cuña salina (Dyer, 1979). Delgado y Camp (1987) agregan que las bahías del delta del Ebro se ajustarían a la definición que Cameron y Pritchard (1963) dan de estuario, como un cuerpo de agua costero, parcialmente cerrado, que tiene una conexión libre con el mar abierto y dentro del cual el agua de mar está mesurablemente diluida con agua dulce derivada del drenaje terrestre, pero con características particulares, tales como: el agua dulce es vertida por uno de los lados, a través de una serie de canales, lo que provoca una distribución preferencial de las aguas de baja salinidad, en cada profundidad, poca importancia de las mareas, alternancia de mezcla y estratificación en el ciclo anual. Posteriormente Quijano *et al.* (2008) indican que la bahía El Fangar sería un estuario estratificado de tipo B, de acuerdo al criterio de Pritchard (1955).

La bahía El Fangar se comporta, hasta cierto punto, como un estuario en el que se dan fuertes variaciones estacionales de los aportes de agua dulce.

Es importante considerar que el comportamiento de los nutrientes en estuarios se ve afectado por procesos biológicos y de degradación (Morris *et al.*, 1981), sujetos a tipos de estuarios, volúmenes de aguas recibidas, tamaños, aportes fluviales directos (o no) que marcaran su hidrodinámica y con esto la dinámica ecológica presente en dichos estuarios.

La carga de sustancias nutritivas en ríos (principalmente el nitrógeno y el fósforo) han estado aumentando en las últimas décadas, debido al crecimiento de la población humana y sus actividades en la cuenca (Ludwig *et al.*, 2009). Este aumento se refleja en el aumento de aguas negras urbanas, así como aumento en el empleo de fertilizante y abonos animales en tierras de labranza (Fernández *et al.*, 1997; Bricker *et al.*, 2008; Falco *et al.*, 2010).

Sin embargo, estas tendencias no son directamente extrapolables a las aguas costeras debido a que los estuarios juegan un papel importante en el ciclo biogeoquímico de los nutrientes. Según sea este ciclo, podría causar incrementos o pérdidas de los elementos que fluyen hacia el mar con las aguas del estuario (Tappin, 2002). Como la carga de silicato, que no ha seguido esta tendencia ascendente, porque es la menos influenciada

por las actividades humanas. El silicato es depositado en los embalses construidos en los ríos, reduciendo la carga de silicato que fluye río abajo (Sferratore *et al.*, 2008; Falco *et al.*, 2010).

Coincidimos con el estudio de Solé *et al.* (2009), basado en estudios hidrográficos a corto plazo, realizados en la bahía de Los Alfacs, donde se proponen dos estados básicos como características del sistema estuarino, en este caso para la bahía que se ubica al sur de la desembocadura del Ebro, la bahía de Los Alfacs.. Estos investigadores proponen que uno de estos estados sería transitorio y que duraría un período corto (2-5 días), por lo general después de tormentas que destruirían la dinámica estuarina y mezclarían la columna de agua. El otro, un estado estable, se presentaría durante casi todo el año, con la hidrodinámica típica de un estuario ligeramente estratificado. A su vez, el estado estable presentaría dos períodos principales controlados por la descarga de los canales de irrigación, un período de “canales abiertos” (la columna de agua se encontraría más estratificada) y período de “canales cerrados” (donde la columna de agua se encontraría menos estratificada).

De los datos de este estudio y otros anteriores (Camp, 1991; Camp, 1994; Camp *et al.*, 1985; Camp y Delgado, 1987; Delgado y Camp, 1987) se puede deducir que en la bahía de El Fangar ocurriría una situación o eventos similares, seguramente no muy diferente a escala espacial y temporal. La situación “canales cerrados” en la bahía, se entiende como el período en que los campos de arroz se encuentran anegados de agua y se está desarrollando el crecimiento de las plantas de arroz. El aporte de aguas provenientes de cultivos de arroz a la bahía en esta época debería ser nulo, según el esquema de trabajo de los agricultores. Pero se observó que este drenaje se produce de forma continua en la bahía, durante todo el período de estudio, tanto para canales que desembocan directamente en la bahía y que reciben aportes directos del gran canal de la izquierda, como para los canales de drenaje que transportan aguas a la bahía desde los campos de cultivo y lagunas. Estos hechos fueron corroborados posteriormente en visitas realizadas al delta, y específicamente a la bahía El Fangar, en diferentes épocas entre el año 2000 y 2002. Y confirmadas con conversaciones (entrevistas) realizadas a agricultores de la zona.

En esto, coincidimos con las observaciones de Cruzado *et al.* (2002) y Franquet (2009), que mencionan que los cultivos de arroz son inundados periódicamente (durante la época del cultivo) para evitar la alta salinidad que entra desde el mar por el subsuelo, lo

que provoca la descarga de cantidades significativas de fertilizantes y pesticidas a las lagunas costeras y bahías del delta.

Las características de los canales serían más similares a las del agua del río Ebro, con aportes de los abonados de los campos de arroz, sin olvidarnos de los aportes de agua que provienen de las lagunas costeras y de los aportes freáticos.

El agua, que fluye a través de la red de canales de riego, en primer lugar se distribuye capilarmente a los arrozales, que constituyen el único cultivo posible actualmente, dado el bajo nivel taquimétrico de los terrenos respecto al mar, cuya influencia mantiene un nivel freático alto, con un exceso de sales difíciles de contener sin un tirante o calado de agua conveniente (Franquet, 2009).

El esquema de las distintas fuentes de agua dulce que llega a la bahía serían:

- 1) Aguas del río Ebro que entran directamente desde la red de canales que salen desde el canal de la izquierda.
- 2) Aguas de los campos de cultivo del arroz inundados.
- 3) Aguas que provienen de campos, pero fuera de la época del cultivo del arroz (canales cerrados).
- 4) Aguas freáticas.
- 5) Aguas de lagunas costeras presentes en el delta (Les Olles y Canall Vell).
- 6) Aguas relacionadas a lluvias torrenciales que caen sobre el delta, ya sea directamente a la bahía, por torrentes esporádicos y canales de desagüe que desembocan finalmente a la bahía con grandes aportes terrestres.

### **Cambios estacionales en la bahía El Fangar**

Este enfoque viene sugerido por los resultados de los gráficos descriptivos de los parámetros, del análisis multifactorial y del análisis de serie de tiempo.

Un factor fundamental para entender la dinámica de la bahía, son los cambios estacionales naturales de temperatura, salinidad y otros parámetros que se dan en la bahía. Junto con los cambios en actividades humanas que afectan a la misma (cultivo de arroz, cultivo de mejillones). Este enfoque estacional nos permite una consideración más global del conjunto de factores que operan en la dinámica de la bahía.

## **Otoño de 1986** (de Octubre a Diciembre de 1986)

### **Marco ambiental**

A fines de noviembre o en diciembre se cierran los canales de regadío de los campos de arroz.

Con respecto a la temperatura ambiental, esta comienza a declinar desde los 18,8°C de octubre a los 10,4°C de diciembre. Octubre fue bastante lluvioso (175mm de precipitación) con un descenso hacia diciembre. Mientras que las rachas de viento máximas fueron en aumento de octubre a diciembre (116 km/h) de 1986 (*fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

Con respecto a las operaciones del cultivo en la bahía, durante este período se realizan labores de preparación de las bateas y siembra (*fuentes*; Asociación de Mejilloneros de la bahía el Fangar, en la actualidad denominada Asociación de Productores Bahía Fangar).

### **Situación en la bahía**

Las características, que se discutirán a continuación, corresponderían a una situación típica de transición verano-invierno, con un incremento de la componente “marina”. Donde los valores bajos de oxígeno en fondo se producirían por descomposición de materia orgánica del sedimento. Esta descomposición en el fondo, se debe probablemente al material depositado y acumulado de la primavera y del verano anterior. En general, se observó una disminución de nutrientes en toda la bahía, relacionada probablemente con su consumo por parte del fitoplancton y con su dilución por aguas “marinas” que hacen intrusión en la bahía.

En esta época del año se observó un descenso en la temperatura de hasta 10° en la bahía, mientras que la salinidad subía de 34 a 38. Esto sugiere el cese o reducción de los aportes de agua dulce desde los campos cercanos, con predominio creciente de las “aguas marinas”. En diciembre de 1986 se encontró uno de los valores máximos de salinidad, en la masa de agua superficial, correspondiente a E f1 (boca de la bahía), posibilitando así la mezcla vertical en la columna, lo que vendría a indicar es una ausencia de agua dulce en superficie, con un descenso en la estratificación acusada de octubre a diciembre de 1986, facilitando la mezcla vertical, confirmando una entrada de agua “marina”. De esta manera, en lugar de la típica circulación estuárica, lo que encontraríamos en esta época sería una intensa mezcla vertical y renovación de las

aguas de la bahía por corrientes de flujo y reflujo, en parte relacionadas con el viento y en parte con mareas de baja intensidad.

Conocido es el hecho de que áreas poco profundas de la boca de la bahía pasarían a constituir un obstáculo para el movimiento de la cuña salina, generando muchas veces bolsas aisladas de agua salada, las cuales desaparecerían posteriormente por dilución con el agua de los canales de desagüe (Sierra *et al.*, 2001).

El oxígeno presentó valores bajos en el fondo en el mes de octubre, incrementándose en toda la columna de agua durante el otoño, encajando por tanto con una situación de incremento progresivo de la mezcla vertical (confirmar esto observando perfil vertical de salinidades que daría gradiente cada vez menor entre superficie y el fondo)

Los perfiles de nutrientes concuerdan con la dinámica que se apunta en los párrafos anteriores. Las concentraciones nitratos, nitritos y fosfatos disminuyen durante el otoño, sobre todo en superficie. El amonio presentó también un descenso en sus concentraciones, aunque los valores fueron más altos en las aguas más profundas. Esto encaja con procesos de descomposición en el sedimento o en aguas próximas al sedimento, típicos de esta situación otoñal. Coincide también con la reducción de los aportes de aguas dulces de origen terrestre (que darían máximos superficiales).

En lo que respecta a los pigmentos, su evolución en esta época presentó diferencias espaciales muy notables. En la boca de la bahía presentaron valores bajos durante todo el otoño, a excepción de los feopigmentos, que aumentan de octubre a noviembre de 1986. En el interior de la bahía, la situación se caracteriza por la presencia de un máximo otoñal de clorofilas (en octubre, en zona superficial en E f3; y en noviembre, en la zona profunda en E f2) con un descenso hasta valores mínimos en diciembre. Por el contrario, los feopigmentos mostraron valores mínimos en la parte más interior de la bahía (E f3) y valores máximos en la boca de la misma (E f1, en el fondo). La probable explicación para esto último sería el arrastre por corrientes de heces y pseudoheces provenientes de los cultivos de mejillón, así como la resuspensión de materia orgánica (si fuese resuspensión se vería de dos maneras: columna muy mezclada por ausencia de estratificación y valores máximos de feopigmentos cerca del fondo).

La clorofila-a presentó valores bajos en la entrada de la bahía (E f1), y valores altos y en descenso en E f2 y E f3. La clorofila-b mostró valores bajos en E f1, pero presentó un máximo profundo en E f2 en noviembre y un máximo superficial en E f3 en octubre de 1986, ambos máximos con tendencia a bajar. La clorofila-c mostró también un descenso



de sus concentraciones en las 3 estaciones de muestreo, desde un máximo superficial en octubre, aunque en noviembre de 1986 se registró un máximo profundo en E f2.

Los feopigmentos presentaron valores bajos en toda la columna de agua en la estación E f3, sobre todo en superficie, lo que nos indicaría que no hay descomposición del fitoplancton, ni aporte de heces y pseudoheces provenientes de los cultivos de bivalvos presentes en la bahía en esta estación. Ocurriendo todo lo contrario en la estación E f1 creemos que debido a una columna de agua muy mezclada (con características de agua “marina”) que entra un poco a la bahía, producto de días con altas rachas de vientos en el golfo de La Ampolla.

Esta situación de disminución otoñal de clorofilas, la entendemos como una disminución en la concentración en el fitoplancton, a consecuencia de la bajada de las temperaturas y la desaparición de nutrientes (debido a su consumo por el fitoplancton y a su dilución por efecto de la menor estratificación y mayor mezcla vertical). El máximo profundo de noviembre estaría probablemente relacionado con la regeneración de nutrientes en la interfase agua-sedimentos, tal y como se comentó más arriba en relación al amonio.

Los parámetros indicadores de biomasa, tales como carbono orgánico particulado (COP), nitrógeno orgánico particulado (NOP), proteínas, carbohidratos y partículas nos estarían indicando que el máximo de biomasa de partículas de diciembre de 1986 se corresponde con los máximos de feopigmentos y clorofilas en la estación E f1 mencionados más arriba. El pico de biomasa de diciembre de 1986 estaría, más bien, relacionada a algún bloom de fitoplancton de finales de otoño, después de un descenso desde octubre, ya que el máximo que observamos es superficial. En la zona de los viveros (E f2) no hay un máximo de feopigmentos y las clorofilas tuvieron su máximo en el mes de diciembre de 1986 (a excepción de la clorofila-b).

El carbono mostró valores en descenso en la zona superficial durante octubre y noviembre de 1986, para luego incrementarse en toda la columna de agua en noviembre-diciembre de 1986, llegando a un máximo superficial en diciembre de 1986 en toda la bahía.

El nitrógeno presentó una evolución similar a carbono, aunque el máximo superficial de diciembre solo está claro en E f1, mientras que en E f2 es más de fondo.

Cabe recordar que la tasa de asimilación de los distintos compuestos de nitrógeno por el fitoplancton es diferente. Cuando hay concentraciones considerables de compuestos

nitrogenados en el medio, primero se asimila el amonio, después la urea y, en último lugar, el nitrato y el nitrito, pero cuando hay escasez, se asimilan todas las formas en proporción a su concentración (M<sup>c</sup> Carthy *et al.*, 1977).

Las proteínas también presentaron un panorama similar al carbono, aunque en E f2 y E f3, no hay descenso en octubre de 1986, sino un ascenso continuado hasta el máximo de diciembre de 1986.

Los carbohidratos mostraron una tendencia similar al carbono, aunque en E f3 no hay máximo de diciembre de 1986, pero sí en noviembre de 1986.

Las partículas presentaron una tendencia similar al nitrógeno, con descenso en octubre y luego incremento hasta el máximo de diciembre, que es más superficial en E f1 y más de fondo en E f2. Mientras que en E f3 existiría más mezcla vertical de la columna de agua.

Los resultados del análisis multivariado, para esta época, nos indica y corrobora que en los meses de otoño (noviembre y diciembre para el componente 2), agrupan los parámetros indicadores de biomasa en la bahía (carbono, carbohidratos, proteínas, nitrógeno y partículas) con descensos típicos para esta época.

## **Invierno de 1987** (de Enero a Marzo de 1987)

### **Marco ambiental**

Época en la cual los canales de regadío se encuentran supuestamente cerrados (desde finales de noviembre y/o principios de diciembre). Y los campos de arroz se preparan para ser inundados con operaciones de limpieza, desmalezamiento y nivelación. Se supone que no hay pérdidas de esta agua de irrigación a la bahía de El Fangar, al estar cerrados los canales de drenaje, pero no pueden descartarse pequeñas fugas ni escorrentías subterráneas. La temperatura ambiente promedio fue aumentando de los 8,6°C de enero a los 13,4°C de marzo. La precipitación total fue descendiendo rápidamente de 62,2mm en enero a los 3,7mm de marzo. Mientras que las rachas de viento máximas fueron elevadas durante el período invernal, con valores que oscilaron entre 100 km/h a los 127 km/h (*fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

Las operaciones del cultivo de moluscos en la bahía durante este período se centran en la colecta de crías, que ocurre entre febrero y marzo (*fuentes*; Asociación de Mejilloneros

de la bahía El Fangar, en la actualidad denominada Asociación de Productores Bahía Fangar).

### **Situación en El Fangar**

La temperatura del agua, en la bahía, se encontró por debajo de los 11°C en las 3 estaciones y profundidades. Los bajos valores de temperatura del agua de mar encontrados en las estaciones E f1 y E f2 durante el invierno, con valores cercanos a los 5°, se relacionan directamente a los datos meteorológicos para los meses de diciembre de 1986 a marzo de 1987, donde las temperaturas promedio atmosféricas mínimas el la zona del delta alcanzaron valores de entre 1.7°C y 3.4°C, con mínimos de -1.3°C (febrero 1987). También se relacionan a períodos con valores de rachas de vientos muy elevados, con valores de entre 116 km/h a 127 km/h (*fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología; Observatorio Meteorológico del Ebro - Tortosa). Este hecho es corroborado por Camp y Delgado (1987) y Camp (1994) para la bahía de Los Alfacs, donde indican que vientos muy fuertes con temperaturas bajas son capaces de enfriar rápidamente toda la masa de agua. Además Camp (1994) menciona que la diferencia de temperatura en la bahía de Los Alfacs ayudaría a explicar el estancamiento del agua durante casi 1 mes, como consecuencia de un temporal muy frío en el mes de enero de 1987.

La salinidad presentó un ligero ascenso en superficie en E f1, pudiéndose entender como una columna de agua muy mezclada, donde el fenómeno de cuña salina, en esta estación, no es observable claramente en el perfil. Nos hacen también pensar en una bolsa de agua más salada en esta estación durante el muestreo, situación descrita por Largier *et al.* (1997). Diferenciándonos, en este punto, de los resultados obtenidos por López y Arté (1973), para una zona muy similar en la bahía a la estación E f1, para la época invernal. Estos autores encontraron características en la salinidad, que apuntarían a una columna de agua o sistema muy estático, y/o estratificado en invierno.

Una situación y tendencia particular se presenta para E f2, en lo que respecta a salinidad, ya que las concentraciones disminuyen en superficie y zona media de la columna de agua, seguramente debido a aportes de agua dulce desde los canales de desagüe.

Para E f3, la salinidad presenta en la época invernal algunas diferencias en el fondo con respecto a las otras estaciones Si observamos los resultados de salinidad en esta época (invernal), el barrido de aguas menos salinas hacia fuera de la bahía se haría menos

persistente, y si permitiría intercambios o penetración de aguas del golfo de la Ampolla (más saladas), al interior de la bahía, sobre todo en períodos donde supuestamente los canales de regadío descargan menos volumen y flujo de agua dulce (ya que intuimos por observaciones, y por estudios en la bahía y el delta, que nunca se encontrarían totalmente cerrados algunos canales), y las condiciones meteorológicas del área lo permitan.

En la estación E f3 se observó un aumento en la concentración de salinidad en la zona media y profunda de la columna de agua, durante enero, febrero y marzo de 1987, con valores de entre 40 y 41. Mientras que en la superficie, Ef 3 presentó valores bajos, inferiores a 38, seguramente atribuible a la pluviosidad que se presentó en enero de 1987, donde se alcanzaron los 62,2mm. Este particular resultado de alta salinidad nos hace pensar que las aguas próximas al fondo de la zona más interna de la bahía (estación E f3), presentaría un sistema relativamente estático durante el invierno (confinamiento de aguas), con altas concentraciones de salinidad, no atribuibles a altas evaporaciones en la columna de agua por altas temperaturas.

Autores como Comín *et al.* (1987) entregan resultados de salinidades (conductividad) elevadas en la laguna del Canal Vell en la época invernal, para el estudio realizado entre los años 1983 y 1984, laguna que desagua muy cerca de la estación E f3.

Por observaciones realizadas en el área de la bahía, también especulamos, a partir de que en algunas zonas de la barra del Fangar (barra de arena) y por efectos de temporales, se forman pozas de agua marina, producto de inundaciones (Sánchez-Arcilla *et al.*, 1996). Estas pozas al evaporarse incrementarían su salinidad y al secarse formarían zonas con costras de sal sobre la arena. Durante el proceso de secado una parte de esta agua de alta salinidad se infiltraría en el suelo arenoso y podría escurrir tanto hacia el lado de mar abierto como hacia la bahía, ocupando el fondo por su mayor densidad. Por otra parte, las costras de sal podrían diluirse con el agua de lluvia y penetrar en las capas profundas del suelo, deslizándose lateralmente al tropezar con la capa freática, o sencillamente escurrir hasta la bahía y situarse en la capa profunda de la bahía.

Camp (1994) para la bahía de Los Alfacs menciona que los temporales (Levante) acompañados de fuertes lluvias y bajas presiones relativas, provocan un aumento del nivel del mar, produciéndose rebases de agua marina por sobre la barra de arena, con entrada de volúmenes importantes de agua de mar, más densa, que se acantonaría

momentáneamente en el fondo. También caracteriza excepciones en la que la fuerte evaporación y enfriamiento generan agua relativamente más densa que quedaría acantonada largo tiempo en el fondo de la bahía de Los Alfacs, situación que se observó en los meses de enero y febrero de 1987.

Autores como Hofrichter (2004) sugieren valores de salinidad superficiales superiores a los 38 para los meses de marzo a mayo, a lo largo de la costa mediterránea francesa y catalana.

En nuestros resultados, también es posible observar que en diciembre de 1986 y marzo de 1987 (coincidiendo con los canales de regadío cerrados) la columna de agua se mantuvo bastante homogénea (capa de agua mezclada), haciendo que tanto en fondo como en superficie las características de salinidad sean similares, coincidiendo en este aspecto, y sin detallar los fenómenos puntuales explicados anteriormente, con los resultados de López y Arté (1973).

Creemos que la hidrodinámica costera (en el delta y sus bahías), y en particular las condiciones del viento jugarían un papel bastante importante en lo que a salinidad y a temperatura se refiere, algunas veces mejorando la intrusión de la descarga, y otras bloqueando la descarga de agua dulce en el mar. También coincidimos con Bastida *et al.* (1998) y con Solé *et al.* (2009), en lo que respecta a la influencia de la fuerza del viento en las bahías.

En la estación E fl, ubicada en la boca de la bahía, se ha observado, para este período, la aparición de bolsas de salinidades muy altas en superficie, fenómeno que se ha descrito en otros estudios de diferentes zonas en el mediterráneo (Lacombe y Richez, 1982). Denominada inversión ocasional en la circulación a causas de períodos de hipersalinidad (Largier *et al.*, 1997).

El estudio de Salat *et al.* (1978) describe 2 masas de aguas en el golfo de San Jordi (Golfo comprendido entre cabo Salou y el delta del Ebro, con una amplia plataforma costera y que recibe aportes de aguas continentales a través del río Ebro, aportes de canales adyacentes y la bahía El Fangar) una masa de agua mediterránea (salinidad de 37.9 y temperatura entre 12° y 14°, características de agua mediterránea de invierno) y otra de masa de agua de influencia continental (salinidad de 35.5 y temperatura de 14.8°), que sería el agua que sale de la bahía El Fangar hacia el golfo, influenciada muchas veces por la pluma de la desembocadura del río Ebro. Indican que para la zona de El Fangar habría una fuerte corriente de salida en todos los niveles, y una mínima

corriente de entrada por el fondo, especialmente a fines del invierno, principios de primavera. Concluyendo finalmente que las aguas continentales (suministradas desde la bahía) tendrían mayor influencia en el golfo durante períodos de poco viento, mientras que en días de viento, habría una gran mezcla vertical de la columna de agua a lo largo de toda la costa.

El oxígeno presentó valores altos superficiales en las 3 estaciones estudiadas, observándose un descenso paulatino en el fondo desde el mes de enero de 1987.

En invierno se presentaron máximos superficiales en la concentración de nitratos (entre  $6\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $13,5\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ) en las 3 estaciones de muestreo. Las mayores concentraciones de este parámetro se observaron en E f2 (centro de la bahía), llegando a alcanzar el fondo con estas altas concentraciones.

Una explicación para estas altas concentraciones es que entre febrero y marzo se realiza la llamada aplicación basal (forma de abonado) de N, P y K (explicado en capítulo I, 1.4) a los terrenos donde se cultiva el arroz, junto con tareas de nivelación y limpieza del terreno (Casanova, 1998). Posteriormente, desde mediados de marzo y abril se produce al abonado de los arrozales. Dado que el calendario de las tareas agrícolas puede desviarse de lo habitual, es posible que en este año concreto, el abonado (en alguna de sus formas) pudo comenzar a finales de enero y que mucho de los canales, en estos meses, no se encontraban totalmente cerrados. Además, las lluvias de enero de 1987 debieron aportar mayores volúmenes de agua, arrastre de materiales y nutrientes desde los campos a los canales de desagüe, para terminar finalmente en la bahía.

En esta época invernal (invierno 1987) los nitritos presentaron altas concentraciones en superficie, en las 2 estaciones de muestreo mas internas de la bahía (E f2 y E f3), a fines de enero de 1987, con valores que se encontraban entre los  $0,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $0,5\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . La estación E f1, ubicada en la boca de la bahía, se observó una columna de agua muy mezclada y de bajas concentraciones, para este parámetro. Coincidiendo con la tendencia del nitrato.

Para ambos parámetros (nitratos y nitritos) ocurre una situación destacable en nuestro estudio, ya que durante el cierre de los canales desde los arrozales (entre diciembre y abril) se observó un aumento en las concentraciones, con altos valores de superficie a fondo en la bahía. Este hecho podría deberse a la apertura puntual o pequeñas fugas continuas en algunos canales que sirven de drenaje a los arrozales, y/o aportes de canales de desagüe desde el canal de la izquierda, sin olvidarnos de aportes freáticos.

Campos que se encontrarían en la fase de tratamiento basal o de abonado intenso con productos químicos. La baja salinidad observada en E f2 (con valores de 37), acompaña a los datos máximos de nitratos y nitritos, siendo una evidencia al respecto. Tampoco descartamos los posibles aportes de lagunas cercanas (Les Olles) y/o aportes freáticos, muchos de estos, posiblemente contaminados por abonos.

Para los fosfatos, se observó una alta concentración superficial para las 3 estaciones de muestreo estudiadas, con valores, a fines de enero de 1987, que alcanzaron valores superiores, mostrando una tendencia similar a los nitratos, nitritos y amonio. Por tanto puede deberse a origen terrestre o a descomposición “in situ”.

El amonio, en la época invernal, presentó altas concentraciones en E f2 en el fondo, mientras que en las otras dos estaciones mostraron una columna de agua muy mezclada y con bajas concentraciones (menores a  $2,5 \mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ ). Cabe recordar que la estación E f2 corresponde al centro de los viveros de cultivo de mejillón, lo que nos hace pensar que el incremento de amonio en el fondo se debería al depósito y acumulación en el fondo de materia orgánica muerta, heces y pseudoheces producidas por los bivalvos, que se descompondrían en el fondo, liberando amonio. Esto también explicaría la mayor concentración de nitritos y nitratos que derivan del amonio por oxidación bacteriana (bacterias nitrificantes).

Consideramos que el amonio en la bahía tendría 2 orígenes; uno procedente de los arrozales, a los que se les añade amonio en forma de abono (Casanova, 1998), por lo que esperaríamos un mayor aporte en las épocas de abonado de los campos (marzo a junio, según Figura 8) y también en el momento de apertura de los canales de drenaje (mayo-junio y septiembre-octubre, según Figura 8), explicando generalmente altas concentraciones en superficie. El otro origen, sería la descomposición de la materia orgánica depositada en el fondo, explicando altas concentraciones en el fondo. En este material, habría restos de microalgas, restos de plancton, restos de organismos, restos de macrófitos, pseudoheces y heces de los bivalvos del cultivo, etc. Este último material sería de esperar, fuese más abundante en E f2, situada entre los viveros de mejillones. La descomposición de este material, vendría también indicado, por un incremento en los feopigmentos.

Este parámetro (amonio) presentó una estrecha relación con la salinidad y los feopigmentos. Cuando las concentraciones de amonio son altas y las de feopigmentos son bajas, nos indicaría que el amonio procedería de los arrozales, sobretodo si hay

presencia de bajas salinidades (mayor aporte de agua dulce de los canales). Por otro lado para concentraciones de amonio y feopigmentos altas, nos indicaría que el amonio procedería de descomposición de sedimento orgánico del fondo de la bahía, sobretodo si se presenta máximo en el fondo, acompañado de alta salinidad.

En general las clorofilas presentaron bajas concentraciones, con valores inferiores a  $0,7\mu\text{g/l}$ . En la estación E f3, la más interna de la bahía, la columna de agua se presentó bastante homogénea con respecto a las concentraciones de las clorofilas (a, b, c). La excepción la encontramos en E f1 donde se registró un leve aumento en la concentración de clorofilas a y c en superficie, creemos explicado por la presencia de una masa de agua muy mezclada (homogénea), tanto de origen terrestre, como de origen marino.

Los feopigmentos presentaron valores mínimos de concentración ( $> 1\mu\text{g/l}$ ) a fines de enero de 1987, para las 3 estaciones de muestreo y profundidades estudiadas. Se observó una tendencia al aumento de las concentraciones en febrero de 1987, en el fondo de la estación E f1 y un incremento importante en toda la columna de agua para la estación E f3, para los meses de febrero y marzo de 1987.

La situación mencionada en los párrafos anteriores, que indica intrusiones de agua dulce, acompañadas por incrementos de nutrientes y de clorofila, en la estación donde se encuentran los cultivos de mejillones, daría lugar a un incremento en las ingestas de los filtradores, con aumento de heces y pseudoheces que se depositarían en el fondo, para posteriormente descomponerse, con aumentos en las concentraciones de feopigmentos y amonio. Lo que hemos encontrado en la estación E f2 son bajas concentraciones de feopigmentos y altas concentraciones de amonio en las aguas del fondo, lo cual podría ser indicativo de procesos de descomposición avanzada en la que los feopigmentos y otra materia orgánica se han degradado casi por completo.

El carbono en época invernal mostró altas concentraciones en superficie para las 3 estaciones de muestreo estudiadas, con valores superiores a los  $600\mu\text{g/l}$ , hecho que también se observó en el fondo, solo para las estaciones E f2 y E f3 a mediados de febrero de 1987. Dadas las bajas concentraciones de clorofila, la biomasa de fitoplancton no explicaría estos altos valores de carbono orgánico particulado por lo que es posible que se trate de aportes directos de los sedimentos (detritus y organismos adheridos) que muchas veces se resuspende del fondo.



En las concentraciones de nitrógeno, hubo claras oscilaciones en este período. Es necesario tener en cuenta que en esta época se agrega a los campos de arroz nitrógeno de aplicación basal (febrero a abril). Altas concentraciones aparecen en el fondo de las estaciones E f1 y E f3 a finales de febrero de 1987. En enero de 1987 las concentraciones de nitrógeno siempre fueron bajas en superficie para las 3 estaciones de muestreo en la bahía. La relación C:N en este período fue alta, lo que nos lleva a pensar que el nutriente limitante del plancton sería el nitrógeno y apuntaría a acumulación de material degradado en el sedimento.

