



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Marinas



**“DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA $p\text{CO}_2$ EN LA SUPERFICIE DEL
GOLFO DE CÁDIZ; DURANTE PERÍODOS DE ESTRATIFICACIÓN Y MEZCLA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA:
NORMA LIDIA OLIVA MÉNDEZ

Ensenada, Baja California Junio de 2007.

RESUMEN

Estudiamos la distribución espacio-temporal de la $p\text{CO}_2$, en el agua de mar durante períodos de estratificación y mezcla, así como la estimación de flujos de CO_2 entre el océano y la atmósfera en la plataforma del Golfo de Cádiz. Para ello se realizaron ocho muestreos mensuales de septiembre de 2005 a abril de 2006. La hidrología del área de estudio fue estudiada utilizando un CTD SB-25, así como datos de meteorológicos de precipitación y viento. Se realizaron estudios del sistema de carbonatos midiendo la alcalinidad y pH, así como el carbono orgánico disuelto (COD), clorofilas y nutrientes. Los resultados obtenidos muestran que durante septiembre a diciembre de 2005, la plataforma actuó como una fuente CO_2 a la atmósfera, alcanzando valores de $p\text{CO}_2 >$ de $400\mu\text{atm}$ correspondiendo al período de estratificación de la columna de agua. Por otro lado el área se comportó como un sumidero de CO_2 atmosférico durante enero a abril de 2006, período correspondiente a la mezcla de la columna de agua, encontrando valores de $p\text{CO}_2 <$ $390\mu\text{atm}$ con excepción de áreas aledañas a la desembocadura del Río Guadalquivir. La $p\text{CO}_2$ reflejó el patrón hidrodinámico del Golfo de Cádiz y en la cual la propia extensión del margen costero y la influencia de los ríos Tinto-Odiel, Guadiana, Guadalquivir, es fundamental para la fertilización en la cuenca con la mayor influencia en el Río Guadalquivir.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**"DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PCO_2 EN LA SUPERFICIE DEL
GOLFO DE CÁDIZ; DURANTE PERÍODOS DE ESTRATIFICACIÓN Y MEZCLA"**

TESIS

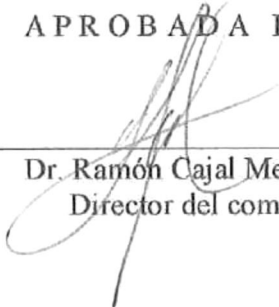
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA:

NORMA LIDIA OLIVA MÉNDEZ

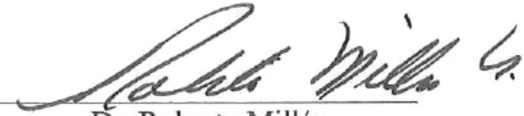
APROBADA POR:



Dr. Ramón Cajal Medrano
Director del comité



Dr. José Martín Ayón Hemández
Sinodal Propietario



Dr. Roberto Millán
Sinodal Propietario

DEDICATORIA

A mi familia

Mis padres, Felipe Oliva y Lucy Méndez

Mi hermana, Paloma Oliva

Quienes en todo momento me han apoyado y a los que dedico este trabajo con todo mi amor y cariño.

Con esto les doy las gracias a ustedes

A la vida por permitirme terminar mi Licenciatura...un sueño más hecho realidad, una forma más de sentirme viva, una etapa más cerrada en nuestras vidas...

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Marinas donde comencé mis estudios en oceanología donde gracias al apoyo de *Sonia Quijano, Juan Gaviño y Aramis Olivos* aprendí a buscar mis sueños, por su confianza al permitirme entrar al programa de movilidad estudiantil y llegar a la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas donde me abrieron las puertas y que a pesar de una pausa encontré un apoyo incondicional, Gracias! A *Eliseo Almanza* por todo su apoyo en cada uno de mis proyectos, al Director *Roberto Millán* por su aprobación en estos.

. A *Berenice, Tere, Mary, Beto, Lulú, Cristian y Wendy, Reynaldo* por ser los primeros en impulsarme en este camino. A mis compañeros *Gabriela Mayorga, Yael Durán, Federico Méndez* por su paciencia a ponerme al corriente por su amistad y comprensión. *Adriana Puma, Sara Frontana, Wendy Gracilazo* por su amistad y apoyo. A *Tihui, Salvador, Thaydé, Alethia y Raúl Marcela, Rosaura Rodríguez, Jacob, Caro, Roger, Ivone, Eder, Aileen, Lupita, Ale y Denisse* por sus cuidados, alegrías y estar ahí en momentos difíciles y de diversión.

A *Antonio Almanza, Marcela Paz, Margarita, Adrián, Carlos Sámano, Lenin Guerrero*, a la ciudad de Ensenada por todo su apoyo para ir a España, donde encontré en el Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía no sólo un gran apoyo sino una segunda casa, gracias al *Dr. Jesús Forja* por conducirme con a la *Dra. Emma Huertas* quien me dió la confianza para llevar a cabo este trabajo, mil gracias! Por sus enseñanzas, al *Dr. Gabriel Navarro* por su apoyo en este estudio, al *Dr. Javier* por permitirme entrar en el grupo de Oceanografía, a *Lic. Susana Gálvez* por sus recomendaciones y amistad, a *Maria Ferrer* por su amistad y por estar a mi lado a pesar de la tempestad, a *Beatriz Tubio, Elena Valenzuela y familia, Amorina González y Sara Dominguez y familia* por su incondicional amistad fuera de mi país, por no dejarme caer en las malas y disfrutar junto conmigo de las buenas.

A la tripulación del barco Regina Maris por su apoyo en los muestreos y aguantarlos.

Al *Dr. Martín Hernández* por su amistad y motivación incondicional!!!, al *Dr. Eduardo Santamaría* por su ayuda en la comprensión de mi tesis. Al *Dr. Ramón Cajal* por el impulso y apoyo.

Pero sobre todo gracias a mi familia, a mi padre *Felipe Oliva* por su manutención en todos estos años de estudio, por su apoyo y cariño. A mi madre *Lucy Méndez* por que sin su amor, ejemplo, enseñanzas y motivación nada de esto sería realidad. Mami somos una!!!, a mi hermana *Paloma Oliva* por ser la alegría de mi vida y mi mayor motivación. A la familia *Méndez*, a mis abuelos *Estela y Nicolás* por enseñarme a disfrutar de viajar, soñar y caminar, por ser el ejemplo de amor a las cosas que se hacen día a día. Al amor de mi vida *Tomás* por darnos la oportunidad de crecer juntos, porque contra viento y marea me muestras día con día el rumbo.

Gracias Dios! Por permitirme este tiempo en vida para disfrutar y valorar, porque

Con fé lo imposible es siempre soñar!!!!

**Distribución Espacial de la Presión Parcial de CO₂ (pCO₂), en la Plataforma
del Golfo de Cádiz; durante Periodos de Estratificación y Mezcla**

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	I
APROBACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTE DE TABLAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	7
1.2 AREA DE ESTUDIO.....	10
2. METODOLOGIA.....	12
2.1 HIDROLOGÍA.....	12
2.1.2 REGISTRO EN CONTINUO.....	12
2.2 TOMA DE MUESTRAS	13
2.3 VARIABLES METEOROLÓGICAS.....	13
2.4 SISTEMA DE CARBONATOS.....	13

2.5 CARBONO ORGÁNICO DISUELTO.....	15
2.6 CLOROFILA <u>a</u> y NUTRIENTES.....	15
2.7 TRATAMIENTO DE DATOS.....	16
3. RESULTADOS.....	17
3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL EN LA SUPERFICIE DE LA TEMPERATURA Y SALINIDAD.....	17
3.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL EN LA SUPERFICIE DEL pH.....	20
3.3 MASAS DE AGUA, VIENTO Y PRECIPITACIÓN.....	22
3.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRESIÓN PARCIAL DE CO ₂	23
3.5 CARACTERIZACIÓN TERMOHALINA DE LA COLUMNA DE AGUA.....	27
3.6 TRATAMIENTO DE DATOS.....	31
4. DISCUSIONES.....	36
5. CONCLUSIONES.....	43
6. BIBLIOGRAFIA.....	45
ANEXO.....	52

LISTA DE FIGURAS

Número De Figura	Página
1. Aumento de las concentraciones de CO ₂	2
2. Representación esquemática del funcionamiento de la bomba biológica en el océano.....	2
3. Ciclo corto del CO ₂ , Intercambios anuales de carbono entre el mar, el aire y la biomasa continental.....	6
4. Zonas detectadas a partir del análisis EOF realizado por Navarro y Ruiz, (2003).....	8
5. Área de estudio (★),Golfo de Cádiz y estaciones de muestreo.....	11
6. Distribución superficial espacio-temporal de la temperatura, de septiembre '05 a abril de '06.....	18
7. Distribución superficial espacio-temporal de la salinidad de septiembre '05 a abril de '06.....	19
8. Distribución espacio-temporal de pH en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.....	21

9. Distribución espacio-temporal en la superficie de la presión parcial de CO ₂ durante septiembre '05 a abril de '06.....	24
10. Comportamiento de presión parcial de CO ₂	26
11. Flujos de CO ₂ entre la columna de agua y la atmósfera, así como el viento, durante septiembre de '05 a abril de '06.....	26
12. Perfiles de salinidad correspondientes a la estación 11, de septiembre de '05 a abril de '06.....	28
13. Perfiles de Temperatura correspondientes a la estación 11, de septiembre de '05 a abril de '06.....	28
14. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período de estratificación, septiembre y octubre de '05.....	29
15. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período parcialmente estratificado, noviembre y diciembre de '05.....	29
16. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período de mezcla, enero a abril '06.....	30
17. Zonación del área de estudio.....	31
18. Dendogramas por zonas del período estratificado.....	34
19. Dendogramas por zonas del período parcialmente estratificado.....	34
20. Dendogramas por zonas del período mezcla.....	35

LISTA DE TABLAS

Número	Página
I	Intervalos de temperatura y salinidad de los tipos de agua encontradas para cada mes muestreado.....22
II	Dirección de viento predominante para cada mes estudiado.....22
III	Promedio mensual de precipitación.....22

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 150 años, la concentración de CO_2 en la atmósfera ha ido aumentando progresivamente como consecuencia directa de actividades antropogénicas. Antes de la revolución industrial la concentración de CO_2 en la atmósfera era de unas 280 partes por millón de la mezcla de gases del aire (el 0.028%) y hoy alcanza unas 375 ppm (el 0.037%) (Uriarte, 2003). Este incremento en las emisiones de CO_2 influye directamente en la tasa de calentamiento del planeta, implicando un cambio potencial en el clima terrestre.

En los últimos 50 años como muestra la figura 1, el aumento de la concentración atmosférica de CO_2 se observa que la línea de incremento del CO_2 no es rectilínea sino quebrada, esto debido a oscilaciones estacionales, siendo que durante la estación de crecimiento fitoplanctónico (especialmente en la primavera y verano de las latitudes medias y altas del hemisferio norte) la vegetación absorbe CO_2 del aire y la concentración atmosférica baja. Por el contrario, en la época de hibernación, la biomasa terrestre pierde carbono y la concentración de CO_2 en el aire aumenta. En donde más agudos son los picos estacionales es en las latitudes altas y medias del hemisferio norte, en las cuales la diferencia entre el invierno y el verano de la concentración atmosférica de CO_2 es entre 15 y 20 ppm. Esta amplitud anual disminuye en las latitudes bajas, hasta ser de sólo unas 3 ppm cerca del Ecuador, debido a la menor influencia estacional en la actividad de las plantas tropicales (Uriarte, 2003).

Una de las mayores consecuencias de esta acumulación de CO_2 en la atmósfera es el calentamiento global, ya que la capacidad del CO_2 , junto con otros gases, de absorber la radiación solar infrarroja y reflejarla en la superficie, causando lo que se conoce como efecto invernadero, sin este efecto la temperatura en la superficie de la tierra sería de -4°C . De seguir aumentando la temperatura global, se alcanzaría un promedio de 2 a 3°C en aumento, que tendrían consecuencias claras sobre el calentamiento global (Smith y Buddemeier, 1992).

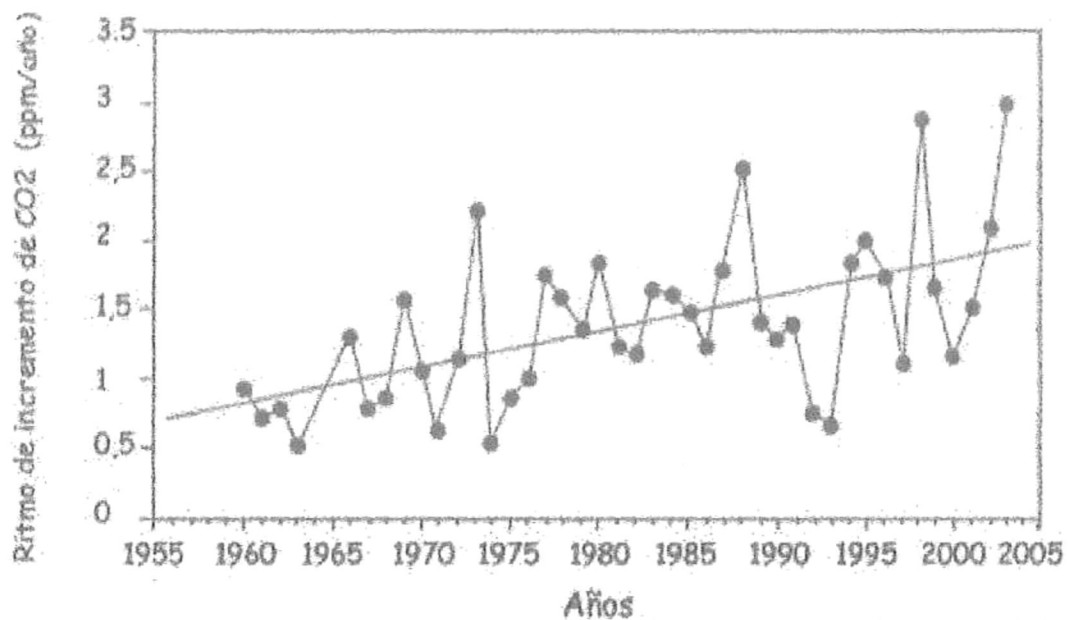


Figura 1. -Aumento de las concentraciones de CO₂. Tomada de Uriarte (2003).

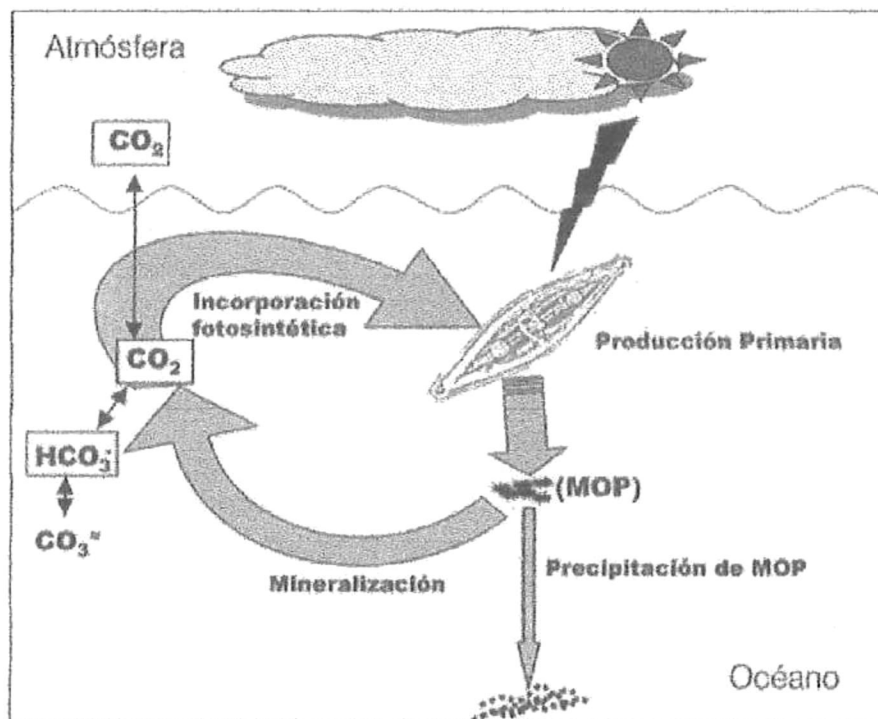


Figura 2. - Representación esquemática del funcionamiento de la bomba biológica en el océano. Tomado de Mercado (2002).

La cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra posee una distribución no uniforme geográficamente, existiendo intercambios continuos de calor entre el océano y la atmósfera, ya que el océano gana calor en el ecuador y lo envía a la atmósfera, en las zonas polares. El resultado neto es que la atmósfera y el océano transportan aproximadamente la misma cantidad de calor desde el ecuador hacia los polos. A su vez, esta diferencia de temperatura mantenida por la radiación solar entrante es una de las principales causas de la circulación oceánica y atmosférica. Si bien la atmósfera y el océano juegan un rol similar en el transporte de calor desde el ecuador hacia los polos, la distribución de este calor en el interior de ellos es bastante diferente. El contenido calórico atmosférico total es almacenado sólo en los primeros 1 a 2 metros del océano debido a una mayor capacidad calórica del agua y de su habilidad para absorber calor. Por lo tanto, el océano al ocupar un 70% de la superficie terrestre actúa como el regulador del estado medio climático en el planeta. El océano mitiga las variaciones extremas de temperatura ya sea absorbiendo o transmitiendo calor desde o hacia la atmósfera. Un ejemplo estudiado de este tipo de interacción océano-atmósfera y de como el océano regula y suaviza las condiciones extremas es el océano Atlántico Norte, en el que la corriente del golfo y su extensión hacia Europa transporta calor hacia altas latitudes cediéndolo a la atmósfera y moderando el clima regional de Europa Noroeste (Ribbe, 2001). La interacción entre atmósfera y océano ha despertado el interés de la comunidad científica internacional en los últimos años, de tal modo que el estudio del efecto invernadero y, en general del cambio climático, incluye una investigación exhaustiva sobre el papel de los océanos como almacén final de una importante cantidad de CO₂ (Figura 3).