Las proteínas presentaron una oscilación similar a la del nitrógeno. En diciembre de 1986 se encontraron altas concentraciones superficiales de proteínas en E f1 y E f2, con valores superiores a 700µg/l. Mientras que se observaron bajas concentraciones (inferiores a 200µg/l), en toda la columna de agua, para las 3 estaciones de muestreo estudiadas, para enero de 1987. El cociente Proteínas/Nitrógeno promedio para la bahía durante la época invernal fue de 7.0.

Carbohidratos y partículas presentaron tendencias similares a la de las proteínas en otoño, altas concentraciones en superficie en diciembre de 1986, seguramente debido a aportes continentales (canales o lagunas) en esta época, y que corroboran otros parámetros (carbono). Mientras que la columna de agua se presentó muy mezclada en enero de 1987, con concentraciones bajas. Destaca la observación de una tendencia a la alta concentración de partículas en el fondo de la estación E f2 ( $8,5 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3$ ), desde finales del otoño de 1986. Seguramente debido a la alta acumulación de material, la posterior remoción y mezcla del fondo por efecto de temporales y fuertes rachas de vientos (rachas de viento máxima de 116 km/h para diciembre de 1986 y 127 km/h para enero de 1987; valores de pluviosidad total de entre 12 mm y 62 mm, para esta época (*fuelle*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

Conviene recordar las bajas concentraciones de oxígeno en el fondo en las tres estaciones durante este período.

## **Primavera de 1987** (Marzo a Junio de 1987)

### **Marco ambiental**

En este período se realizó la apertura de los canales de regadío (desde finales de abril), de modo que los campos de arroz se encontraban inundados, y drenando a la bahía,

según Forés (1996) con una renovación del agua del campo cada 5 días. A los campos de arroz que se les agregó abono basal de N, P ( $P_2O_5$ ) y K ( $K_2O$ ), además de N supletorio, en su forma reducida y agregada como urea, amonio o sulfato de amonio, entre los meses de marzo y mayo (Casanova, 1998).

Ambientalmente, en esta época, ocurren aumentos en la temperatura ambiental, y las precipitaciones alcanzaron un máximo de 36 mm en el mes de mayo de 1987. Con descenso en las rachas de viento máximas (*fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

### **Situación en El Fangar**

La temperatura del agua presentó un claro ascenso en toda la columna de agua, de 6°C a 19°C, mostrando una columna de agua bastante homogénea, con respecto a este parámetro.

La salinidad mostró valores altos, con excepción de la estación E f1 en mayo de 1987, con un valor de 29,5. Hecho que podría relacionarse con un aumento en la pluviosidad en este mes o en fechas cercanas al muestreo (36.3 mm de precipitación total para mayo de 1987; *fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

El oxígeno presentó altas concentraciones en todas las estaciones de muestreo y en toda la columna de agua, indicativo de una mezcla vertical considerable y de predominio de los procesos de producción sobre los de descomposición.

En lo que respecta a nutrientes, la bahía presenta una típica situación primaveral: nutrientes altos, clorofilas e indicadores de biomasa planctónica altos, feopigmentos altos, indicadores de consumo del fitoplancton por parte de los mejillones y zooplancton. Como rasgo peculiar cabe señalar las concentraciones altas de nitratos, nitritos y amonio en algunos puntos, derivados de los fertilizantes vertidos desde los campos de cultivo.

Los nitratos muestran altas concentraciones superficiales y en media agua en E f1 y E f3, con valores superiores a  $5\mu g \cdot at/l$ , mientras que E f2 presentó una columna bastante estable y mezclada con respecto a este parámetro, con valores superiores en superficie de  $3\mu g \cdot at/l$ , todo esto explicado seguramente por aportes y abonados a los campos de arroz y lagunas, durante esta época (relación; salinidad baja – aportes de agua dulce de canales y lagunas). Estas diferencias podrían venir dadas por aportes de las lagunas cercanas a la bahía, en el caso de E f1, Les Olles. Mientras que para E f3 el Canal Vell,

lo que explicaría la columna mezclada en E f2, zona que no tiene lagunas cercanas que aporten a esta estación, solo canales de desagüe.

Para nitritos se observó aumento paulatino en la concentración desde comienzos de la primavera hasta mayo de 1987, este aumento se observó preferentemente en superficie, para las 3 estaciones, con valores que oscilaron entre 0,2 y 0,4 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En general este parámetro presentó concentraciones no superiores a 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , en las 3 estaciones y profundidades durante este período. Esto seguramente debido a un aumento en la oxidación de los nitratos superficiales.

El amonio en primavera mostró mínimas concentraciones en marzo y abril, pero posteriormente, a finales de junio hay un incremento tanto superficial, como en el fondo, en especial en las estaciones E f1 y E f2, con valores de entre 14 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y 24,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Creemos que este aporte en el amonio vendría dado por las formas de abono que se añaden a los campos de arroz (cuando estos están inundados), lo que incrementaría los aportes a la bahía en el momento de abrir los canales de regadío y desagüe. No es lo mismo amonio superficial, que de fondo: el superficial puede deberse a aportes de agua dulce que queda en superficie. El profundo puede deberse a procesos de descomposición. En los meses de primavera los mejillones estarían filtrando activamente el fitoplancton y produciendo heces y pseudoheces.

En general los fosfatos ven incrementada su concentración en el fondo en esta época, con un aumento en la concentración en E f3, durante abril con 1,1 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y posteriormente en E f1, a mediados de junio, con 0,6 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

Las clorofilas (a, b, c) mostraron altas concentraciones en E f2, sobretodo en el fondo de la columna de agua, seguramente debido a una alta sedimentación (y/o producción) de fitoplancton, en los meses de mayo y junio, con valores de entre 0,6 $\mu\text{g}/\text{l}$  y 3 $\mu\text{g}/\text{l}$ , ya que al aumentar los nutrientes en la bahía, y el período de iluminación, aumenta la masa fitoplanctónica presente, reflejado en estos aumentos en la concentración de clorofilas (ver Figuras 20, 21 y 22). Las estaciones E f1 y E f3 presentaron bajas concentraciones, con una columna de agua bastante homogénea (mezclada).

Tendencia similar es la que mostraron los feopigmentos, que presentan una máxima concentración en mayo (en el fondo), como consecuencia de la descomposición del máximo de clorofilas explicado anteriormente (debido seguramente a una alta descomposición de fitoplancton). Y en E f3 una alta concentración en toda la columna de agua, como resultado probable de la remoción de sedimentos en estas aguas.

El carbono en la primavera presento valores altos en el fondo, esto posiblemente debido a una alta sedimentación de fitoplancton. Mientras que en abril presentó una alta concentración en E f1 en superficie, posiblemente a remoción de sedimentos someros cercanos a la estación de muestreo

El nitrógeno en general presentó valores alto en el fondo (por sedimentación o producción de fitoplancton), a fines de mayo, con  $188\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , y en superficie a fines de junio, en E f3, con un valor superior a  $100\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ .

Durante esta época la bahía se comportaría con una columna de agua que presenta nitratos con aumento de amonio, lo que ocasionaría alta producción de fitoplancton, con una alta sedimentación y consumo, provocando un incremento en el nitrógeno particulado de fondo.

Las proteínas presentaron concentraciones altas en el fondo para las 3 estaciones estudiadas, en esta primavera, debido probablemente a una alta concentración de partículas vivas, como bacterias y fitoplancton. La relación promedio de Proteína/Nitrógeno fue alta durante la época invernal. Mientras que la relación C:N también fue alta (17). Estos altos valores nos indican una limitación para el crecimiento del fitoplancton por nitrógeno y nos hace intuir la posible presencia en el sedimento de material degradado.

Los carbohidratos y las partículas presentaron una tendencia similar a las proteínas, en esta época, con altas concentraciones en fondo. Los carbohidratos llegaron a valores de  $441\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  en mayo, mientras que la concentración de partículas llegaron a los  $2,5 \cdot 10^6\mu\text{m}^3$ . Esta tendencia podría explicarse debido a una elevada sedimentación del fitoplancton, y a una resuspensión del fondo con bacterias y diatomeas bentónicas, además de material vegetal acumulado proveniente de los canales y de los cultivos.

## **Verano de 1987** (de Julio a Septiembre de 1987)

### **Marco ambiental**

En este período se realiza una irrigación permanente de los campos de arroz, con renovación de los campos cada 5 días (Forés, 1996). Se termina de agregar N suplementario a los cultivos de arroz, en su forma reducida como urea, amonio o sulfato de amonio, hasta mediados de julio (Casanova, 1998). Además se agregan pesticidas entre julio y septiembre. La temperatura media ambiental superó los  $23^\circ\text{C}$ , y las precipitaciones totales fueron inferiores a los 35mm entre julio y agosto (entre 32mm y

15mm como promedio de precipitación total; *fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro). Con rachas de vientos muy bajas en el período de julio - septiembre (con valores de rachas máximas promedio de viento de entre 65 km/h y 59 km/h durante la época estival; *fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro).

Durante este período las operaciones en las bateas están enfocadas a la cosecha, las cuales suelen finalizar en octubre (*fuentes*: Asociación de Mejilloneros de la bahía el Fangar, en la actualidad denominada Asociación de Productores Bahía Fangar).

Algunos autores como Llebot *et al.* (2010) y Muñoz (1998) consideran que junio y octubre son los meses con mayor concentración de nutrientes en los canales que evacúan a la bahía de Los Alfacs, ya que los campos son fertilizados en junio y vaciados en octubre, después de la cosecha. Una situación semejante es probablemente aplicable a los canales que vierten sus aguas en la bahía de El Fangar.

Comienza en la bahía la época de cosecha de los cultivos de mejillones presentes en la bahía, que muchas veces se extiende hasta octubre (*fuentes*; Asociación de Mejilloneros de la bahía El Fangar, en la actualidad denominada Asociación de Productores Bahía Fangar).

### **Situación en El Fangar**

La temperatura del agua de mar aumenta en las 3 estaciones de muestreo y en las 3 profundidades, alcanzando 22-27° C en los meses de agosto y septiembre de 1987.

En general toda la columna se mantiene con altas temperaturas (no superando los 28° C), típico del ciclo estacional de estuarios o bahías de la zona templada (Uncles y Lewis, 2001; Falco *et al.*, 2010), coincidiendo esto último con los resultados obtenidos por López y Arté (1973), donde las máximas temperaturas registradas en superficie aparecen de marzo a septiembre.

La salinidad en E f1 mostró una clara estratificación, con valores de 30 en superficie (julio) y de 35 a 38 en el fondo (evidencia de una cuña salina). Las otras 2 estaciones presentaron una estratificación menos acusada, con valores de salinidad en superficie situados entre 35 y 37, mientras que en el fondo los valores oscilaron entre 37 y 38. Estos valores bajos de salinidad en superficie vendrían determinados, muy probablemente, por unos mayores aportes de agua dulce provenientes de los canales de regadío que evacúan a la bahía, de canales de desagüe de las lagunas, aportes freáticos y

de aportes de redes de canales que transportan agua desde al canal de la izquierda, valores que se observaron en las 3 estaciones de muestreo (Figura 14a).

En esta época estival, el oxígeno presentó una tendencia a la disminución de sus concentraciones en el fondo (valores entre 2,7ml/l y 3,9ml/l), para las 3 estaciones de muestreo estudiadas, sobre todo en los meses de agosto y septiembre. Estas zonas profundas, con bajas concentraciones de oxígeno, podrían explicarse en parte por el incremento de los procesos de descomposición de la materia orgánica presente en los sedimentos, por efecto de las altas temperatura estivales.

Los nitratos en el verano de 1987 presentaron bajas concentraciones en las 3 estaciones de muestreo, entre 1,3 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  y 1,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en superficie, y entre 0,2 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  y 1,6 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en fondo de la columna de agua. La mayor parte del nitrato habría sido consumido por el fitoplancton y las bacterias, ya que estaríamos al final del ciclo de producción. Una tendencia similar presentaron los nitritos, observándose un único máximo secundario a fines de junio, con 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en superficie, para la estación E f3, situación que se repite a finales de septiembre (0,37 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ ). Creemos que estas altas concentraciones superficiales en la estación se explicarían por aportes de la laguna Canal Vell, próxima al área donde se ubicó la estación, o por un aumento en la oxidación del amonio. Sin embargo, en este período estival no encontramos relación entre las concentraciones de estos parámetros (nitratos y nitritos) medidos en la bahía y el N suplementario que se agrega generalmente a los cultivos de arroz durante este período (120 – 180 kg/ha; Casanova, 1998).

El amonio mostró altas concentraciones en el fondo, para las estaciones E f2 y E f3, con valores entre 15 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$  y 24,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en los meses de junio-julio. En E f1, estas altas concentraciones se manifestaron en agosto-septiembre con valores cercanos a los 6,5 $\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , también en el fondo. Creemos que la aparición de altas concentraciones estivales de amonio, en los fondos de la bahía, se corresponde con un incremento de los procesos de descomposición del material sedimentado, al igual que hemos comentado para los descensos en la concentración de oxígeno. Este material estaría compuesto por fitoplancton, zooplancton, macrófitos, heces y pseudoheces de mejillón, así como por material aportado por los canales (plantas, algas, etc.). No debemos olvidar que el amonio es generado por bacterias heterotróficas como un producto final de la descomposición de la materia orgánica, tanto directamente de las proteínas, como de otros compuestos orgánicos de nitrógeno. También se genera como un producto de excreción de los organismos acuáticos, pero la cantidad de nitrógeno que provendría de

esta fuente sería cuantitativamente más pequeña, comparada con la generada por la descomposición bacteriana (Muñoz, 1990).

Durante el período estival los fosfatos presentaron altas concentraciones en las estaciones E f1 y E f2, observadas en el fondo de la columna de agua, con valores de entre  $0,9\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $1,6\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , durante el mes de julio, pudiendo proceder de la descomposición en el fondo de materia orgánica. Mientras que para ese mismo mes (julio) la estación E f3 presentó una alta concentración de fosfatos, en superficie, de  $1\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Esto se explicaría por aportes de la laguna Canal Vell, que presenta canales de desagüe cercanos a esta estación.

Las clorofilas en la época estival presentaron altas concentraciones en el fondo (un valor máximo de  $4,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ), mientras que las concentraciones en superficie fueron mucho menores y variaron entre  $0,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $3,4\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Las altas concentraciones en el fondo indicarían una sedimentación del fitoplancton producido previamente. Una explicación alternativa sería que al estar la columna de agua estratificada, los nutrientes se han agotado en superficie, pero hay amonio y fosfatos en aguas cercanas al fondo. Por ello encontramos un “máximo profundo”, ya que no puede provenir de sedimentación de aguas superficiales, ya que no hay nutrientes.

Los feopigmentos presentaron un máximo superficial en E f2 en el mes de julio, con  $33\mu\text{g}/\text{l}$  (época de cosecha en las bateas). Donde este máximo alcanza la zona profunda de la columna de agua con un valor de  $20\mu\text{g}/\text{l}$ . En general los máximos profundos coinciden con altos valores de amonio, fosfatos y clorofilas, y bajos niveles de oxígeno, todo esto relacionado a procesos de descomposición que regeneran nutrientes, permitiendo crecer al fitoplancton.

Durante esta época se observaron valores de concentración de estos 2 parámetros altos (clorofilas y feopigmentos), un poco más que en primavera, pero es necesario tener en cuenta que las concentraciones de oxígeno fueron bajas (descomposición de materia orgánica disponible), explicadas por el incremento de los procesos de descomposición (que se acelerarían durante el verano por incremento de la temperatura y la abundante presencia de materia orgánica procedente del fitoplancton, de heces y pseudoheces del mejillón y otros animales y el “ruido” que produce en la bahía la cosecha de mejillones), que consumen oxígeno por respiración bacteriana.

El carbono particulado en suspensión presentó altas concentraciones en los meses estivales, sobre todo en el fondo. Esto refuerza los argumentos sobre la evidencia de sedimentación acusada y/o alta producción en el fondo de la columna de agua, y a los

aportes que se generan de la cosecha del mejillón, con valores superiores a  $766\mu\text{g/l}$ . Similares características presento el nitrógeno, tanto en superficie, como en el fondo, llegando a los  $133\mu\text{g}\cdot\text{at/l}$ , en septiembre. No descartamos la posible resuspensión de material desde el sedimento. Los bajos valores de la relación C:N (valores menores de 8) nos indicaría la presencia de fitoplancton y bacterias.

Para las proteínas el período estival mostró altas concentraciones en la estación E f1, en el fondo, con valores de  $552\mu\text{g/l}$ , en el mes de julio. Lo anterior correspondería con un posible crecimiento, sedimentación y/o resuspensión de fitoplancton y bacterias.

La concentración de carbohidratos presentó bajas concentraciones en la columna de agua durante la época estival, sobre todo en las estaciones E f1 y E f2. Diferente se presentó la concentración en E f3, donde en junio, alcanzó un alto valor de  $308\mu\text{g/l}$  en superficie, continuando con esta tendencia, aunque algo menores en septiembre, con valores de  $206\mu\text{g/l}$ . Esto indicaría una situación más homogénea de la columna de agua en esta estación, situada en la zona más interior de la bahía, con posible resuspensión de material del fondo.

En E f1, es decir en la boca de la bahía, se encontraron altas concentraciones de partículas en el fondo. Esto corrobora nuestra evidencia de producción, sedimentación y/o resuspensión de fitoplancton, durante todo el período estival, con valores superiores a  $4\cdot 10^6\mu\text{m}^3$ . Hay que tener en cuenta que el contador de partículas tenía su umbral inferior en  $2\mu\text{m}$ , aproximadamente, de modo que no se contaban bacterias.

La situación reflejada en este estudio responde a una situación típica de verano, con aguas fuertemente estratificadas, agotamiento de nutrientes en superficie y presencia de un máximo “profundo” de clorofila. En este caso los máximos profundos que ocurren, y debido a la escasa profundidad de la bahía, provocan que los procesos de descomposición y regeneración de nutrientes se concentren en la lámina de agua situada sobre el sedimento, lámina a la que, por otra parte, llega luz suficiente para fotosíntesis neta.

Creemos que la entrada de nutrientes por el fondo (agua freática) y crecimiento de fitoplancton en el fondo, debido a esta entrada, parece poco probable. Ya que en este caso vendrían con agua con baja salinidad que tendería a ascender y mezclar la columna de agua.



En cambio, parecen claros los procesos de descomposición en el fondo con generación de amonio, consumo de oxígeno y aprovechamiento de los nutrientes por parte del fitoplancton y quizás también de productores epibentónicos (diatomeas, p.ej.).

El resultado del análisis multivariado, en esta época, nos indicó la importancia del componente 2 (ver Tabla IV del capítulo III.2) para clorofilas, fosfatos y feopigmentos durante el verano (y también en el otoño de 1987) para las 3 estaciones de muestro estudiadas, en la zona media de la columna de agua, a excepción de los feopigmentos donde aparece en la zona profunda de la columna (fondo), con una alta correlación positiva entre ellos.

## **Otoño de 1987** (desde el 21 de Septiembre, hasta Noviembre de 1987)

### **Marco ambiental**

En esta época se observó un aumento considerable en las precipitaciones, alcanzando los 215mm en octubre. La temperatura media ambiental desciende, de los 22°C a los 12°C. Frecuentes rachas de viento, que oscilaron entre los 60 y los 95 Km/h (*fuentes*; Instituto Nacional de Meteorología – Observatorio Meteorológico del Ebro). Todos estos factores favorecerían una mezcla vertical.

Las operaciones en las bateas durante el otoño están dedicadas al encordamiento de las semillas (*fuentes*; Asociación de Mejilloneros de la bahía El Fangar, en la actualidad denominada Asociación de Productores Bahía Fangar).

### **Situación en El Fangar**

En muchos casos, los parámetros medidos presentaron tendencias similares a las de otoño de 1987.

La temperatura del agua en la bahía presentó un descenso, con cambios más acusados en la boca de la bahía y menos acusados en Ef 3. Con descensos de la temperatura superficial de hasta 8°C en Ef 1 y 5°C en Ef 3. Mientras que en el fondo los cambios fueron menos acusados, con diferencias de unos 5°C en las 3 estaciones.

Se observó un aumento en la salinidad en la superficie, con leves disminuciones en la zona media y profunda de la columna, seguramente caracterizando una masa de agua mezclada y homogénea, producto de los vientos, de los aportes pluviales y de la circulación termohalina. Esta característica en la masa de agua no sería permanente,

existiendo durante algunos períodos algún grado de estratificación, que se observa con el oxígeno.

El oxígeno presentó un aumento gradual en sus concentraciones en las 3 estaciones y profundidades estudiadas, por efecto inequívoco de la mezcla vertical.

Las concentraciones de nitrato fueron bajas en el otoño, en las 3 estaciones y profundidades, con valores inferiores a  $1\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . En cambio, la concentración de nitritos mostró un comportamiento bastante estratificado, sobretodo en la estación E f3, encontrándose altas concentraciones en superficie ( $0,38\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ ), durante los meses de septiembre y octubre, descendiendo con la profundidad.

El amonio mostró un aumento en su concentración en noviembre, en toda la columna de agua, con valores que oscilaron entre los  $17\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y los  $23\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ . Si comparamos con las mediciones obtenidas para este parámetro en el otoño anterior (1986), se observaron concentraciones elevadas en el fondo de la columna de agua (situación estratificada). Explicado por la mezcla de la masa de agua que remueve el amonio acumulado en las capas profundas, seguramente debido a las altas rachas de viento en noviembre, con  $94\text{ km/h}$ .

Los fosfatos presentaron altas concentraciones en los fondos de la bahía, en las estaciones E f1 y E f2, con valores entre los  $1,1\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$  y  $0,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , ya que se consume más rápidamente que los nitratos en superficie. Esto nos indicaría una estratificación permanente. Mientras que en E f3, se observó una alta concentración en superficie, de  $0,7\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ , de posible origen terrestre.

Las clorofilas, en general, muestran una disminución de concentraciones en superficie y aumento gradual hacia el fondo, sobretodo en las estaciones E f1 y E f2, con valores de entre  $2,6\mu\text{g}/\text{l}$  y  $6\mu\text{g}/\text{l}$  (para clorofila-a), lo cual evidencia un cierto grado de estratificación de las aguas. Hay que tener en cuenta que en el otoño alternan períodos de vientos, lluvias y bajadas de temperaturas, que destruyen la estratificación estival, con períodos de calma (“veranillos”) en los que se reconstruye dicha estratificación total o parcialmente. La situación puede ser muy diferente según en que momento se haga el muestro (temporal, “veranillo”, intermedio). También puede cambiar de un otoño a otro. Pero la diferencia puede ser solo aparente, dependiendo de la situación particular que predomine en los muestreos.

Los feopigmentos ven incrementadas sus concentraciones en esta época en las 3 estaciones estudiadas, sobre todo en noviembre, con  $6,7\mu\text{g}/\text{l}$  en el fondo. Esta tendencia

es similar a la del otoño (1986), lo que estaría indicando un incremento de la descomposición del fitoplancton, a lo que se sumaría el aporte de las heces y pseudoheces de los cultivos de bivalvos presentes en la bahía. Esto se relaciona también con el incremento de amonio, mencionado anteriormente.

En este período el carbono presentó un descenso en su concentración, con un leve aumento hacia el mes de noviembre, siguiendo un patrón similar al otoño de 1986. El nitrógeno mostró una tendencia similar a la del carbono, con descenso en su concentración en octubre, en las 3 estaciones y profundidades y con una leve alza en noviembre. Con valores en la relación de C:N bajos (9.5 y 10), lo que confirmaría la presencia de organismos fitoplanctónicos, sin limitación de nutrientes.

Se observó también una alta concentración de proteínas en el fondo, durante el mes de octubre, alcanzando los 486µg/l. Creemos, que al igual que el otoño anterior, la concentración ira en ascenso continuado, hasta diciembre (como en el otoño anterior). Seguramente debido a que ocurre una alta sedimentación, provocaría una mayor presencia de bacterias, que se encontrarían descomponiendo, y a restos de fitoplancton y zooplancton. Sin olvidarnos de los fenómenos de resuspensión del material sedimentado que ocurren durante esta época.

Los carbohidratos también ven incrementadas sus concentraciones en superficie, con valores de hasta 195µg/l. La estación E f2 permanece con concentraciones más bajas (inferiores a 100µg/l) en toda la columna de agua.

Las partículas muestran un descenso en sus concentraciones desde octubre, para las 3 estaciones y profundidades. Haciéndose más notable y brusco este cambio en E f1 y E f2, con valores inferiores a  $8,9 \cdot 10^5 \mu\text{m}^3$ .

## **IV. 2.- Discusiones sobre los parámetros bióticos y abióticos medidos en el estudio.**

### **Temperatura, salinidad y estructura de la columna de agua en El Fangar**

Nuestros resultados indican que la estructura de la columna de agua en la bahía El Fangar dependería fundamentalmente de dos factores: la temperatura y la salinidad.

En lo que respecta a la temperatura, sus variaciones en El Fangar van a depender muy directamente de la temperatura del aire, dada su escasa profundidad. A su vez, la temperatura del aire está condicionada por la época del año (ver gráfica de la figura 10, capítulo I.5).

La escasa profundidad va a condicionar también las variaciones de salinidad en la columna de agua, que resulta muy afectada por los aportes de agua dulce desde el entorno terrestre. Y dado que estos aportes de agua tienen una componente antropogénica acusada, llegamos a la idea de que la estructura de la columna de agua viene determinada en gran medida por las operaciones agrícolas relacionadas con los arrozales, sobre todo en las localizaciones más internas de la bahía, donde puede haber aportes controlados desde los arrozales, así como aportes desde lagunas próximas y desde las aguas subterráneas, éstos últimos no tan controlados, pero también influenciados por la gestión del agua que se distribuye en el Delta del Ebro y que presenta un claro ciclo estacional. Todos estos aportes determinarían descensos de salinidad y mayor estratificación en la bahía, con un claro componente estacional, detectado ya por López y Arté en su trabajo de 1973.

Con efecto menos acusado y con un ciclo más amplio de variación se han de mencionar también los cambios de caudal en la desembocadura del Ebro, que condicionan pequeñas oscilaciones estacionales de salinidad en toda la zona marina que linda con el Delta (Movellán *et al.*, 1998), observables en la figura 14a del capítulo III.1 para la bahía El Fangar.

Otro factor que tiene influencia en la estructura vertical de la columna de agua es el régimen de vientos, que puede ser determinante en períodos en los que aparecen rachas de viento máximas y persistentes, como en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo (Movellán *et al.*, 1998; Llebot *et al.*, 2010; Llebot *et al.*, 2011).

El patrón espacial de salinidades (ver Figura 14 a y b), dependería de la distribución del flujo de agua dulce (canales de desagüe y seguramente aportes freáticos), de los factores

meteorológicos y los factores oceanográficos externos que hemos mencionado. Estos tres tipos de factores tienen una clara componente estacional, en base a la cual pueden reconocerse patrones estacionales en la estructura de la columna de agua. Pero al mismo tiempo, estos factores pueden experimentar fluctuaciones a muy corto plazo (sobre todo el viento), de modo que dicha estructura sería inestable y cambiante a corto plazo.

En nuestros resultados, la temperatura y salinidad, no mostraron una estratificación persistente en el tiempo. Difiriendo en parte con los resultados de Camp y Delgado (1987). Estos autores encontraron que los perfiles verticales de salinidad y temperatura mostraban una situación de estratificación casi permanente, con aguas de menos salinidad en superficie y mayor en fondo. Observamos que la estratificación en la bahía sería acentuada en verano y que durante el invierno la columna de agua está mezclada (homogénea).

### **Nutrientes**

En lo que respecta a los nutrientes, autores como Llebot *et al.* (2010) indican que las principales fuentes de nutrientes inorgánicos en la Bahía de Los Alfacs son a) el agua dulce de irrigación de canales y b) plantas de tratamiento (Camp, 1994; Llebot *et al.*, 2010), c) la entrada de aguas subterráneas, d) los intercambios con el océano abierto por la boca de la bahía, e) el flujo de sedimentos (río-mar; río-canales-lagunas-bahías; río-canales-campos arroz-canales-bahía; río-canales-bahías) (Delgado y Camp, 1987; Vidal, 1994) y e) el reciclaje y nueva mineralización en procesos biológicos. Todo lo cual sería aplicable a la bahía de El Fangar.

A todo lo anterior, se ha de añadir que la práctica agrícola en el Delta del Ebro, dominada por la agricultura de arroz, entrega altas cargas de nitrógeno inorgánico a las bahías y lagunas (del orden de 20-100 mmol m<sup>-3</sup> de N) en forma reducida (urea, amonio, y sulfato de amonio) por la descarga de agua dulce desde los canales de drenaje. A este respecto conviene mencionar que en las capas acuíferas del delta se han descrito altas concentraciones de nitrato, del orden de 1500 mmol m<sup>-3</sup> de N (Torrecillas *et al.*, 2005; Llebot *et al.*, 2010).

El fitoplancton se ve favorecido por el aumento de la temperatura y los aportes de nutrientes a la bahía (la luz no sería un factor limitante en este caso), por parte de los canales.

Es importante destacar que la presencia de nutrientes determina, en primera instancia, la productividad primaria del sistema, base fundamental de la trama trófica acuática (Margalef, 1974; Contreras *et al.*, 1996). Para comprender la importancia real de estos aportes para la productividad de la bahía, hay que tener en cuenta el tiempo medio de permanencia del agua dulce vertida. Delgado y Camp (1987) estiman un tiempo de residencia de 1 a 2 días para la bahía de Fangar, y en base a este tiempo consideran que una parte importante de los nutrientes inorgánicos vertidos al Fangar, pasarían al mar sin ser asimilados por el fitoplancton de la bahía.

Encontramos diferencias en el tiempo de permanencia del agua dulce vertida. Con algunos datos (no publicados) y cálculos preliminares obtenidos por otros autores en lo que se refiere a caudales en los canales de regadío (Comín, 1981; Camp *et al.*, 1985; Pérez y Camp, 1986; Camp y Delgado, 1987; Muñoz y Prat, 1989; Muñoz, 1990; Camp, 1991; Muñoz y Prat, 1994; Muñoz, 1998), nos indican que el tiempo de residencia medio del agua dulce en la bahía durante algunos períodos oscilaría entre 3 y 6 días, cuando las influencias de tipo meteorológico o de mareas son mínimas. Autores como Fernández *et al.* (1997) mencionan que los tiempos medios de renovación de la bahía El Fangar sería entre 2 a 10 días, mientras que otros autores como Llebot *et al.* (2011) apuntan a un tiempo de residencia del agua dulce para El Fangar en 2 días, cinco veces menor que para la bahía de Los Alfacs. En la siguiente tabla y a modo de condensar la información resumida, de los diferentes estudios de tiempos de residencia del agua dulce realizados en el delta del Ebro.

**Tabla resumen para estudios de tiempos medios de residencia del agua dulce en la zona del Delta del Ebro**

Autor	Lugar	TMR	Metodología
Presente estudio	El Fangar	3 - 6 días	Calculo de TMR a partir de estimación de caudales y/o volúmenes en canales de regadío mencionados por otros autores *
Llebot <i>et al.</i> , 2011	Los Alfacs El Fangar	10 días CA 25 días CC 2 - 5 días	Modelo hidrodinámico (resultados no publicados)
Llebot <i>et al.</i> , 2010	Los Alfacs	5 - 12 días	De Salat <i>et al.</i> , 2002 para la plataforma del Ebro
Fernández <i>et al.</i> , 1997	El Fangar Los Alfacs Arrozales Llanura deltaica	2 - 10 días alrededor de 20 días 3 - 7 días 15 - 20 días	Volumen aporte hídricos netos y factor de mezcla
Forés, 1996	Arrozales	3 - 5 días	Datos propios y del estudio Christian <i>et al.</i> , 1993
Camp, 1994	Los Alfacs Encanyissada Tancada	10 - 17 días CA 10 - 20 días 20 - 40 días	Camp y Delgado, 1987, calculos estimados indirectos y estudio Hydrotechnic Corp. 1966
Camp y Delgado, 1987	El Fangar Los Alfacs	1 - 2 días 10 días	Comunidades de regantes y estudio de Hydrotechnic Corporation 1966

\*Autores: Comín, 1981; Camp *et al.*, 1985; Pérez y Camp, 1986; Camp y Delgado, 1987; Muñoz y Prat, 1989; Muñoz, 1990; Camp, 1991; Muñoz y Prat, 1994; Muñoz, 1998)  
(Nomenclatura: CC= canales cerrados; CA= canales abiertos)

En nuestro estudio se observan variaciones estacionales en las concentraciones de nutrientes (nitritos, fosfatos), con una columna de agua estratificada (tanto para nutrientes, como para temperatura y salinidad) durante el verano y otoño de 1987. Y el aporte de agua dulce, que creemos se produce durante el período de canales cerrados, para nitratos y nitritos, en las 3 estaciones estudiadas.

La actividad del fitoplancton estaría regulada por la concentración de nitratos (producción limitada por nutrientes), ya que un incremento en la actividad fotosintética conlleva un consumo importante de nitratos (Margalef, 1983; Peterson *et al.*, 1985; Muñoz, 1990). Los nitratos pueden ser consumidos por los organismos fotosintéticos, especialmente cuando esta concentración es alta, como en el caso de los ríos, pero también se puede perder nitrato por desnitrificación cuando las condiciones son intensamente anaeróbicas o el sedimento es anóxico (Muñoz, 1990).

Coincidimos con Muñoz (1990), en la observación donde la materia orgánica que se produciría en superficie va a sedimentar hacia el fondo, favorecida por una baja velocidad del agua dulce superficial (agua con menor salinidad), durante algunos períodos que ocurren en el tramo bajo del río Ebro y en los canales de desagüe de las lagunas a la bahía de Los Alfacs. La oxidación de esta materia orgánica requerirá de una fuente importante de oxígeno, pero al agotarse esta, los microorganismos podrían optar por utilizar nitrato como fuente de oxígeno, especialmente en ambientes estuarinos (Kennish, 1986; Muñoz, 1990; Valiela, 1995).

Creemos que hay una relación directa entre las características de las aguas de la zona profunda de la bahía y el sedimento de la misma, sobre todo respecto a los flujos de oxígeno, amonio y nitrato. Esta relación es más evidente en la estación E f3, ubicada en la zona más interna de la bahía, en la que la zona profunda de la columna de agua muestreada se acercó bastante al sedimento (40-70cm), coincidiendo con Vidal *et al.* (1989), Vidal *et al.* (1992) y Vidal *et al.* (1997).

### **Clorofilas, biomasa y producción del fitoplancton**

En general el ciclo de producción en aguas marinas de zonas templadas comprende un pico de máxima producción (y de clorofila) en primavera (Valiela, 1995). Este pico desaparece en verano por agotamiento de nutrientes en superficie (zona iluminada) y descenso del máximo de clorofila a profundidades cada vez mayores, donde todavía quedan nutrientes o a donde llegan nutrientes a través de la termoclina, o desde el

fondo, como sería en este caso. El máximo profundo evita además el exceso de luz y temperatura en superficie y aprovecha los procesos de descomposición en el fondo, donde se liberan nutrientes.

En este contexto, en la bahía El Fangar, encajan las altas concentraciones de clorofila-a y clorofila-c encontradas en aguas próximas al fondo en época estival, en las 3 estaciones, teniendo en cuenta que en esa época había un gran aporte de agua dulce (nutrientes) en la superficie (Ver Figura 14, E f1).

Conviene destacar, la importancia de la zona media de la bahía (E f2), zona donde se encuentra la mayor variabilidad y altas concentraciones de clorofilas, sobre todo en el fondo de la bahía. Sin olvidarnos que esta estación se ubicó en la zona ocupada por los viveros de moluscos bivalvos. Tendencia similar presentó la estación E f1, pero con menores concentraciones. Lo que nos indicaría una estratificación permanente, al menos durante parte del verano (junio a septiembre de 1987).

Esta bastante documentado el hecho de que los contenidos de clorofila-a pueden variar bastante dependiendo de las condiciones ambientales del lugar que se estudie (Sherrard *et al.*, 2006) y su alta correlación con la biomasa del fitoplancton total (Kwan Wong y Kim Wong, 2003). Y con la producción de fitoplancton (Valiela, 1995).

Las concentraciones de clorofilas en el litoral de las costas catalanas alcanzarían una media anual de  $0,27\text{mg/m}^3$  (López y Arté, 1973), desde valores menores a  $0.10$  (Estrada, 1981), hasta llegar a valores cercanos a los  $0.5\text{mg/m}^3$  (Gordoa *et al.*, 2008). Si comparamos con nuestros resultados (media anual en E f2 de  $2.6\mu\text{g/l}$ ), en la bahía la productividad media se sitúa un orden de magnitud por encima de la de mar abierto (López y Arté, 1973). En los períodos de canales abiertos la productividad sería aún mayor. En este aspecto nuestro trabajo esta de acuerdo con los resultados obtenidos por otros autores (López y Arté, 1973; Jiménez, 2002; Llebot *et al.*, 2011).

Concordamos con el estudio de Llebot *et al.* (2011) realizado en la bahía de Los Alfacs, donde se encontraron las altas concentraciones de clorofila-a de julio a noviembre, o el estudio de Ramón *et al.*, 2007, en la bahía El Fangar, donde se encontraron altas concentraciones en julio y agosto. En nuestro caso con picos máximos en agosto-septiembre.



## **Feopigmentos**

Las mayores concentraciones de feopigmentos se encontraron en la estación E f2, presentando la tendencia similar a la que presentaron las concentraciones de clorofilas en esa misma estación. Destaca, en nuestros resultados, que el núcleo de alta concentración de feopigmentos que aparece en E f2 sea superficial. Esto sugiere un posible aumento de la descomposición de microalgas en superficie, dadas las condiciones. En general, las fuentes importantes de este producto sería la degradación de clorofilas. Los productos degradados resultarían de procesos digestivos del zooplancton y del cultivo de bivalvos, el cual convertiría las clorofilas en feopigmentos, también de la descomposición bacteriana que degrada las clorofilas.

Una fuente alternativa de estos feopigmentos serían las operaciones de limpieza que se efectúan periódicamente en los cordajes de mejillón, para liberarlos de organismos incrustantes, entre los que se encuentran macrófitos y otros organismos filtradores. Durante estas operaciones se liberaría también al agua el fitoplancton sedimentado sobre las valvas de mejillón y sobre los cordajes que los contienen, en proceso de descomposición. Avanzamos aquí esta explicación como mera hipótesis por confirmar. A su favor tiene el hecho de que el máximo de feopigmentos superficial solo se encuentre en la estación E f2, la única ubicada en la zona de viveros.

## **Oxígeno**

Nuestros datos y resultados en relación a la concentración de oxígeno disuelto versus clorofila-a se correlacionarían negativamente ( $r^2 = -0,7$ ), similar resultado al encontrado por De Pedro (2007) para la bahía de los Alfacs. Entendiéndose como un aumento en la masa fitoplanctónica provocaría un descenso en las concentraciones de oxígeno.

La alta concentración de clorofila, acompañada por bajos niveles de oxígeno, representa una característica típica de las situaciones de eutrofia. Nutrientes altos harían aumentar las concentraciones de fitoplancton, ocurriendo posteriormente una sedimentación elevada, con un incremento de la descomposición en la zona profunda o en el fondo. Incrementándose las concentraciones de bacterias heterótrofas y pequeñas partículas. El incremento en la descomposición llevaría a bajos niveles de oxígeno, sobretudo por la noche, cuando el fitoplancton respira, pero no realiza la fotosíntesis.

En resumen, el balance global de la columna de agua se desvía hacia menores contenidos de oxígeno porque la respiración del fitoplancton, sumada a la respiración de

las bacterias descomponedoras da lugar a consumo de oxígeno que es superior al que se forma por fotosíntesis en el período iluminado (parte del cual va a la atmósfera).

En general, no se observaron “focos” hipóxicos en las estaciones de muestreo.

### **Biomasa de materia orgánica particulada (MOP) y su composición.**

En el presente estudio se han cuantificado y analizado la composición de la materia orgánica particulada, en base a 5 parámetros: carbono orgánico particulado, nitrógeno orgánico particulado, proteína particulada, carbohidrato particulado y concentración de partículas. Además, la clorofila es indicador de biomasa de fitoplancton.

En general estos indicadores de biomasa, se refieren de una u otra forma, a biomasa de partículas que se encuentran en el agua, que pueden ser fitoplancton, bacterias, microzooplancton, materia particulada muerta (heces y pseudoheces), etc.

Estimamos que los aumentos en la masa fitoplanctónica, en períodos de tiempo cortos (blooms), y el posterior aumento de las concentraciones de bacterias que degradan los excesos de materia orgánica, provocarían núcleos esporádicos de altas concentraciones de proteínas en la columna de agua de la bahía. En este caso serían bacterias descomponedoras, y estos incrementos de proteína estarían acompañados por incrementos de amonio (diciembre de 1986) y descensos de oxígeno.

Las particularidades de la distribución espacial y de las variaciones temporales de estos parámetros ya han sido consideradas en el apartado de resultados, pero conviene discutir aquí, las similitudes y diferencias encontradas entre estos parámetros.

En general se observan 3 períodos importantes de máximos que se asocian para los diferentes parámetros indicativos de biomasa como;

Un primer período donde a máximos de carbono, nitrógeno, carbohidratos, proteínas y partículas durante diciembre de 1986, en general para toda la columna de agua, se acompañan máximos de fitoplancton (clorofila-a) en superficie. Todo esto asociado a altas concentraciones de amonio en toda la columna de agua.

Un segundo período donde para máximos en la concentración de carbono, nitrógeno, carbohidratos, proteínas y partículas en mayo de 1987, en general para la zona del fondo de la columna de agua, se relacionan a altas concentraciones de fitoplancton en el fondo, pero en este período aparecen altas concentraciones de nitratos en toda la columna.

Y un tercer período en septiembre de 1987, donde a las altas concentraciones de carbono, nitrógeno, carbohidratos, proteínas y partículas en toda la columna de agua, se

relacionan altas concentraciones de fitoplancton en el fondo de la columna de agua, con altas concentraciones de nitritos en toda la columna de agua.

### **Carbono**

Las altas concentraciones de carbono en nuestro estudio se encontraron en superficie en las 3 estaciones, en especial en la estación E fl. Llama la atención la estructura donde se repite esta alta concentración en diciembre de 1986, que se distribuye de superficie a fondo, alcanzando a toda la columna de agua. Mes de diciembre donde los canales se encuentran cerrados para los campos de arroz, lo que nos sugiere que existirían aportes de aquellos canales que siguen evacuando agua a la bahía permanentemente o a un importante aporte de aguas freáticas que desembocan a la bahía. A reforzar esta idea contribuye la aparición de altas concentraciones de fitoplancton en superficie en algunas zonas internas de la bahía, reflejado en las Figuras 20a, 21a y 22a. Creemos que también estas altas concentraciones se deben a lo mezclado de la columna de agua en la bahía durante el período invernal (diciembre), seguramente provocado por temporales de vientos, provocando resuspensión de material del fondo.

En este punto nos gustaría hacer algunas distinciones de los diferentes canales que se distribuyen por el lado norte (izquierdo) del delta. Hay canales o acequias de riego, que solo llevan agua para inundar los campos de arroz, y en el zona más baja del campo de cultivo hay una compuerta a un canal de desagüe (vaciado del campo). Otros canales son solo de circulación de agua a través de una red que transporta agua desde el canal de la izquierda a la bahía, y otros canales que desaguan exclusivamente desde las lagunas.

También aparece una estructura bastante homogénea, de bajas concentraciones de carbono en la columna de agua en octubre de 1987, para las 3 estaciones estudiadas.

Si observamos todo el período de estudio, en general observamos que diciembre de 1986 y septiembre de 1987 son los meses en que la concentración de carbono es alta y alcanza a toda la columna de agua (masa de agua mezclada), en general con focos superficiales. En la primavera de 1987 se observan grandes concentraciones en superficie, asociadas al aporte de los canales y en el fondo, asociadas a aumento en la concentración de fitoplancton en el fondo, en el mismo mes (mayo de 1987) donde la mayor concentración de carbono también ocurre en el fondo. Con alta concentración de nitratos en la columna de agua.

Se ha de recordar que el carbono del que se habla en este estudio es carbono orgánico particulado (COP) y que refleja el contenido de materia orgánica en suspensión en el

agua. Esta materia orgánica puede ser fitoplancton, bacterias, heces, restos orgánicos en descomposición.

### **Nitrógeno**

Una tendencia similar presentó el nitrógeno, con altas concentraciones en toda la columna de agua en los meses de diciembre de 1986 y septiembre de 1987. En invierno donde la columna de agua se encuentra mezclada y canales cerrados, y en septiembre de 1987 (verano), con canales abiertos y alta productividad en la bahía, es decir altas concentraciones de clorofila-a en el fondo.

La alta concentración en el fondo, que observamos en febrero de 1987, es difícil de interpretar, creemos que resulta dificultoso que pudiese corresponder al aporte basal de nitrógeno que ocurre en los campos de arroz (etapa del cultivo, ver figura 8, capítulo I) y que seguramente llegaría a la bahía por aporte de algunos canales abiertos y/o aporte de aguas freáticas, observables en descensos de la salinidad media en noviembre y diciembre de 1987. Pensamos que lo más correcto sería interpretarla como descomposición de materia orgánica en el fondo, después de las altas concentraciones de biomasa fitoplanctónica que se presentaron en diciembre de 1987.

En este punto queremos destacar la importancia y aporte en el presente estudio la inclusión de parámetros como proteínas, carbohidratos y partículas que en general son poco estudiados en trabajos oceanográficos y descriptivos en áreas costeras.

### **Proteínas**

Se observó, durante el estudio, altas concentraciones de proteínas en diciembre de 1986 (durante el período de canales cerrados), núcleos que alcanzaron a distribuirse por toda la columna de agua, seguramente a los factores meteorológicos imperantes en esa época invernal, asociada a fuertes vientos y temporales. Mientras que la estructura de la columna de agua durante el estudio, en la estación más interna de la bahía, fue bastante irregular. Otro pico similar ocurre en septiembre de 1987, para toda la columna de agua, pero que se relaciona a fitoplancton en el fondo y altas concentraciones de nitritos en toda la columna. Es decir de las altas concentraciones de nutrientes que se observan a finales de primavera aparecen altas concentraciones de fitoplancton en el fondo de la columna de agua y otros parámetros indicadores de alta biomasa, en períodos donde la columna esta estratificada y con grandes aportes de agua dulce desde los canales.

Es importante, en este punto recordar de manera general, que los posibles focos de proteínas en la bahía vendrían dado por microorganismos (fitoplancton, bacterias y ciliados) y como producto de la actividad extractiva de bivalvos (*fuentes*; Asociación de Mejilloneros de la bahía del Fangar, com. per.).

### **Carbohidratos**

Es uno de los principales componentes de la materia orgánica en el agua de mar. Cuyo origen no es solo derivado de organismos muertos, si no también de células vivas, como el fitoplancton (relacionándose a períodos de crecimientos de las microalgas).

La tendencia de los carbohidratos es similar a los otros indicadores de biomasa, con 3 focos a lo largo de nuestro estudio y en relación directa con la alta concentración de fitoplancton. Comienza a aumentar en noviembre y diciembre de 1986 (superficie y toda la columna de agua) confirmando que la estructura de la columna de agua esta mezclada. Posteriormente en mayo-junio de 1987 vuelve a aumentar en toda la columna de agua, y finalmente en septiembre-octubre de 1987 otro pico en toda la columna.

### **Partículas**

La estación ubicada en la boca de la bahía (E f1) y que conecta con el golfo de La Ampolla, fue la que presentó una estructura estratificada en la columna de agua para la concentración de partículas durante casi todo el período de estudio, sobretodo en primavera y verano de 1987. Además presentó altas concentraciones en invierno de 1986 (diciembre) a lo largo de toda la columna.

Observamos gradientes similares al observar partículas y compararlos con algunos parámetros como nitrógeno y proteínas, que indican características de una masa de agua estratificada y de mayor concentración en el fondo durante mayo de 1987.

Encontramos que en la estación que conecta la bahía con mar abierto (E f1), desde marzo/abril a septiembre/octubre de 1987, presentó altas concentraciones de partículas en el fondo (una capa mas densa en concentración alcanzando hasta la zona media de la columna de agua), esto corrobora de que esta zona, cercana a la abertura de la bahía con mar abierto (golfo de la Ampolla), existe una columna de agua estratificada, donde no es posible apreciar efectos de turbulencia entre la bahía y mar abierto (un agua superficial menos salina y otra profunda más salina). Mientras que en noviembre y diciembre de 1986 la situación de la columna de agua estaría bastante mezclada o homogénea.

El hecho de haber alta concentración de partículas (fitoplancton) indica una necesaria correlación positiva con altos valores de producción primaria. Si la concentración de partículas y clorofila es alta, indicaría que las partículas tienen clorofila y aunque puedan sombrearse (solaparse) una a otra, la biomasa y producción de fitoplancton sería alta. Ahora bien, si la concentración de partículas es alta y la de clorofilas es baja, podría indicar que algunas partículas no tienen clorofila (sedimento, bacterias) y que pueden reducir la transmisión de luz (despreciable en el caso del El Fangar por la escasa profundidad). En este caso el nivel de nutrientes nos indicaría la causa: si los nutrientes son altos y la clorofila es baja, se podría pensar en falta de luz.

En las otras estaciones, ubicadas en la zona media de la bahía y en el fondo de esta, en general, presentaron una concentración relativamente homogénea de partículas durante el estudio, con excepciones en diciembre de 1986 para la estación E f2, donde se observó una alta concentración. Y otra en la estación E f3 el fondo de la columna de agua, durante finales del verano y comienzo del otoño de 1987, seguramente por aportes de canales y/o lagunas que se confirman con bajas salinidades a partir de mayo de 1987 en la columna de agua. Señalando en ambos casos el final del ciclo de producción.

En general en las partículas mayores a  $2\mu\text{m}$  se incluirían el nanoplancton, el microplancton, detritus de gran tamaño, partículas inorgánicas sencillas levantadas del fondo marino por oleaje de temporales (vientos) o por influencia de corrientes marinas en ciertas épocas.

### **Nutrientes limitantes de la producción primaria**

Nuestros resultados no son concluyentes de cual sería el elemento limitante para la producción primaria en la bahía. Sin embargo nos sugieren que la limitación del desarrollo del fitoplancton en la bahía se debería a un efecto alternante entre fósforo y nitrógeno. Pero aún así no es una evidencia clara, a excepción de lo que ocurre en el mes de abril de 1987, donde aparece una alta concentración de fosfatos en toda la columna de agua, con bajas concentraciones de compuestos nitrogenados, para posteriormente en el mes de mayo de 1987 aparecen altas concentraciones de fitoplancton (y otros indicadores de biomasa) y disminuyen las concentraciones de fosfatos, apareciendo los nitratos en toda la columna (ya con los canales abiertos).

Estos mismos resultados nos indicarían algún tipo de dinámica que relacionaría N o P con clorofilas, una dinámica similar a la de lagos y aguas marinas templadas.

Donde las situaciones serían: los nutrientes bajan cuando las clorofilas suben; los nutrientes pueden seguir bajando cuando las clorofilas bajan y; las clorofilas pueden ser bajas cuando los nutrientes son altos (por ejemplo durante el invierno, debido a la poca luz y baja temperatura, pero esto no ocurre).

Valiela (1984) menciona que, en los sistemas costeros, suele ser el nitrógeno el elemento considerado como principal limitante de la producción biológica. Atribuible al proceso de desnitrificación bacteriana, en el cual el nitrato es reducido a nitrito y puede proseguir hasta nitrógeno gaseoso, con lo que se pierde el elemento del sistema. Delgado (1986) también sugiere que la limitación del fitoplancton en las bahías del delta del Ebro es producida por el nitrógeno. Esto basado en las diferencias en la abundancia relativas de los distintos nutrientes entre los canales procedentes de los campos de cultivo, los procedentes de las lagunas y los valores presentes en las bahías.

A conclusiones diferentes llega Vidal (1994) que concluye que el fósforo sería el limitante para el crecimiento de fitoplancton en la bahía de Los Alfacs sugiriendo que fuerzas atmosféricas (temporales, vientos) e hidrodinámicas jugarían papeles claves en el limitación alternante de N y P. Cruzado *et al.* (2002) menciona también que el fósforo sería la sustancia nutritiva limitante en el sistema del delta del Ebro atribuible a la contribución de descarga de agua dulce, rica en nitrógeno y baja en fósforo, debido a su retención en los campos de arroz (Forès, 1989). Mientras que autores como Quijano-Sheggia *et al.* (2008), Llebot *et al.* (2010) y Llebot *et al.* (2011) sugieren que el nitrógeno sería la sustancia nutritiva más limitante durante finales de primavera y el verano, mientras que el fósforo sería el limitante en el otoño y a principios de primavera.

Badr *et al.* (2008) apunta a que en sistemas estuaricos (bahías) del sur-oeste de Inglaterra, sería el nitrógeno el limitante de la producción fitoplanctónica.

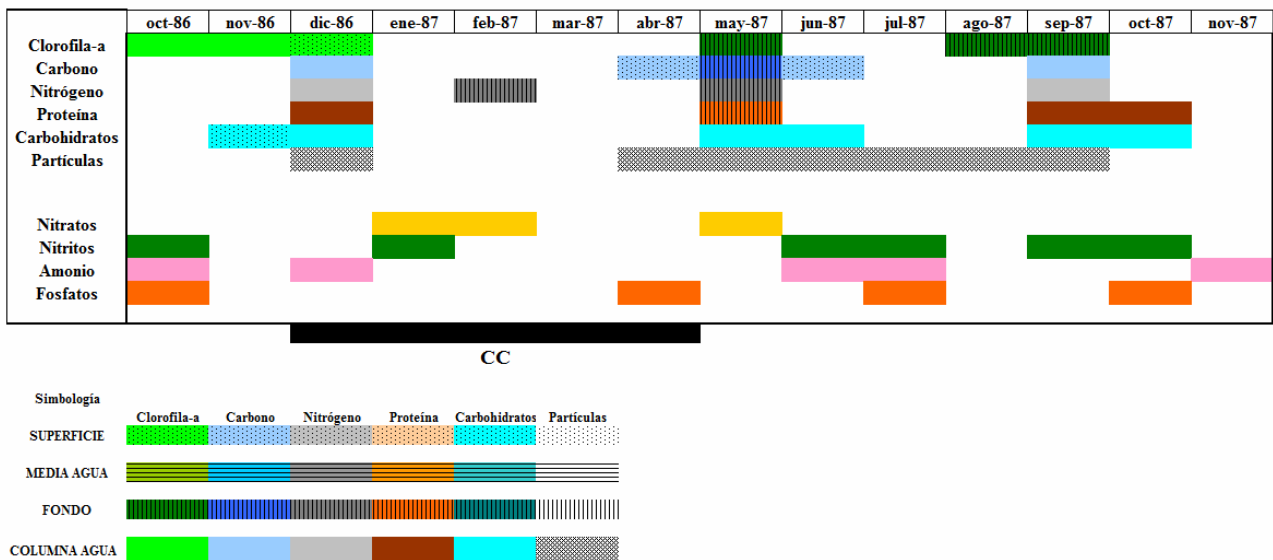
En todo el mundo se observan perturbaciones antrópicas por actividades que movilizan elementos nitrogenados y el fósforo desde la tierra, la sobreproducción y los excesos en los usos de fertilizante, aumento de descarga de aguas residuales, aumento en la producción de animal, y en el aumento en la combustión de combustibles fósiles (Nixon *et al.*, 1986; Nixon, 1995). Como consecuencia de estas actividades, se ha observado que las aguas superficiales (aguas costeras, bahías semicerradas y lagunas costeras) y aguas subterráneas, en todas partes del mundo desarrollado, han elevado las concentraciones de N y P (si comparamos las concentraciones desde mediados del siglo

XX). La movilización de N y P ha acelerado los flujos de estos elementos hacia las aguas costeras, y la fertilización de ecosistemas costeros, lo cual causa un problema serio ambiental, porque esto estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas, interfiriendo en el equilibrio entre la producción y metabolismo de materia orgánica en la zona costera. (Cloern, 2001).

Las numerosas formas de nitrógeno que podemos encontrar en los sistemas acuáticos, la forma inorgánica disuelta significativamente más importante es el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), que es la forma que puede ser asimilada por los productores primarios, pudiéndose encontrar también formas inorgánicas disueltas que representarían entre el 2 y el 20% de la cantidad de fósforo en los ecosistemas acuáticos (Margalef, 1983; Muñoz, 1990).

En el siguiente cuadro comparativo queremos resumir la información correspondiente a los indicadores de biomasa y nutrientes durante el estudio, y que nos ayuda a entender las discusiones expuestas en este capítulo.

**Cuadro comparativo de indicadores de biomasa y nutrientes durante la época de estudio en la bahía El Fangar**  
(En colores solo valores máximos, ya sean principales o secundarios)





### IV.3.- Discusiones de los análisis estadísticos

#### Análisis Multivariado

Los resultados del análisis multivariado nos interpretan las situaciones de cada componente en la bahía, reflejando situaciones estacionales y espaciales para los diferentes parámetros estudiados.

El componente 1 (Comp. 1), correspondería a una situación que ocurre normalmente en épocas donde hay aumento de biomasa fitoplanctónica con posteriores descensos progresivos en los nutrientes, es decir el pico de invierno (noviembre-diciembre de 1986), un segundo pico en primavera (abril-mayo de 1987) y finalmente verano (agosto de 1987).

En general se presentan correlaciones negativas entre los nutrientes y la presencia de altas concentraciones de clorofilas, ya que cuando comienza el desarrollo del fitoplancton, comienzan a ser consumidos los nutrientes.

Mientras que la componente 2 (Comp. 2) presentaría características similares a la de otoño-invierno, con una columna de agua muy mezclada en el fondo, seguramente producto de temporales de viento, con bajas temperaturas que se asocian a salinidades altas (agua marina). Caracterizándose además por bajas concentraciones de fitoplancton y de algunos indicadores de biomasa, y con escasas concentraciones de nutrientes como nitratos y nitritos.

En este punto, cabe resaltar el hecho de que estas 2 componentes, en conjunto, son las que aportan el mayor “peso” estadístico al análisis (Ver Tabla IV del Capítulo III.2).

Al ordenar los resultados del enfrentamiento de la componente 1 contra la componente 2, es posible explicar 3 grupos.

El grupo 1; que correspondería a una situación de verano (hasta finales de verano) para todas las estaciones de muestreo en la bahía, y en general para la zona media y profunda de la columna de agua. Esto puede observarse en los valores de la variable “**EstProf**” asociada a este grupo, y que se explica en el capítulo III.2 de resultados.

El grupo 2; caracterizaría una situación de otoño-invierno, donde la variable “**EstProf**” de los resultados (capítulo III.2) nos indica noviembre-diciembre de 1986, con descenso de nutrientes por aumento en la concentración de fitoplancton. Este grupo también caracterizaría a los picos presentes en mayo y septiembre de 1987.

El grupo 3; con una situación de invierno (enero y febrero de 1987), con período de canales cerrados, con algunas altas concentraciones de oxígeno en fondo (febrero de 1987) y en las estaciones E f1 y E f2. Destacándose la alta concentración de nitrato en las 3 estaciones de muestreo en toda la columna de agua (enero-febrero de 1987), característica que ocurre después de un mes con alta concentración de fitoplancton (diciembre de 1986), al decaer esta alta concentración, comienzan a aumentar los nutrientes.

Si analizamos los componentes y los parámetros medidos, observamos que en la época de invierno aparecen fosfatos (Componente 2), sin la presencia de nitratos. Por una parte, esta situación es extraña, ya que en invierno las concentraciones de todos los nutrientes suele ser alta, debido a la mezcla vertical y al escaso desarrollo del fitoplancton, desarrollo que se manifiesta en diciembre de 1986, con un pico importante de fitoplancton. Por otro lado, la baja relación N:P en el agua apunta a una limitación de la producción de fitoplancton o de bacterioplancton por nitrógeno.

Diferente apreciación al observar la situación de verano, donde aparecen los nitritos (Componente 1) acompañados de fosfatos que aumentan desde la primavera, para terminar en altas concentraciones de clorofilas (fitoplancton).

Para el componente 3, se obtuvieron valores que indican altas concentraciones de clorofilas (Componente 3), es decir altas concentraciones de fitoplancton, este fitoplancton consume nutrientes provocando bajas concentraciones de fosfatos y nitrógeno, pero con altas concentraciones de nitratos y nitritos. Apreciaciones que apuntan y confirman a la estacionalidad de parámetros (dada en parte por la apertura y cierre de canales desde los campos de arroz) y a la importante relación de P y N en la bahía, como factores limitantes del desarrollo de fitoplancton, en la última etapa de un bloom fitoplanctónico, situación que se daría de enero a marzo de 1987. Una vez que acaba el bloom, se encuentran agotados los nutrientes, y comienza nuevamente el ciclo con aumentos en las concentraciones de nutrientes.