El comportamiento de los océanos como amortiguador de las emisiones de CO₂ a la atmósfera se encuentra determinado en gran medida por la bomba biológica y la circulación oceánica. El fitoplancton capta CO₂ mediante la

fotosíntesis y las bacterias que consumen el fitoplancton liberan nutrientes y CO_2 de nuevo al océano. Este proceso se conoce como remineralización que ocurre en la superficie y el CO_2 puede volver a ser utilizado o liberado a la atmósfera (Fig. 2). El equilibrio termodinámico que se establece entre la capa más superficial oceánica y la atmósfera constituye una bomba de carácter químico de entrada (o salida) de CO_2 , así el CO_2 disuelto en el agua, puede verse incrementado como consecuencia de esta bomba química, pues al ser fijado por organismos fotosintéticos, constituyen una vía de exportación de carbono desde las zonas más superficiales a zonas más profundas oceánicas, que se intensifican en zonas o periodos de alta productividad, en especial a través de "florecimientos fitoplanctónicos". Por otro lado, procesos físicos como el hundimiento de masas de agua fría en equilibrio con la atmósfera en zonas polares, suponen un flujo importante de CO_2 entre la superficie y el fondo oceánico. En la superficie donde el agua está en contacto con la atmósfera, el contenido total de CO_2 depende principalmente de la salinidad y de la temperatura tendiendo a mantener una situación de equilibrio entre la cantidad de CO_2 atmosférico y el que se encuentra disuelto en el agua. Así a una mayor temperatura y salinidad es menor la disolución de CO_2 (Cifuentes *et al.*, 1997). Al entrar el CO_2 al agua de mar, reacciona produciendo ácido carbónico, que a su vez se disocia en iones de hidrógeno y bicarbonato y este último se descompone en iones de hidrógeno y carbonato. Este complejo equilibrio constituye un sistema amortiguador que de hecho determina el pH del agua de mar.

La producción primaria (PP) de los foto-autótrofos oceánicos representa el 50% de la producción primaria global. Puesto que estos organismos adquieren CO_2 desde la columna de agua para realizar la fotosíntesis, cualquier perturbación del pH del agua de mar y del sistema de carbonatos puede afectarles en gran medida y particularmente al fitoplancton. De hecho, recientes investigaciones sobre los mecanismos de adquisición de CO_2 por el

fitoplancton, han mostrado grandes diferencias en la sensibilidad al CO₂ en la utilización fotosintética del carbono en las especies que forman florecimientos (Rost *et al.*, 2003).

El papel de las aguas costeras en el ciclo del carbono es objeto de una gran controversia. El método más aproximado para determinar si un ecosistema es una fuente neta o un sumidero de CO₂ consiste en medir el gradiente de CO₂ con una adecuada resolución espacial y temporal que permita integrar los flujos a escala anual. Este método ha sido aplicado efectivamente en numerosos estudios efectuados en zonas de océano abierto pero los ecosistemas costeros no han sido analizados con el suficiente detalle. El primer trabajo que demostró la relevancia de los márgenes continentales en los procesos de intercambio de CO₂ con la atmósfera fue el llevado a cabo por Tsunogai *et al.*, (1999), que demostró que el Mar del este de China actuaba como un sumidero importante de CO₂ atmosférico, caracterizado por un fuerte flujo anual de aire-mar. Los resultados obtenidos permitieron formular el concepto de la bomba biológica de la plataforma continental, al actuar el margen como una zona de exportación de carbono al mar abierto.

Trabajos más recientes han demostrado que el gradiente de flujos de CO₂ en los márgenes de las plataformas continentales y de los sistemas costeros semicerrados, es muy elevado y que los intercambios de carbono en dichas áreas contribuyen en gran medida a los inventarios oceánicos a escala global (Borges, 2003). En este sentido, la plataforma continental del Golfo de Cádiz constituye un sistema costero de extraordinario en el que se podrían investigar las fluctuaciones espacio-temporales de CO₂ en sus aguas superficiales y el intercambio de este gas con la atmósfera.

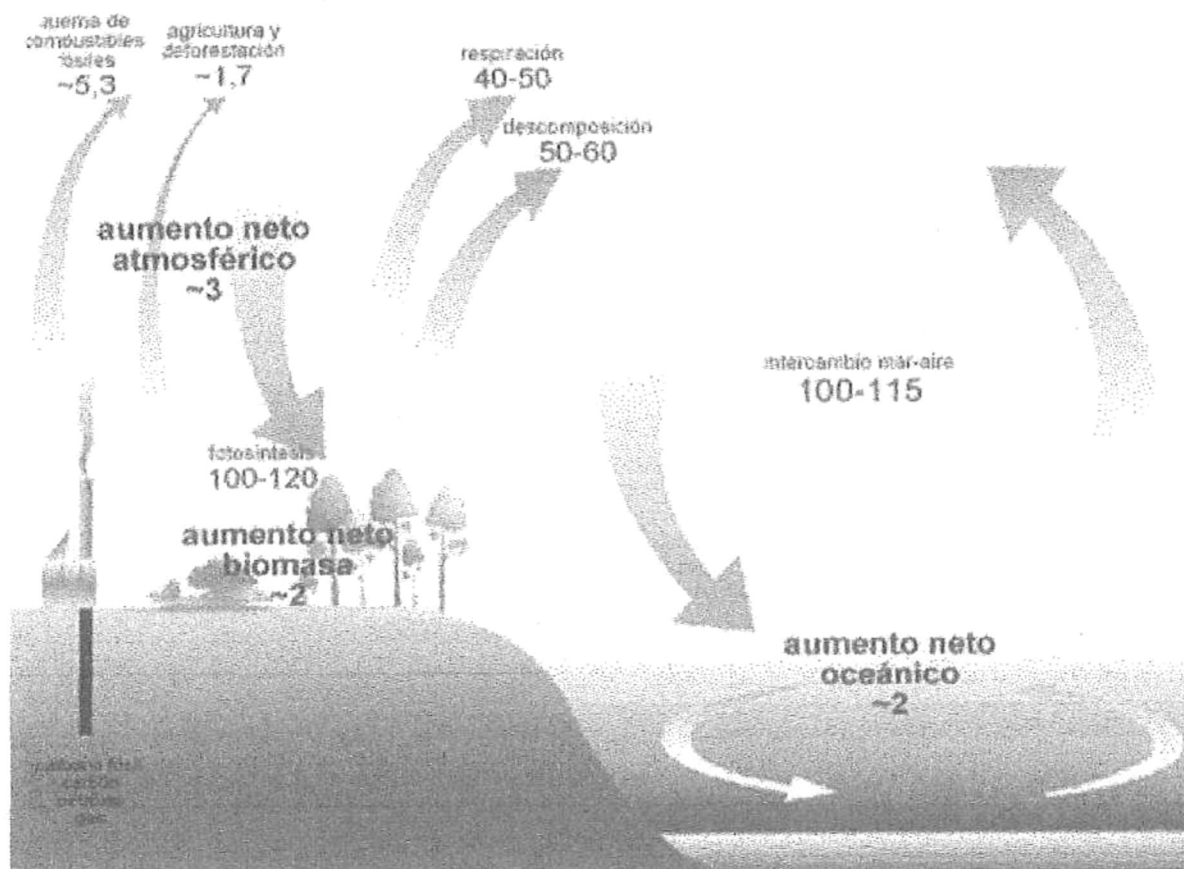


Figura 3.- Ciclo corto del CO₂, Intercambios anuales de carbono entre el mar, el aire y la biomasa continental (vegetación y suelos) en petagramos de carbono (PgC). Ciclo del carbono en el Océano. Uriarte (2003).

1.1 ANTECEDENTES

Aunque el Golfo de Cádiz es una región con gran actividad pesquera dada la abundancia de sus recursos vivos, las investigaciones oceanográficas se habían enfocado principalmente al estudio de la salida del agua mediterránea a través del Estrecho de Gibraltar y de los patrones de afloramiento producidos por el viento (Zenk y Army, 1990; Baringer y Price, 1999; Stevenson, 1977; Fiúza *et al.*, 1982; Fiúza, 1983; Folkard *et al.*, 1997; Relvas y Barton, 2002).

Estudios recientes señalan que los principales patrones de conexión entre el forzamiento físico y la respuesta biológica a las diferentes escalas a las que esta conexión se produce, determinando que la escala más importante de variación de la distribución de clorofila en el golfo de Cádiz es principalmente estacional y en menor grado a características topográficas y geográficas. En particular, la franja costera situada entre Cádiz y Huelva presenta durante el verano temperaturas más cálidas y con mayor concentración de clorofila que el resto de la cuenca, además la concentración de clorofila aumenta con el viento del oeste (poniente) que genera un ascenso de isopícnas en el entorno al Sur de la costa Portuguesa, y por tanto favorece el ascenso y la entrada de nutrientes a la capa fótica y disminuye con el viento del este (levante), produciendo surgencias. Asimismo, la concentración de clorofila aumenta con la precipitación en la región, sobre todo en los meses de otoño (Navarro, 2004).

Empleando imágenes oceánicas semanales de satélite de temperatura y clorofila, Navarro y Ruiz (2003) determinaron la producción primaria disponible entre enero de 1998 y diciembre del 2002. A partir del análisis en funciones empíricas ortogonales (FEO) en el modo 2, sobre los promedios semanales de clorofila describieron el ciclo estacional de la clorofila y zonificaron el golfo de Cádiz en cinco regiones que presentaron similitudes en la producción primaria y su relación con los procesos físicos (FEO) (Fig. 4).

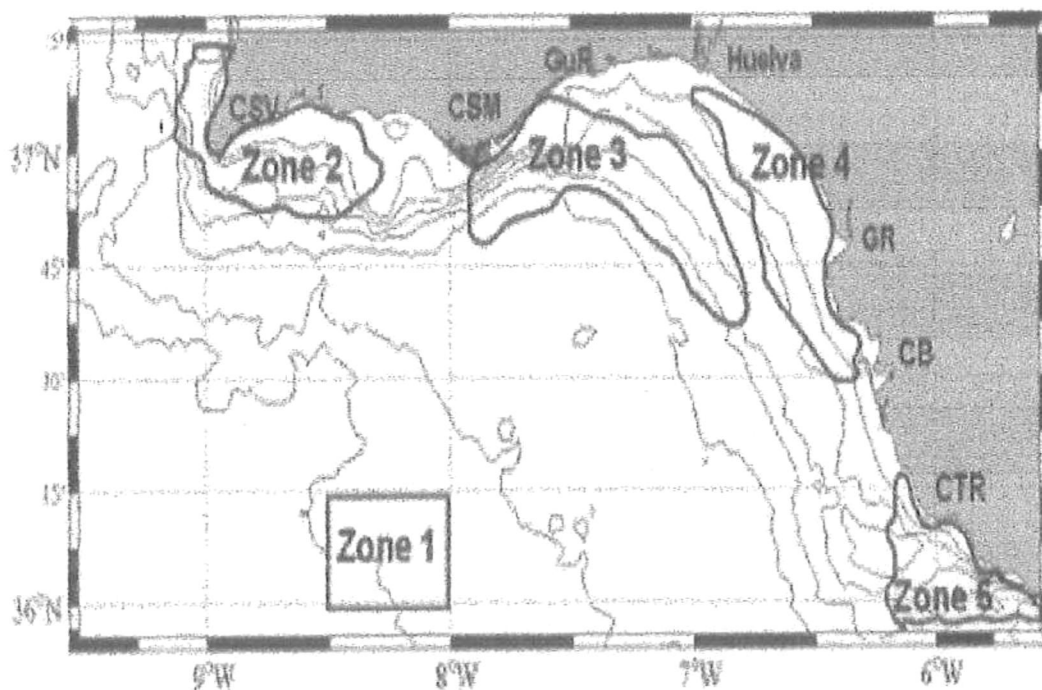


Figura 4.- Zonas detectadas a partir del análisis EOF realizado por y Rufz, (2003).

Encontrando

- En la región 1 un giro anticiclónico y de aguas oligotróficas
- En la región 2 aguas frías y productivas
- En la región 3 un frente nominal o frente de Huelva
- En la región 4 una zona de afloramiento
- En la región 5 aguas frías y productivas

Huertas *et al.*, (2005 y 2006) realizó un estudio sobre un ciclo anual de nutrientes, fitoplancton y CO_2 en la plataforma continental del Golfo de Cádiz, que permitió describir la dinámica y relaciones con las condiciones hidrodinámicas y el patrón de vientos. En dicho trabajo se encontró que durante la primavera, en período de mezcla de la columna de agua existió un aporte de nutrientes principalmente por la descarga fluvial, mismos que provocaron un florecimiento fitoplanctónico que condujo a altos valores de producción primaria. Además en esta época se observaron los valores más bajos de pCO_2 y por debajo del valor en equilibrio provocando que la plataforma se comportara como un sumidero de dióxido de carbono. Durante el verano o época de estratificación, la clorofila presentó valores más bajos al igual que la productividad global de la zona costera. La ausencia de vientos y el aumento de la temperatura superficial provocaron una supersaturación de CO_2 , invirtiéndose el flujo de éste hacia la atmósfera y convirtiendo a la zona en una fuente de CO_2 . Al inicio del otoño con la nueva mezcla en la columna de agua y la llegada de nutrientes de naturaleza fluvial se favoreció la aparición de un segundo florecimiento, aumentando la producción primaria y con ella la captura de CO_2 . Aunque en invierno la concentración de clorofila descendió debido a la reducción de la radiación incidente, el sistema permaneció como sumidero de CO_2 . Estos resultados fueron los primeros en describir las fluctuaciones estacionales de la pCO_2 en la zona en relación a la dinámica de nutrientes y producción primaria.

No obstante, más observaciones son necesarias para establecer el comportamiento global del carbono en la plataforma costera y evaluar la contribución relativa de los procesos físicos y biológicos sobre sus variaciones, por esto es necesario monitorizar el área y contribuir con el estudio de nuevas variables.

Se plantea entonces la hipótesis de este estudio al considerar que durante períodos de florecimientos fitoplanctónicos en las aguas de la plataforma del Golfo de Cádiz, este se comporte como un sumidero de CO₂ atmosférico, pudiendo ser afectado por factores meteorológicos que tengan efecto sobre los procesos hidrodinámicos en la zona.

Teniendo en cuenta los antecedentes previos y las hipótesis que se plantea, los objetivos con el presente estudio se presentan a continuación.

- Analizar la distribución espacio-temporal de la pCO₂, durante períodos de estratificación y mezcla

- Estimar los flujos de CO₂ entre el océano y la atmósfera

1.2 AREA DE ESTUDIO

El golfo de Cádiz (Fig. 5) localizado en la costa suroeste de la Península Ibérica, ocupa un lugar singular conectando el mar Mediterráneo con el océano Atlántico a través del estrecho de Gibraltar, entre los 36.16° N – 36.91° N y 7.45°O – 6.30°O (Fig. 5).

El Golfo de Cádiz lo componen tres tipos de agua, de acuerdo a Folkard *et al.*, (1997):

- 1) Agua profunda del Atlántico Norte a profundidades de más de 700m.
- 2) Agua central del Atlántico Norte (ACNA) entre los 100-700m de profundidad.
- 3) Agua superficial de Atlántico que forma una termoclina estacional entre la superficie y el ACNA.

Además el golfo de Cádiz recibe aguas del Mar Mediterráneo a través del estrecho y una entrada considerable de agua de los ríos Guadiana,

Tinto-Odiel y Guadalquivir, que desembocan en la cuenca, siendo el Río Guadalquivir y la topografía local, los factores que determinan la dinámica oceanográfica con aguas mas calidas durante el verano y en invierno mas frías (Vargas *et al.*, 2002)

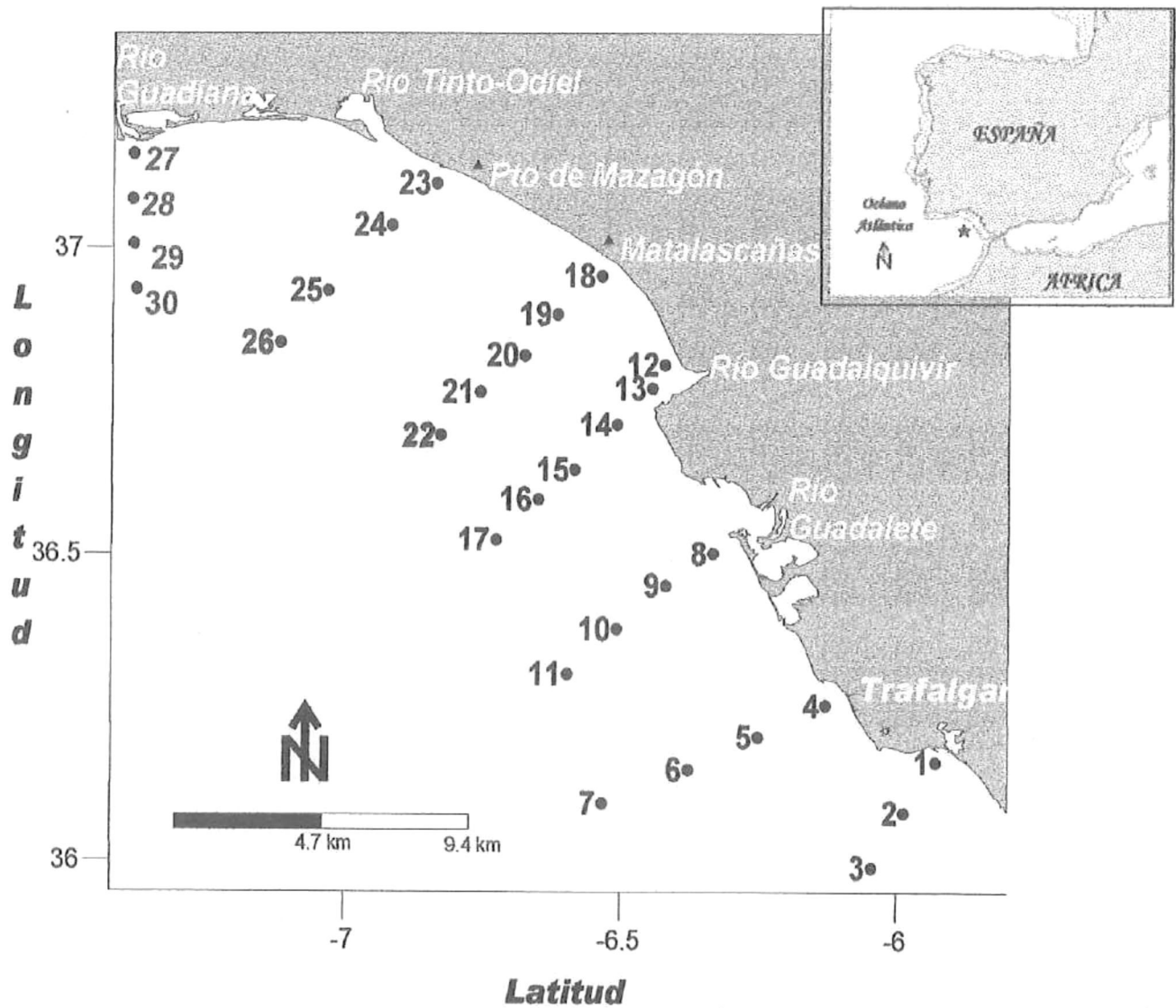


Figura 5.- Área de estudio (★),Golfo de Cádiz y estaciones de muestreo

2. METODOLOGIA

Se realizaron campañas oceanográficas mensualmente, a bordo del barco R/V "Regina Maris", colectando muestras a lo largo de 30 estaciones localizadas entre las coordenadas 36.16° N – 37.30° N y 7.45° O – 6.30° O durante el periodo Septiembre de 2005 a Marzo de 2006, entre 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150 y 200m de profundidad.