Resultados similares para los parámetros nitrógeno y fósforo como limitantes de productividad se describen en Vidal (1994) para la bahía de Los Alfacs, con períodos de resuspensión desde los sedimentos, que actuarían como almacenaje de nutrientes, Vidal considera que el fósforo es el principal nutriente limitante para el crecimiento del fitoplancton en Los Alfacs, pero sugirió que las fuerzas de la atmósfera y hidrodinámicas podrían desempeñar un papel clave en la alternancia de nitrógeno y

fósforo como nutrientes limitantes. Cruzado *et al.* (2002) para la desembocadura del río Ebro, menciona que el río no contribuye a la fertilización de la zona costera con grandes cargas de fósforo, este fósforo quedaría atrapado en la materia orgánica que contribuirá al desarrollo del fitoplancton y que se vería incrementado en períodos de inundaciones, agrega además que la regeneración del nitrógeno ocurre en la parte baja de la desembocadura. También encontraron que el fósforo es el limitante en los nutrientes del sistema Delta del Ebro, lo atribuyeron a la observación de la contribución de la descarga de agua dulce, que es alta en contenido de nitrógeno y baja en contenido de fósforo. Quijano-Sheggia *et al.* (2008) trabajaron en ambas bahías del delta del Ebro, encontrando limitación del fósforo en el fondo de la columna de agua en la bahía El Fangar. Llebot *et al.* (2010) y Llebot *et al.* (2011), para la bahía de Los Alfacs mencionan que existiría una colimitación entre el fósforo y el nitrógeno como nutrientes limitantes, dependiendo de variabilidad de las fuentes, donde los nutrientes orgánicos son remineralizados a nitrógeno inorgánico y fósforo, ya que especialmente en situaciones de estrés de fósforo, el fitoplancton tiene una notable capacidad de captación de fuentes orgánicas de fósforo.

Con respecto al análisis multivariado en si mismo, podría parecer poco útil usar “N” componentes principales para describir la variación de las variables, en particular si se tiene en cuenta que un componente con valor propio  $< 1$  explicaría menos varianza que alguna de las variables originales. Sin embargo, aún así, podría sugerirse que utilizar estos “N” componentes serían lo más adecuados, considerando que acumulan un alto porcentaje de la varianza, y en definitiva representan un conjunto de variables que pueden ser analizadas en forma independiente (componentes), y sobre todo ante la situación que esta independencia no ocurre con las variables originales. Así, en este caso podríamos sugerir que, muchas veces, es adecuado sacrificar la inclusión de componentes con autovalores negativos pero que aportan a una varianza acumulada elevada (~90%).

En el capítulo de materiales y métodos (ver capítulo II.4.2.6) ya describimos que queda al criterio del investigador si se dará mayor importancia a un elevado valor de varianza acumulada o se prioriza componentes con valores mayores a 1, pero creemos que se debe llegar a un criterio medio entre una alta varianza y valores de los componentes mayores que 1. La bibliografía en general no se pone de acuerdo implícitamente por alguno de estos criterios (Legendre y Legendre, 1979; Johnson, 2000; Peña, 2002).

## **Series de Tiempo**

Una serie de tiempo es el resultado de la integración de cuatro componentes fundamentales, (aunque no siempre aparecen todos) que no son directamente observables, de los cuales únicamente se pueden obtener estimaciones. Estos cuatro componentes son: la tendencia, el ciclo, la estacionalidad y la irregularidad. Por lo que la serie de tiempo será función de estas cuatro componentes (Pacheco, 2008).

La gran mayoría de los trabajos que se realizan en series de tiempo generalmente dependerán en exclusiva a la hipótesis de interés (pregunta), como por Ej.: si la variabilidad del parámetro A se debe a la variabilidad del parámetro B (bastando solo el análisis de regresión), pero si la hipótesis fuese que las variaciones de A se producen simultáneamente con las variaciones de B, entonces el análisis de correlación cruzada sería lo más acertado en el estudio de las 2 variables, dando respuesta a nuestra hipótesis. Sin olvidar que los objetivos del análisis de series temporales son diversos, como por ejemplo la predicción, control de procesos, simulación o la generación de nuevas hipótesis (Molinero, 2004). El supuesto general de un análisis de serie de tiempo es que la variable es estacionaria, es decir que su media y varianza no aumentan con el paso del tiempo.

Nuestro análisis se realizó utilizando una serie de tiempo corta, al disponer de 13 meses de muestreo en forma continua, con tomas de muestra mensuales. Corresponde además al tipo “no escalonada”, ya que los meses del año no son todos iguales en días.

Por lo general las series cortas tienen ciclos que dependerán de las correlaciones previas (Lag 1, 2, 3, etc.) sobre el resto de los coeficientes (Lag 4, 5, 6).

El nivel de la serie estudiada fue la media mensual para los diferentes parámetros, lo que nos entregó un nivel de serie circunstancial, dado que las características de variación de los parámetros presentaba un comportamiento estable, salvo variaciones atribuibles a comportamientos estacionales (Pacheco, 2008).

Es necesario tener en cuenta y recordar que la media móvil, en series de tiempo cortas suele ser un inconveniente, ya que podría provocar la pérdida de datos iniciales y finales de la serie, acortándola aun más.

Los valores de s-index bajos nos indica que algunos parámetros medidos en la bahía variaron muy poco a lo largo del período de estudio, lo que indicaría una alta homogeneidad a lo largo del tiempo, provocando que la característica de la columna de agua en la bahía se muestre como estable para ese parámetro (Ej.: Clorofila-b).

La masa de agua intermedia en la bahía es la que presentó mayor variación (masa correspondiente al muestreo de los 2m). Como es el caso de partículas, que presentan tendencia a un aumento gradual a lo largo del período en estudio (a partir de abril de 1987), cambios que al final logran a toda la columna de agua.

Algo similar ocurriría con el amonio, para el que se observó un alto valor del s-index en las 3 estaciones. Por ejemplo, en el invierno de 1986-1987, este alto valor indica que es un parámetro muy inconstante con respecto a las variaciones de su concentración en períodos mensuales de tiempo, y que además coincide con el período de canales cerrados.

La estación E f3, la más interna de la bahía, presentó una alta variación de los nitratos en superficie (invierno y primavera de 1987), hecho que se reflejó en las altas concentraciones de nitrato en los meses de enero-febrero de 1987 y posteriormente en mayo de 1987.

Nuestros resultados de s-index para salinidad mostraron, un parámetro bastante estable (poco variable) a lo largo del estudio. Este resultado nos indicó que las apreciaciones que teníamos al principio del estudio, cuando pensábamos que la salinidad sería bastante variable en la bahía, eran equivocadas, ya que finalmente nuestros resultados del índice de variación s-index presentó un patrón más homogéneo, al tomar 1 muestra mensual.

El análisis del índice de variación s-index nos muestra altos fosfatos en situación de verano (Ver Capítulo III.3), tanto en superficie como en el fondo, situación similar a la expuesta por Loureiro *et al.* (2009) para el fósforo durante la misma época en la bahía Los Alfacs. Coincidimos también en los períodos donde encontramos altas concentraciones de nitratos, que son la época invernal y primavera.

### **Autocorrelaciones**

Las técnicas de autocorrelación nos ayudan a detectar patrones y periodicidades en las series temporales (Pacheco, 2008). En términos prácticos, el análisis de autocorrelación nos entregó información sobre si la variable estudiada presentaba ciclos a través del tiempo (fluctuaciones) y sobre la duración de estos ciclos.

Para saber si las variables que estudiamos tenían ciclos estacionales utilizamos los valores de s-index (Saito *et al.*, 1999; Bjørnstad *et al.*, 1999), donde este valor calculado debería ser más alto utilizando el valor para 3-4 datos (meses - estacional), que para 6

datos (semestre) o para 12 datos (anual), lo que nos permitió, en cierta medida, deducir que la variabilidad del sistema, si es que la tenía, estaría relacionada con los ciclos que presentara.

A falta de una serie más larga (con más meses de datos o con más datos por mes), que nos permitiese lograr caracterizar estadísticamente este patrón estacional, confirmar si este patrón existe o no, y de si la variación temporal en la bahía ocurre en un tiempo reducido o más prolongado.

Los llamados “detrended data” (datos sin tendencia o remoción de tendencia) utilizados en autocorrelaciones o en correlaciones cruzadas, no tienen problema en lo que a transformación se refiere, ya que para casos de transformación con  $\log_{10}$  o  $\ln$ , se mantendría la estructura cíclica que debe existir en la serie de tiempo. El “detrended data” sólo modificaría la posición de los datos (un cambio de escala), centrando su distribución en cero.

La primera correlación o total, muestra si el proceso es significativamente cíclico y la correlación parcial nos hablaría de la importancia de la interacción entre escalas temporales.

Es decir toda función de autocorrelación muestra generalmente una barra significativa en Lag 1, ya que es un patrón típico de series de tiempo. Y recordar que el número de barras significativas en una autocorrelación parcial indica el orden del modelo (Pacheco, 2008).

El análisis de las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales son necesarias en conjunto, ya que la primera mostraría la estructura de la autocorrelación (o ciclicidad) sucesiva de la serie, una vez que se a controlado por autocorrelaciones previas, es decir la autocorrelación en el segundo Lag, que es independiente de la correlación del primer Lag, o la correlación en el cuarto Lag, que sería independiente de los 3 Lag anteriores y así sucesivamente. Por lo general, las series cortas, como la nuestra, tiene ciclos que dependen de las correlaciones previas (Lag 1, 2, 3, etc.) sobre el resto de coeficientes (Lag 4, 5, 6). Sintetizando, la primera autocorrelación nos mostraría si el proceso es significativamente cíclico y la autocorrelación parcial mostraría la importancia de la interacción entre escalas temporales.

Para ver si la serie es estacionaria o no, la función de autocorrelación es la que nos permite determinarlo, esta debe tener un rápido decrecimiento a cero.

Y para ver si la serie presenta un proceso autoregresivo o un modelo mixto ARMA utilizamos la función de autocorrelación parcial.

Una forma fácil de identificar la relevancia de una correlación es identificando si las variables son intercambiables entre los ejes X e Y de un gráfico. Cabe recordar que X es la variable independiente (eje horizontal) y que determina, influencia o afecta a la variable dependiente Y (eje vertical). Si la variable Y puede tomar el lugar de X indistintamente, entonces estamos frente a una correlación estadística que no refleja una posible relación de causalidad entre las variables (es decir; X afecta o causa a Y, pero también podría ser que Y afecta o causa a X, cuando eso ocurre, entonces la relación es poco interesante). Sólo cuando no se puede intercambiar las variables, entonces la correlación entre estas es biológica y ecológicamente interesante (aparte de la significancia estadística).

Luego se debe hacer la FAC de cada variable X e Y por separado, si existen correlaciones significativas en las variable por separado, entonces se debe hacer la FCC, con el fin de identificar a que escala los procesos podrían estar acoplados o correlacionados significativamente.

En ecología por ejemplo, se considera que en serie de tiempo de densidad, un coeficiente de autocorrelación parcial negativo en el Lag 1 indica densodependencia (la abundancia de n en el tiempo t depende de la abundancia en el tiempo t-1), mientras que un coeficiente de autocorrelación parcial negativo en el Lag 2 indica densodependencia con retraso o desfase (la abundancia de n en el tiempo t, depende de la abundancia en el tiempo t-2), eso indica interacciones entre escalas temporales, como son las interacciones entre clases de edad dada por competencia entre cohortes de diferentes años, o canibalismo donde los adultos de tres años se comen a los recién nacidos, etc.

Al observar los datos de temperatura promedio mensual durante el período de estudio, nos entrega información y un aporte, que nos permite mejores interpretaciones en el análisis de la FAC (gráfico de la evolución de la variable a lo largo del tiempo).

Nos indica que las variaciones en la temperatura serian de muy corto plazo, y/o que existirían interacciones entre los meses secuenciales, pero no mas allá de un par de estos.

Muestra y confirma además una clara estacionalidad (valores - y + de la gráfica FAC), observada en los gráficos descriptivos de cada parámetro. También se observa valor significativo en Lag 7 (Figura 33; capítulo III.3.b), donde coincide con los cambios en la bahía, cambios de tipo estacionales de primavera a verano, en este caso con aumentos

de temperatura y además con la apertura de los canales en los campos de arroz, a finales de abril de 1987.

En general la autocorrelación parcial, que enfrenta a la variable o parámetro con su pasado, es decir que ha sido removida la dependencia lineal de las componentes intermedias, nos permitiría medir la contribución que se logra al agregar  $Z_t$  para explicar  $Z_{t+k}$ .

Para la salinidad no se observa una clara estacionalidad en la FAC, sobretodo en los primeros meses del estudio. Con variaciones mensuales o bimensuales. Pero destaca que al retardo 5 aparece un valor positivo y significativo en la autocorrelación (ver figura 34; capítulo III.3.b), es decir con variaciones importantes en la salinidad, coincidiendo con el final del invierno e inicios de primavera, y con la apertura de los canales desde los campos de arroz.

Al analizar la FAC del oxígeno en la bahía nos indica inicio de cambio estacional de invierno a primavera, con una tendencia similar se observa en los fosfatos.

Las clorofilas (a y c) en la FAC (ver figuras 37 y 38; capítulo III.3.b) muestran una importancia significativa y la tendencia a aumentar en mayo de 1987, en general en las estaciones Ef 1 y Ef 2 en el fondo, coincidiendo con aumentos en los indicadores de biomasa y la presencia de altas concentraciones de nitratos en toda a columna de agua.

Para feopigmentos, carbono, nitrógeno y proteínas nuestros resultados de la FAC muestran los cambios estacionales de dichos parámetros en la bahía (como el mes de octubre de 1986, con una FAC significativa para estos 4 parámetros), y a algunos desfases mensuales (también observados en el estudio de Delgado, 1986) y/o características que se relacionarían al cierre de canales.

### **Correlación Cruzada**

Los ciclos de los parámetros estudiados fueron analizados usando la función de correlación cruzada, lo que nos permitió realizar inferencias y/o evaluar si una variable estará correlacionada con otra. O sea la correlación cruzada nos permitió conocer la fluctuación de las variables a través del tiempo y si están correlacionadas de forma instantánea o con desfases, ya sean estos positivos y/o negativos (Percival y Walden, 2000).

El resultado de este análisis confirmo la existencia de una alta relación entre temperatura y oxígeno por una parte, y salinidad y oxígeno por otra.



En lo que respecta a temperatura y oxígeno, los resultados muestran que no existen desfases en el número de retardos. Por tanto, son cambios que ocurrirían de forma instantánea y de valor negativo, de modo que los aumentos de temperaturas estarían acompañados por descensos en la concentración de oxígeno (ver figuras 13a y 15a).

Una tendencia similar ocurriría para la correlación temperatura-nitratos, pero con un desfase de al menos 1 mes. Para temperatura respecto a clorofila-a, nos mostró que aumentos en la temperatura le siguen, con desfase de al menos 1 mes, aumentos en la concentración de clorofila-a. Idéntica situación se nos presentó al enfrentar temperatura con clorofila-c y temperatura contra nitrógeno. La explicación más obvia para estos resultados es que los incrementos de temperatura, además de tener un efecto acelerador, incrementaría la estratificación de la columna de agua de la bahía, provocando un incremento en la producción y biomasa del fitoplancton.

Los resultados de salinidad contra oxígeno nos mostraron que con los aumentos en la concentración de salinidad, aumenta instantáneamente la concentración de oxígeno.

Nuestros resultados de correlación cruzada apuntan a que, cuando enfrentamos fosfatos con nitratos, hay un desfase de 2 y 3 meses (para nuestro estudio), primero con una correlación positiva y luego negativa (al aumentar uno, disminuye el otro o viceversa). Este resultado expresaría aquella situación de invierno donde se observa que en enero-febrero hay altas concentraciones de nitratos, y bajas concentraciones de fosfatos, mientras que en abril, aparecen elevadas concentraciones de fosfatos y bajas de nitratos. La alta asincronía observada en algunas gráficas podría deberse a que existiría uno o varios parámetros, quizá alguno de estos no medidos en este estudio (como algunos efectos meteorológicos; temporal de viento, lluvias inesperadas, etc.), que alterarían las variaciones en la concentración de nitrato, con el paso de los meses, y que en general sería lo más común para series ambientales.

Al enfrentar salinidad con nitratos se observa que durante los meses de alta salinidad (columna de agua más estable y períodos de canales cerrados (diciembre 1986; enero 1987; febrero 1987)) se presentan altas concentraciones de nitratos (enero 1987). El desfase temporal vendría dado por el descenso de las salinidades en agosto de 1987 (6 meses después; Lag -6) (Ver Figura 51, Capítulo III 3.c), coincidiendo con la apertura de los canales a partir de mayo de 1987.

El oxígeno se relaciona con los fosfatos de forma inversa, de manera que a bajas concentraciones de oxígeno se encuentran altas concentraciones de fosfatos y viceversa. La explicación a este resultado se da por la descomposición de materia orgánica que

consume oxígeno, liberando fosfatos. Una tendencia similar encontramos entre oxígeno y clorofila-c.

Es decir aumentos en las concentraciones de fitoplancton consumen y provocan disminución en las concentraciones de oxígeno.

Nuestros resultados nos indican y comprueban la alta relación entre nitratos y nitritos con co-ocurrencia de cambios instantáneos, ocurriendo tendencias similares al enfrentar nitrato con carbono, proteínas, carbohidratos y partículas. En cambio baja relación nitratos con clorofila y nitrógeno. Carbono, proteínas, carbohidratos y partículas con medidores de biomasa, por tanto también tendría que ser alta relación nitratos con clorofila y nitrógeno.

También observamos la estrecha relación entre clorofilas y los feopigmentos, todas sincrónicas. Lo cual es lógico, porque unas derivan de las otras.

Cabe destacar lo que ocurre al enfrentar clorofila-a y carbono, primero con una respuesta instantánea en sincronía (tiempo 0), que luego da lugar a un desfase temporal. La respuesta se hace asincrónica y negativa, es decir al aumento de uno de los parámetros ocurriría un descenso del otro, y viceversa. Este resultado nos hace pensar en que la disminución en la concentración de fitoplancton tendría sentido cuando existiese limitación de nutrientes, o por descomposición del fitoplancton sin desaparición de carbono y partículas. Este evento de asincronía se observa en abril, donde aparecen altas concentraciones de carbono y partículas, pero bajas concentraciones de clorofila-a, con elevadas concentraciones de fosfatos. Y que preparan la situación primaveral de aumento del fitoplancton en primavera (mayo).

### **Modelo Lineal Mixto**

El modelo lineal mixto (o análisis multinivel) es básicamente un modelo de regresión de efectos mixtos, en donde se intenta estudiar una relación lineal entre dos variables en estudios donde se ha realizado muestreo por agrupamientos, los llamados “cluster sampling” (Goldstein, 1986). La existencia de estas agrupaciones naturales queda reflejada en la estructura de los datos y esto hace que se incumpla el supuesto del muestreo aleatorio simple y que por tanto muchas técnicas estadísticas convencionales, como el Análisis de Varianza (ANOVA), de efectos fijos o por regresión clásica, no sean apropiadas.

El análisis multinivel modela explícitamente relaciones jerárquicas (sesgos en los errores y aumento de la probabilidad de rechazar la hipótesis nula de no asociación)

eliminando sesgos en los contrastes de hipótesis, y proporciona estimaciones de interés práctico sobre la variabilidad y replicabilidad de los coeficientes de regresión en los distintos contextos (Rosel, 2003; El Halimi, 2005).

Los modelos de efectos mixtos generalizados lineales (GLMM) han sido utilizados para explicar (explorar) relaciones entre variables oceanográficas y atmosféricas, también para explicar la abundancia de escualos o peces, aunque de forma restringida. Examinando los residuos en los modelos, se determinaría la familia estadística (p. ej., Gaussiano, gama, etc.) y la distribución del error más apropiado para cada análisis (Sterne y Smith, 2001; Sleeman *et al.*, 2010).

Los modelos multinivel se pueden aplicar a otros sistemas de análisis, además de la regresión lineal, como ejemplo: al análisis de medidas repetidas, de datos categóricos, a los modelos de ecuaciones estructurales, a los procesos de series temporales y a la regresión no-lineal (Rosel, 2003).

Los modelos multinivel han ido cobrando un interés creciente en los últimos años gracias a la aparición de programas informáticos específicamente diseñados para ajustar este tipo de modelos (Pardo *et al.*, 2007), tales como Splus<sup>©</sup>, SPSS<sup>©</sup>, SAS<sup>©</sup> y ahora el programa gratuito R<sup>©</sup>.

En base a todo ello, hemos enfocado la parte final de nuestro estudio en la propuesta de modelos (en este caso lineal mixto) para la bahía El Fangar, enfocado a conocer los parámetros que ayudan a explicar la variabilidad de la concentración de clorofila-a y de manera complementaria a las “clorofilas totales”. Modelos que pretenden ser representativos, utilizando datos bióticos y abióticos medidos en la bahía.

Elegimos como primera variable respuesta el parámetro clorofila-a, ya que “a priori” representa al mismo tiempo biomasa y producción. Modelo que integra información de otros parámetros de los que depende dicha biomasa y producción, como temperatura, salinidad (densidad, estratificación) y nutrientes, o con otros parámetros de biomasa de partículas con los que tendría que estar relacionada la clorofila, como carbono, nitrógeno, proteína, carbohidratos y volumen de partículas en el agua. Complementamos la propuesta con un segundo modelo con la variable respuesta “clorofilas totales”.

Nuestros resultados apuntan a modelos robustos estadísticamente, donde la variabilidad en la concentración de la clorofila-a (de la bahía) estaría explicada para las variables significativas (efectos fijos del modelo); intercepto, efecto del tiempo (coseno y seno), temperatura, salinidad, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, clorofila-b, clorofila-c,

feopigmentos, nitrógeno y partículas. A estas variables se agrega el efecto de la interacción entre salinidad y profundidad, nitratos y profundidad, nitritos y profundidad, amonio y profundidad, clorofila-c y profundidad y finalmente nitrógeno y profundidad. Todas estas interacciones presentan valores significativos para el modelo propuesto (Modelo 5).

Mientras que para el modelo de “clorofilas totales” la variabilidad estaría explicada para las variables significativas (efectos fijos del modelo); intercepto, efecto del tiempo, temperatura, nitratos, fosfatos, carbono, nitrógeno, y las variables donde se agrega el efecto de la profundidad, con las variables tiempo y profundidad, nitritos y profundidad, finalmente fosfatos y profundidad.

Cabe recordar que, en el proceso de búsqueda de nuestros modelos definitivos, la parte aleatoria de los modelos no explicaban significativamente las variaciones en la concentración de clorofila-a y “clorofilas totales” (valores no significativos), por lo que son sacados de los modelos (ver Modelo 3 para la propuesta de clorofila-a). Esto resulta ventajoso ya que los modelos quedan con un menor número de parámetros (El Halimi, 2005).

Creemos que los modelos propuestos reflejan la estacionalidad de los parámetros clorofila-a y “clorofilas totales” expresados en los valores significativos de la temperatura y el tiempo, a la integración en estos de las estaciones (variabilidad espacial), así como el importante “juego” de la salinidad (mezcla y/o estratificación) en el Fangar, con especial atención a los aportes de los canales, acequias y lagunas que introducen agua dulce a la bahía (dejando fuera el aporte de las capas freáticas en la contribución al modelo), al no menos importante papel de los nutrientes y a la selección de estaciones y profundidades (donde creemos que caracterizan de una manera más real la dinámica de la bahía) y sus variaciones, que en general presentan estas variables explicativas de los modelos a lo largo del estudio.

Los parámetros carbono y proteínas como indicadores de biomasa no son estadísticamente significativos al modelo que explica la variación en la concentración de clorofila-a en la bahía, esto se debe a que los valores del test t (student) y test F (Fisher), y a partir del modelo 4 estos parámetros se hacen no significativos y son eliminados del modelo, es decir no explican la variación.

Queremos destacar que ambos modelos propuestos tienen una significación estadística del 95%, lo que indica modelos robustos y fuertes, estadísticamente hablando. Hecho

que también apunta el resultado del análisis sobre los errores de los modelos, que vienen a confirmar que los modelos propuestos elegidos son robustos y adecuados, al ajustar y estimar los valores para estaciones y profundidades. Con escasa presencia de valores outliers.

Es importante mencionar que la utilización de modelos estadísticos inadecuados en el análisis de datos esta difundida en alguna literatura. El problema se debería, en parte, a la dificultad que plantea a biólogos, ecólogos y demás profesionales, la utilización de modelos estadísticos complejos (modelo lineal mixto), en los que a menudo se requieren conocimientos más profundos de estadística (Diggle, 1996; Lewontin, 2006). En nuestro trabajo, se pretendió acercar y entregar una visión sencilla y robusta de un punto medio entre la visión de los ecólogos (y biólogos) y la de los estadísticos, mediante un lenguaje claro para ambos.

Evaluamos el comportamiento de los modelos propuestos, que consideraron explícitamente que los efectos aleatorios son independientes entre si, utilizando datos reales no simulados. Y donde el primer modelo propuesto mostró los cambios en la concentración de la clorofila-a y el dinamismo que presenta esta bahía con respecto a la estacionalidad y situaciones relacionadas al desarrollo de la agricultura (cultivos) en el delta del Ebro (aportes de canales de desagüe).

Algunos autores como Pinheiro y Bates (2000), han demostrado mediante simulación que el test F (de Fisher) es más realista que la razón de verosimilitud (L.Ratio), otorgando mayor peso estadístico a los resultados significativos. Por esto en nuestros modelos propuestos utilizamos esta sentencia. A excepción de una fracción de la variable tiempo en el modelo de “clorofilas totales”, dado que en el t-test es significativo y aporta robustez al modelo propuesto.

Sobre la independencia de los efectos aleatorios y errores, principal supuesto del modelo mixto sobre los cuales nos hemos basado para obtener las estimaciones utilizando la herramienta o método ML (maximun likelihood) y/o REML (restricted maximum likelihood), confirma y asegura que los datos originales son independientes, en nuestro caso para la muestra (es decir que la muestra es independiente). Pero, muchas veces no es seguro que la población total lo sea, y es por esto la presencia de efectos aleatorios al modelo. La independencia de efectos aleatorios esta hecha sobre los

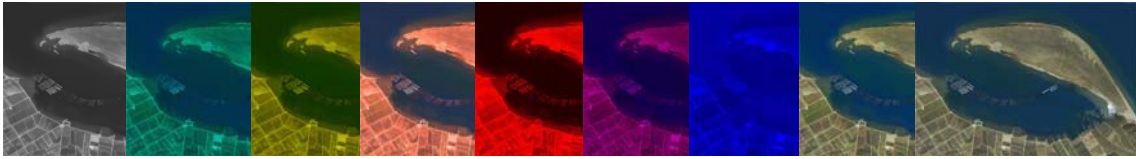
individuos y no sobre los datos por cada individuo, y quiere decir que la covarianza  $(b...i, b...j) = 0$ , es decir el individuo  $i$  es independiente del individuo  $j$  (Verbeke y Molenberghs, 2000; El Halimi, 2005).

Importante es reseñar que, en nuestro análisis preliminar y exploratorio de los datos, se detectaron complicaciones, como la ausencia de datos (missing data), lo que provocaba algunas deficiencias en el momento de crear una base de datos, que posteriormente nos permitiese realizar la estimación de los parámetros (que en el modelo son variables explicativas). Estos problemas fueron solucionados por medio de la aproximación cross-sectional (Verbeke y Molenberghs, 2000; Guo y Savickas, 2010).

Las pequeñas diferencias que se observan en las gráficas de la figura 94 y figura 99, donde se comparan los valores observados y los estimados por el modelo propuesto (M5) para clorofila-a y para el modelo de “clorofilas totales”, están explicadas por el 5% correspondiente al error. Que, en general, reflejan o representan los errores producidos en el proceso de la recogida de datos. Esto tiene que ver con los instrumentos utilizados, el factor humano (tomar mal un dato, entrar mal el dato al ordenador, etc.), incluso por factores que el investigador no ha sido capaz de identificar como explicativos. Similar explicación, referidas a las diferencia entre valores observados y valores estimados, sugerimos al comportamiento observado para el modelo propuesto de “clorofilas totales”, observables en la figura 99.



## **CAPÍTULO V**



## **CONCLUSIONES**





## CAPÍTULO V

### V.1.- Conclusiones

Se dieron fuertes cambios estacionales en la bahía, tanto de origen natural” como antropogénico (cultivos de arroz, trabajos en los viveros, etc.).

Se destaca la importancia de los gradientes de salinidad, es decir de agua dulce y aguas marinas que conforman el sistema acuático en la bahía.

Se detecto la gran relevancia de los aportes de nutrientes inorgánicos disueltos en agua dulce, procedentes de los canales de desagüe de los arrozales a la bahía. En este aspecto, la bahía del Fangar sería un sistema muy singular y único. El Fangar podría considerarse una bahía “oasis” (con altas productividades), que se comporta como un estuario semi-cerrado respecto a las condiciones marinas mediterráneas de la zona. Gracias a ello, se desarrolla una importante actividad de miticultura.

Nuestros resultados apuntan a que la bahía se comportaría como un estuario, con períodos de gran dinamismo y otros más estáticos, estas desviaciones vendrían dadas por los aportes de agua dulce, factores meteorológicos y oceanográficos en las diferentes épocas del año.

Se establecieron cambios a lo largo del año en las condiciones de salinidad y temperatura, nutrientes y biomasa, que son más acusados respecto a los que se observan en mar abierto, lo cual confirma un gran dinamismo, apoyando esta conclusión están los estudios de Salat *et al.* (1978), Cruzado *et al.* (2002), Salat *et al.* (2002) y Solé *et al.* (2009).

Se consideran que las variaciones de temperatura, salinidad y otros factores son más importantes en las bahías del Mediterráneo (comparadas con las del Atlántico y otros océanos), debido al bajo impacto de las fuerzas de marea.

En general que las autocorrelaciones obtenidas en este estudio, tanto negativas, como positivas, y que muchas veces estas (autocorrelaciones) no alcancen niveles significativos, nos sugirió que no hay ciclos claros para algunos parámetros, nos

muestran ciclos irregulares, sin periodicidad, pero que probablemente se repiten año tras año, en las mismas épocas.

Se encontraron diferencias en el tiempo medio de permanencia del agua dulce en la bahía, que indican que el tiempo de residencia en la bahía durante algunos períodos oscilaría entre 3 y 6 días, cuando las influencias de tipo meteorológico o de mareas son mínimas.