Para la caracterización de la hidrología de la zona se seleccionó un recorrido en continuo que incluyó inicialmente siete transectos casi ortogonales a la línea de costa (Fig. 5). Todos ellos se encuentran unidos entre sí por una serie de trayectorias que cubren alternativamente la franja costera y el área más oceánica. A lo largo de este recorrido, se situaron las 30 estaciones de muestreo para la caracterización de la columna de agua. En ellos se recogió muestras de agua superficial y se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad, fluorescencia, turbidez y oxígeno con un CTD SB-19.

2.1 HIDROLOGÍA

El sistema de muestreo específico para la caracterización de la hidrología consistió de dos componentes fundamentales:

- un sistema de registro en continuo, que aportó una caracterización de las aguas superficiales del golfo a una elevada resolución espacial.
- una toma de muestras de agua de superficie. Esto permitió la determinación de los valores de variables no incluidas en el registro en continuo.

2.1.2 REGISTRO EN CONTINUO

La metodología a seguir en la obtención del registro en continuo se mantuvo fija por bombeo y a lo largo de todo el periodo de estudio. Se basa inicialmente en el paso de la muestra de agua a estudiar a través de una serie de sensores destinados a caracterizarla. Para ello se utilizó el sistema adaptado y canalizado de bombeo auxiliar del barco de forma que el agua superficial

oceánica pase continuamente a través de todos ellos. El grueso de estos sensores lo conformaron un transmisómetro C-Star, un electrodo de oxígeno y pH, un sensor de temperatura, un fluorímetro SeaPoint para detectar valores de fluorescencia in vivo y un sensor de salinidad. Todos ellos se encuentran conectados a un CTD SB-19 que cada segundo, envió una señal registrada a una computadora, quedando los valores registrados geo-referenciados mediante de un GPS diferencial cuya señal se integra en el registro general del software.

2.2 TOMA DE MUESTRAS

En cada uno de los puntos repartidos a lo largo de la malla de muestreo se obtuvieron 7 l con una botella Niskin, tomando submuestras para cada una de las variables analizadas, siguiendo distintos protocolos como se indica en los apartados siguientes.

2.3 VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las variables meteorológicas que se han considerado son:

- Velocidad y dirección del viento

- Precipitación

Ambas proceden de las estaciones de Huelva y Cádiz del Instituto Nacional de Meteorología de España (INM).

2.4 SISTEMA DE CARBONATOS

Las muestras de agua de mar de superficie para el posterior análisis de alcalinidad fueron colectadas en botellas de 300ml de borosilicato prelavadas y dichas muestras fueron preservadas con una solución saturada de HgCl_2 y analizadas siguiendo el método marcado en el manual DOE (Department Of Energy, 1994).

La alcalinidad se midió mediante titulaciones potenciométricas con un valorador Mettler 794 de acuerdo al método de Perez *et al.*, (2000) y se realizaron calibraciones se efectuaron usando Agua de Material de Referencia con alcalinidad y CO₂ conocidos (CRMs Batch #70 y 71) proporcionados por el Dr. A. Dickson Scripps Institution of Oceanography.

El Carbono inorgánico total (Ci) y la presión parcial de CO₂ (*p*CO₂) se calcularon a partir del pH y alcalinidad, usando las ecuaciones termodinámicas del sistema de carbonatos (Dickson, 1981) y la constantes determinadas por Lueker *et al.*, (2000) y Weiss (1974) con una exactitud de $\pm 3.4 \mu\text{mol Kg}^{-1}$ y 5 μatm , respectivamente (Millero, 1995; Lee, 1997).

Los flujos de CO₂ se obtuvieron aplicando la siguiente ecuación:

$$F = 0.24k\alpha (p \text{ CO}_2 \text{ mar} - p \text{ CO}_2 \text{ aire})$$

Donde F es el flujo neto de CO₂ aire-mar ($\text{mmol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), k (cm h^{-1}) es el coeficiente de intercambio, α es la solubilidad de CO₂ en el agua de mar ($\text{mol}^{-1} \text{ atm}^{-1}$), *p*CO₂mar es la presión parcial en la superficie del mar y *p*CO₂aire representa la presión parcial de CO₂ atmosférico, obtenida de acuerdo al método estimado por Pérez *et al.*, (1998). El efecto de la velocidad del aire y el coeficiente de extinción se ha calculado usando las ecuaciones dadas por Wolf y Torpe (1991) como lo indica Gago *et al.*, (2003) y el número de Schmidt ($Sc = 2073.1 - 125.6 + 3.6^2 - 0.04t^3$) a través de las ecuaciones dadas por Wanninkhoff (1992). La velocidad del viento media diaria procedía de las estaciones meteorológicas del instituto meteorológico nacional de España (INM). Para calcular el coeficiente de la ecuación, a partir de los datos en crudo de la velocidad del viento promediada para el día de muestreo. Considerando un error de $\pm 1 \text{ ms}^{-1}$ en la velocidad del viento, $\pm 4 \mu\text{atm}$ en *p*CO₂ del mar y $\pm 1 \mu\text{atm}$ in *p*CO₂ del aire, el error estimado en F equivale a un 33%.

El pH de las muestras se determinó usando un potenciómetro modelo 780 de Metromh con un sensor de pH que contenía una sonda SGJ PT-1000 y cuya precisión es de ± 0.001 . Los valores de pH medidos se corrigieron a la

temperatura del agua de acuerdo a los datos obtenidos por el CTD utilizando las constantes de Dickson y Millero (1987).

2.5 CARBONO ORGÁNICO DISUELTO

La determinación del carbono orgánico disuelto (COD) en las aguas analizadas se realizó con el método de oxidación catalítica a elevadas temperaturas (680 °C) en un analizador de carbono total TOC-V Series Shimadzu. La muestra de agua se introdujo en un tubo de combustión donde se quema la materia orgánica disuelta contenida en ella. Como resultado de la combustión, todas las especies que forman el carbono total (TC) se transformaron a CO₂ el cual se detectó a través de un detector de infrarrojos no dispersivo (NDIR). Las detecciones del NDIR dieron una señal en forma de pico cuya área es proporcional a las concentraciones de TC en la muestra. Usando una ecuación de una curva de calibración se expresó matemáticamente la relación entre el pico y la concentración de TC. Las muestras para COD se filtraron tras su recolección a través de filtro Whatman GF/F, y se acidificaron con ácido fosfórico al 25 % con el fin de convertir el carbono inorgánico disuelto a CO₂. Se almacenaron a 4°C en ampollas selladas hasta su análisis para evitar contaminación. Previo al análisis, se burbujearon con N₂ para eliminar el CO₂ procedente de la acidificación, de tal modo que el CO₂ determinado finalmente por el equipo correspondía únicamente al resultante de la combustión del carbono orgánico disuelto de la muestra.

2.6 CLOROFILA a y NUTRIENTES

De los 7 litros de agua de mar de superficie que se recolectaron, 0.5 l se filtraron a través de filtros GF/F y éstos se destinaron al análisis de clorofila a. La extracción sobre dichos filtros se llevó a cabo con acetona y se midió por fluorescencia con un Fluorímetro Turner Design 10-AU de acuerdo a Yentsch y Menzel (1963), con una precisión de $\pm 0.05 \text{ mg m}^{-3}$. Del agua filtrada, se

recogieron 10 ml y se congelaron a -20°C para el posterior análisis de la concentración de nutrientes inorgánicos (fosfato, nitrito, nitrato y silicato) en el laboratorio. El análisis se efectuó con un Autoanalizador Technicon TRAACS 800 usando los métodos de Grasso (1983).

2.7 Tratamiento de datos

Con el fin de encontrar los procesos implicados con la distribución de la presión parcial de CO_2 , se realizó un estudio de análisis de factor, encontrando factores subyacentes que explicaron las dimensiones asociadas debido a la gran variabilidad en los datos, utilizando el método de máxima similitud y rotación varimax, para lo cual fue necesario ponderar las asociaciones para acotar la variabilidad medida en relación a la pCO_2 , estandarizando las variables estudiadas y utilizando el siguiente algoritmo:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Donde:

x = variable

$\bar{x}$ = promedio

σ = desviación estándar

Dicha transformación da valores positivos si se encuentran por arriba del promedio y negativos en caso contrario.

Con los valores + o - obtenidos se realizaron dendogramas que mostraron el nivel de similitud entre las distintas variables, encontrando así las principales asociaciones entre estas y la pCO_2 .

3. RESULTADOS

3.1 Distribución Espacio-Temporal en la Superficie de la Temperatura y Salinidad.

La temperatura superficial en aguas de la plataforma del Golfo de Cádiz (Fig. 6), presentó la temperatura máxima en el mes de septiembre '05 con valores cercanos a los 22°C y una distribución casi homogénea en toda el área, con el avance del estudio la temperatura fue disminuyendo y presentando en diciembre '05 los valores más bajos en la zona costera aledaña a la desembocadura del Río Guadalquivir, aumentando hacia la zona más oceánica. El mínimo de temperatura para el período muestreado se observó en el mes de enero '06 con 12.3°C '06 en la zona costera, incrementándose gradualmente de nuevo hacia la zona más oceánica, con valores próximos a 16°C. Hacia el mes de marzo '06, la temperatura mostró una distribución más homogénea con diferencias menores de un grado centígrado en toda la zona, tendencia que se repite durante el mes de abril '06 con valores más elevados de hasta 16.8°C.

Estas variaciones espacio-temporales en la distribución de la temperatura también se observaron en la salinidad de las aguas superficiales (Fig. 7). Así, durante el mes de septiembre '05 los valores de salinidad en la plataforma fueron constantes en toda la zona y comprendidos en un intervalo de 36.5-35.9. En octubre '05 se apreció un máximo de salinidad puntual en torno a 36.6 en las estaciones más oceánicas, los valores disminuyeron hacia la costa en la desembocadura del Río Guadalquivir. Esta tendencia se repitió en noviembre '05 y diciembre '05, observándose hacia el sur las salinidades más bajas en torno a 35.1. En enero '06 la distribución de la salinidad presentó cambios drásticos con una mayor diferencia de valores entre la región más oceánica y la costa con un intervalo de 36.4-35.5. De hecho, en febrero '06 se encontraron las salinidades más bajas de hasta 35.1 en las proximidades del río Guadalquivir. En marzo '06 y abril '06 de 2006 prosiguió la tendencia, con un promedio de salinidad de 36.5.

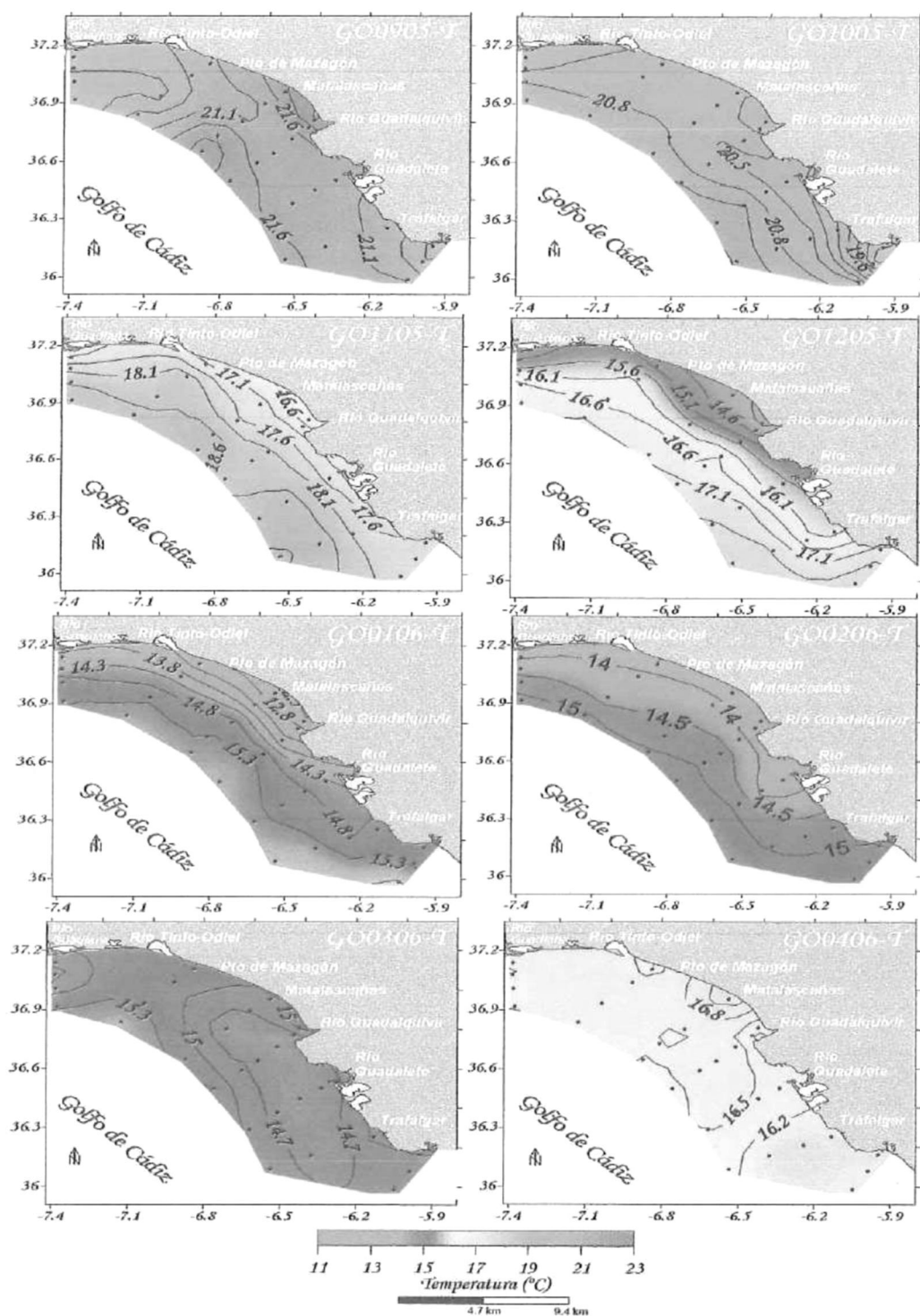


Figura 6.- Distribución superficial espacio-temporal de la temperatura, de septiembre '05 a abril de '06.

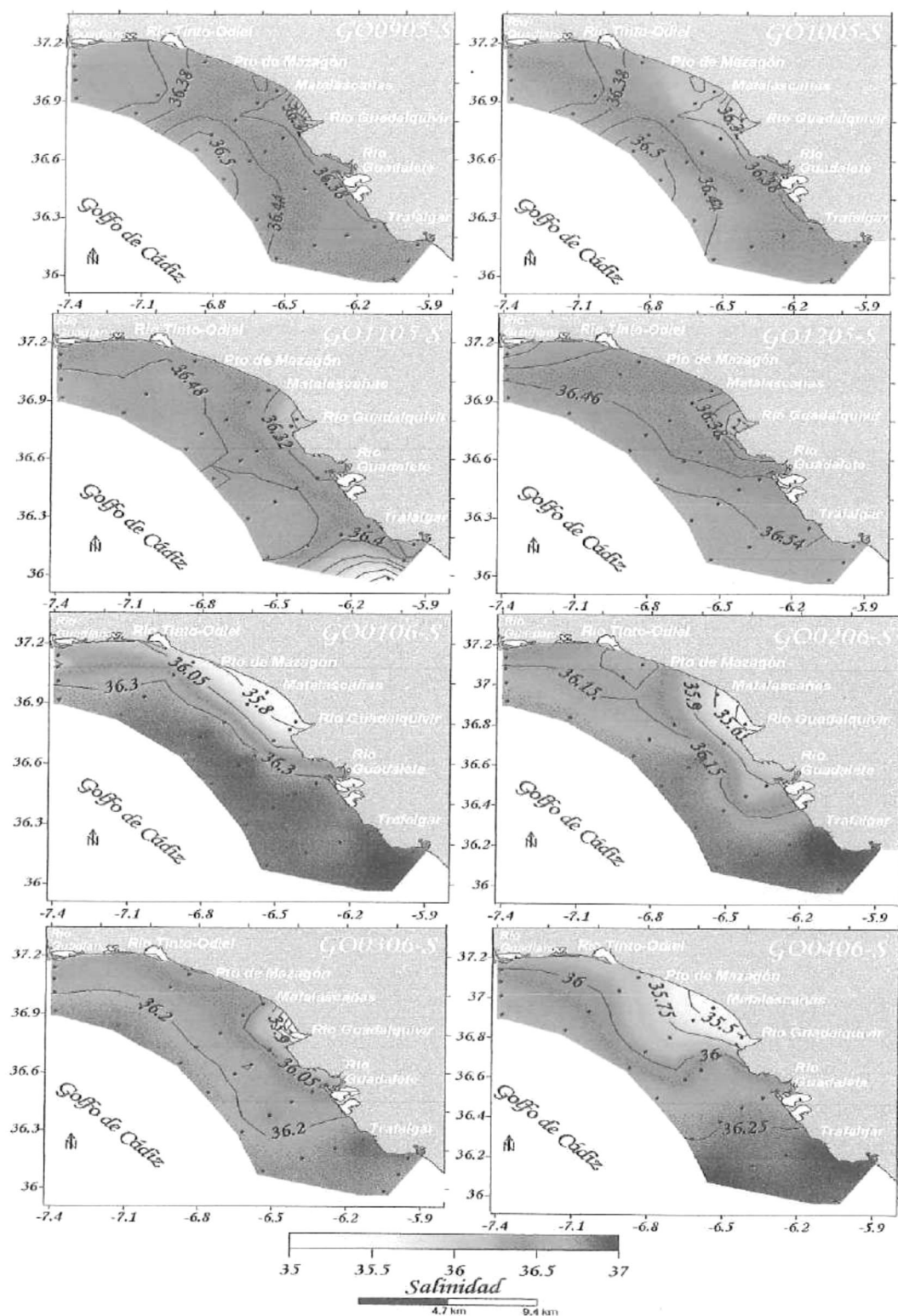


Figura 7.- Distribución superficial espacio-temporal de la salinidad de septiembre '05 a abril de '06.

3.2. Distribución Espacio-Temporal en la Superficie del pH

Respecto al pH, esta variable mostró variaciones espacio-temporales en las aguas superficiales de la plataforma del golfo de Cádiz durante el periodo muestreado. Al inicio de éste en septiembre '05, los valores de pH más bajos se localizaron sobre la zona centro y una pequeña porción de la parte sur, ubicando en la zona norte los mayores valores, con un intervalo comprendido entre 8.1- 8.4. En el mes de octubre '05 se encontraron las variaciones espaciales más drásticas, encontrando los valores máximos y mínimos de todo el periodo con un intervalo de 7.9 a 8.4 con los menores correspondientes a la zona de la bahía de Cádiz y los mayores hacia la zona norte (Fig. 8).

En noviembre '05 los valores de pH se mantuvieron casi homogéneos sobre todo el área de estudio con un intervalo de 8.2-8.3, ubicando los mínimos cerca de la desembocadura del Río Guadalquivir. En diciembre '05, dichos valores disminuyeron a lo largo de la plataforma del Golfo de Cádiz con respecto al mes anterior y el intervalo de valores se situó entre 8.1 y 8.2. Durante enero '06 el pH mostró una tendencia casi homogénea, siendo además el mes muestreado con el intervalo más pequeño en cuanto a cambio en los valores alrededor de 8.1. En febrero '06 esta variable aumentó sobre la zona norte y disminuyó hacia la región más oceánica frente al Puerto de Mazagón (Fig. 16).

En marzo '06 los mayores valores de pH se detectaron en la zona aledaña a la desembocadura de los Ríos Tinto-Odiel, y los menores hacia la zona sur de la plataforma, con un intervalo de 8.1-8.2, aumentando en abril '06, en particular entre las desembocaduras de los ríos Guadalquivir y Tinto-Odiel y hacia la zona más oceánica (Fig. 8). El intervalo de valores de pH en este mes fue de 8.0-8.3. El valor promedio calculado durante todo el periodo de estudio fue de 8.12.

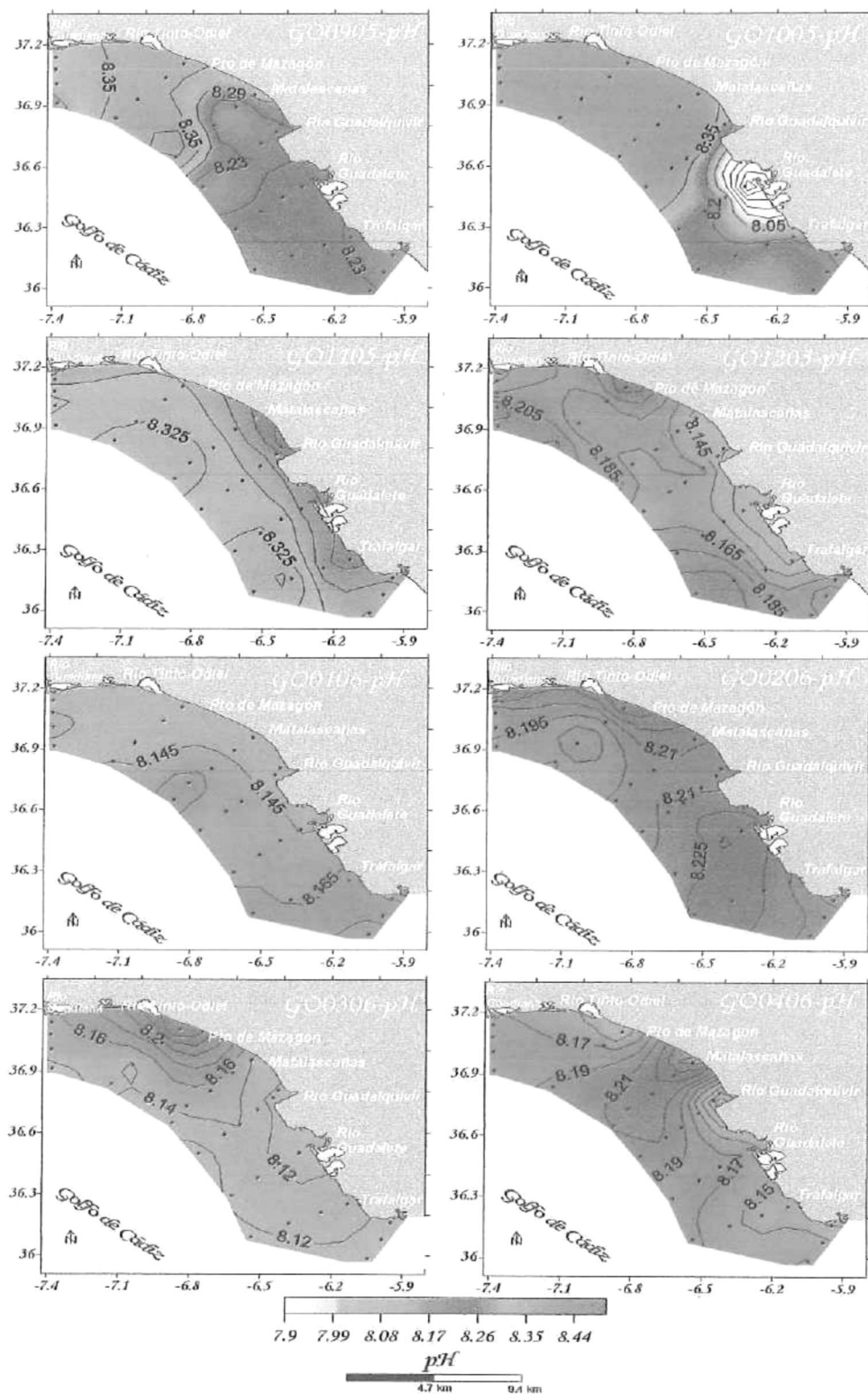


Figura 8.- Distribución espacio-temporal de pH en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.

3.3 Masas de agua, viento y precipitación

Tabla I. Intervalos de temperatura y salinidad de los tipos de agua encontradas para cada mes de muestreado.

Muestreo	Temperatura		Salinidad		Masas de Agua
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	
GO0905	22.7	19.5	36.5	35.9	ASA-ACNA
GO1005	21.4	18.5	36.6	35.8	ASA-ACNA
GO1105	19.1	16.1	36.5	35.1	ACNA-ASA
GO1205	17.8	13.9	36.6	35.9	ACNA-ASA
GO0106	15.9	12.3	36.4	35.5	ACNA
GO0206	15.4	13.7	36.4	35.1	ACNA
GO0306	15.5	14.3	36.3	35.2	ACNA
GO0406	17.4	15.9	36.3	35.2	ACNA-SW

*GO- Golfo de Cádiz, 00- mes, 00- año

Tabla II. Dirección de viento predominante para cada mes estudiado.

	Viento	
	Cádiz	Huelva
GO0905	Este-Oeste	Nor y Sur Este
GO1005	Este	Sur y Nor Este
GO1105	Sur-Este y Nor-Oeste	Nor Oeste y Este
GO1205	Nor-Este	Nor-Este
GO0106	Nor-Oeste	Nor-Este
GO0206	Nor-Oeste	Nor-Oeste
GO0306	Nor-Oeste	Sur y Nor Oeste
GO0406	Nor-Oeste	Sur y Nor Oeste

Tabla III. Promedio mensual de precipitación

Muestreo	Promedio mensual de Precipitación (mm)	
	Cádiz	Huelva
Septiembre '05	0.21	0.21
Octubre '05	26.59	27.54
Noviembre '05	16.38	16.96
Diciembre '05	10.55	10.93
Enero '06	28.61	28.61
Febrero '06	14.93	14.93
Marzo '06	21.57	21.57
Abril '06	13.07	13.07

3.4 Distribución Espacio-Temporal De La Presión Parcial De CO₂

La distribución espacio-temporal de la $p\text{CO}_2$ en aguas superficiales de la plataforma mostró una tendencia estacional evidente durante el periodo de estudio considerado (Fig. 9). En septiembre '05, las concentraciones de CO₂ decrecieron hacia la zona norte y sur, con los menores valores localizados en la región central. El intervalo de presiones calculado fue de 456.9 a 620.5 μatm . En octubre '05 se apreció un descenso global en toda la plataforma, con las presiones menores en la región sur, y un intervalo de presiones de 427.4 a 544.0 μatm . Hacia noviembre '05 se observó una disminución del gradiente desde la zona más oceánica hacia la costa en la región sur, con un intervalo de presiones de 397.1 a 497.0 μatm (Fig. 9). En enero '06 los niveles disminuyeron en comparación con el mes de noviembre '05, comparación que se hace debido a que no se cuenta con los datos del mes de enero, encontrando los valores superiores de CO₂ hacia la zona norte del área disminuyendo hacia el sur, presentando una distribución casi homogénea con un intervalo de valores calculados de 340.2 a 412.9 μatm . En febrero '06 las presiones disminuyeron con respecto al mes anterior con un intervalo de 263.0 a 376.5 μatm , presentando en la zona norte las mayores presiones hacia la zona más oceánica y menores hacia la costa, disminuyendo también hacia el sur. En marzo '06 las presiones menores se encontraron alrededor de la desembocadura del Río Tinto-Odiel y el intervalo de valores calculados fue de 292.6 a 388.9 μatm , mientras que hacia abril '06 las presiones disminuyeron ligeramente con los valores mayores localizados en torno a la desembocadura del Guadalquivir presentando una pluma hacia la zona más oceánica y encontrando los valores mínimos de todo el período, con un intervalo de 242.3 a 446.3 μatm (Fig. 18). El intervalo de valores estuvo comprendido entre 242.3 μatm y 620.5 μatm con una media de 410 μatm .

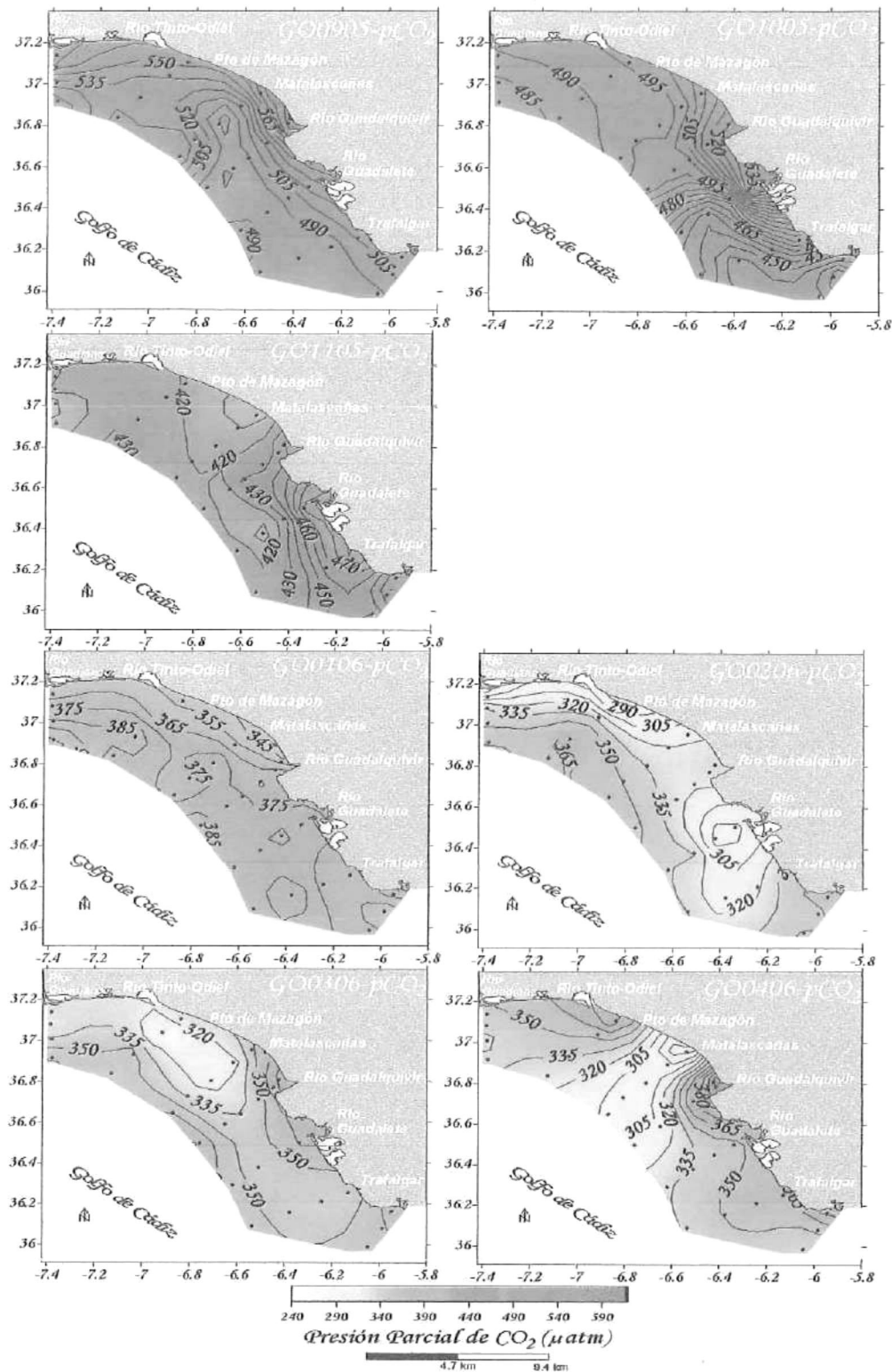


Figura 9.- Distribución espacio-temporal en la superficie de la presión parcial de CO_2 durante septiembre '05 a abril de '06.

Con el fin de evaluar el papel de la plataforma continental del Golfo de Cádiz como fuente o sumidero de CO_2 a la atmósfera durante el periodo de estudio considerado, se procedió al cálculo de la presión parcial de CO_2 atmosférica para compararla con las estimadas en las aguas superficiales. Teniendo como consideración si la presión parcial de CO_2 atmosférica supera a la presión parcial de CO_2 del agua de mar superficial, la columna de agua en la región se comportará entonces como una fuente neta de CO_2 a la atmósfera y como un sumidero en caso contrario. Según se aprecia en la figura 10, las $p\text{CO}_2$ atmosféricas correspondientes al año 2005 y 2006 fueron de 375.9 μatm y de 377.9 μatm respectivamente y se han dibujado como líneas punteadas. Los valores de las presiones parciales de CO_2 oceánicas a través del periodo estudiado se han representado en continuo en la figura 10, apreciándose que durante el periodo comprendido de septiembre-noviembre '05 fueron superiores a los valores atmosféricos y por tanto, indican que la plataforma se comportó como una fuente, mientras que el periodo comprendido de enero a marzo '06 actuó como sumidero capturando CO_2 atmosférico.

Los flujos de CO_2 entre la columna de agua y la atmósfera calculados para todo el periodo de estudio se han representado en la Figura 11. En ella se aprecia igualmente la influencia de la intensidad del viento sobre la magnitud del intercambio, de tal modo que cuando la velocidad del viento fue elevada, la magnitud del flujo se incrementó, como puede apreciarse en los meses de Octubre '05, Marzo y Abril '06.

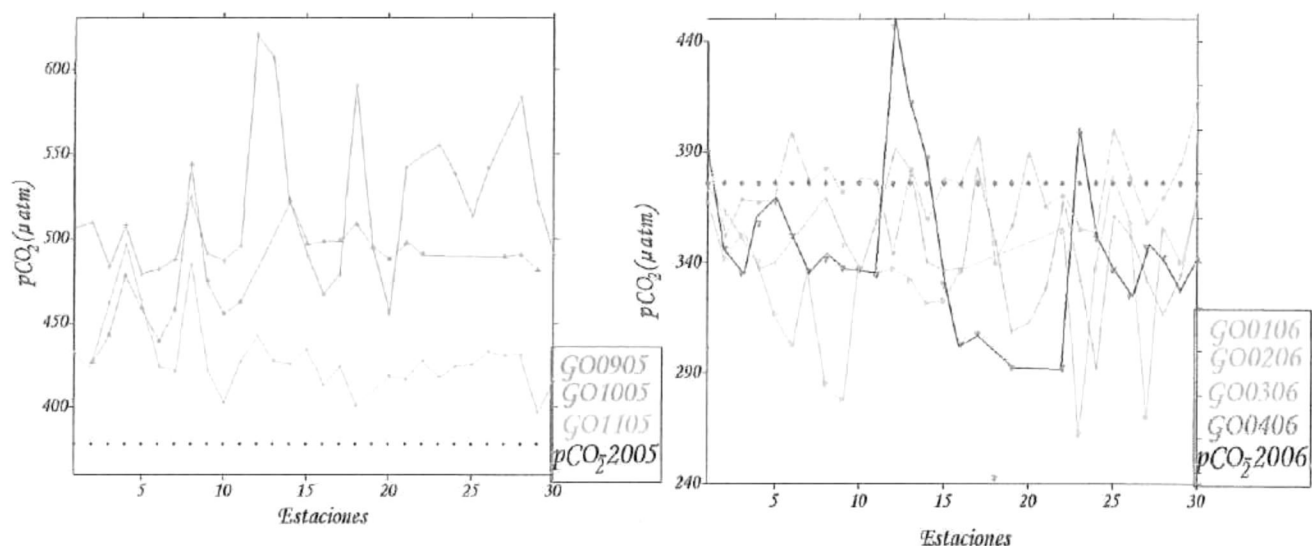


Figura 10. Comportamiento de presión parcial de CO_2 . *GO- Golfo de Cádiz, 00- mes, 00- año, línea punteada $p\text{CO}_2$ atmosférica del año correspondiente.

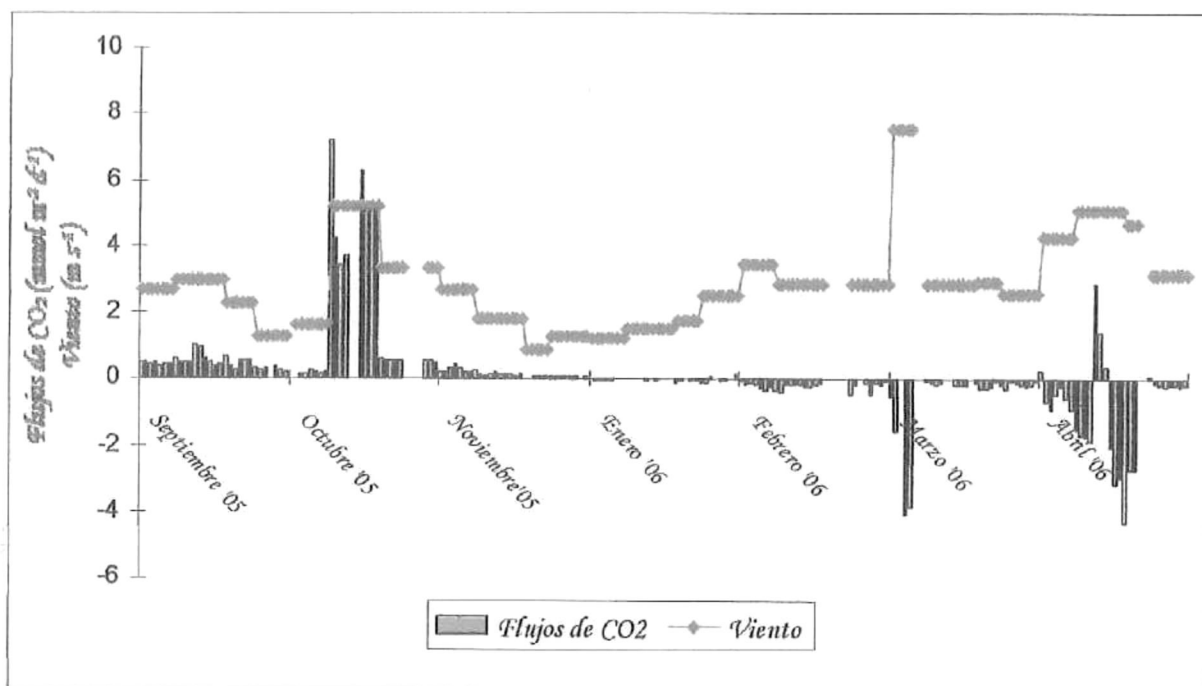


Figura 11.- Flujos de CO_2 entre la columna de agua y la atmósfera, así como el viento, durante septiembre de '05 a abril de '06.