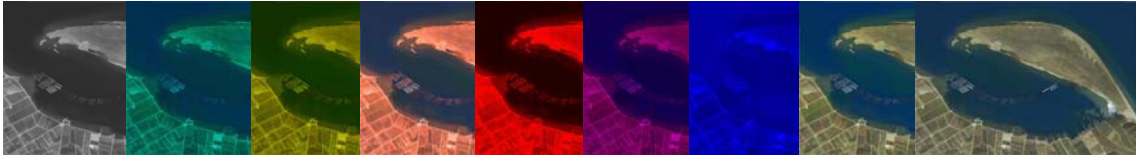
Probablemente se producen cambios constantes en el tiempo de residencia, alternando entre situaciones de mezcla vertical (vientos) que reflejan una situación de incremento de flujo horizontal y situaciones más estables en las que predomina la estratificación (potenciada por la mayor entrada de agua dulce en superficie).

Se sugiere que, tanto el fósforo como el nitrógeno (y no exclusivamente el nitrógeno), son limitantes para la producción de fitoplancton en la bahía de El Fangar.

Los valores medios de clorofila-a en la bahía de El Fangar son un orden de magnitud mayores a los valores promedio que se encuentran en el Golfo de la Ampolla y el Mar Catalán.

Proponemos modelos mixtos para las oscilaciones de los parámetros clorofila-a y “clorofilas totales”, que son estadísticamente robustos y que permiten conocer las relaciones entre los parámetros bióticos y abióticos medidos en la bahía y explicar las variaciones de la clorofila-a y “clorofilas totales”.

## CAPÍTULO VI



## RECOMENDACIONES



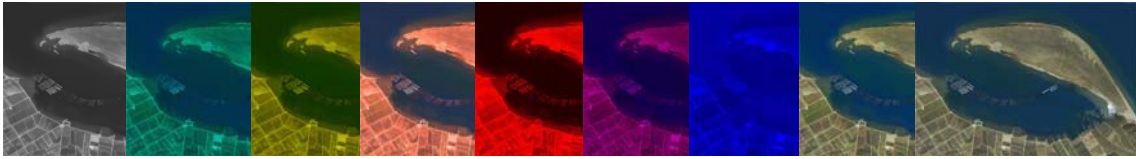
## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio actualizado y meticuloso de los flujos de agua y nutrientes desde los arrozales a la bahía y desde los canales de regadío a los campos de arroz. Completándolo con un mapa detallado de los puntos de vertido a la bahía.
2. Realizar un estudio profundo y completo de las aguas freáticas (en especial del margen izquierdo del delta) y sus flujos hacia la bahía, disponiendo así de nuevos parámetros explicativos del funcionamiento de la bahía y de todo el sistema deltaico.
3. Realizar un estudio detallado de las corrientes de la bahía de El Fangar, en diferentes épocas del año y levantar un nuevo mapa batimétrico de la bahía.
4. También sería de interés el incluir datos de productividad en la bahía, así como datos de consumo de fitoplancton por parte de las especies cultivadas en la bahía.
5. Sería muy importante e interesante el contar con una serie de datos a más largo plazo, para tener un conocimiento más detallado de las variaciones interanuales.
6. En futuros trabajos, los modelos propuestos pueden aprovecharse y verse mejorados con la introducción de nuevas vías de estudio. Por ejemplo, se podrían agregar al modelo variables meteorológicas, observando el aporte de estas a la robustez del mismo, así como a la explicación estacional del modelo.



# BIBLIOGRAFÍA







## Bibliografía

- Akaike, H.** 1987. Factor analysis and AIC. *Psychometrika*, 52, 317-332.
- Aminot, A. & F. Rey.** 2000. Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods. International Council for the Exploration of the Sea. From: *Techniques in Marine Environmental Sciences*. Dinamarca. 17 pp.
- Aragón, J.** 1943. Salinidad del agua del Ebro en sus estiajes. *Inf. Tecn. Instituto Nacional de Colonización*. Tortosa, 43 pp.
- Badr, E.A., Tappin, A. & E. Achterberg.** 2008. Distributions and seasonal variability of dissolved organic nitrogen in two estuaries in SW England. *Marine Chemistry* 110: 153 – 164.
- Barceló, J., Rodrigo, G., Sabater, B. & R. Sánchez.** 1980. *Fisiología Vegetal*. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid. 750pp.
- Bastida, I., Mestres, M., Movellán, E., Sierra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., Flos, J. y González del Río, J.** 1998. Relations between the slopes of the free-surface, brackish interface and river bottom, and the hydrodynamics of the river and coast conditions in the Ebre river estuary. In *Littoral '98; European Coastal Association for Science and Technology Proceedings. Fourth International Conference Sustainable Waterfront and Coastal Developments in Europe: Socioeconomics, Technical and Environmental Aspect*. J.L. Monsó Ed. Pag.; 333 – 340.
- Bendschneider, K. & R. J. Robinson.** 1952. A new spectometric method for the determination of nitrite in the sea water. *J. Mar. Res.* 11: 87 – 96.
- Billington N.** 1991. A Comparison of Three Methods of Measuring Phytoplankton Biomass on a Daily and Seasonal Basis. *Hydrobiologia*, 226: 1-15.
- Bio-Rad Laboratories.** 1985. *Bio-Rad Protein Assay Instruction Manual*, Bio-Rad Laboratories, Richmond, CA.
- Bjørnstad, O., N. Stenseth & T. Saito.** 1999. Synchrony and scaling in dynamics of voles and mice in northern Japan. *Ecology*. 80 (2): 622 – 637.
- Bradford, M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principal protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 254 – 284.
- Bricker, S.B., Longstaff, B., Dennison, W., Jones, A., Boicourt, K., Wicks, C., Woerner, J.** 2008. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. *Harmful Algae*. 8: 21 – 32.
- Callís, L., Sánchez-Arcilla, A., García, M., Monsó, J., Collado, F., Álvarez, E. & A. Lopresti.** 1988. Anàlisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre: *Estudio Morfológico, LT-2/4, DGPC, Generalitat de Catalunya*. 240pp.

- Cameron, W. M. & D. W. Pritchard.** 1963. Estuaries. In M. N. Hill (editor): *The Sea* vol. 2, John Wiley and Sons, New York, 306 - 324.
- Camp, J.** 1991. Production-consumption budget in an estuarine bay: how anoxia is prevented in a torced system. *Oecologia Aquática*, 10: 145 – 152.
- Camp, J.** 1994. Aproximaciones a la Dinámica Ecológica de una Bahía Mediterránea. Memoria para optar al grado de Doctor en Biología. Universidad de Barcelona. 245 pp.
- Camp, J., Delgado, M., Delgado, O., Pérez, M. & M. Vidal.** 1985. Algunes idees sobre el model de producció a las radies del Delta de l'Ebre. *Treb. Soc. Cat. Biol.* 37: 65 -68.
- Camp, J. & M. Delgado.** 1987. Hidrografías de las bahías del delta del Ebro. *Investigación Pesquera*. 51 (3): 351 – 369.
- Casanova, D.** 1998. Quantifying the effects of land conditions on rice growth: a case study in the Ebro delta (Spain) using remote sensing. Editorial Gràfiques Pacific, Barcelona. 219 pp.
- Castilla, J. C., N. A. Lagos, R. Guíñez & J. L. Largier,** 2002. Embayments and nearshore retention of plankton: the Antofogasta Bay and other examples. In: *The Oceanography and Ecology of the Nearshore and Bays in Chile*, J. C. Castilla and J. L. Largier (editors), Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 179-203.
- Chatfield, C.** 1989. *The analysis of time series*. Chapman and Hall. London. 288 pp.
- Cloern, J.** 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 210: 223 – 253.
- Cnaan, A., N. Laird & P. Slasor.** 1997. Using the general linear mixed model to analyse unbalanced repeated measures and longitudinal data. *Statistics in Medicine*, Vol. 16: 2349 – 2380.
- Comín, F.** 1999. Management of the Ebro river basin: Past, Present and future. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 40 N° 10: 161 – 168.
- Comín, F.** 1987. Las lagunas costeras del delta del Ebro: Un paradigma de la influencia de sistemas agrícolas sobre medios naturales. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: en Seminario sobre Bases Científicas para la Protección de los Humedales en España.* 257 – 267.
- Comín, F.** 1986. The coastal lagoons of the Ebro Delta: a paradigm of the human influence on the ecology of coastal lagoons through uncontrolled agriculture sewage. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 30 (3): 48.
- Comín, F.** 1981. *Limnología comparada de las lagunas costeras del delta del Ebro*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.

**Comín, F., M. Menéndez & E. Forés.** 1987. Salinidad y nutrientes en las lagunas costeras del Delta del Ebro. *Limnética* 3: 1 – 8.

**Comín, F., M. Menéndez & M. Martín.** 1991. Short-term effects of decreasing water discharge on the chemical and biological characteristics of eutrophic coastal lagoons. *Ecosystem Research in Freshwater Environment Recovery*, 3<sup>rd</sup> International Workshop, Pallanza 26-29 September 1990. Giussani, G., Liere, L. Van Moss, B. Eds. Verbania Pallanza Italy CNR Instituto Italiano Idrobiologia Vol. 48: 9 – 22.

**Contreras, F., Castañeda, O., García-Nagaya, A. & F. Gutiérrez.** 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras Mexicanas. *Journal of Tropical Biology*. Volumen 44 – 2. 10 pp.

**Cruzado, A., Velásquez, Z., Pérez, M. C., Bahamón, N., Grimaldo N. & F. Ridolfi.** 2002. Nutrient fluxes from the Ebro River and subsequent across-shelf dispersion. *Continental Shelf Research*, 22: 349–360.

**Cuadras, C. M.** 1981. *Métodos de Análisis Multivariante*. Editorial Universitaria de Barcelona S.A. 642 pp.

**Davidian, M. & D. Giltinan.** 1995. *Nonlinear models for repeated measurement data*. Monographs on statistics and applied probability. Chapman y Hall Ed. 359 pp

**Day, J.W., Martin, J., Cardoch, L. & Templet, P.** 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25: 115 – 153pp.

**De Pedro, X.** 2007. “Situacions d’anoxia en zones estuàriques sense forçament mareal: una aproximació als balanços producció/consum d’oxigen”. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 411pp.

**Delgado, M.** 1986. *Fitoplancton de las bahías del Delta del Ebro. Relación plancton-bentos*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 261 pp.

**Delgado, M. & J. Camp.** 1987. Abundancia y distribución de nutrientes inorgánicos disueltos en las bahías del delta del Ebro. *Investigación Pesquera*. 51 (3): 427 - 441.

**Devlin, R.** 1976. *Fisiología Vegetal*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 517pp.

**Díaz, R. & R. Rosenberg.** 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 33: 245-303.

**Diggle, P.** 1996. *Time Series: A Biostatistical Introduction*. Oxford Statistical Science Series – 5. Oxford University Press. 257 pp.

**Dussart, B.** 1966. *Limnology: Study of inland waters*. Ed. Gauthier-Villars, Paris. 676 pp.

**Dyer, K.** 1979. Estuaries and estuarine sedimentation. Cambridge University Press, Cambridge, 230pp.

**El Halimi, R.** 2005. Nonlinear Mixed-effects Models and Nonparametric Inference. A Method Based on Bootstrap for the Analysis of Non-normal Repeated Measures Data in Biostatistical Practice. Tesis presentada para optar al grado de Doctor en Matemáticas. Departamento de Estadística. Universitat de Barcelona. 247pp.

**Espino, M., A. Sánchez-Arcilla & M. A. García.** 1998. Wind induced mesoscale circulation off the Ebro delta, NW Mediterranean: a numerical study. *Journal of Marine Systems*. N<sup>o</sup>16, 235 – 251.

**Estrada, M.** 1981. Biomasa fitoplanctónica y producción primaria en el Mediterráneo Occidental, a principios de otoño. *Investigación Pesquera*, 45; 1, 211 – 230.

**Everitt, B.** 1994. A handbook of statistical analysis using S-Plus. Chapman and Hall. London.

**Falco, S., Niencheski, L., Rodilla, M., Romero, I., González del Río, J., Sierra, J.P. & C. Mösso.** 2010. Nutrient flux and budget in the Ebro estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 87: 92 – 102.

**Feo, M. L., Ginebreda, A., Eljarrat, E. & D. Barceló.** 2010. Presence of pyrethroid pesticides in water and sediments of Ebro River Delta. *Journal of Hydrology*, 393: 156 – 162.

**Fernández, J., Camp, J. & F. Comín.** 1997. Los Medios Acuáticos del Ebro y su Capacidad de Producción. *Revista de Obras Públicas. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil*. N<sup>o</sup> 3.368. Pág. 67 – 71.

**Flos, R., F. Castelló, M. Palau, J.A. Peitx, F. Sardà & L. Tort.** 1986. L' Aqüicultura Marina a la Circumscripció de Barcelona. *Estudis i Monografies. Diputació de Barcelona. Servei d' Agricultura i Ramaderia*. 139 pp.

**Forès, E.** 1989. Ricefield as filters. *Arch. Hydrobiol.* 116(4): 517 – 527.

**Forès, E. & F. Comín.** 1986. Características limnológicas de los arrozales del delta del Ebro (N.E. España). *Oecologia aquatica*, N<sup>o</sup>8: 39 – 45.

**Forès, E. & S. González.** 1988. Heterogeneidad espaciotemporal del sedimento de los arrozales del delta del Ebro (NE de España). *Oecologia aquatica*, N<sup>o</sup>9: 125 – 135.

**Franquet, J.M.** 2009. El Caudal Mínimo Medioambiental del Tramo Inferior del Río Ebro. UNED – Tortosa. 342 pp.

**Gabriel, K. R.** 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biométrica* 58: 453 – 467.

**Gabriel, K. R. & C. Odoroff.** 1990. Biplots in biomedical research. *Statistics in Medicine* 9: 469 – 485.

**García, M. A.** 1982. Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el delta del Ebro. Estudio de la velocidad escalar. *Investigación Pesquera*, 46; 3, 349 – 377.

**Giménez, A., Gutiérrez, M. & M. J. Ibáñez.** 1984. El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. 217 pp.

**Goldstein, H.** 1986. Multilevel covariance component models. *Biometrika* (1987) 74(2): 430-431.

**Gordoa, A., Illas, X., Cruzado, A. & Z. Velásquez.** 2008. Spatio-temporal patterns in the north western Mediterranean from MERIS derived chlorophyll a concentration. *Scientia Marina*, 72(4): 757 – 767.

**Grasshoff, K.** 1964. Zur bestimmung von nitrat in Mer-Und Trinkwasser. *Kieler Meereforsch* 20(1): 5 – 11.

**Grasshoff, K., Ehrhardt, M. & K. Kremling.** 1983. Methods of seawater analysis. (2<sup>nd</sup> ed.). Verlag Chemie GMBH. Weinheim. 419 pp.

**Guillén, J.** 1992. Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluviales y litoral del Delta del Ebro. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 584pp.

**Guo, H. & R. Savickas.** 2010. Relation between time-series and cross-sectional effects of idiosyncratic variance on stock returns. *Journal of Banking & Finance* 34: 1637–1649.

**Hofrichter, R.** 2004. El Mar Mediterraneo: Fauna, flora y ecología. Volumen I: Parte general. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 592 pp.

**Huguet i Sesma, A.** 1991. Catàleg de les 125 Principals Espècies D'interès Pesquer a Catalunya. Generalitat de Catalunya. Departament d' Agricultura, Ramaderia i Pesca. 282 pp.

**Iberinsa.** 1992. Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación. Comunidad general de regantes del canal de la derecha del Ebro. Comunidad de regantes - Sindicato agrícola del Ebro.

**Instituto Nacional de Meteorología.** Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1991); Tortosa, Observatorio Meteorológico del Ebro. Ministerio de obras publicas, Transportes y Medio Ambiente. Centro de publicaciones. Secretaría general técnica.

**Jeffrey, S.W. & G. Humphrey.** 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*. 167: 191 – 194.

- Jiménez, J.** 1996. Evolución costera en el delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio. Memoria para optar al título de Doctor en Ciencias del Mar. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. 255 pp.
- Jiménez, J.** 2002. Ingeniería de Costas - Test n. 03. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 5 pp.
- Jiménez, J., Sánchez-Arcilla, A., Bou, J. & M.A. Ortiz.** 1997. Analysing short-term shoreline changes along the Ebro delta (Spain) using aerial photographs. *Journal of Coastal Research*, Volumen 13: 1256 - 1266.
- Johnson, D.** 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Editores, S. A.. 566 pp.
- Kennedy, V.** 1982. Estuarine Comparisons. Academic Press, Inc.. 709 pp.
- Kennish, M.** 1986. Ecology of Estuaries. Vol. I: Physical and chemical aspects. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. USA. 254pp.
- Köck, M., Farré, M., Martínez, E., Gadja-Schranz, K., Ginebreda, A., Navarro, A., López de Alda, M. & D. Barceló.** 2010. Integrated ecotoxicological and chemical approach for the assessment of pesticide pollution in the Ebro River delta (Spain). *Journal of Hydrology*, 383: 73 – 82.
- Kwan Wong, C. & C. Kim Wong.** 2003. HPLC pigment analysis of marine phytoplankton during a red tide occurrence in Tolo Harbour, Hong Kong. *Chemosphere* 52: 1633–1640.
- Lacombe, H. & C. Richez.** 1982. The regime of the Straits of Gibraltar. En: *Hydrodynamics of Semi-enclosed Seas*. Editor J.C. Nihoul. Elsevier, Amsterdam. 13 – 73.
- Laird, N. & J. Ware.** 1982. Random-Effects Models for Longitudinal Data. *Biometrics* 38: 963 – 974.
- Largier, J., Hollibaugh, J.T. & S. Smith.** 1997. Seasonally hypersaline estuaries in Mediterranean-climate regions. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 45: 789 - 797.
- Legendre, L. & P. Legendre.** 1979. *Écologie numérique. Tome 2; La structure des données écologiques*. Masson S.A., Paris et les Presses de l'Université du Québec. 254 pp.
- Lehman, P.** 1981. Comparison of chlorophyll a and carotenoid pigment as predictors of phytoplankton biomass. *Marine Biology*. N° 65: 237 – 244.
- Lewontin, R.C.** 2006. Comentary: Statistical análisis or biological análisis as tools for understanding biological causes. *Internacional Journal of Epidemiology*. 35: 536 – 537.

**Llebot, C., Spitz, Y., Solé, J. & M. Estrada.** 2010. The role of inorganic nutrients and dissolved organic phosphorus in the phytoplankton dynamics of a Mediterranean bay A modeling study. *Journal of Marine Systems*, 83: 192 – 209.

**Llebot, C., Solé, J., Delgado, M., Fernández-Tejedor, M., Camp, J. & M. Estrada.** 2011. Hydrographical forcing and phytoplankton variability in two semi-enclosed estuarine bays. *Journal of Marine Systems*, 86: 69 – 86.

**López, J. & P. Arté.** 1973. Hidrografía y fitoplancton del puerto del Fangar (delta del Ebro). *Investigación Pesquera*. 37 (1): 17 – 56.

**Lorenzen, C.J. & S. Jeffrey.** 1980. Determination of chlorophyll in sea water. *UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci.* 35. 20pp.

**Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M. & S. Heussner.** 2009. River discharges of water and nutrient to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades?. *Progress in Oceanography*. 80: 199 – 217.

**McCarthy, J., Taylor, W. & J. Taft.** 1977. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. In *Marine Chemistry in the Coastal Environment*. Am. Chem. Soc. Symp. 664 – 681.

**Maldonado, A.** 1972. El delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico. *Bol. Estratig.* 1. Universidad de Barcelona, 486pp.

**Maldonado, A.** 1977. Introducción geológica al delta del Ebro. En: *Els sistemes naturals del delta d' Ebre*. Institució Catalana d' Història Natural. Institut d' Estudis Catalans Ed. Pag. 7 – 45.

**Mann, K.** 1985. *Ecology of Coastal Waters: A Systems Approach*. Studies in Ecology. Volume 8. Blackwell Scientific Publications. Oxford . London. 322 pp.

**Mardia, K.V., Kent, J.T. & J. Viví.** 1979. *Multivariate Análisis*. Academic Press, London. 521 pp.

**Margalef, R.** 1974. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona. 951 pp.

**Margalef, R.** 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.

**Meléndez, G. & E. Peñalver.** 2002. El patrimonio paleontológico de Teruel. Jornadas sobre el patrimonio de la provincia de Teruel. *Paleontología* (1ª: Rubielos de Mora: 2002). Teruel: Instituto de Estudios Turolenses. 447 pp.

**Menéndez, M., Martínez, M. & F. Comín.** 2001. A comparative study of the effect of pH and inorganic carbon resources on the photosynthesis of three floating macroalgae species of a Mediterranean coastal lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 256: 123 – 136.

**Molinero L. M.** 2004. Análisis de series temporales. *Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión. Ajuste*. 1: 1 – 8.



**Morris, A.W. & J.P. Riley.** 1963. The determination of nitrate in sea water. *Analytica Chimica Acta* 29: 272 – 279.

**Morris, A.W., Bale, A.J. y Howland, R.J.** 1981. Nutrient distributions in an Estuary: Evidence of chemical precipitation of dissolved silicate and phosphate. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 12: 205 – 216.

**Movellán, E., I. Bastida, J.P. Sierra, J.G. del Río, A. Rodríguez, S.F. Giacaglia, I.R. Gil, J. Flos, A. Sánchez-Arcilla & J.M. Velasco.** 1998. Behaviour of nutrients in the water column in the estuarine zone of the Ebro river during continuous sampling. In *Littoral '98; European Coastal Association for Science and Technology Proceedings. Fourth International Conference Sustainable Waterfront and Coastal Developments in Europe: Socioeconomics, Technical and Environmental Aspect*. J.L. Monsó Ed., Pag. 51 – 58.

**Muñoz, I.** 1998. Carbono, nitrógeno y fósforo en la parte baja del río Ebro y en los canales de riego del Delta. *Oecologia Aquatica*. Nº11: 23 – 53.

**Muñoz, I.** 1990. Limnología de la part baixa del riu ebre i els canals de reg: els factors físico-químics, el fitoplancton i els macroinvertebrats bentònics. Tesis para la postulación al grado de doctor. Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona.

**Muñoz, I. & N. Prat.** 1989. Effects of river regulation on the lower Ebro river (NE Spain). *Regulated Rivers: Research & Management*. Vol 3: 345 - 354.

**Muñoz, I. & N. Prat.** 1994. Macroinvertebrate community in the lower Ebro river (NE Spain). *Hydrobiología*, Nº 286: 65 - 78.

**Murphy, J. & J.P. Riley.** 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*. 27: 31-36.

**Murray, A., Gibbs, C. & A. Longmore.** 1986. Determination of Chlorophyll in Marine Waters: Intercomparison of a rapid HPLC method with full HPLC, Spectrophotometric and Fluorometric methods. *Marine Chemistry*, Nº 19: 211 – 227.

**Nixon S. W., Oviatt C. A., Frithsen, J. & B. Sullivan.** 1986. Nutrients and the productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *Journal of the Limnological Society of Southern Africa*, Volume: 12 (1-2); 43-71.

**Nixon, S.W.** 1995. Coastal Marine Eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199 – 219.

**Ollero, A.** 1996. El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos. Zaragoza: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (Serie: Investigación; 4). 311 pp.

**Pacheco, P.** 2008. Análisis Estadístico de Datos de Contaminación Ambiental del Lago de Valencia. Trabajo de Grado para Magíster en Modelos Aleatorios. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Matemática. 135 pp.

**Pardo, I., Álvarez, M., Delgado, C., García, L. y P. Lucena.** 2007. Implementación de la DMA en Baleares: evaluación de la calidad ambiental de las masas de agua epicontinentales utilizando indicadores e índices biológicos. Tomo I: Torrentes (Informe Técnico). Universidad de Vigo. 302 pp.

**Parson, T., Maita, Y. & C. M. Lalli.** 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawaters Analysis. Pergamon Press Ltd.. 173pp.

**Peña, D..** 2002. Análisis de datos multivariantes. Ed. McGraw-Hill, Madrid. 539 pp.

**Percival, D. & A. Walden.** 2000. Wavelet Methods for Time Series Analysis. Cambridge, England: Cambridge University Press. 594 pp.

**Pérez, M. & J. Camp.** 1986. Distribución espacial y biomasa de las fanerógamas marinas de las bahías del delta del Ebro. Investigación Pesquera. 50 (4): 519 - 530.

**Peterson, D., Smith, R., Hager, S., Harmon, D., Herndon, R. & Schemel, L.** 1985. Interannual variability in dissolved inorganic nutrients in Northern S. Francisco Bay Estuary. Hydrobiologia 129: 37 – 58.

**Pinheiro, J. & D. Bates.** 2000. Mixed – effects models in S and S-plus. Springer Ed. 528 pp.

**Raftery, A.E..** 1986. Choosing Models for Cross-classifications. American Sociological Review 51:145-146.

**Ramón, M., Fernández, M. & E. Galimany.** 2007. Development of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) seed from two different origins in a semi-enclosed Mediterranean Bay (N.E. Spain) Aquaculture 264: 148–159.

**Reverdin, G., Durand, F., Mortensen, J., Schott, F., Valdimarsson, H. and W. Zenk.** 2002. Recent changes in the surface salinity of the North Atlantic subpolar gyre. Journal of Geophysical Research. Volumen 107, N° 12: 1 – 9.

**Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B. & P. Jiménez.** 2005. Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. Acta Biológica Colombiana. Volumen 10, N° 2; 95 – 103.

**Rosel, J..** 2003. Modelos de regresión multinivel. Seminari del Departament d'Estadística i Investigació Operativa. Universitat Politècnica de Catalunya. 3 pp.

**Sáez, M..** 2001. El problema de las medidas repetidas. Análisis longitudinal en epidemiología. Gaceta Sanitaria; Volumen 15, N° 4: 347-352.

**Saito, T., O. Bjørnstad & N. Stenseth.** 1999. Density dependence in voles and mice: a comparative study. Ecology. 80 (2): 638 – 650.

- Salat, J., Manríquez, M. & A. Cruzado.** 1978. Hidrografía del golfo de Sant Jordi. Campaña «Delta» (Abril 1970). *Investigación Pesquera*. 42 (2): 255 – 272.
- Salat, J., García, M., Cruzado, A., Palanques, A., Arín, L., Gomis, D., Guillén, J., de León, A., Puigdefábregas, J., Sospedra, J. & Z. Velásquez.** 2002. Seasonal changes of water mass structure and shelf slope exchanges at the Ebro Shelf (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research* 22. 327 – 348.
- Sánchez-Arcilla, A., J. A. Jiménez, M. J. F., Stive, C. Ibañez, N. Pratt, J. W. Day Jr. y M. Capobianco.** 1996. Impacts of sea-level rise on the Ebro Delta: a first approach. *Ocean & Coastal Management*, Vol. 30, N° 2-3, pp: 197-216.
- Schervish, M.** 1996. P Values: What They Are and What Are Not. *The American Statistician*. Vol. 50, N° 3: 203 – 206.
- Schubel, J.R. & H.H. Carter.** 1983. The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: Kennedy, V.S., Editor, 1983. *The estuary as a filter*, Academic Press, New York. Pp 81–105.
- Seber, G. A. F.** 1984. *Multivariate Observations*. Wiley & Sons, New Jersey. 695 pp.
- Serra, P., Moré, G. & X. Pons.** 2007. Monitoring winter flooding of rice fields on the coastal wetland of Ebre delta with multitemporal remote sensing images. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS, Barcelona*, pág: 1 – 4.
- Setchell, F.** 1981. Particulate protein measurement in oceanographic samples by dye binding. *Marine Chemistry*. 10: 301 – 313
- Sferratore, A., Billen, G., Garnier, J., Smedberg, E., Humborg, C., Rahm, L.** 2008. Modelling nutrient fluxes from sub-arctic basins: comparison of pristine vs. dammed rivers. *Journal of Marine Systems*. 73: 236 – 249.
- Sherrard, N., Nimmo, M. & C. Llewellyn.** 2006. Combining HPLC pigment markers and ecological similarity indices to assess phytoplankton community structure: An environmental tool for eutrophication?. *Science of the Total Environment* 361: 97–110.
- Shinn, M.B.** 1941. Colorimetric method for determination of nitrite. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 13 (1): 33 – 35.
- Sierra, J.P., González del Río, J., Flos, J., Sánchez-Arcilla, A., Movellán, E., Rodilla, M., Mösso, C., Martínez, R., Falco, S., Romero, I. & M.J. Velasco.** 2001. Medición de parámetros físicos, biológicos y químicos en el tramo estuarino del río Ebro. *Ingeniería del Agua; Volumen 8, N°4*: 459 – 468pp.
- Sleeman, J.C., Meekan, M., Fitzpatrick, B., Steinberg, C., Ancel, R. & C.J. Bradshaw.** 2010. Oceanographic and atmospheric phenomena influence the abundance of whale sharks at Ningaloo Reef, Western Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 382 (2010) 77–81.

**Solé, J., Turiel, A., Estrada, M., Llebot, C., Blasco, D., Camp, J., Delgado, M., Fernández-Tejedor, M. & J. Diogène.** 2009. Climate forcing on hydrography of a Mediterranean bay (Alfacs Bay). *Continental Shelf Research*, 29: 1796 – 1800.

**Solorzano, L.** 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799-801.

**Sterne, J. & G. Smith.** 2001. Sifting the evidence—what's wrong with significance tests? Another comment on the role of statistical methods. *BMJ*; Volumen 322: 226 – 231.

**Strickland, J. & T. Parson.** 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Res. Board of Canada, Ottawa, 310 pp.

**Tappin, A.** 2002. An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 885 – 901.

**Torrecilla, N., Galve, J., Zaera, L., Retamar, J. & A. Álvarez.** 2005. Nutrient sources and dynamics in a mediterranean fluvial regime (Ebro river, NE Spain) and their implications for water management. *Journal of Hydrology*, 304: 166 – 182.

**Uncles, R. & R. Lewis.** 2001. The transport of fresh water river to coastal zone through a temperate estuary. *Journal of Sea Research*. 46: 161 – 175.

**UNESCO.** 1969. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. *Monographs on oceanographic methodology* 1. 66pp.

**UNESCO.** 1980. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. *Monographs on oceanographic methodology* 1. 66pp.

**Urbano, P.** 1995. *Tratado de Fitotecnia General*. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. 895pp.

**Valiela, I.** 1984. Nutrient cycles: phosphorus, nitrogen and sulphur. En: *Marine Ecological Processes* Ch. 11. D.E. Reichle ed. Springer-Verlag, New York: 312 – 341.