3.5 CARACTERIZACIÓN TERMOHALINA DE LA COLUMNA DE AGUA

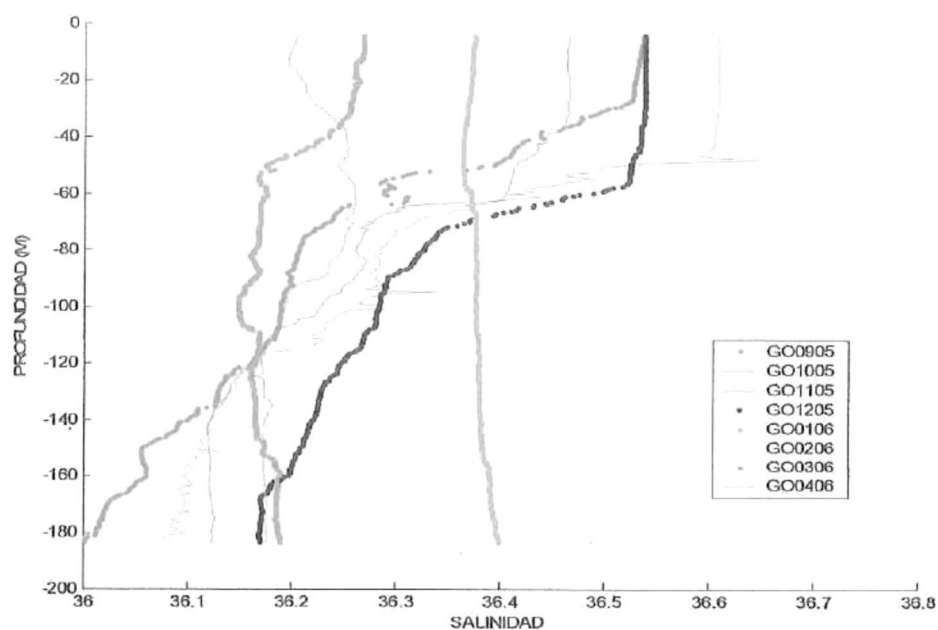
Con el fin de caracterizar las condiciones termohalinas de la columna de agua durante el período de muestreo considerado y determinar la presencia de periodos de mezcla y estratificación en la plataforma se han representado perfiles de temperatura y salinidad, escogiéndose para ello como referencia la estación 11 al ser la más profunda y por tanto, mejor reflejar las fluctuaciones de ambas variables en la columna de agua (figura 12 y 13).

Los perfiles encontrados permitieron identificar tres períodos:

- Un período en que la columna de agua aparece estratificada durante los meses de septiembre a octubre y correspondiente a las campañas GO-0905 y GO-1005.
- Otro periodo de estratificación parcial entre los meses noviembre y diciembre correspondiente a las campañas GO-1105/GO-1205
- Un periodo final de mezcla completa en la columna de agua que se extiende desde enero de 2006 a abril del mismo año (campañas GO-0106 a GO-0406).

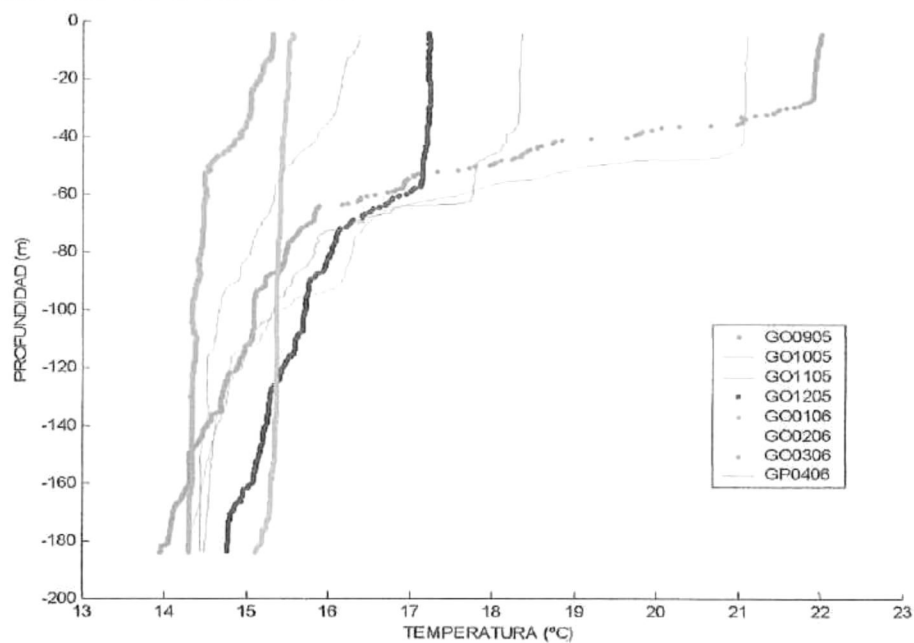
Para analizar en mayor detalle las características termohalinas durante los períodos encontrados, se realizaron perfiles de temperatura y salinidad correspondientes al transecto 3 (comenzando del sur) que comprende las estaciones 8, 9,10 y 11. En el periodo en el cual la columna de agua se encuentra estratificada, las isolíneas de ambas variables exhiben inflexiones en su distribución, apareciendo una termoclina a los 25m (Figura 14).

Las inflexiones se atenúan sobre la horizontal conforme la estratificación disminuye y comienza los procesos de mezcla en la columna de agua (Figura 15), para presentar en los meses subsecuentes una mezcla definida y completa (figura 16).



*GO- Golfo de Cádiz, 00- mes, 00- año

Figura 12.- Perfiles de salinidad correspondientes a la estación 11, de septiembre de '05 a abril de '06.



*GO- Golfo de Cádiz, 00- mes, 00- año

Figura 13.- Perfiles de Temperatura correspondientes a la estación 11, de septiembre de '05 a abril de '06.

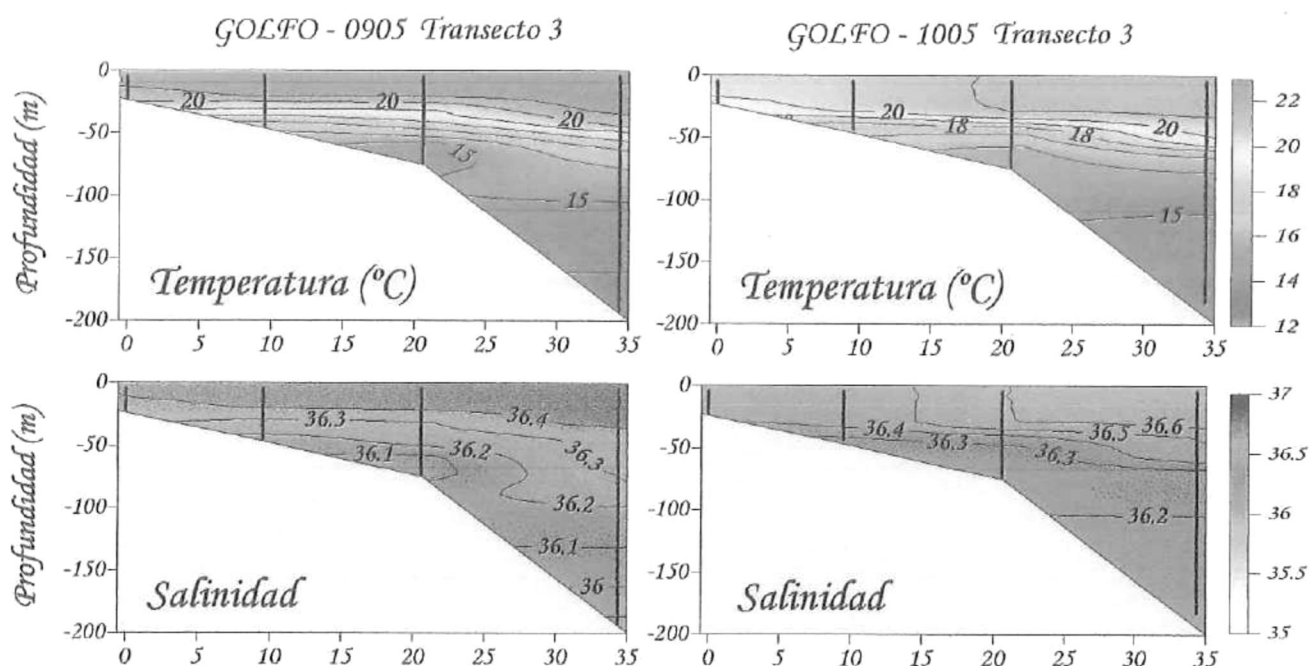


Figura 14. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período de estratificación, septiembre y octubre de '05.

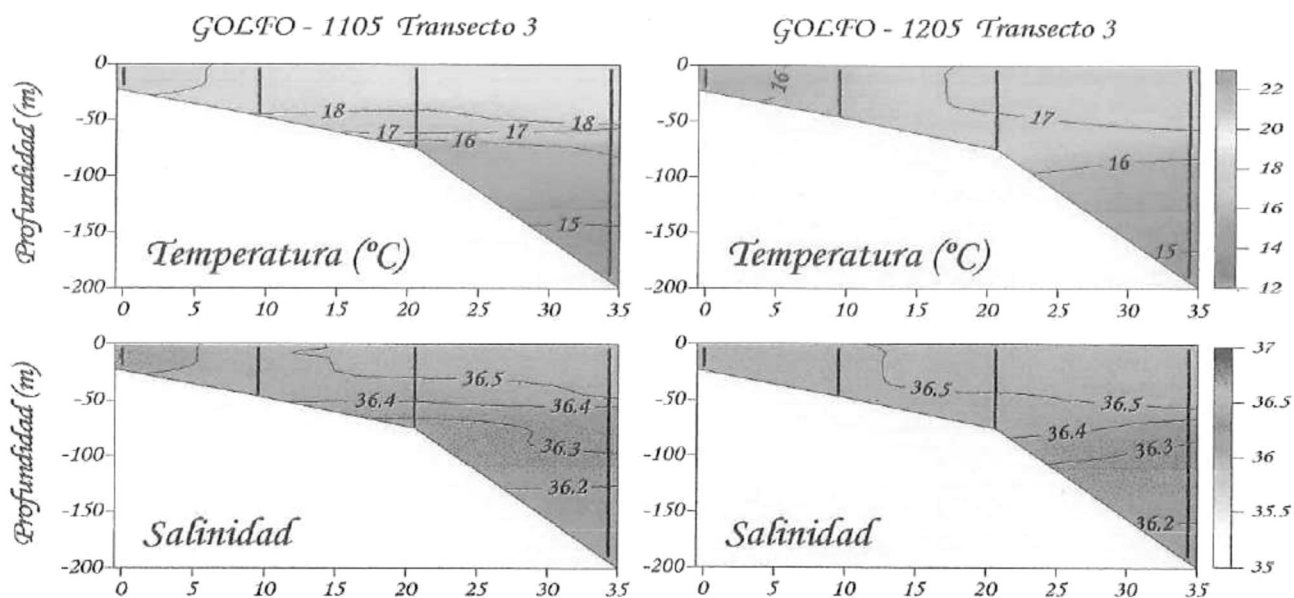


Figura 15. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período parcialmente estratificado, noviembre y diciembre de '05.

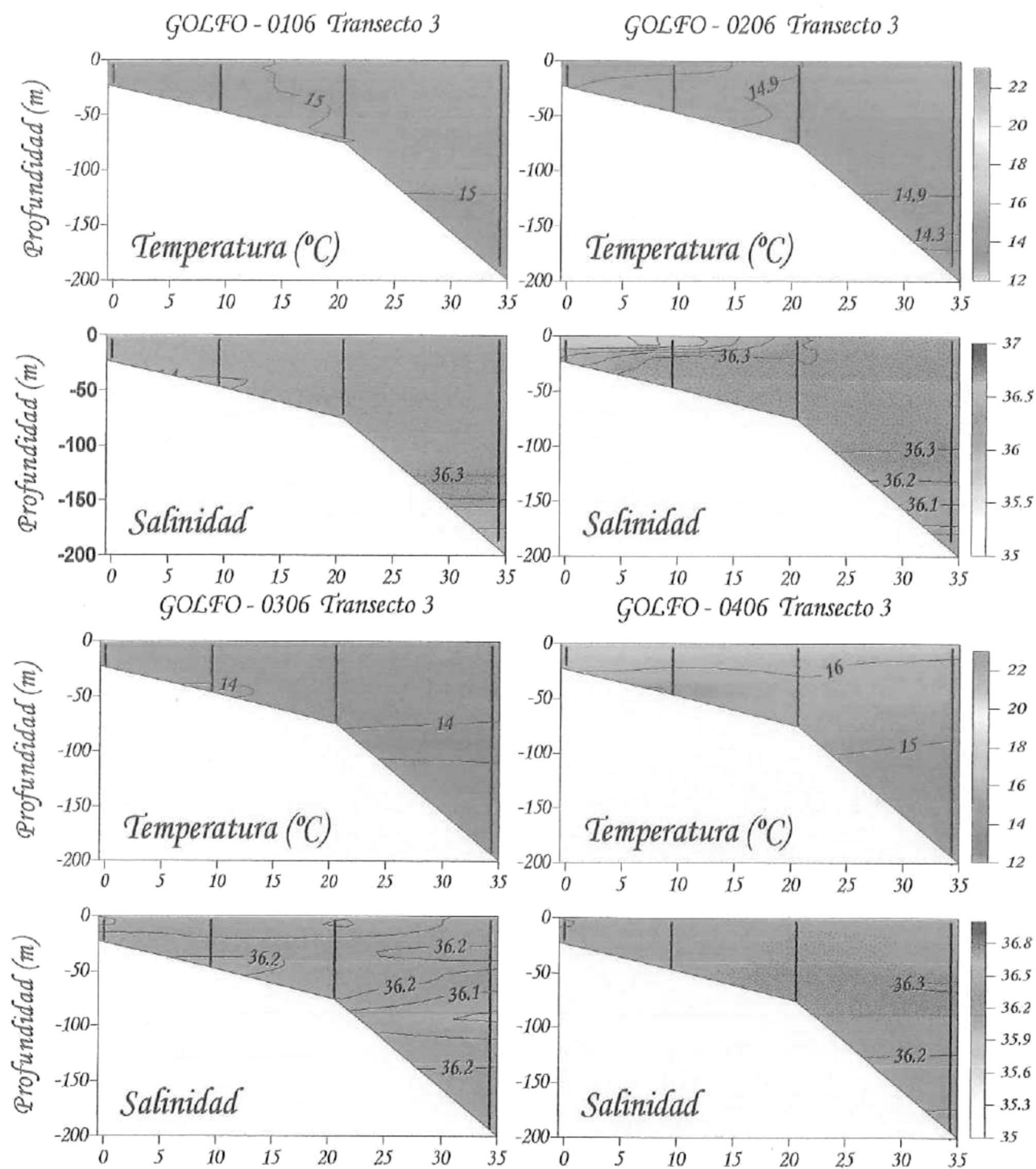


Figura 16. Isolíneas de temperatura y salinidad transecto 3 durante el período de mezcla, enero a abril '06.

3.6 TRATAMIENTO DE DATOS

Se realizó un bloqueo de datos detectando zonas diferentes sobre el área de estudio, por lo que se agruparon las estaciones para zonificar dicha área (figura 17):

- Estaciones del grupo correspondientes a zona 1, costeras y cercanas a desembocadura de ríos.

- Estaciones del grupo correspondientes a zona 2, costeras hasta 20km de distancia a la costa.

- Estaciones del grupo correspondientes a zona 3, más oceánicas >40km de distancia de la costa

- Estaciones del grupo correspondientes a zona 4, sobre descarga de emisor submarino.

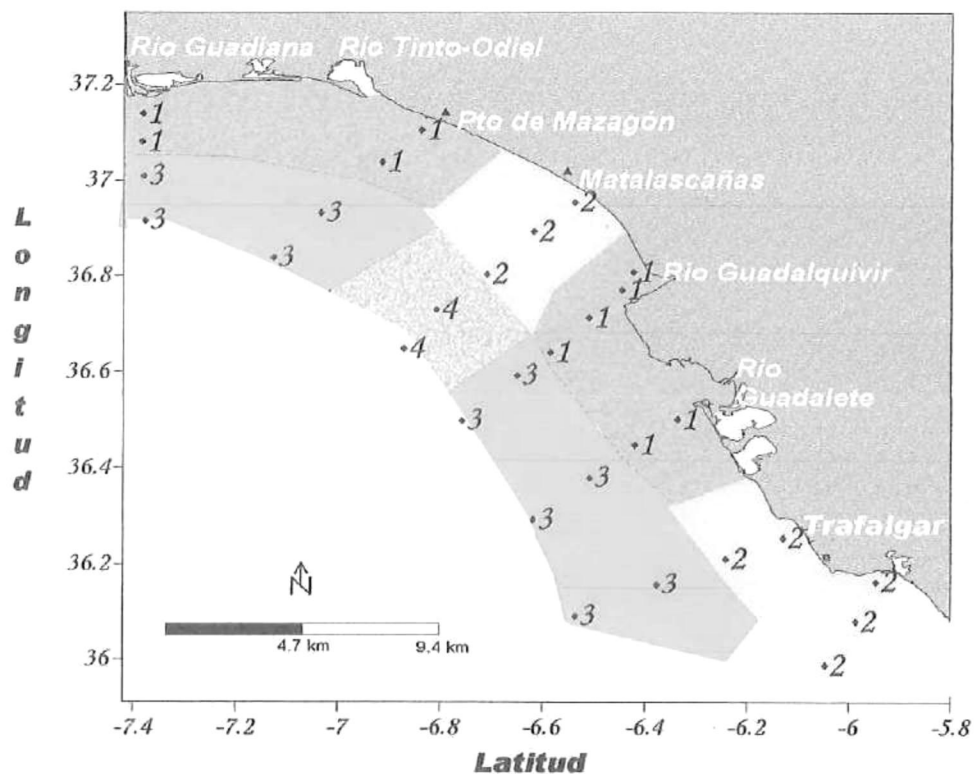


Figura 17. Zonación del área de estudio

Con la finalidad de describir los procesos que interactúan con la distribución de la $p\text{CO}_2$ encontrada en este estudio, se usaron las concentraciones de las distribuciones superficiales de las siguientes variables; clorofila (a), carbono orgánico disuelto (COD), nitratos, fosfatos y silicatos, cuyas descripción de su distribución se encuentran en el anexo I.

Partiendo de la zonación se realizaron dendogramas correspondientes a cada zona, encontrando asociaciones principales de la $p\text{CO}_2$ con alguna(s) de las variables estandarizadas anteriormente mencionadas.

Los dendogramas realizados por zonas para el período de estratificación (figura 18), mostraron que:

- En la zona costera con ríos, la asociación más fuerte fue la $p\text{CO}_2$ y clorofila.

- En la zona costera la $p\text{CO}_2$ tuvo asociación con la temperatura y salinidad, mostrando alta asociación los fosfatos con el COD. y la clorofila.

- En la zona oceánica la asociación encontrada con la $p\text{CO}_2$ fue con el pH, siendo la siguiente asociación fuerte entre la temperatura y salinidad.

- En la zona de emisor submarino la asociación encontrada con la $p\text{CO}_2$ fue con los fosfatos y el COD.

Durante el período parcialmente estratificado (Figura 19), los dendogramas mostraron que:

- En la zona costera sobre desembocadura de ríos, la $p\text{CO}_2$ tuvo asociación con la clorofila, siendo la asociación más fuerte entre los silicatos y nitratos.

- En la zona costera la $p\text{CO}_2$ tuvo asociación con los silicatos, mostrando también alta asociación nitratos y fosfatos.

- En la zona oceánica la asociación encontrada con la $p\text{CO}_2$ fue con el COD, siendo la mayor asociación silicatos y fosfatos, nitratos.

-En Zona de emisor submarino la $p\text{CO}_2$ tuvo asociación con la clorofila, y encontrando una mayor asociación entre silicatos y nitratos, temperatura y salinidad, fosfatos.

Durante el período de mezcla (figura 20), los dendogramas realizados mostraron que:

-En la zona costera sobre desembocadura de ríos, la $p\text{CO}_2$ tuvo relación con la asociación encontrada entre los silicatos y nitratos, fosfatos.

-En la zona costera la $p\text{CO}_2$ se asoció con la salinidad y tuvo relación con la asociación entre fosfatos y nitratos.

-En la zona oceánica la asociación encontrada con la $p\text{CO}_2$ fue con la salinidad, siendo la mayor asociación silicatos y nitratos, fosfatos.

-En Zona de emisor submarino la $p\text{CO}_2$ tuvo relación con asociación entre la temperatura y nitratos.

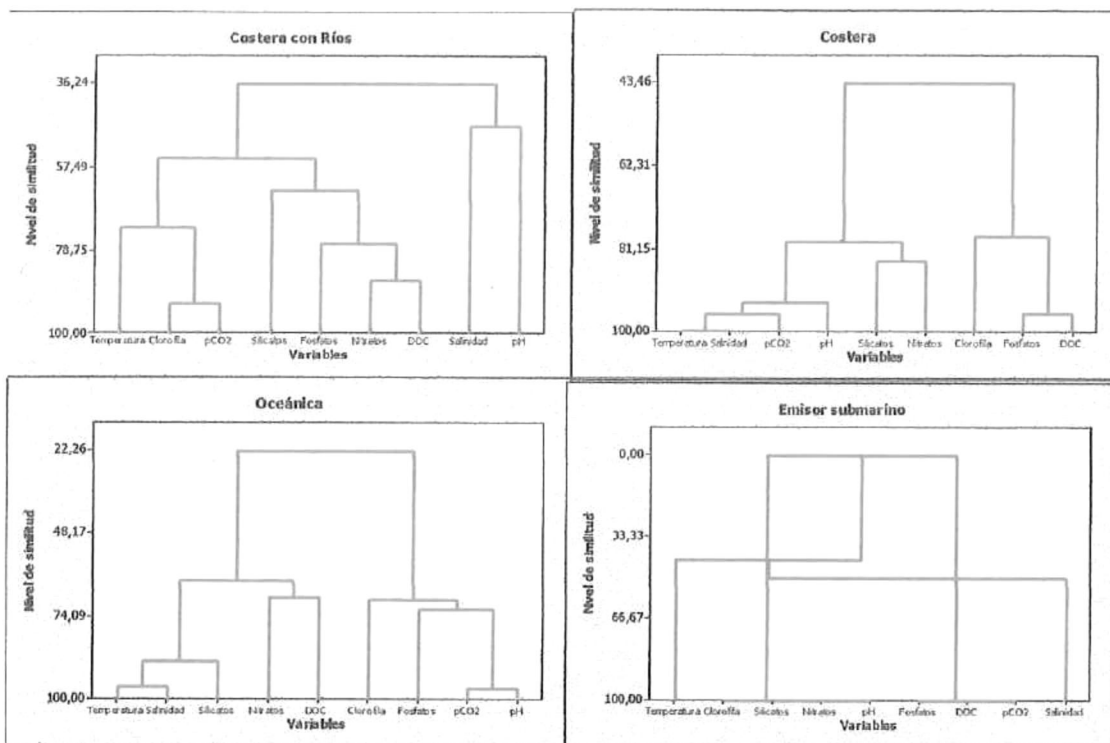


Figura 18. Dendrogramas por zonas del período estratificado.

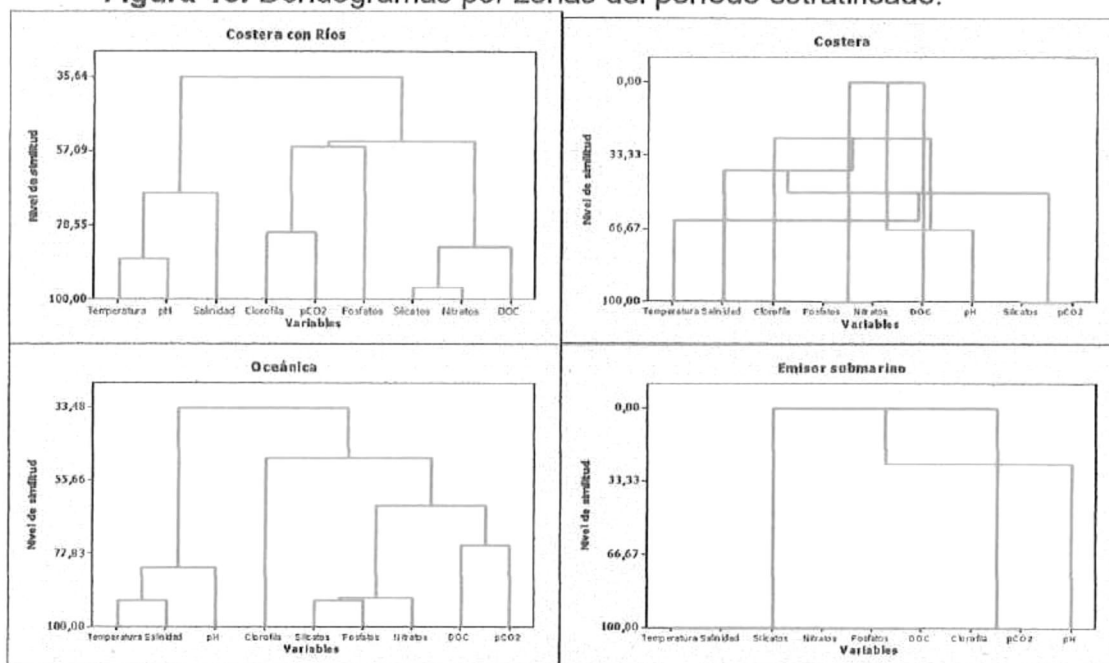


Figura 19. Dendrogramas por zonas del período parcialmente estratificado.

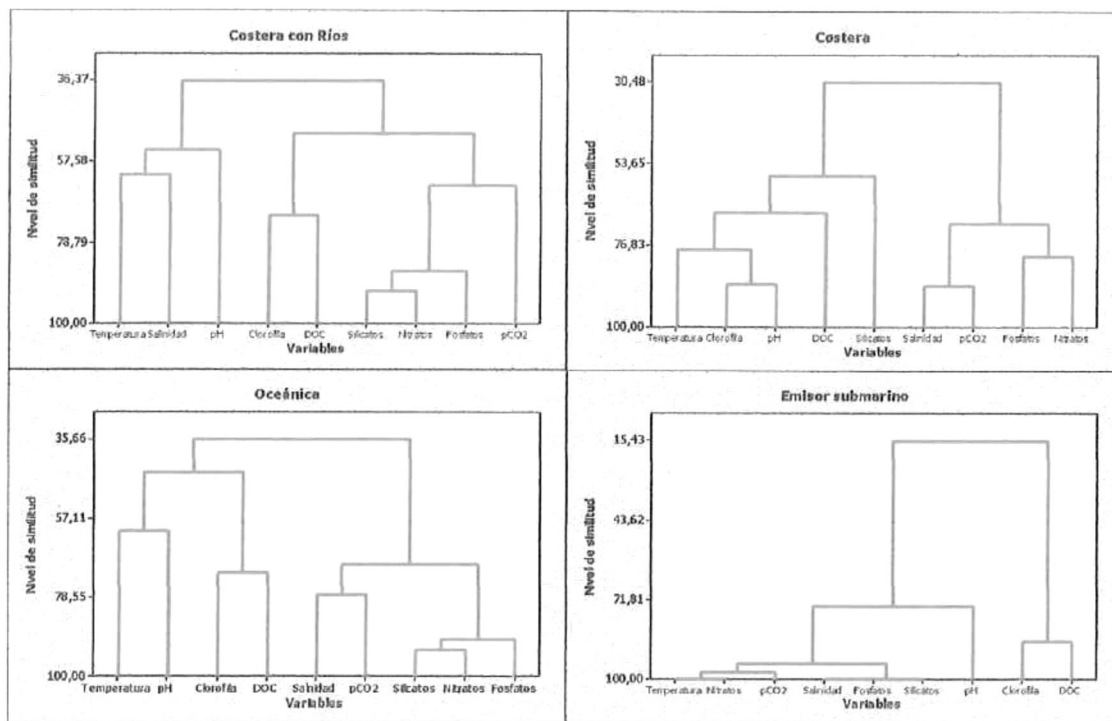


Figura 20. Dendogramas por zonas del período mezcla.

4. DISCUSIONES

Durante el primer mes del estudio, correspondiente a septiembre '05 la plataforma continental del Golfo de Cádiz actuó como una fuente de CO₂ a la atmósfera (Fig.10, 11). En este mes la temperatura superficial presentó los valores máximos, especialmente sobre la desembocadura del Río Guadalquivir, área en la que la salinidad fue menor con respecto al resto de la plataforma (Fig. 6) y que refleja la influencia fluvial. Las concentraciones de nutrientes y en general fueron mayores en las proximidades del río, aunque también se observó un máximo en nitratos sobre el área de emisor submarino (anexo I).

Aun cuando no se presentan resultados correspondientes a la época de primavera cabe esperar que la materia orgánica generada durante la formación de un florecimiento primaveral característico de estas latitudes (Huertas *et al.*, 2005 y 2006) entre a formar parte de un proceso de remineralización durante el verano que incremente los valores de pCO₂. Por otro lado, la elevación de la temperatura superficial del mar en los meses de verano contribuye a la sobresaturación, generándose entonces concentraciones de CO₂ más altas que la atmosférica. Este proceso ha sido descrito por Borges *et al.*, (1999) para costas de Bélgica y Alemania y señalado ya por Huertas *et al.*, (2005 y 2006) en el Golfo de Cádiz. Debido al florecimiento primaveral previo, se produce la consecuente disminución en la concentración de los nutrientes, quedando entonces hacia el verano un agotamiento de nutrientes en toda la plataforma (anexo I) y desechos de organismos fitoplanctónicos, tanto exudados como restos, dichos procesos dejan como resultado materia orgánica que es reflejado también en la distribución superficial de la concentración del COD, pues la fuente principal de COD en el océano son los productores primarios (Strom *et al.*, 1997) y que como señala Tupas (1994) y Chen (1996) los valores altos de la concentración de COD en la superficie del océano, están asociados con una mayor producción primaria en la superficie, es de esperar que sus restos sean reflejo de materia orgánica (anexo I).

Hacia octubre '05 los procesos anteriormente descritos continuaban sin embargo, se encontraron lluvias puntuales (tabla III, anexo I) que fertilizaron la zona aledaña a la desembocadura del Río Guadalquivir como se apreció en el aumento en la concentración de nutrientes y clorofila *a* sobre esta zona en comparación a septiembre '05 (anexo I). Esta contribución del río ha sido descrita en el pasado por Navarro y Ruiz (2003), y se comprueba en el tratamiento de datos en el dendograma correspondiente a la zona 1 de desembocadura de ríos durante el período estratificado (Fig. 18), y en la concentración de COD (anexo I). Así, se encuentra una asociación clara entre la pCO_2 y la clorofila *a*, pudiendo ser esta última el reflejo de la aparición de un florecimiento de diatomeas favorecido por un aumento en la concentración de nutrientes que fertilizaron el área (anexo I). No obstante, la plataforma continúa actuando aún como fuente de CO_2 a la atmósfera (Fig. 10), aunque en menor proporción que en septiembre '05 puesto que el florecimiento no fue lo suficientemente intenso y generalizado como para provocar un descenso considerable del dióxido de carbono y por otro lado, la temperatura favorecía aún la sobresaturación de este gas. Aunque no se dispone de datos de materia orgánica para el mes de octubre '05 se aprecia que en noviembre '05, ésta había descendido con respecto a la concentración registrada en septiembre '05, por lo que se puede asumir que el carbono orgánico continuó siendo respirado y generando CO_2 adicional. Ello es especialmente evidente en la zona sur. Los fuertes vientos del este (Tabla II, anexo I) que soplaron en este período produjeron un aumento en la magnitud del flujo de CO_2 (Fig. 11) dirigido hacia la atmósfera. Tal como encontraron Navarro y Ruiz, (2003) los vientos de levante característicos en esta área calientan la masa de agua y disminuyen la producción primaria.

La intensidad del proceso descrito se atenúa en la zona más alejada de la costa, donde disminuyen la concentración de clorofilas y nutrientes, asociación que inclusive se presenta en el dendograma del período estratificado

zona 3, oceánica (Fig. 18), en la que la $p\text{CO}_2$ mantiene asociación con el pH, clorofilas y fosfatos.

Hacia noviembre'05 y diciembre'05 disminuyó la estratificación en la columna de agua (Fig. 15). Probablemente el inicio de la mezcla contribuyó a la disminución de la $p\text{CO}_2$ en toda el área de estudio en comparación con octubre'05, aunque todavía en la plataforma del Golfo de Cádiz actuó como una fuente de CO_2 . La temperatura superficial disminuyó (Fig. 6), y empezó a apreciarse la lengüeta de agua fría procedente del Río Guadalquivir que a su vez se reflejó en una disminución de la salinidad en la zona más costera y aumento en la concentración de fosfatos, nitratos, silicatos, COD y clorofila en las inmediaciones del estuario (anexo I). Esto último puede explicarse debido a la regularidad de lluvias (Tabla III) durante este periodo, que traen un aumento en la descarga del Río Guadalquivir. Lo anterior se encontró en el dendograma correspondiente al período parcialmente estratificado, zona 1 desembocadura de ríos (Fig. 19), con una asociación entre la $p\text{CO}_2$ con la clorofila. Sin embargo, aunque hay un aumento en la concentración de nutrientes y de clorofilas, el florecimiento otoñal no fue muy intenso pues la incidencia solar en esta época del año es un factor que limita el crecimiento de los organismos fitoplanctónicos, proceso descrito también por Huertas et al., (2006).

Sobre la zona frente a Cádiz se detectó una disminución del pH con el consecuente aumento en la $p\text{CO}_2$. Igualmente se detectó un incremento en la concentración de silicatos, esto en el dendograma del período parcialmente estratificado, zona 2 costera (Fig. 19) se refleja en una asociación entre ambas variables. Puede suponerse que la presencia de vientos del este en noviembre'05 (Tabla II, anexo I) provocaron una lengüeta de fosfatos y nitratos hacia la costa. Hacia la zona oceánica se detectó una asociación entre la $p\text{CO}_2$ y el COD, encontrada también en el dendograma del período parcialmente estratificado, zona 3 oceánica (Fig. 19) que podría reflejar la continuación de la remineralización y el hecho de que el florecimiento no fuera en esa zona lo

suficientemente intenso (anexo I). Se detectó una segunda mancha de aumento en la concentración superficial de silicatos en una zona desfasada al emisor submarino, la cual en el dendograma del período parcialmente estratificado, zona 4 (Fig. 19), se relaciona con una disminución de la $p\text{CO}_2$ y aumento de la clorofila, reflejo de una posible proliferación de diatomeas. En esta zona hay además un aumento en la temperatura (Fig. 6), que caracteriza a descargas de emisores submarinos al aumentar la temperatura, trayendo consigo un aporte de nutrientes y una disminución de la salinidad (Fig. 7, anexo I).

Hacia enero'06 la mezcla de la columna de agua fue posible debido al descenso generalizado de la temperatura (Fig. 6, 16) en toda el área estudiada. Las lluvias además se presentaron de forma más regular (Tabla III, anexo I) encontrándose de hecho el máximo de precipitación de todo el período estudiado. Ello provocó el aumento en la descarga de los ríos trayendo consigo dilución de la salinidad (Fig. 7) y un aporte muy marcado de fosfatos, nitratos y silicatos en la zona aledaña a la desembocadura del Río Guadalquivir (anexo I). Este mismo patrón lo reportó Huertas et al., (2005 y 2006) y el aumento tan brusco en las concentraciones en la zona costera se debe fundamentalmente a factores antropogénicos pues a lo largo del Río Guadalquivir se concentran asentamientos humanos importantes, actividad agrícola de arrozales y zonas de acuicultura asociadas al río es también considerable. La lluvia, por tanto acarrea los nutrientes y desechos mismos que fertilizan el área y que pueden aumentar el fitoplancton y la materia orgánica como se observa en el mapa de la distribución en la superficie de COD, (anexo I). La clorofila no aumentó de manera notable debido a la escasa incidencia de luz en el golfo en esa época del año (Navarro 2004). La $p\text{CO}_2$ disminuyó con respecto al periodo anterior en toda la plataforma (Fig. 9) y, probablemente el descenso en la temperatura del agua y la mezcla favorecieron la aparición de condiciones de subsaturación en la zona más próxima al Río Guadalquivir. Por ello, dicha zona se comportó como un sumidero de CO_2 , coincidiendo con aumentos en la concentración de

nutrientes, que fertilizan la zona, y de clorofila con respecto al resto del área estudiada. De hecho esta asociación es encontrada en el dendograma del período de mezcla, zona 1 desembocadura de ríos (Fig. 20), en el que se observa una asociación entre los silicatos y nitratos, fosfatos y la pCO_2 . Una segunda asociación se encontró entre los anteriores y la clorofila y COD. Las zonas alejadas de la costa en general se comportaron como fuente de CO_2 , debido probablemente a la atenuación de la producción primaria, como indicaría el mapa de distribución de clorofilas (anexo I). Este comportamiento es evidente en la figura 11.