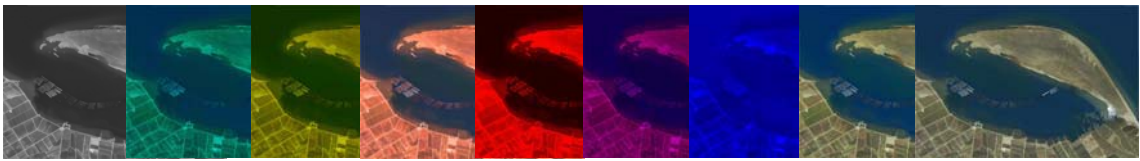
**Valiela, I.** 1995. *Marine Ecological Processes*. Segunda Edición. Springer-Verlag Editores, New York, Inc. 686 pp.

**Venables, W. & B. Ripley.** 1999. *Modern applied statistics with S-plus*. 3<sup>rd</sup> Edition. Springer – Verlag. New York. 501 pp.

**Verbeke, G. & G. Molenberghs.** 2000. *Linear mixed models for longitudinal data*. Springer-Verlag Ed. 568 pp.

**Vidal, M., Romero, J. & J. Camp.** 1989. Sediement-water nutrient fluxes: Preliminary results of in situ measurement in Alfaques Bay, Ebro River Delta. *Scientia Marina*, 53 (2-3): 505 – 511.

- Vidal, M., Morgu, J., Latasa, M., Romero, J. & J. Camp.** 1992. Factors controlling spatial variability in ammonium release within and estuarine bay (Alfacs Bay, Ebro Delta, NW Mediterranean). *Hidrobiologa*, 235 / 236: 519 - 525.
- Vidal, M., Morgu, J., Latasa, M., Romero, J. & J. Camp.** 1997. Factors controlling seasonal variability of benthic ammonium releaser and oxygen uptake in Alfacs Bay (Ebro Delta, NW Mediterranean). *Hydrobiologia*, 350: 169 – 178.
- Vonesh, E. & V. Chinchilli.** 1997. Linear and nolinear models for the analysis of repeated measurements. Marcel Dekker, Inc. Ed.. New York. 560 pp.
- Wiley, M.** 1976. Estuarine Processes. Volume I: Uses, Stresses and Adaptation to the Estuary. Academic Press Inc. 541 pp.
- Wilks, S.** 1938. The large\_sample distribution of the likelihood ratio for testing composite hypotheses. *Ann. Math. Stat.*, 9: 60 – 62.
- Williams, J.** 1962. Oceanography: An introduction to the Marine Science. Little, Brown & Company. Boston. 242 pp.
- Wood, E.D., Armstrong, F.A.J. & F.A. Richards.** 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium-cooper reduction to nitrite. *Journal Marine Biological Association (United Kingdom)* 47: 23 – 31.



## **ANEXO FIGURAS**



# **Anexo I Figuras**

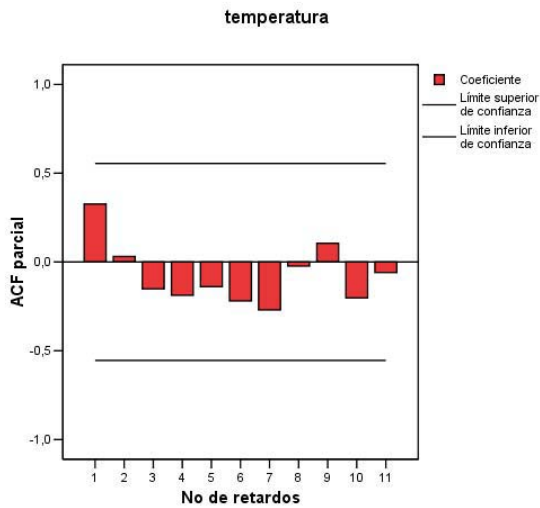
## **Capítulo III. 3b**

### **Análisis de Autocorrelación; Figuras no significativas**

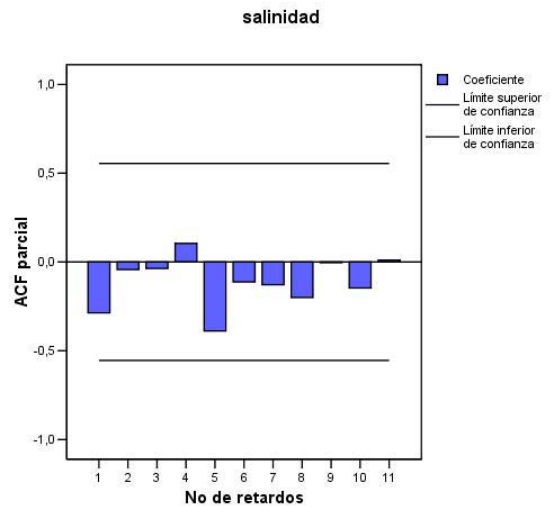
(Gráficos: Función de autocorrelación (total y parcial) contra N° de retardos)



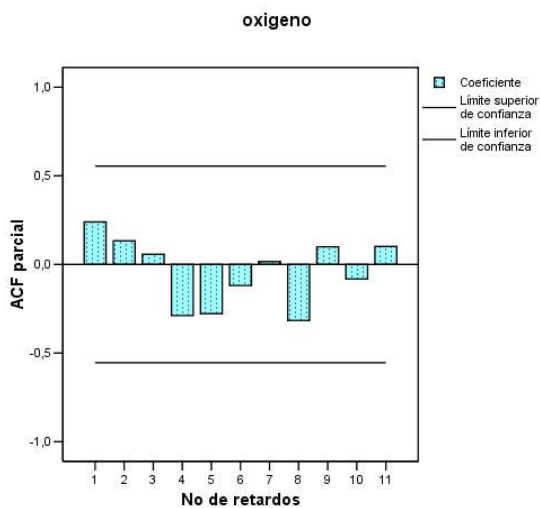




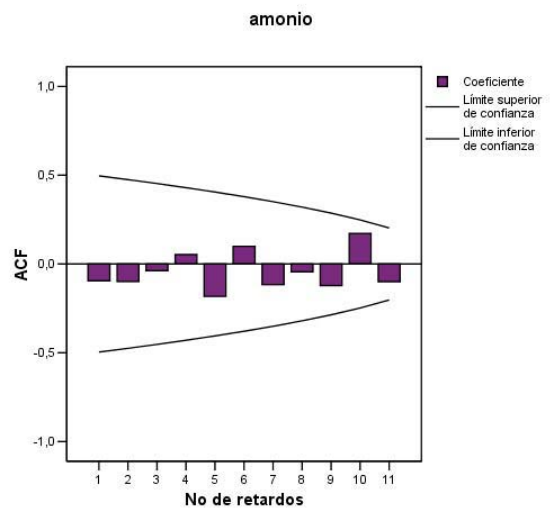
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para temperatura.**



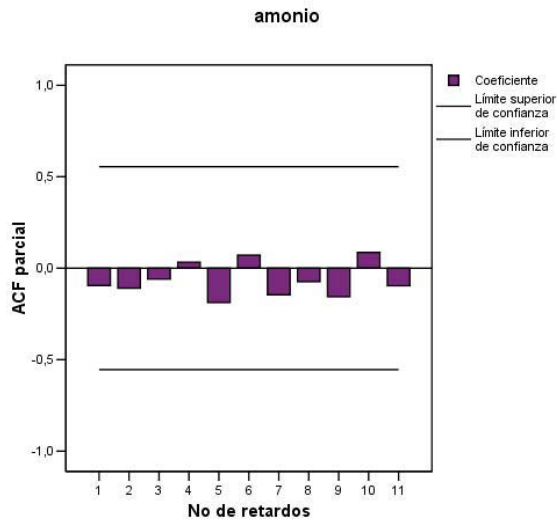
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para salinidad.**



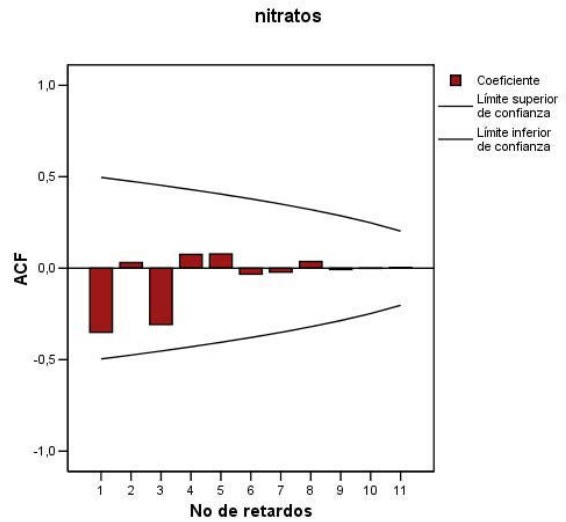
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para oxígeno.**



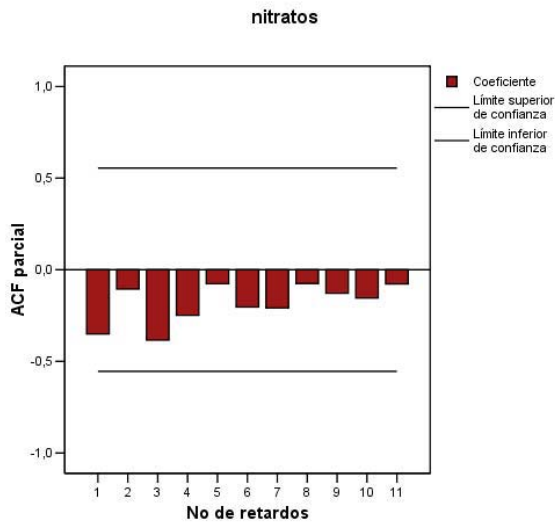
**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para amonio.**



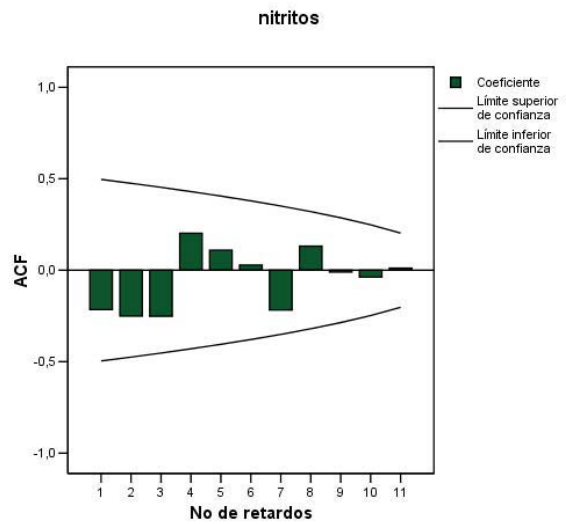
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para amonio.**



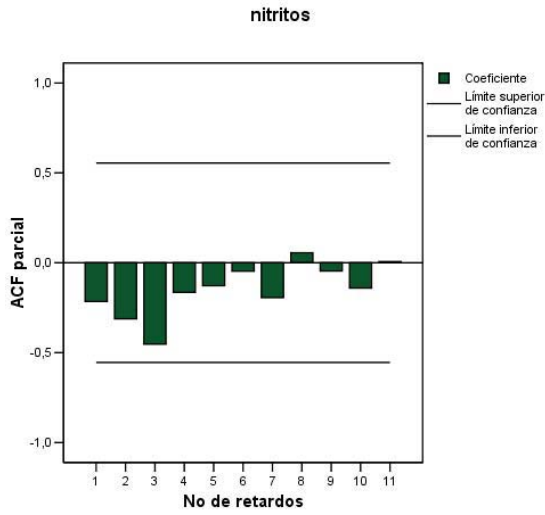
**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para nitratos.**



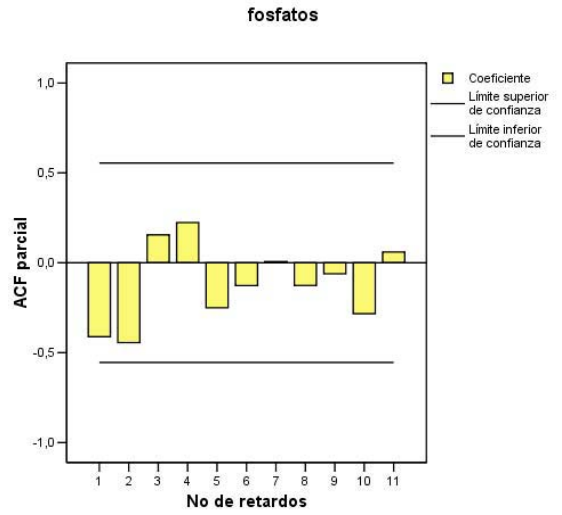
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para nitratos.**



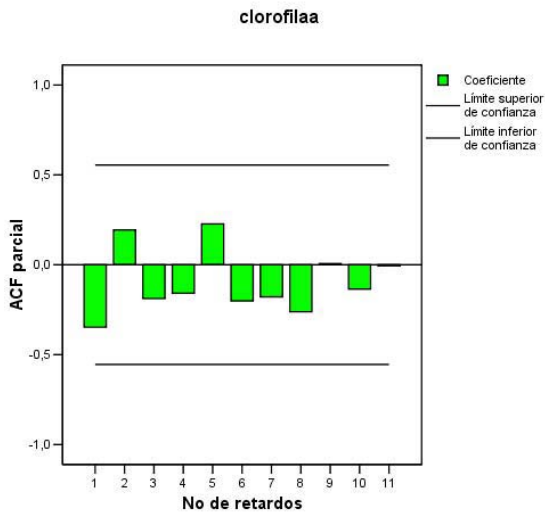
**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para nitritos.**



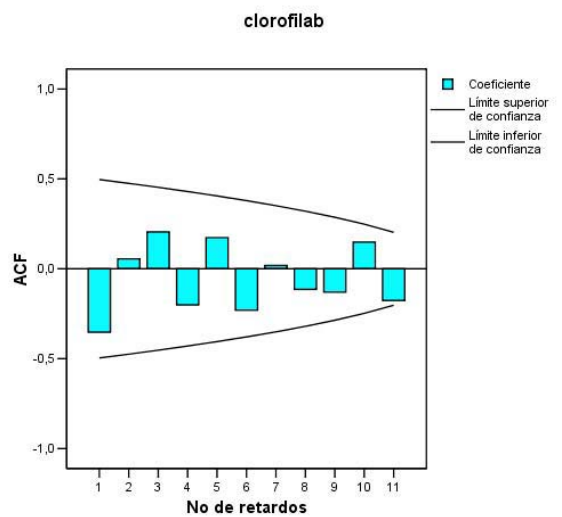
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para nitritos.**



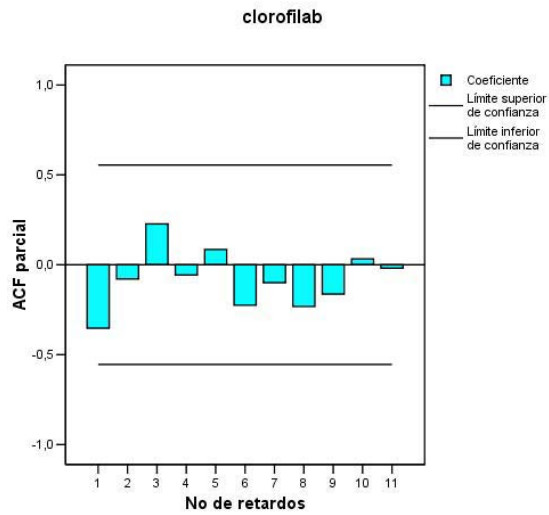
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para fosfatos.**



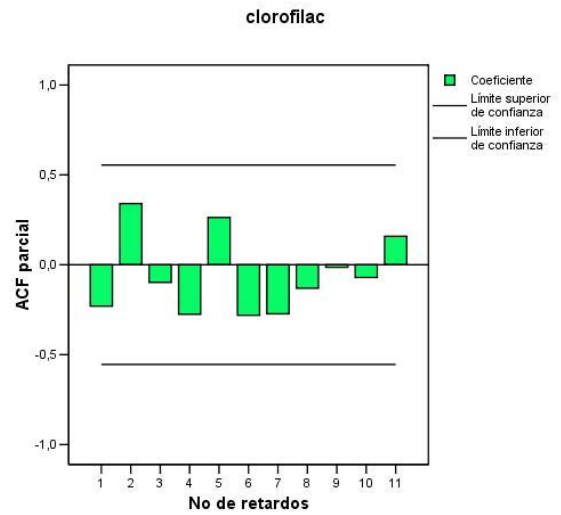
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para clorofila-a.**



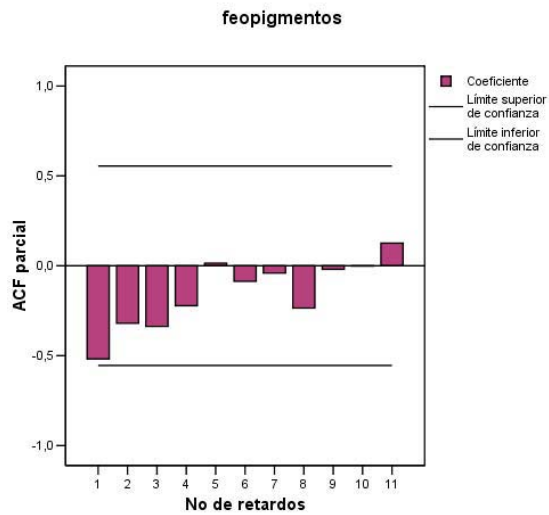
**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para clorofila-b.**



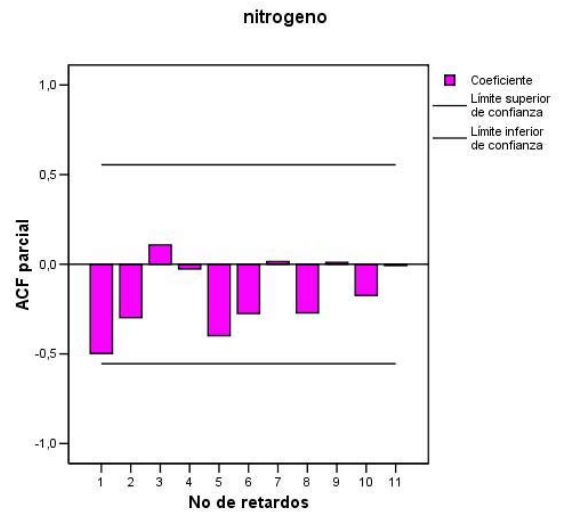
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para clorofila-b.**



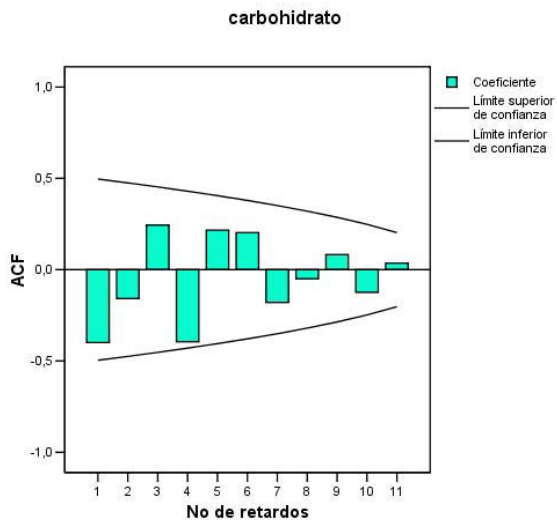
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para clorofila-c.**



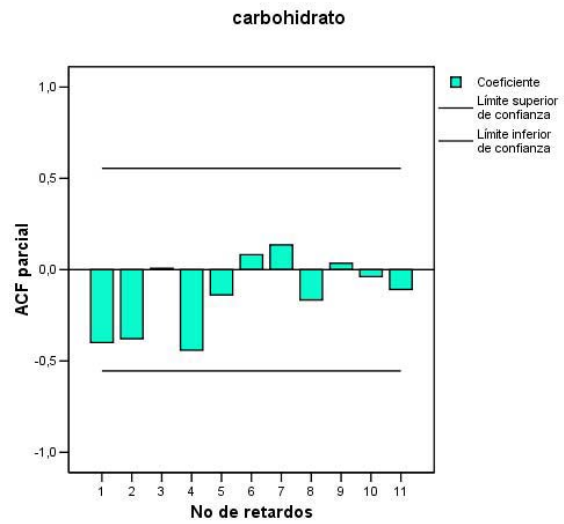
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para feopigmentos.**



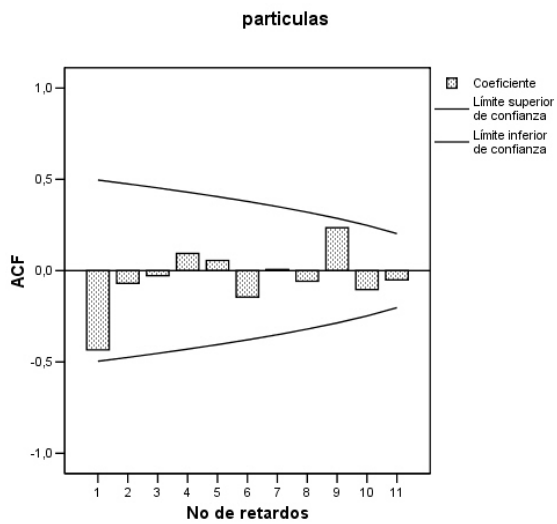
**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para nitrógeno.**



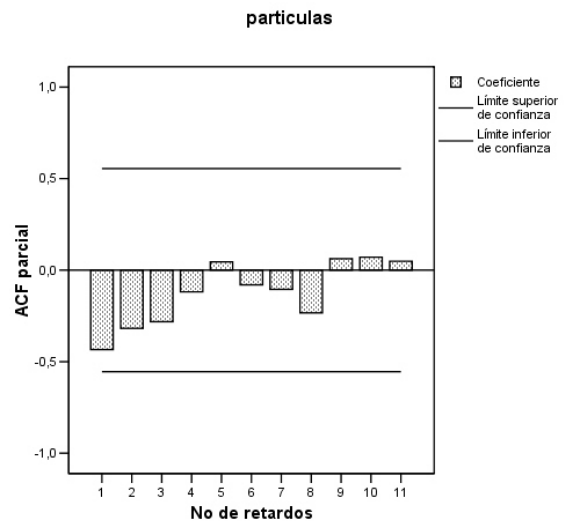
**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para carbohidratos.**



**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para carbohidratos.**



**Correlograma de la función de autocorrelación muestral simple (ACF) para partículas.**



**Correlograma de la función de autocorrelación parcial (ACF parcial) para partículas.**



# **Anexo II Figuras**

## **Capítulo III. 3c**

**Correlación Cruzada; Figuras no significativas**





Temperatura con Salinidad

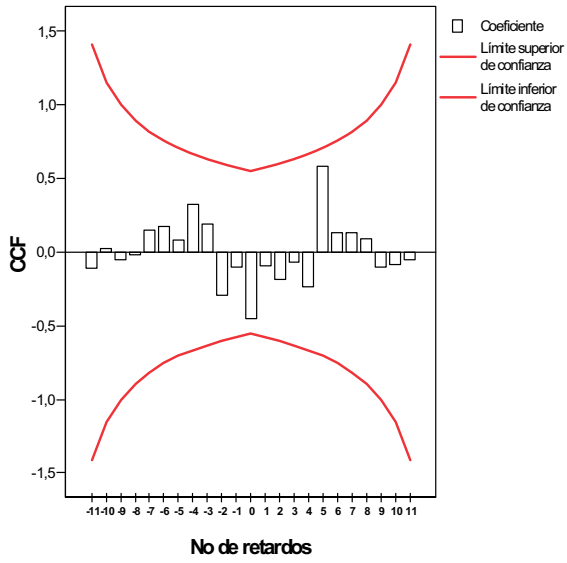


Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y salinidad durante el estudio.

Temperatura con Nitritos

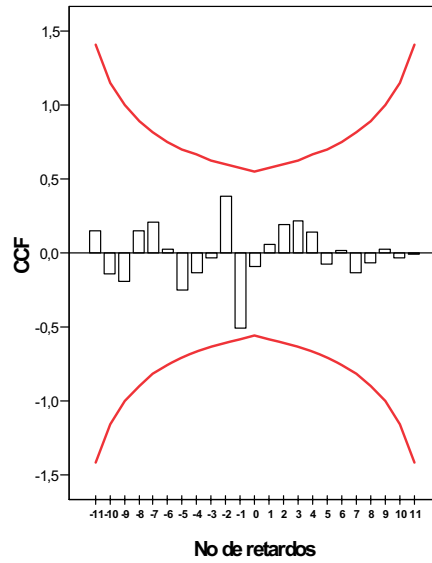


Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y nitritos durante el estudio.

Temperatura con Amonio

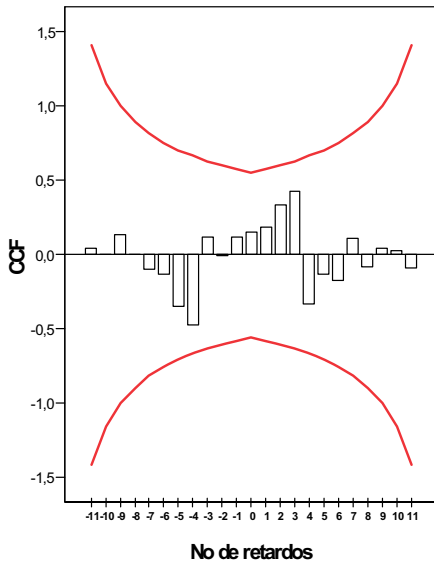


Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y amonio durante el estudio.

Temperatura con Fosfatos

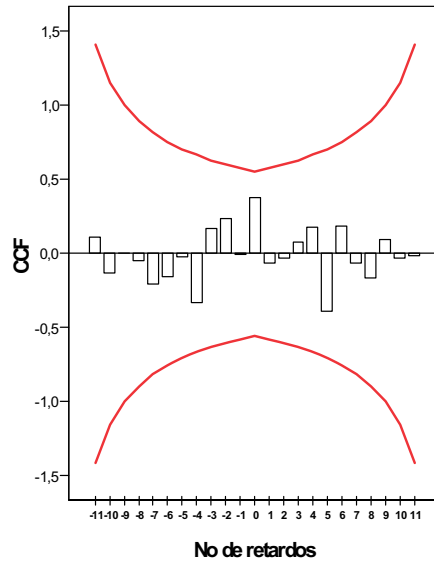
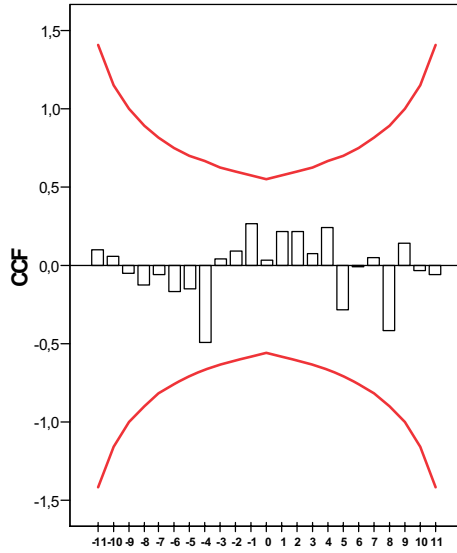


Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y fosfatos durante el estudio.