Hacia febrero '06, la pCO_2 disminuyó de forma generalizada (Fig. 9), manteniéndose con valores bajos y caracterizando a la plataforma del Golfo de Cádiz como un completo sumidero de CO_2 (Fig. 10), en el que además las concentraciones de nutrientes, clorofila y COD. (anexo I), aumentaron en comparación a enero '06. Asimismo, se observó una pluma de aguas enriquecidas en clorofila que se extiende dirección oeste-este, posiblemente favorecida por la presencia de vientos del noroeste en esta época (Tabla II, anexo I). Puede suponerse que dicho aumento en la concentración de productores primarios, en esa región concreta, pueda deberse a la ocurrencia de un afloramiento de aguas profundas frías (Fig. 6, 7) ricas en nutrientes según (anexo I). Estos afloramientos son inducidos por el viento de poniente que explicaría la distribución de estas variables. Estos afloramientos son comunes en la zona del cabo de Santa María bajo condiciones de vientos de poniente (Navarro 2004).

Es de destacar también el descenso de la salinidad en el área más costera sobre el estuario del Guadalquivir (Fig. 7) debido nuevamente a las continuas precipitaciones que se registraron en este mes (Tabla III), observándose una asociación de la pCO_2 con la salinidad en el dendograma del período de mezcla, zona 2 costera y 3 oceánica (Fig. 20). En la primera zona se encontró una relación entre la pCO_2 con salinidad, fosfatos y nitratos, pudiendo

esto ser debido a aportes terrígenos y descarga fluvial. En la zona 3, se encontró entre la pCO_2 y salinidad, silicatos, nitratos y fosfatos, debido posiblemente a la actividad biológica, reflejada también en la concentración de COD (anexo I).

Durante marzo '06 la pCO_2 aumentó ligeramente en comparación a febrero 06 (Fig. 9) aunque el área estudiada se caracterizó por comportarse nuevamente como un sumidero de CO_2 (Fig. 10), a excepción del área aledaña a la desembocadura del Río Guadalquivir, zona sobre la cuál la concentración de nutrientes es además mayor respecto al resto del área y refleja la ya mencionada descarga y fertilización fluvial (anexo I). Las concentraciones de clorofilas aumentaron en toda el área estudiada con respecto al mes anterior, encontrándose una mayor concentración sobre el área aledaña a la desembocadura de los ríos Guadalquivir y Guadiana y en la zona del emisor submarino (anexo I). El incremento en la clorofila puede explicarse por el aumento en la emisión solar que favorece en esta área la generación de un florecimiento primaveral (Navarro 2004 y Huertas et al., 2005). Esta misma distribución se encontró también para el COD (anexo I) y de hecho, en el dendograma correspondiente al período de mezcla en la zona 4 de emisor submarino (Fig. 20) se apreció una asociación entre la pCO_2 y temperatura y nitratos, que se debe a la descarga al igual que la asociación siguiente entre los fosfatos, silicatos y salinidad, de ahí la relación con la actividad biológica al aumentar la concentración de clorofila y COD.

En Abril '06 la pCO_2 aumentó en comparación al mes de marzo '06, debido en parte a que la intensidad del florecimiento primaveral sobre el área estudiada decreció y a la subida de la temperatura (Fig. 6, anexo I). Las lluvias (tabla III) ayudaron a la fertilización del área con el acarreo de nutrientes (anexo I) aunque en menor proporción y por otro lado hay que considerar que el florecimiento fitoplanctónico en Marzo '06 pudo haber contribuido al descenso de nutrientes de un mes con respecto al otro. De hecho, la lengüeta en las

concentraciones de clorofila y COD descendieron ligeramente (anexo I), especialmente desde la desembocadura del Río Guadalquivir y hacia la zona de emisor submarino.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que durante los meses de septiembre '05 y octubre '05 la plataforma del Golfo de Cádiz permanece sobresaturada con respecto a la concentración de CO_2 , comportándose como una fuente de CO_2 hacia la atmósfera, disminuyendo dicho proceso en los meses noviembre '05 y diciembre de '05 pues la plataforma se comienza a subsaturar con respecto a la concentración de CO_2 atmosférico, hasta que el proceso se revierte en los meses de enero '06, febrero '06, marzo '06 y en menor medida en abril de '06, la plataforma actúa como un sumidero del CO_2 del aire.

Se explica la sobresaturación al encontrar que únicamente en los meses posteriores al verano en que la columna de agua aparece estratificada, con temperaturas elevadas en superficie y disminución de la producción primaria al haberse consumido los nutrientes en meses anteriores de florecimiento primaveral.

Conforme la temperatura disminuye e inicia el invierno, se produce la mezcla en la columna de agua que homogeniza las propiedades físico-químicas en ella, observándose que proceso es gradual y existen meses de estratificación parcial. Este periodo de transición y el posterior caracterizado por condiciones de mezcla total, coinciden con un aumento en la descarga fluvial debido a la aparición de las precipitaciones en esta zona geográfica que causan una fertilización de la región, de hecho las altas concentraciones encontradas particularmente sobre la desembocadura del Río Guadalquivir se deben en su totalidad a los arrozales y acuicultura que a lo largo del río se ubican.

Por otro lado, los resultados obtenidos permiten inferir que la mezcla total favorece un florecimiento generalizado, en el área estudiada.

Los factores que pueden determinan la dirección del flujo de CO_2 entre la columna de agua y la atmósfera, es una interacción de procesos físicos, químicos biológicos, siendo en la superficie donde ocurre el flujo de CO_2 entre

la atmósfera y el agua de mar y cuya magnitud es condicionada por la intensidad del viento en esta área, según demuestran los cálculos efectuados.

6. BIBLIOGRAFIA

- Baringer, M.O., Price, J.F., 1999. A review of the physical oceanography of the Mediterranean outflow. *Marine Geology*. 155 (1-2): 63-82.
- Borges, A.V., Frankignoulle, M., 1999. Daily and seasonal variations of the partial pressure of CO₂ in surface seawater along Belgian and southern Dutch coastal areas. *Journal of Marine Systems* 19: 251-256.
- Borges, A. V., Frankignoulle M., 2003. Distribution of surface carbon dioxide and air-sea exchange in the English Channel and adjacent areas. *Journal of Geophysical Research*. 108:9-14.
- Bryden, H.L., Stommel, H.M., 1982. Origin of the Mediterranean outflow. *Journal of Marine Research*. 40: 55-71.
- Chen, R.F., Fry, B., Hopkinson, C.S., Repeta, D.J., Peltzer, E.T., 1996. Dissolved organic carbon on Georges Bank. *Continental Shelf Research*. 16: 409-420.
- Cifuentes-Lemus, J.L., Torres García, M.P., Frías M.P. 1997. "El Océano y sus Recursos II: ciencias del mar, Oceanografía geológica y química". 2ª ed. E.d Fondo de Cultura Económica. México. Cap. IV
- Criado, A. F., Garcia L. J., Vargas J.M., Del Río J., Sánchez A., Delgado J., Sánchez J.C., 2006. Wind induced variability of hydrographic features and water masses distribution in the Gulf of Cadiz (SW Iberia) from *in situ* data. *Journal of Marine Systems*. 63:130-140.

- Department Of Energy, 1994. In: Dickson, A.G., Goyet, C. (Eds.), Handbook of Methods for the Analysis of the Various Parameters of the Carbon Dioxide System in Sea Water; Version 2. ORNL/CDIAC-74.
- Dickson, A.G., 1981. An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and inorganic total carbon from titration data. *Deep-Sea Res* 18:609-23
- Dickson, A.G., Millero, F.J., 1987. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep-Sea Research*. 34(1), 1733-1743.
- Fiúza, A.F.D., de Macedo, M.E., Guerreiro, M.R., 1982. Climatological space and time variation o the Portuguese coastal upwelling. *Oceanol. Acta*, 5(1): 31-40.
- Fiúza, A.F.D., 1983. Upwelling patterns off Portugal. In: E. Suess, Thiede, J (Editor), *Coastal Upwelling.*, Plenum New York, pp. 85-98.
- Folkard, A.M., Davies, P.A., Fiuza, A.F.G., Ambar, I., 1997. Remotely sensed sea surface thermal patterns in the Gulf of Cadiz and Strait of Gibraltar: variability, correlation and relationships with field. *J Geophys Res*. 102 (C3), 5669-5683.
- Gago, J., Gilcoto, M., Pérez, F.F., Rios, A.F., 2003. Short-term variability of fCO₂ in seawater and air-sea CO₂ fluxes in a coastal upwelling system (Ría de Vigo, NW Spain). *Marine Chemistry* 80, 247-264.

- Grasso, K., Ehrhard M., Kremling K., 1983. Methods of seawater analysis. 2nd ed. Verlag Chemie, Berlin, pp. 134–136.
- Huertas I. E., Navarro G., Rodríguez- Gálvez. S., Prieto L., 2005. The influence of phytoplankton biomass on the spatial distribution of carbon dioxide in surface sea water of a coastal area of the Gulf of Cádiz. Can J Bot 83: 929- 940
- Huertas, I.E., Navarro, G., Rodríguez-Gálvez, S., Acero-Sánchez, E., Lubián, L.M., 2006. Temporal patterns of carbon dioxide in relation to hydrological conditions and primary production in the northeastern shelf of the Gulf of Cadiz (SW Spain). Deep Sea Research (II). pp.1344-1362
- Lee, K., Millero, F.J., Wanninkhof, R., 1997. The carbon dioxide system in the Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research 102, 15693–15707.
- Libes, S. M., 1992. "An Introduction to Marine Biogeochemistry". John Wiley & Sons, Inc. USA. 447-450p p.
- Lueker, T.J, Dickson AG, Keeling CD., 2000. Ocean pCO₂ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity, and equations for K₁ and K₂; validation based on laboratory measurements of CO₂ in gas and seawater at equilibrium. Marine Chemistry 70:105-19.
- Mauritzen, C., Morel, Y., Paillet, J., 2001. On the influence of Mediterranean Water on the Central Waters of the North Atlantic Ocean. Deep-Sea Res (I), 48(2): 347-381.

- Mercado, M.J., 2002. Ecofisiología Y Bomba Biológica En El Océano. INCI 27 (10).
- Millero, F.J., 1995. Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans. *Geochim Cosmochim Acta* 59(4): 661-667.
- Navarro, G., 2004. Escalas de variación espacio-temporal de procesos pelágicos en el Golfo de Cádiz. Tesis doctoral Universidad de Cádiz.
- Navarro, G, Ruiz, J., 2003. Elements of spatial and temporal variability of plankton in the gulf of Cadiz: an analysis based on EOF decomposition of SeaWiFS images. *Proceedings on SPIE Remote Sensing*. (En preparación).
- Pérez, F.F., Ríos, A.F., Castro, C.G., Roson, G., 1998. Mixing analysis of nutrients, oxygen and dissolved inorganic carbon in the upper and middle North Atlantic Ocean east of the Azores. *J Mar Sys* 16, 219-233.
- Pérez, F.F., A.F. Ríos, T. Relán, M. Alvarez. 2000. Improvements in potentiometric seawater alkalinity determination. *Ciencias Marinas* 26, 463-478.
- Relvas, P., Barton., E.D., 2002. Mesoscale patterns in the Cape Sao Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *J Geophysical Research*. 107(C10): 3164.
- Ribbe, J., 2001. Cambio Climático: ¿Qué está pasando en el océano? *Geociencias. Oceanografía. Parte 1*.

- Ríos, A.F., Pérez, F.F., Fraga, F., 1992. Water masses in the upper and middle North Atlantic Ocean east of the Azores. *Deep-Sea Research*. (39): 645- 648.
- Rost, B., Riebesell, U., Burkhardt, S., Sültemeyer, D., 2003. Carbon acquisition of florecimiento-forming marine phytoplankton, *Limnology and Oceanography*. 48: 55-67.
- Sánchez-Lamadrid, A., Ruiz, J., García E., Juárez, A., Jiménez, T., Sobrino, I., Blanco, E., Jiménez, P., Bruno, M. Navarro, G., 2003. Estudio de los recursos pesqueros del Golfo de Cádiz, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- Siegenthaler, U., Sarmiento, J.L., 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature (London)*. 365:119-125.
- Smith, S.V. y R. W. Buddemeier., 1992. Global Changes and coral reefs ecosystem. *An Review of Ecology and System*. 23:98-118
- Sobrino, I., Jiménez, M.P., Ramos, F., Baro, J., 1994. Descripción de las pesquerías demersales de la región suratlántica española. Informe Técnico Instituto Biología Español, Oceanografía. 151: 79.
- Stevenson, R.E., 1977. Huelva Front and Malaga, Spain, Eddy Chain as defined by Satellite and Oceanographic Data. *Dtsch Hydrogr Z.* 30(2): 51-53.

- Strom, S.L., Benner, R., Ziegler, S., Dagg, M.J., 1997. Planktonic grazers are potentially import source of marine dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanography* 42: 1364-1374.
- Tsunogai, S.S., 1999. Watanabe, and T. Sato, Isthere a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂, *Tellus, Ser. B*,51, 701-712.
- Tupas, L. M., Popp, B.N., Karl, D.M., 1994. Dissolved organic carbon in oligotrophic waters: experiments on sample preservation, storage and analysis. *Marine Chemistry* 45: 207-216.
- Uriarte, C.A., 2003. Historia del Clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 3era Parte. El clima reciente.
- Vargas, J.M., García-Lafuente, J.,Delgado,J.,Criado,F., 2002. Seasonal and wind induced variability of sea surface temperatura patterns in the Gulf of Cadiz. *Journal of Marine Science*. 38 (3-4): 205-219.
- Wanninkoff, R., 1992.Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *Journal Geophysical Research*. 97:7373-7382
- Weiss, R.F., 1974. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non ideal gas, *Marine Chemistry*. 2:203-215.
- Wolf, D.K., Thorpe,S.A., 1991.Bubles and the air-sea exchange of gases in near saturation conditions. *Journal of Marine Research* 49, 435-466.

- Yentsch, C.S., Menzel., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. Deep-Sea Research. 10(1): 221-231.
- Zenk, W., Army L., 1990. The complex spreading pattern of mediterranean Water off Portuguese continental slope. Deep Sea Research. 10(1): 221-231.

ANEXO I

I Masas de Agua

En este estudio se detectaron las aguas anteriormente descritas en el área de estudio sobre el área muestreada en base a las características de temperatura y salinidad encontradas en los diagramas de Temperatura y Salinidad realizados para cada uno de los meses estudiados (Fig. I). En particular, entre Septiembre y Octubre 2005 se observa la presencia de ASA y ACNA. A partir de Noviembre de 2005 es menor la presencia de la primera debido al enfriamiento de las aguas superficiales y al comienzo de la mezcla en la columna de agua de tal modo que prácticamente a partir de Diciembre y hasta Marzo de 2006, la masa de agua predominante es ACNA, apareciendo aguas de características más costeras (SW) en Abril. (Fig. I).

Así en los diagramas realizados conforme las características de salinidad y temperatura están sobre los vértices A-B el agua que predomina es ACNA, al subir la temperatura el agua es ASA, misma que aumente del vértice B hacia arriba, sin embargo al alcanzar mayor temperatura el agua característica está sobre el vértice C.

II Viento

Como ya se ha indicado, los datos de viento corresponden a los registrados en dos estaciones meteorológicas del INM, una de Cádiz cuyos valores se han aplicado sobre la parte sur muestreada (estaciones de la 1 a la 17) y de Huelva que se ha usado para la parte norte (estaciones de la 18 a la 30). Se han realizado rosas de viento para cada mes en la zona Sur-Cádiz y Norte-Huelva (Fig. II y Fig. III), caracterizando la dirección de éste en cada una de ellas.

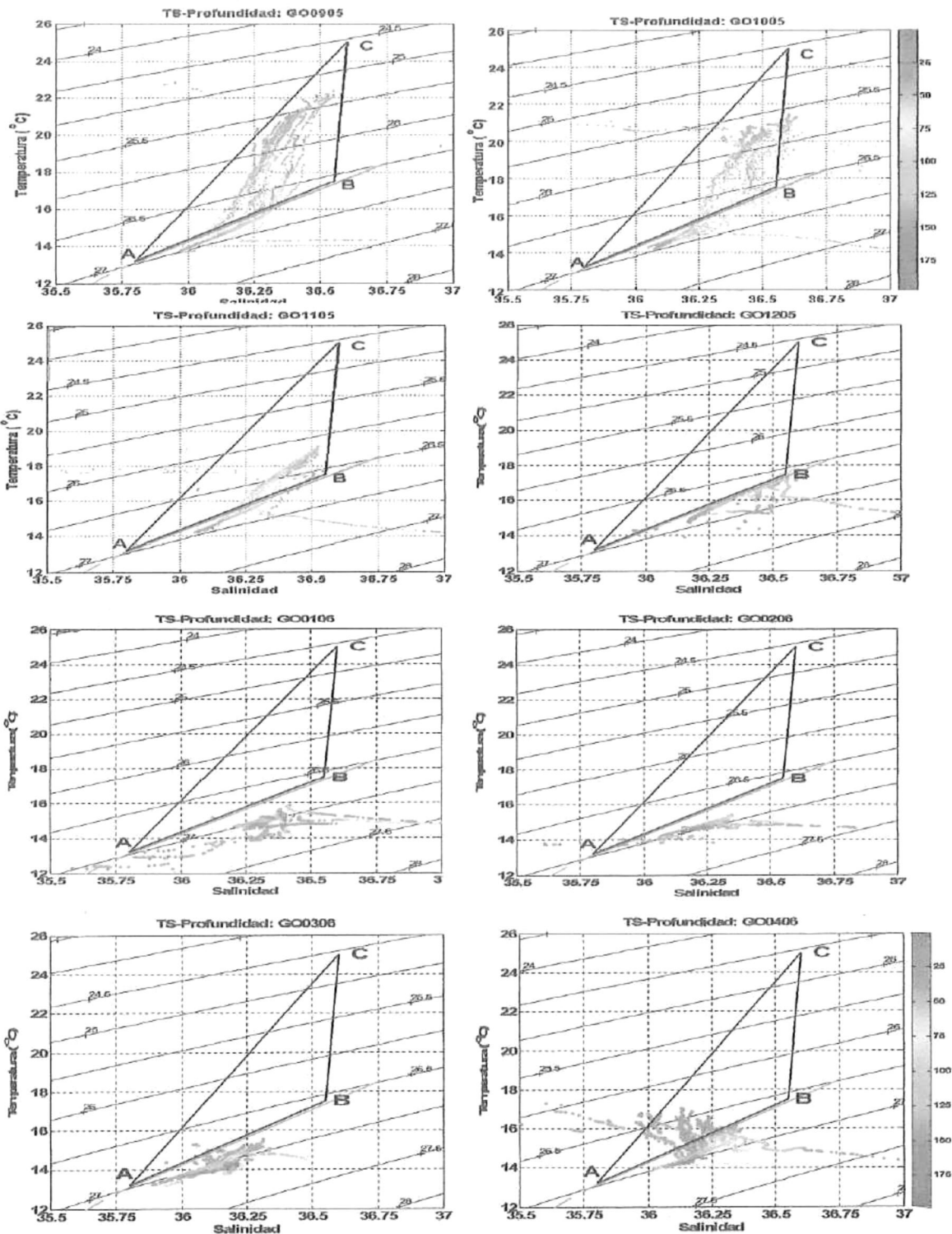


Figura I. Diagramas de temperatura y salinidad, la línea marcada representa los intervalos en los que predomina el Agua Central Nor-Atlántica, de septiembre '05 a abril de '06, la escala profundidad (m).