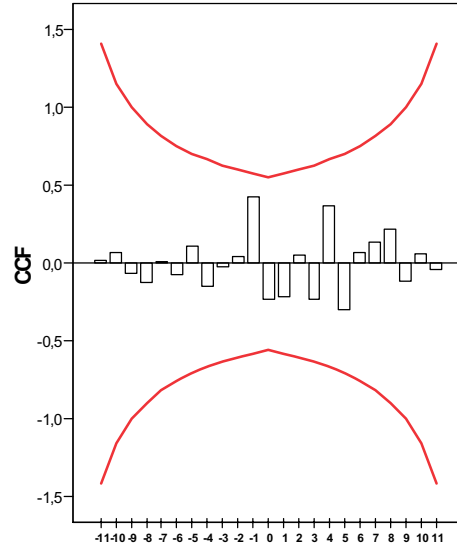
**Temperatura con Clorofila-b**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y clorofila-b durante el estudio.**

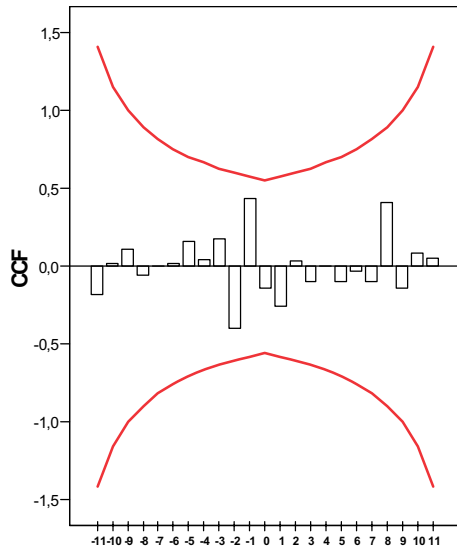
**Temperatura con Feopigmentos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y feopigmentos durante el estudio.**

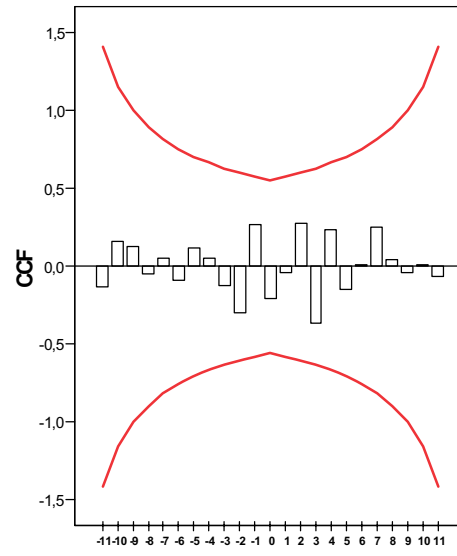
**Temperatura con Carbono**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y carbono durante el estudio.**

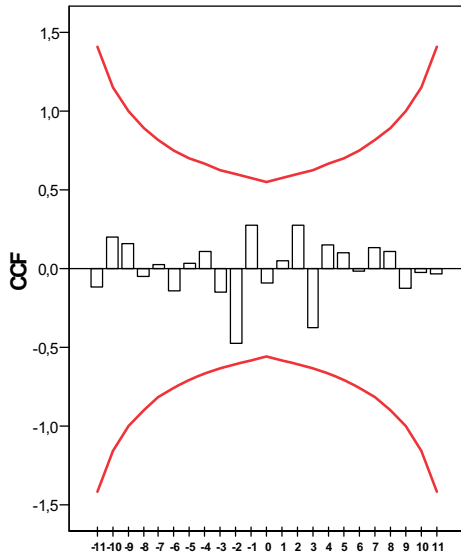
**Temperatura con Proteínas**



No de retardos

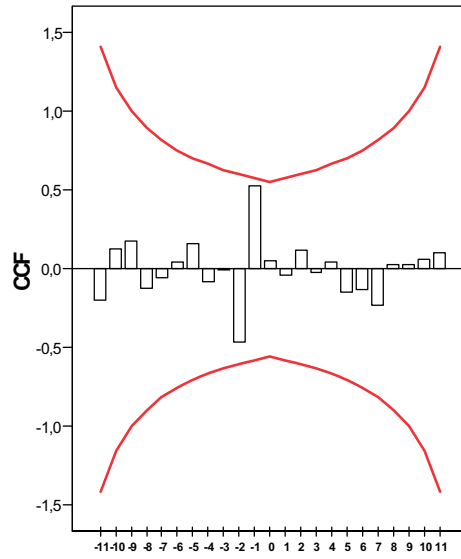
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y proteínas durante el estudio.**

**Temperatura con Carbohidratos**



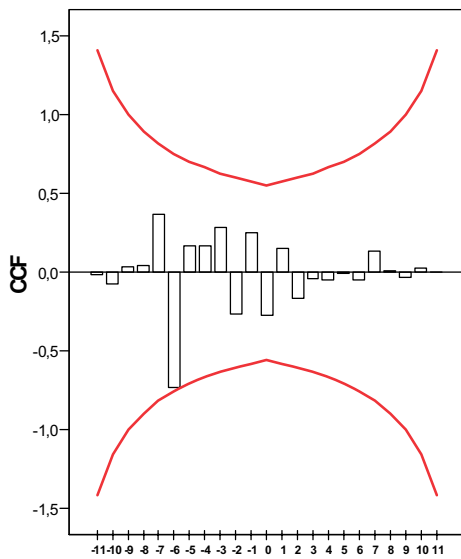
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y carbohidratos durante el estudio.**

**Temperatura con Partículas**



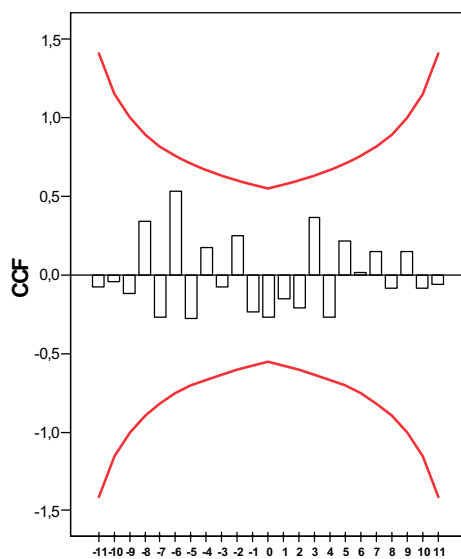
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre temperatura y partículas durante el estudio.**

**Salinidad con Nitratos**



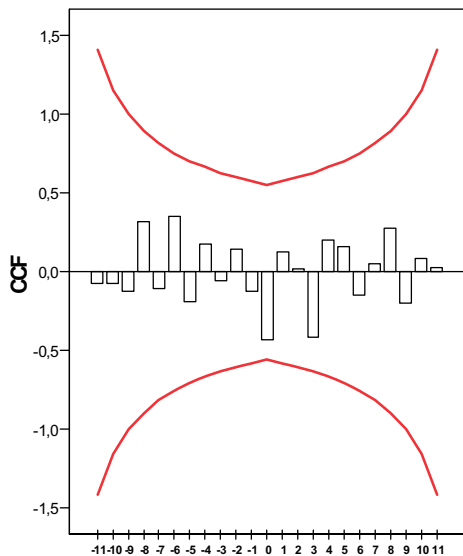
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y nitratos durante el estudio.**

**Salinidad con Clorofila-a**



**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y clorofila-a durante el estudio.**

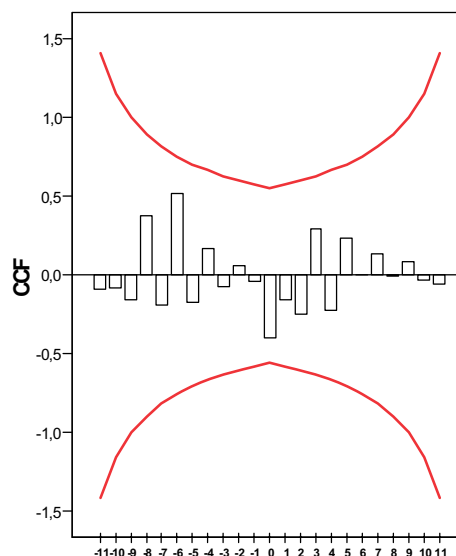
**Salinidad con Clorofila-b**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y clorofila-b durante el estudio.**

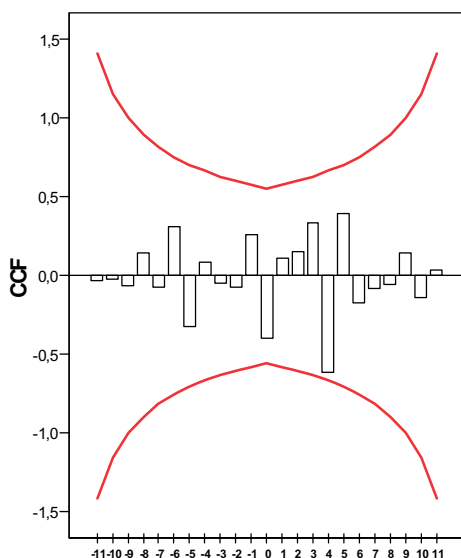
**Salinidad con Clorofila-c**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y clorofila-c durante el estudio.**

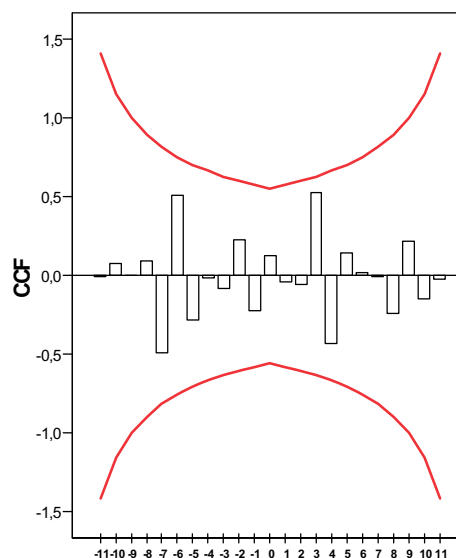
**Salinidad con Feopigmentos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y feopigmentos durante el estudio.**

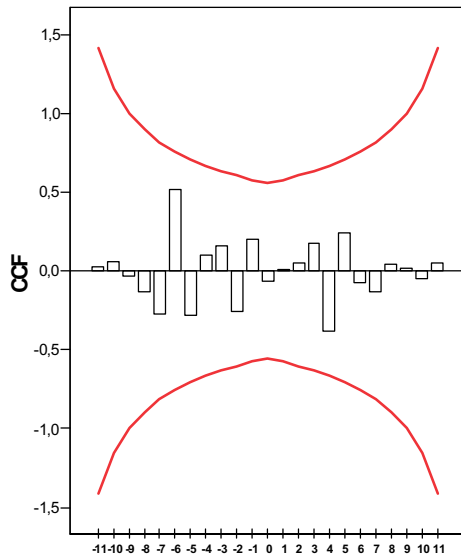
**Salinidad con Carbono**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y carbono durante el estudio.**

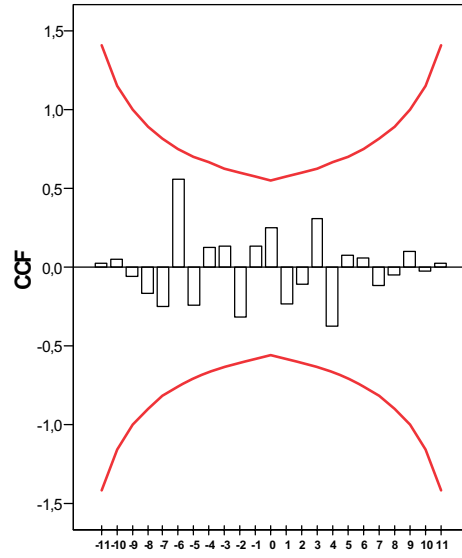
**Salinidad con Proteínas**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y proteínas durante el estudio.**

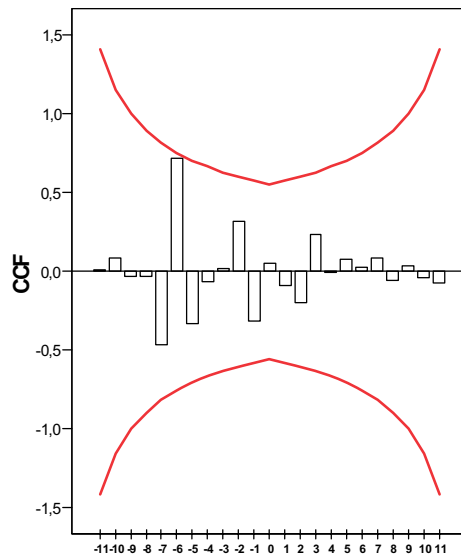
**Salinidad con Carbohidratos**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y carbohidratos durante el estudio.**

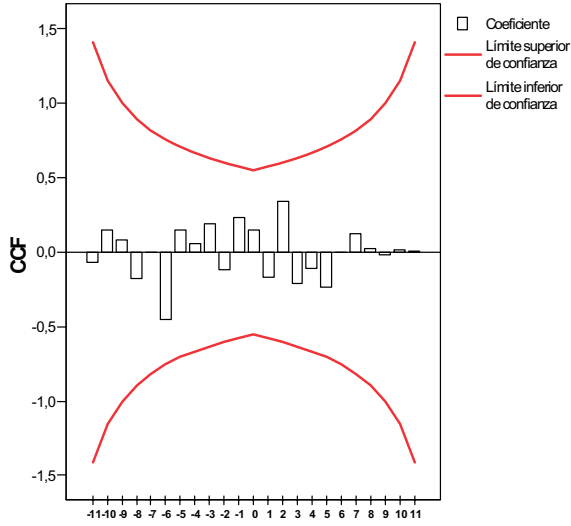
**Salinidad con Partículas**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre salinidad y partículas durante el estudio.**

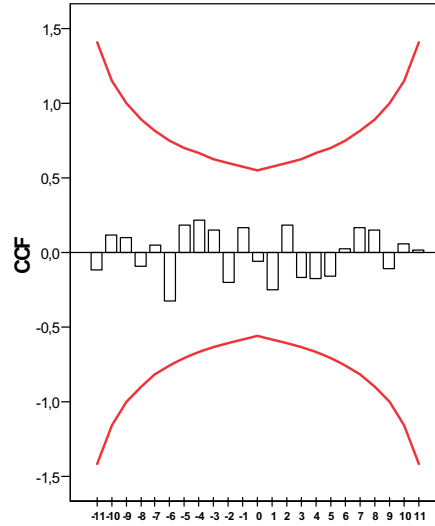
**Oxígeno con Nitratos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y nitratos durante el estudio.**

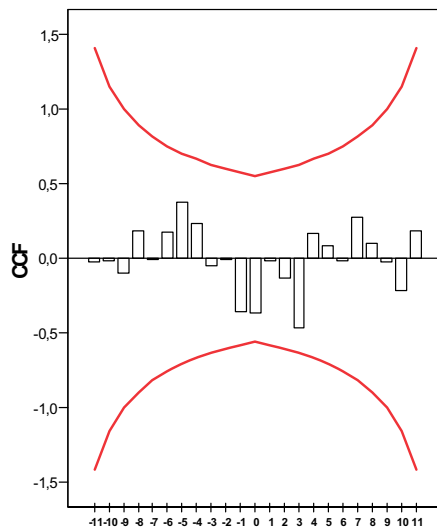
**Oxígeno con Nitritos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y nitritos durante el estudio.**

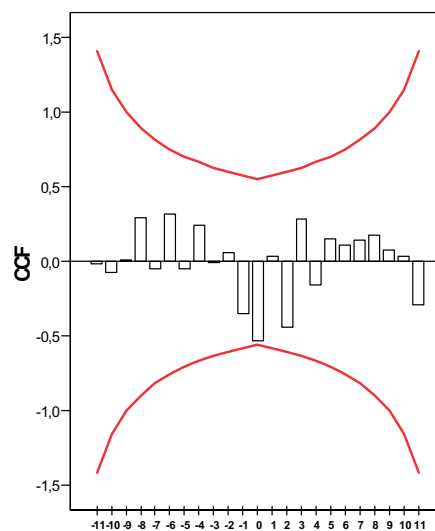
**Oxígeno con Amonio**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y amonio durante el estudio.**

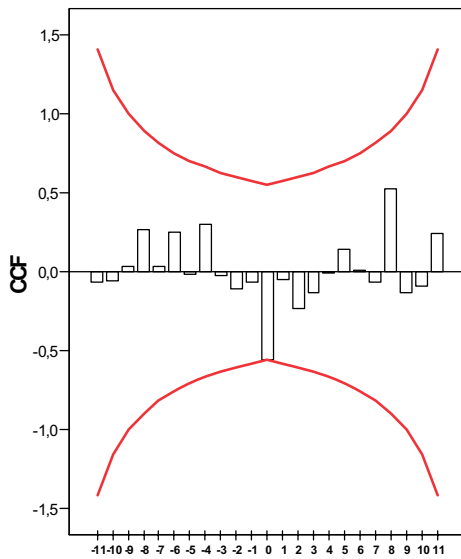
**Oxígeno con Clorofila-a**



No de retardos

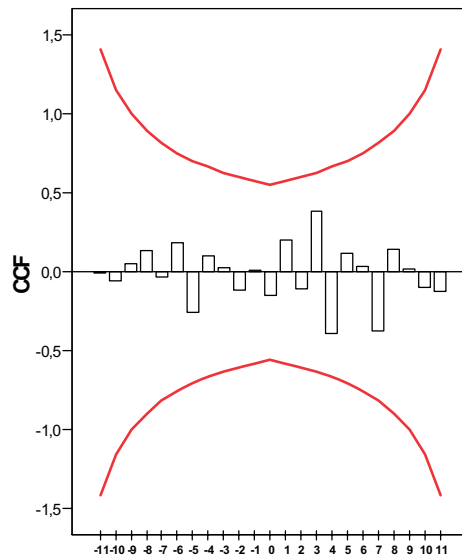
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y clorofila-a durante el estudio.**

**Oxígeno con Clorofila-b**



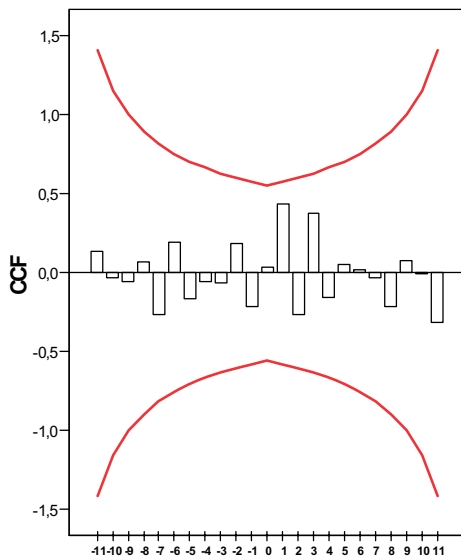
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y clorofila-b durante el estudio.

**Oxígeno con Feopigmentos**



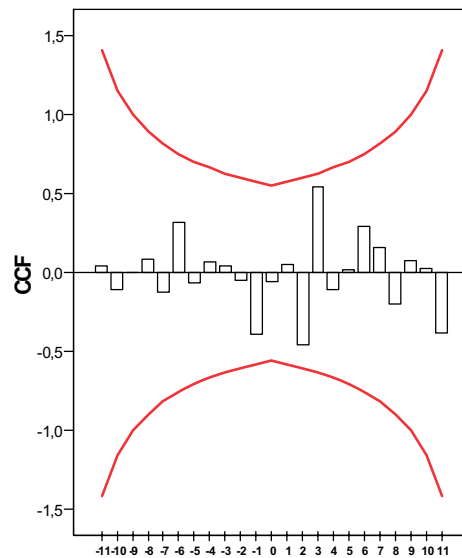
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y feopigmentos durante el estudio.

**Oxígeno con Carbono**



**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y carbono durante el estudio.

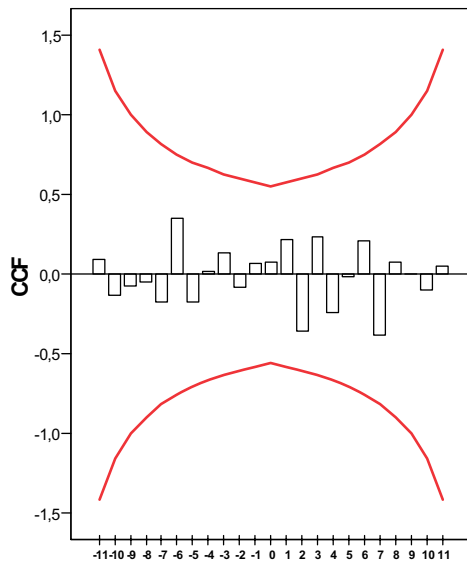
**Oxígeno con Nitrógeno**



**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y nitrógeno durante el estudio.

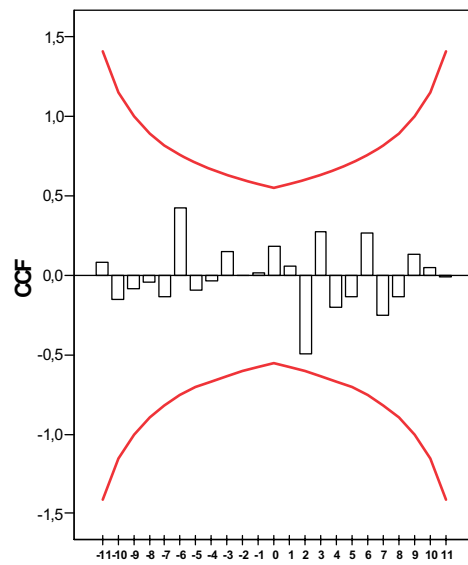


**Oxígeno con Proteínas**



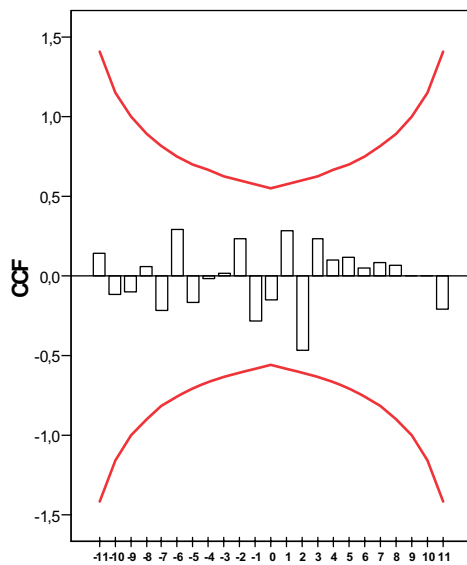
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y proteínas durante el estudio.

**Oxígeno con Carbohidratos**



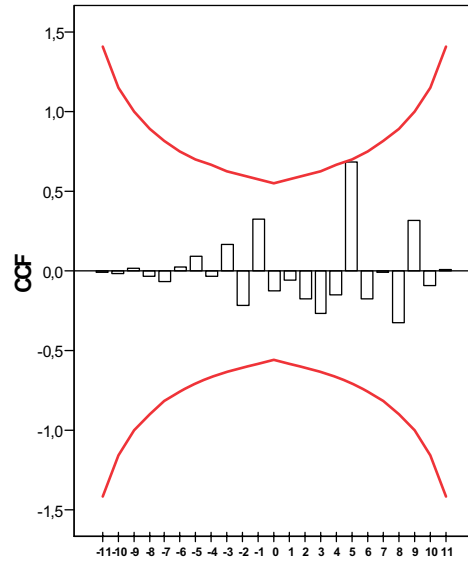
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y carbohidratos durante el estudio.

**Oxígeno con Partículas**



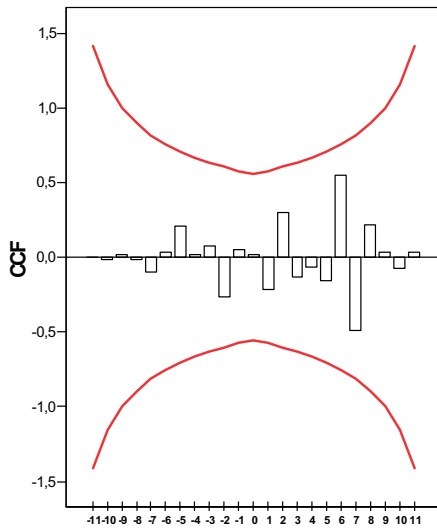
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre oxígeno y partículas durante el estudio.

**Nitratos con Amonio**



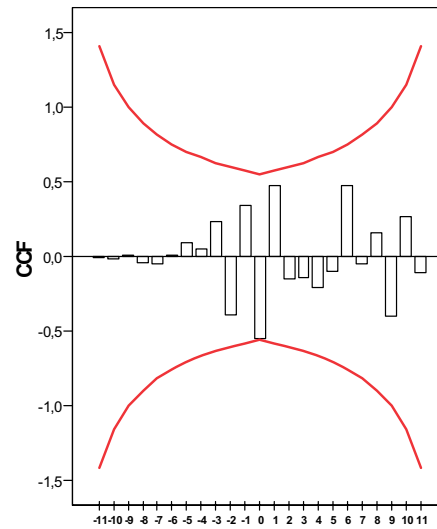
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y amonio durante el estudio.

**Nitratos con Fosfatos**



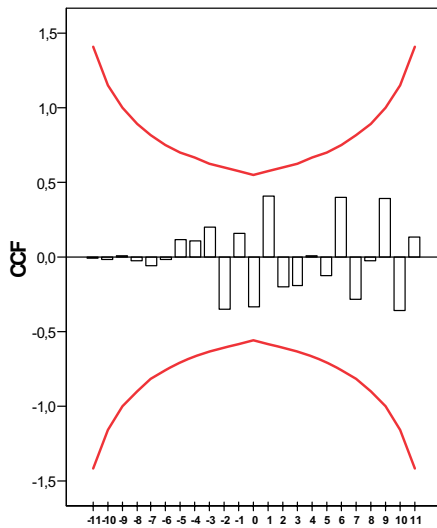
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y fosfatos durante el estudio.

**Nitratos con Clorofila-a**



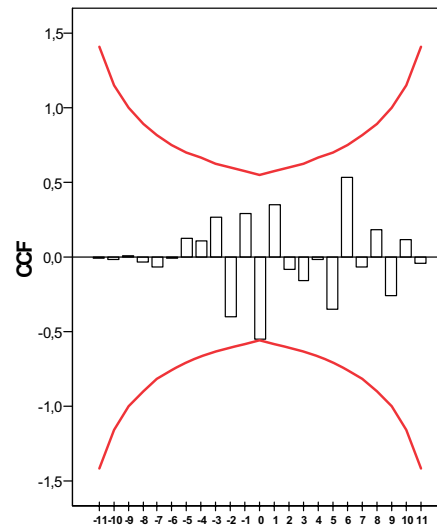
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y clorofila-a durante el estudio.

**Nitratos con Clorofila-b**



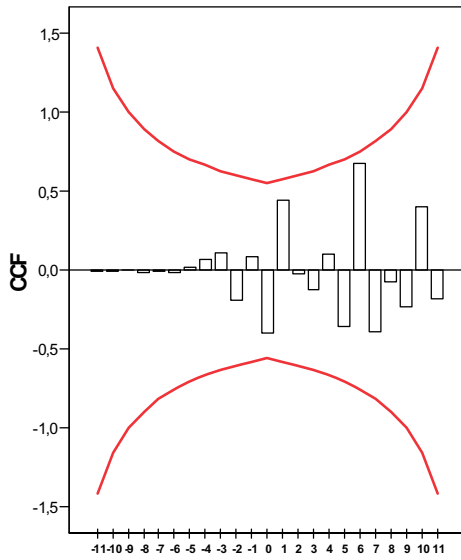
**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y clorofila-b durante el estudio.

**Nitratos con Clorofila-c**



**No de retardos**  
Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y clorofila-c durante el estudio.

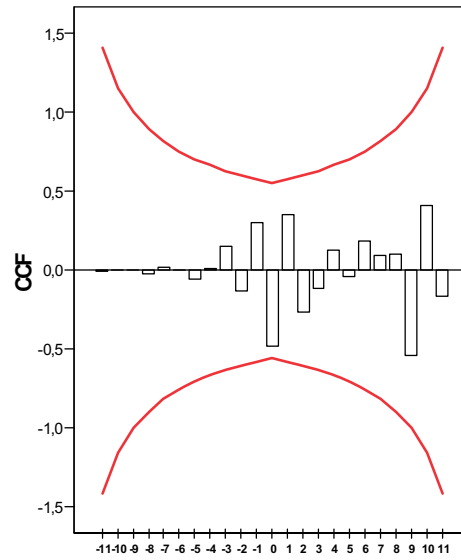
**Nitratos con Feopigmentos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y feopigmentos durante el estudio.**

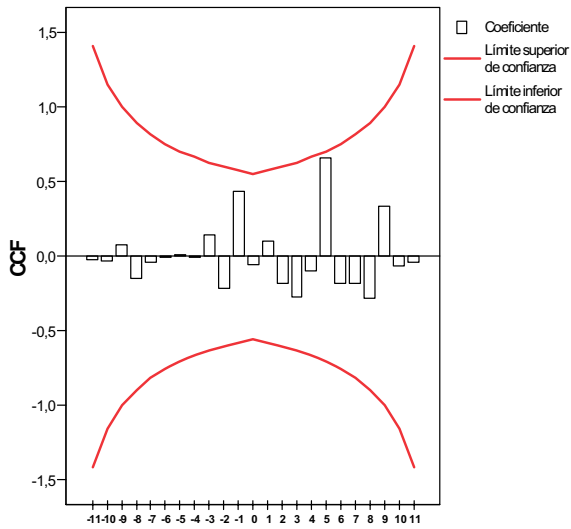
**Nitratos con Nitrógeno**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitratos y nitrógeno durante el estudio.**

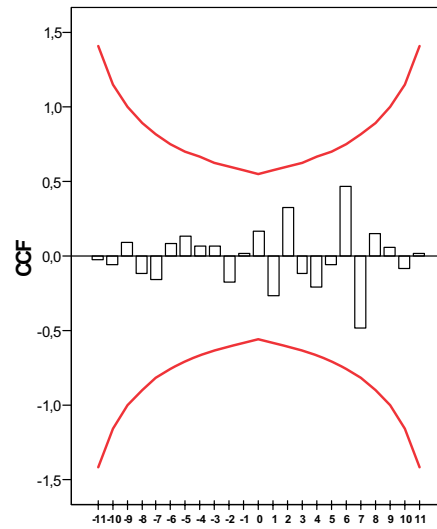
Nitritos con Amonio



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y amonio durante el estudio.

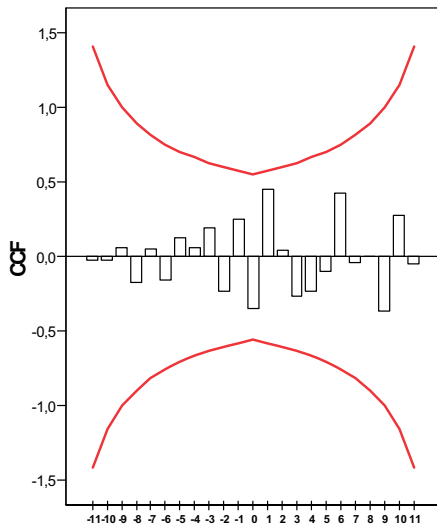
Nitritos con Fosfatos



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y fosfatos durante el estudio.

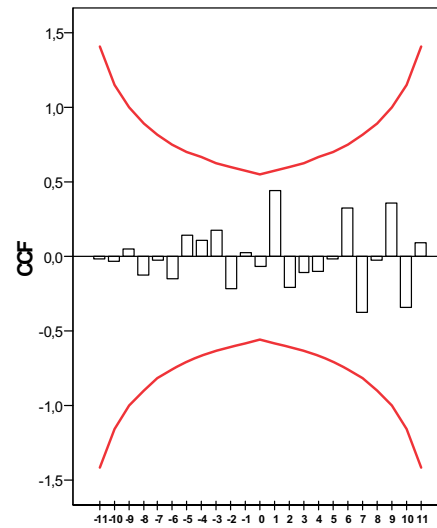
Nitritos con Clorofila-a



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y clorofila-a durante el estudio.

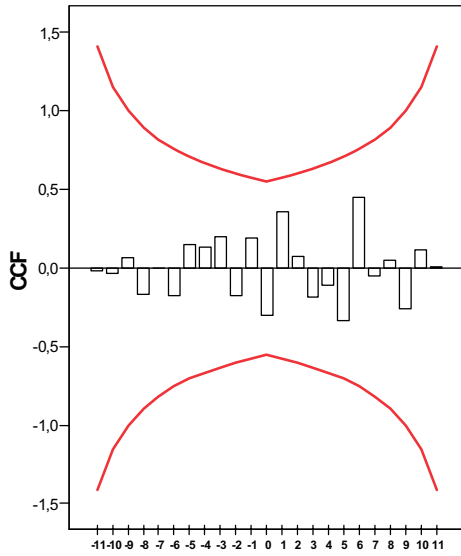
Nitritos con Clorofila-b



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y clorofila-b durante el estudio.

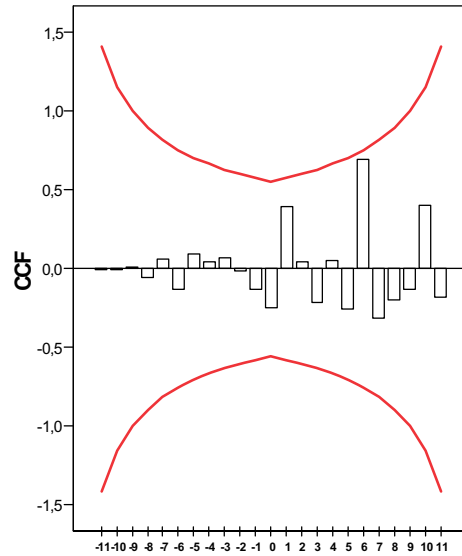
**Nitritos con Clorofila-c**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y clorofila-c durante el estudio.**

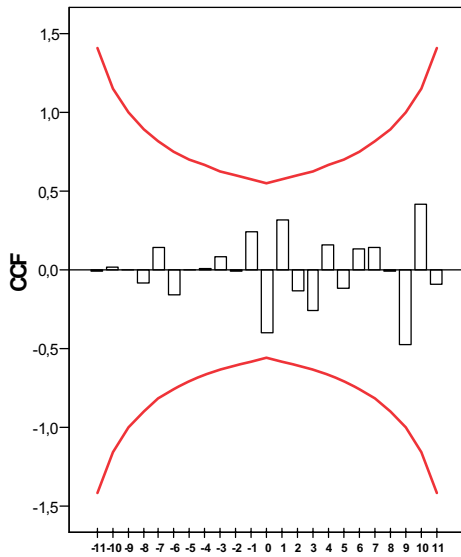
**Nitritos con Feopigmentos**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y feopigmentos durante el estudio.**

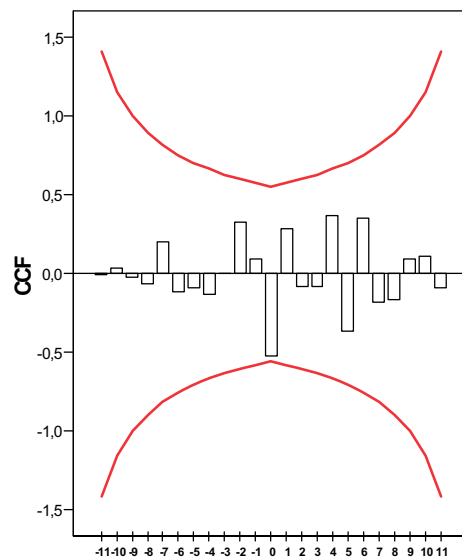
**Nitritos con Nitrógeno**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y nitrógeno durante el estudio.**

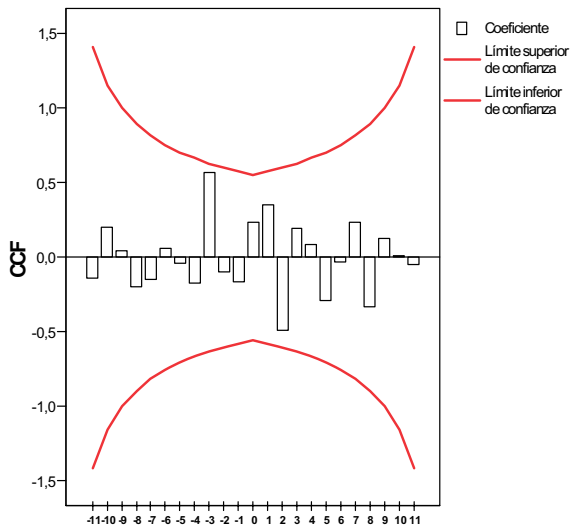
**Nitritos con Proteínas**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitritos y proteínas durante el estudio.**

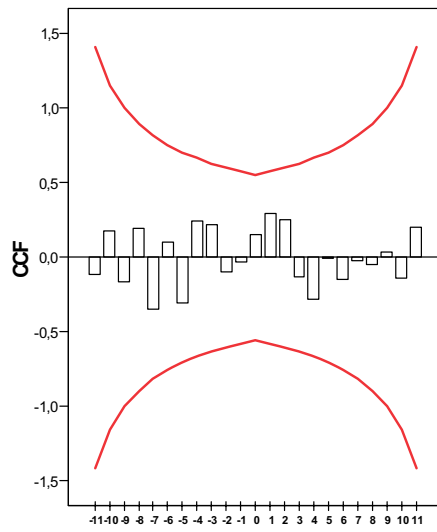
**Amonio con Fosfatos**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y fosfatos durante el estudio.**

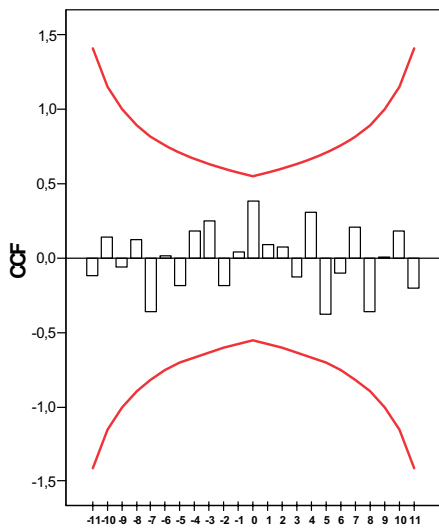
**Amonio con Clorofila-a**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y clorofila-a durante el estudio.**

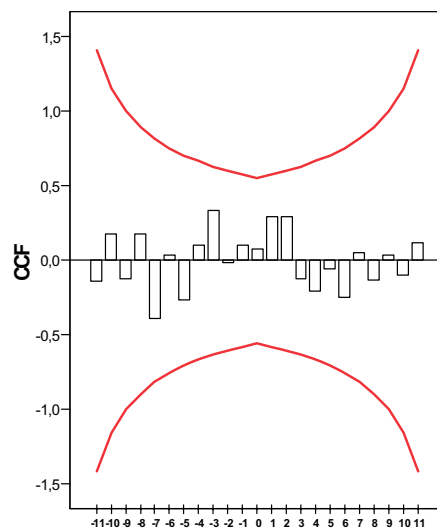
**Amonio con Clorofila-b**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y clorofila-b durante el estudio.**

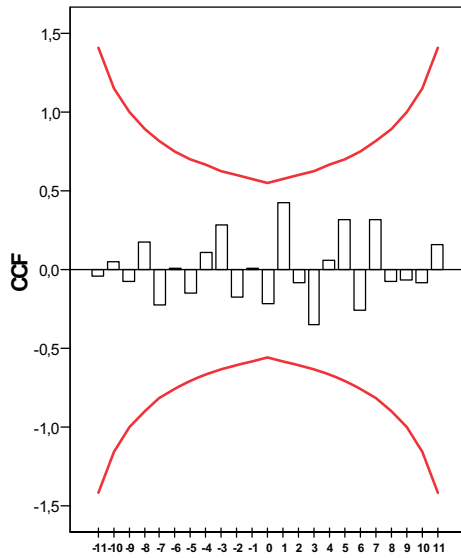
**Amonio con Clorofila-c**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y clorofila-c durante el estudio.**

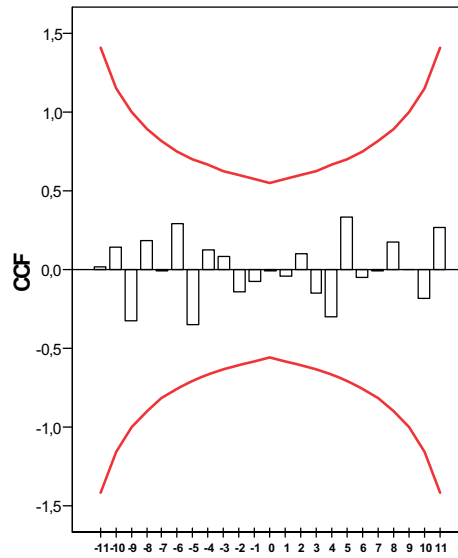
**Amonio con Feopigmentos**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y feopigmentos durante el estudio.**

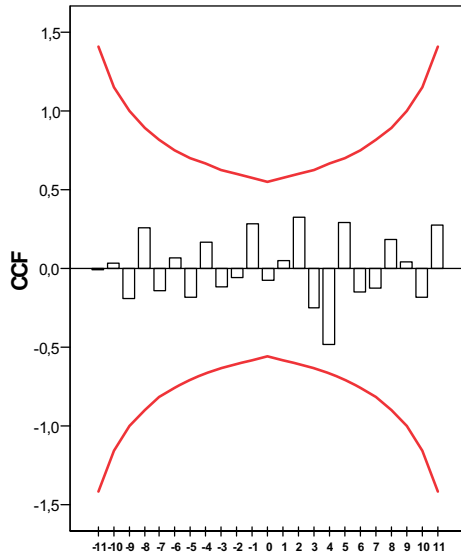
**Amonio con Carbono**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y carbono durante el estudio.**

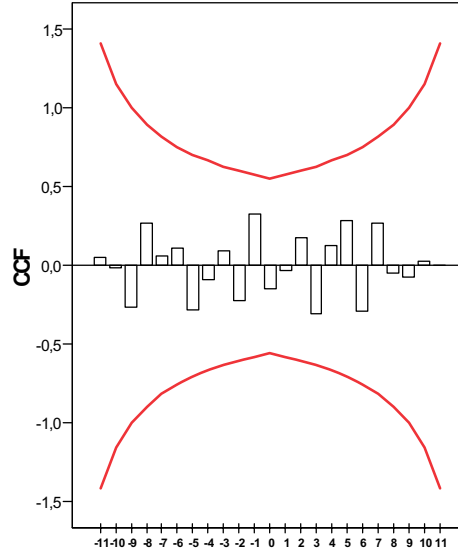
**Amonio con Nitrógeno**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y nitrógeno durante el estudio.**

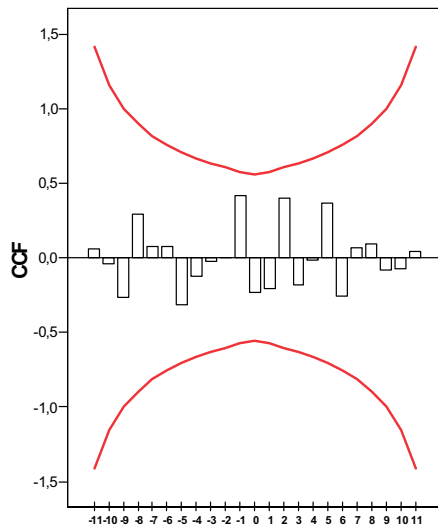
**Amonio con Proteínas**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y proteínas durante el estudio.**

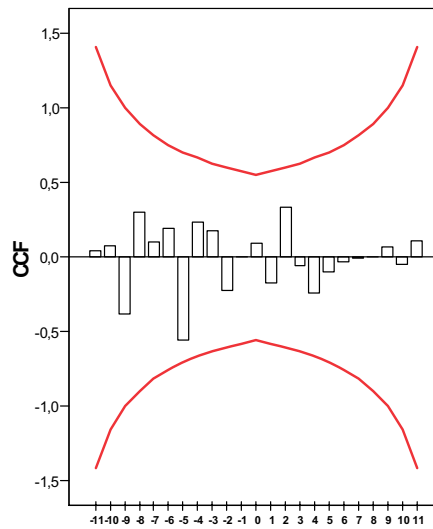
**Amonio con Carbohidratos**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y carbohidratos durante el estudio.**

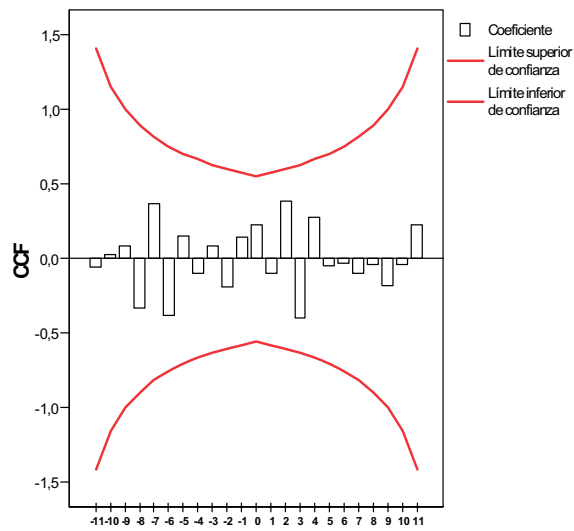
**Amonio con Partículas**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre amonio y partículas durante el estudio.**

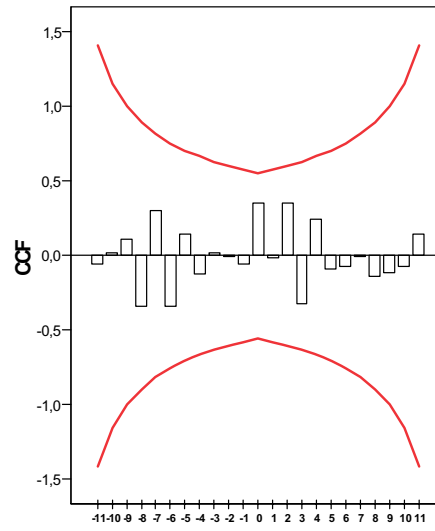
**Fosfatos con Clorofila-a**



No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y clorofila-a durante el estudio.**

**Fosfatos con Clorofila-c**

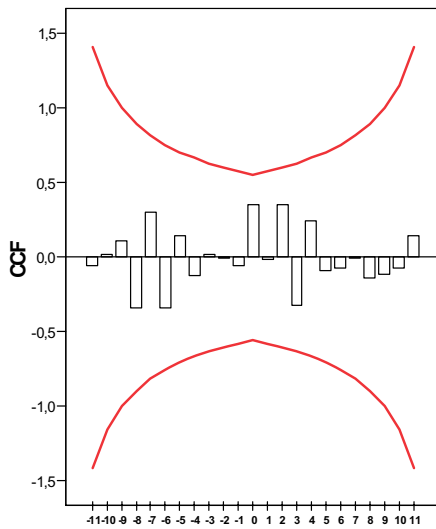


No de retardos

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y clorofila-c durante el estudio.**



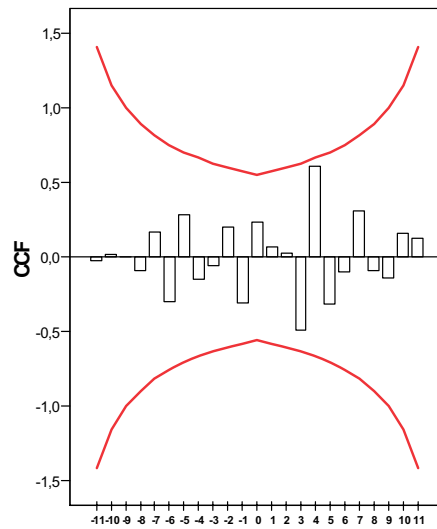
Fosfatos con Clorofila-c



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y clorofila-c durante el estudio.

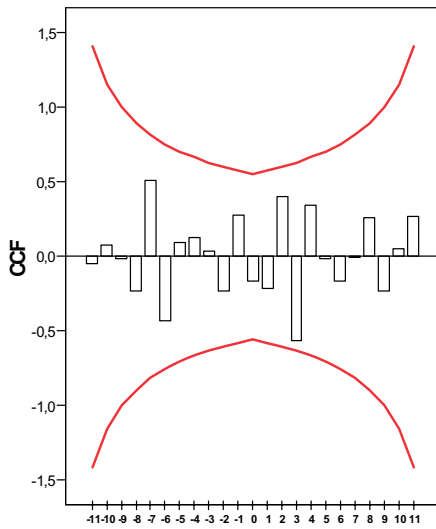
Fosfatos con Feopigmentos



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y feopigmentos durante el estudio.

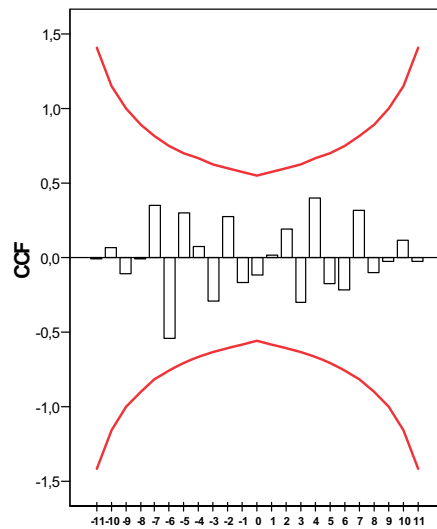
Fosfatos con Carbono



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y carbono durante el estudio.

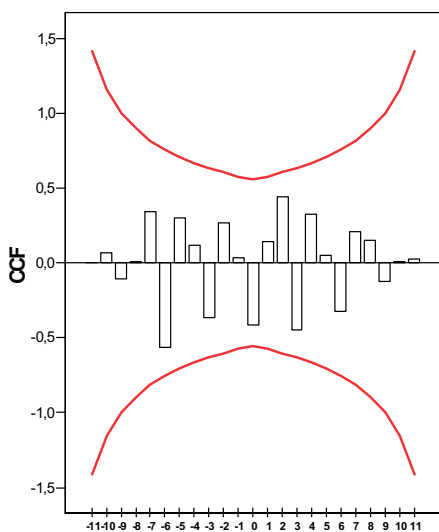
Fosfatos con Proteínas



No de retardos

Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y proteínas durante el estudio.

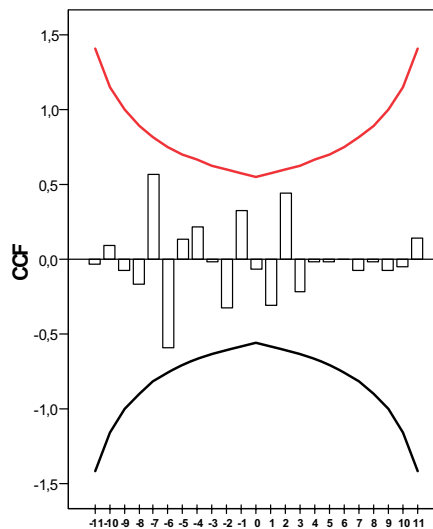
**Fosfatos con Carbohidratos**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y carbohidratos durante el estudio.**

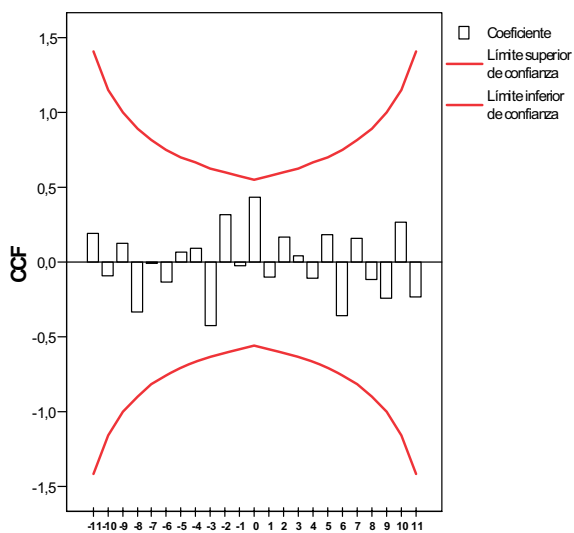
**Fosfatos con Partículas**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre fosfatos y partículas durante el estudio.**

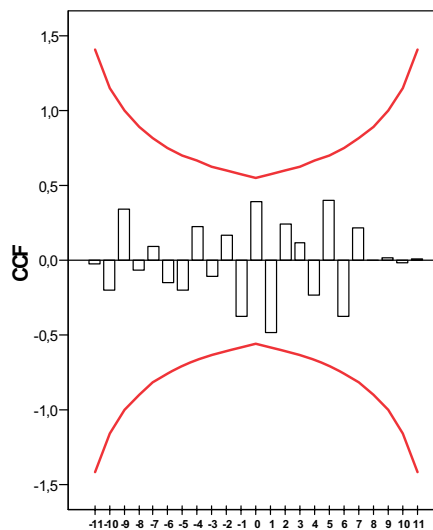
**Clorofila-a con Clorofila-b**



**No de retardos**

**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y clorofila-b durante el estudio.**

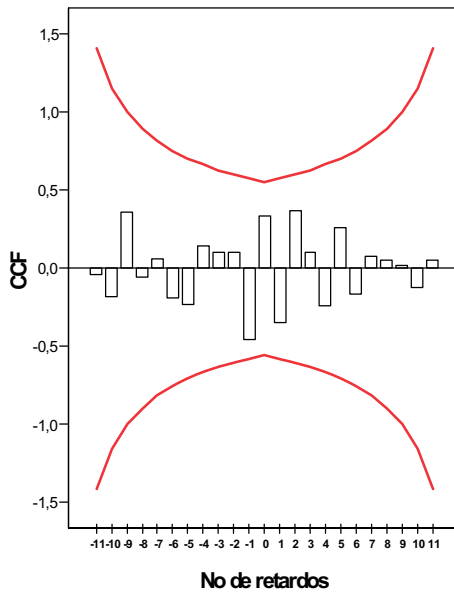
**Clorofila-a con Proteínas**



**No de retardos**

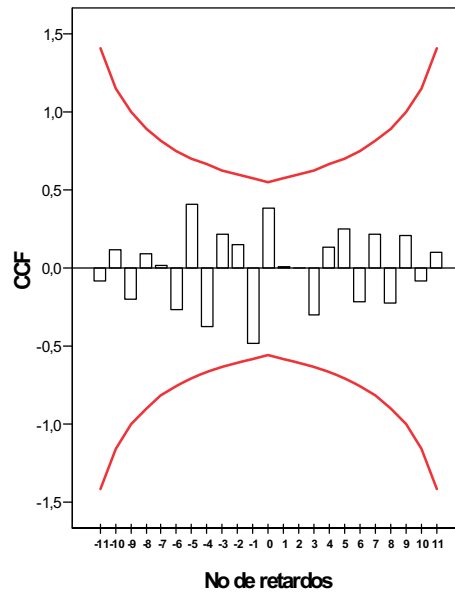
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y proteínas durante el estudio.**

**Clorofila-a con Carbohidratos**



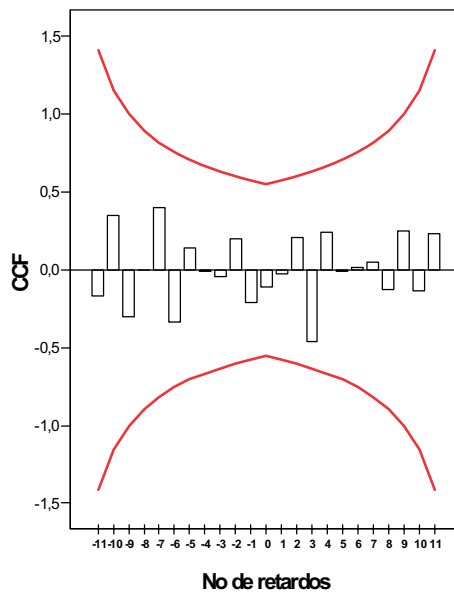
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-a y carbohidratos durante el estudio.**

**Clorofila-b con Feopigmentos**



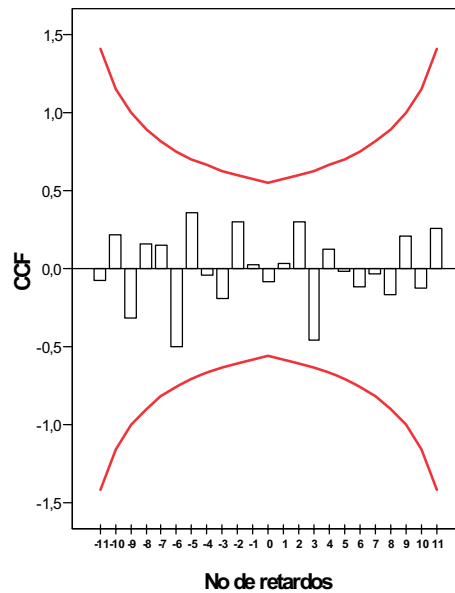
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y feopigmentos durante el estudio.**

**Clorofila-b con Carbono**



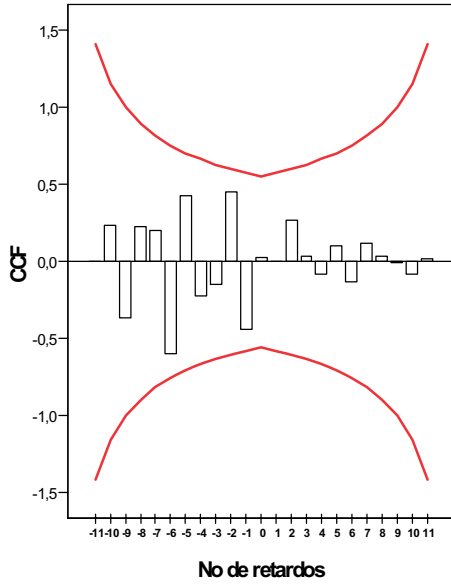
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y carbono durante el estudio.**

**Clorofila-b con Nitrógeno**



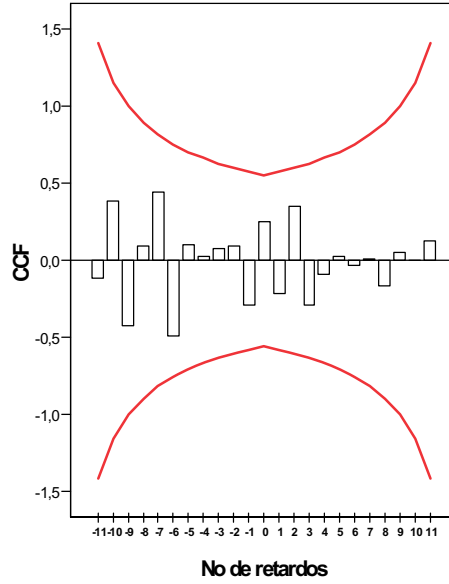
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y nitrógeno durante el estudio.**

**Clorofila-b con Carbohidratos**



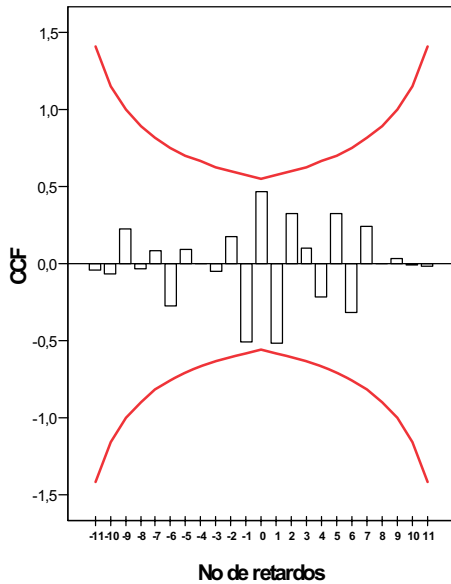
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y carbohidratos durante el estudio.**

**Clorofila-b con Partículas**



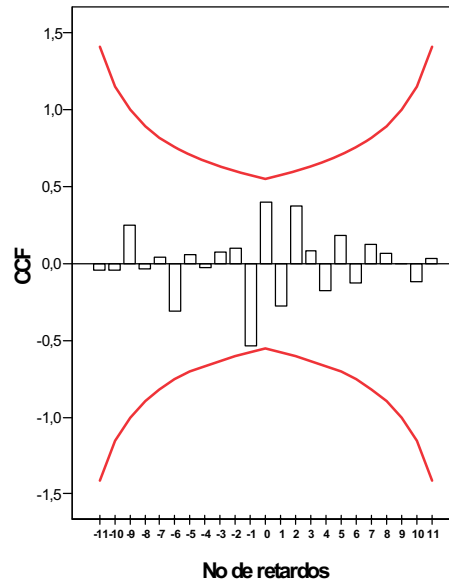
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-b y partículas durante el estudio.**

**Clorofila-c con Proteínas**



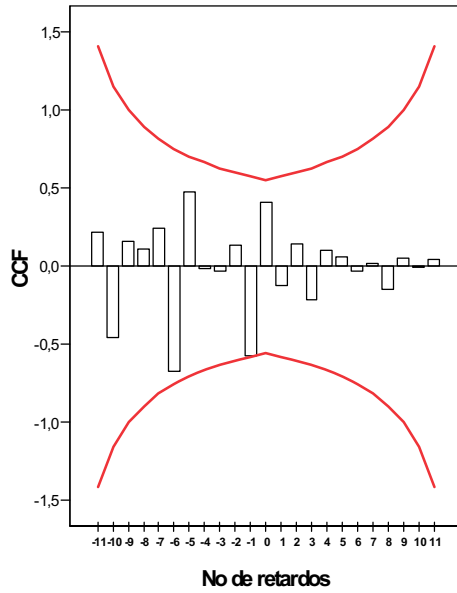
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y proteínas durante el estudio.**

**Clorofila-c con Carbohidratos**



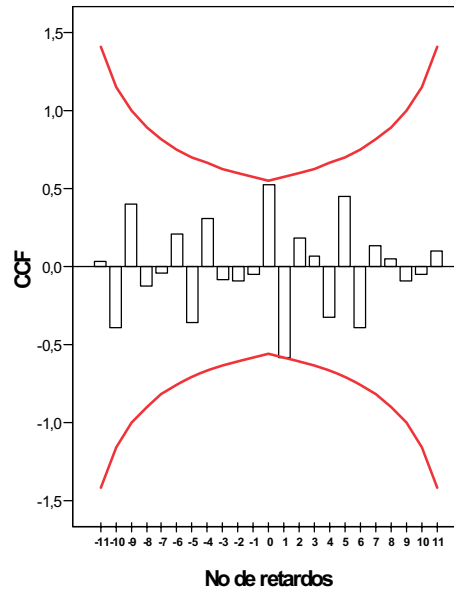
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre clorofila-c y carbohidratos durante el estudio.**

**Feopigmentos con Partículas**



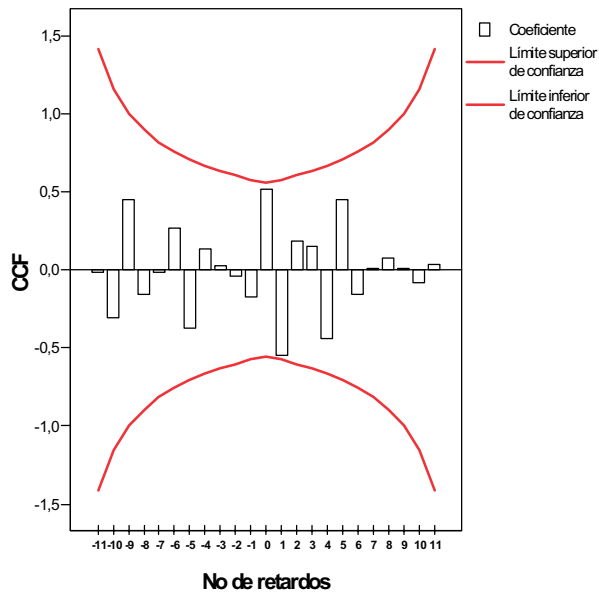
**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre feopigmentos y partículas durante el estudio.**

**Carbono con Proteínas**



**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre carbono y proteínas durante el estudio.**

**Nitrógeno con Proteínas**



**Gráfico del análisis de correlación cruzada (FCC) entre nitrógeno y proteínas durante el estudio.**