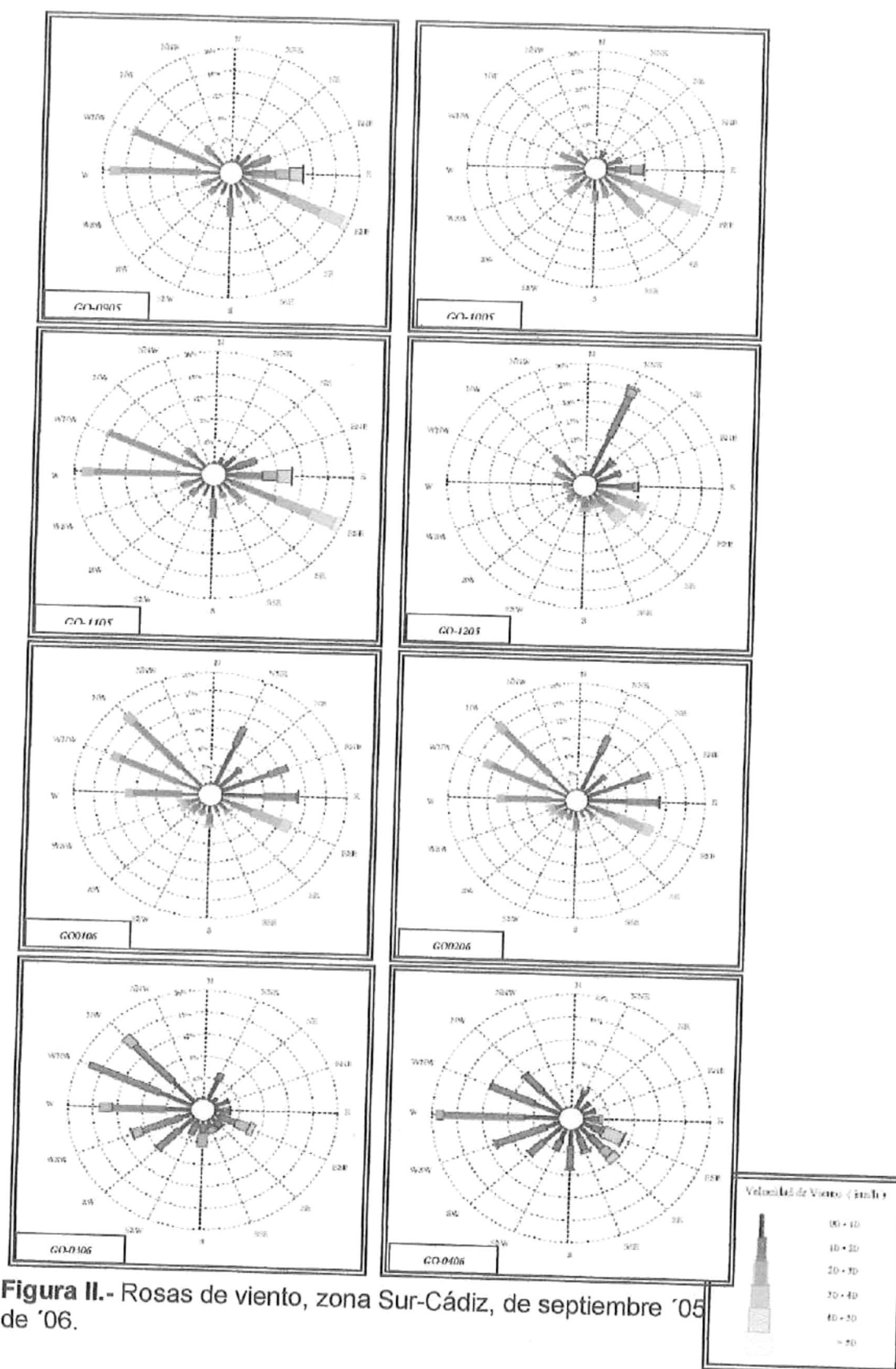


Figura II.- Rosas de viento, zona Sur-Cádiz, de septiembre '05 a abril de '06.

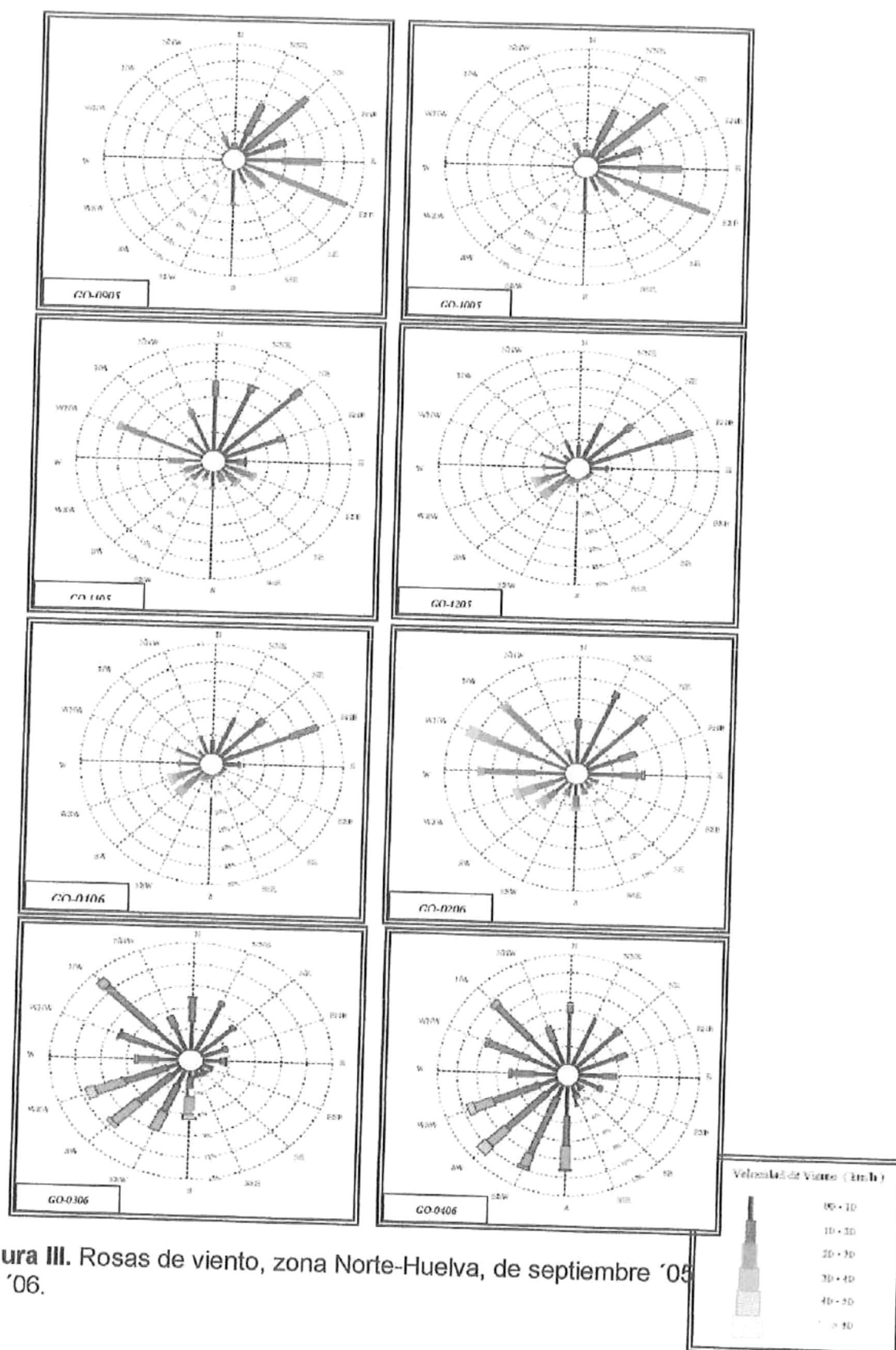


Figura III. Rosas de viento, zona Norte-Huelva, de septiembre '05 a abril de '06.

III Precipitación

Durante el periodo inicial en septiembre '05, la precipitación fue casi nula, como caracteriza a los climas mediterráneos y las lluvias se presentaron de forma más regular al acercarse el otoño. Se observó que durante el mes de octubre '05 se registraron lluvias fuertes en la zona, éstas tuvieron un carácter aislado y no fueron prolongadas en el tiempo como las registradas en los meses de invierno de '05. (Fig. IV).

IV Nitratos

Durante el mes de septiembre '05 se detectó una mayor concentración de nitratos en la parte central del área estudiada alcanzando concentraciones de hasta 11 μM que disminuyeron hacia la costa. En octubre '05 los valores de nitrato aumentaron hacia la parte sur y en el área aledaña a la desembocadura del río Guadalquivir con concentraciones de hasta 9 μM que decrecieron hacia el oeste. Durante los dos meses siguientes, los niveles de este nutriente descendieron, con una media de 1 μM y mostrando una distribución ya casi homogénea en todo el área estudiada (Fig. V).

En el mes de enero '06 se observaron los valores mayores de nitrato para el todo el periodo y nuevamente éstos se detectaron en las estaciones cercanas a la desembocadura del río Guadalquivir, con concentraciones de hasta 72.1 μM . Esta tendencia se extiende durante los dos meses siguientes, con concentraciones ya más reducidas pero siempre superiores a 9 μM en la zona fluvial (Fig. V).

Aun cuando las diferencias en la distribución espacial de nitrato se apreciaron hasta abril, durante la primavera las concentraciones disminuyeron considerablemente en toda la región con una media de 1 μM y con valores mínimos de 0.2 μM . La mayor concentración corresponde a 10.9 μM en la zona cercana al río (Fig. V).

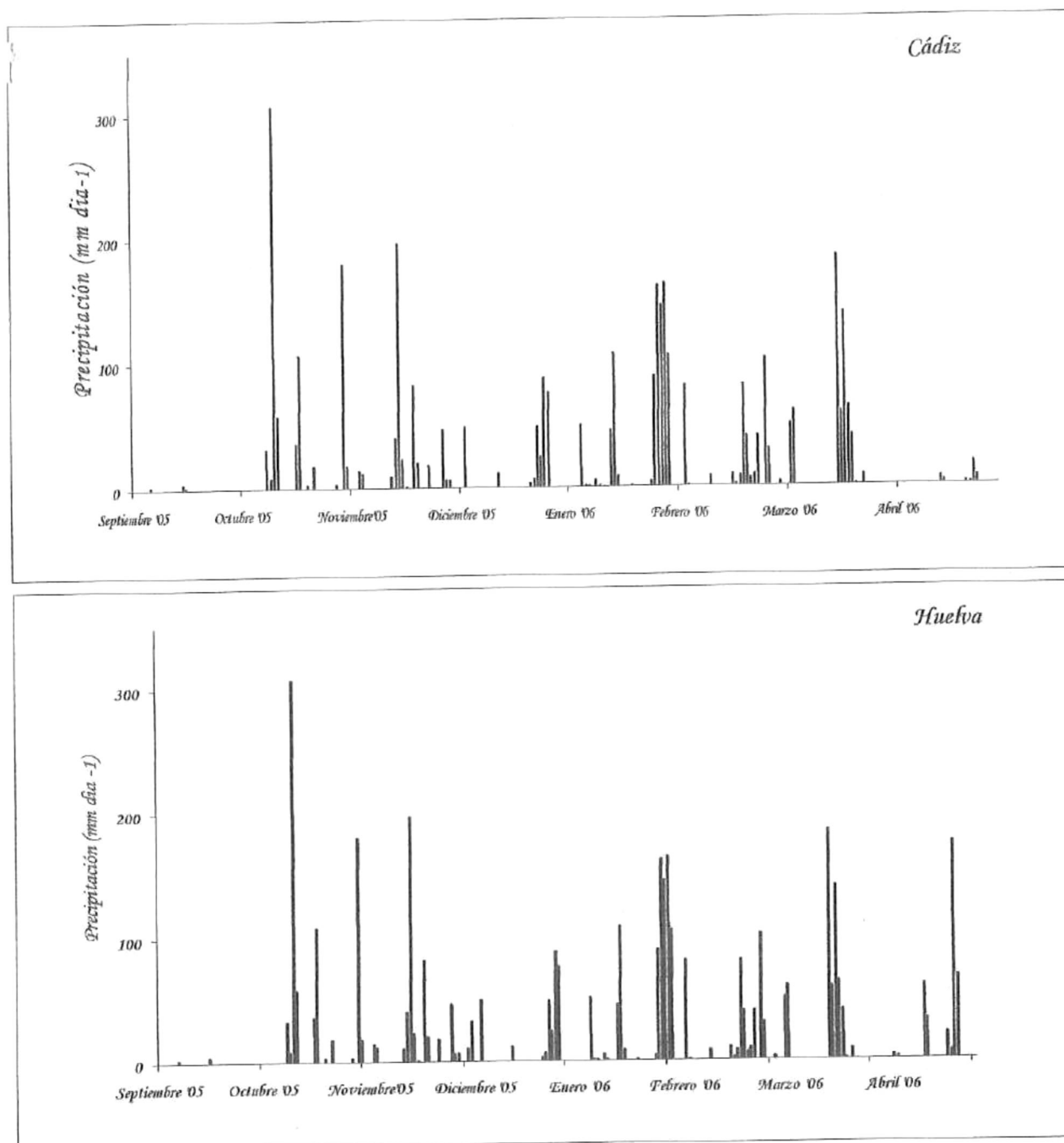


Figura IV.- Precipitación diaria en las áreas de Cádiz y Huelva, de septiembre '05 a abril de '06.

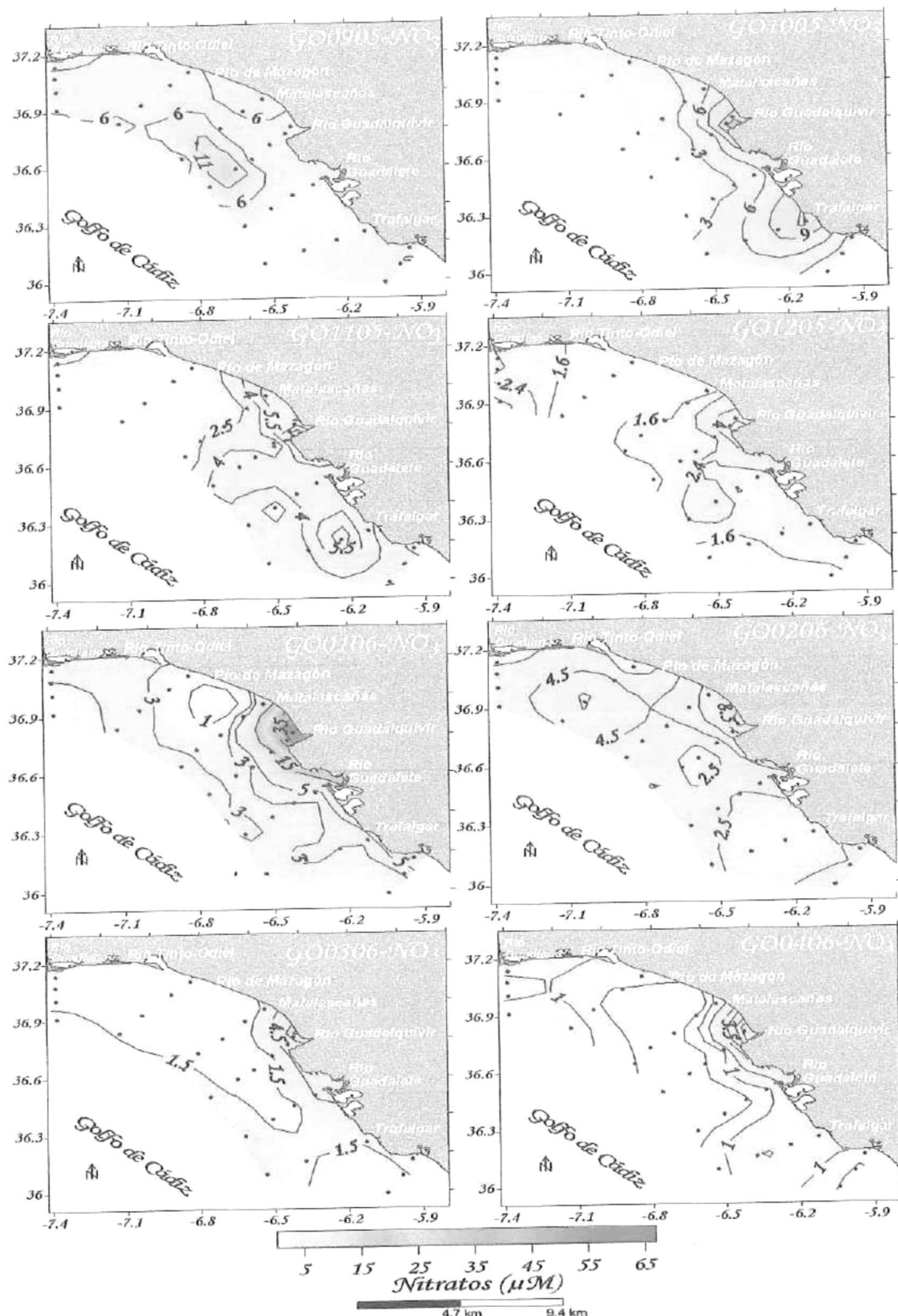


Figura V.- Distribución espacio-temporal de nitratos en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.

V Fosfatos

La distribución espacio-temporal de los fosfatos durante el mes de septiembre '05 fue casi homogénea durante el período muestreado encontrando la concentración mínima de $0.3\mu\text{M}$ sobre las zonas más lejanas a la costa. En esta época se encontró un aumento de este nutriente en la zona sur del área estudiada alcanzándose hasta $1.7\mu\text{M}$. Durante el mes de octubre '05 la concentración disminuye hacia la zona más oceánica, aumentando hacia la costa para alcanzar una concentración de $1.0\mu\text{M}$ cerca de la desembocadura del Río Guadalquivir. Durante los dos meses siguientes noviembre y diciembre '05, los niveles de fosfato aumentaron en la zona más costera, encontrándose la concentración máxima de todo el período considerado durante el mes de noviembre '05 con un valor de $2\mu\text{M}$ en la zona sur del área estudiada (Fig. VI).

Durante enero '06 se observó un aumento generalizado del fosfato en toda la región, nuevamente con los mayores niveles cerca de la desembocadura del Río Guadalquivir donde alcanza una concentración de hasta $1.92\mu\text{M}$. En febrero '06 la concentración disminuye hacia el sur, incrementándose hacia el norte y hacia la desembocadura del río. En Marzo '06 las concentraciones disminuyen, siguiendo una tendencia de aumento hacia la costa y desembocadura de los Ríos Guadalquivir y Tinto-Odiel. En abril '06 las concentraciones son mayores hacia la zona norte y aledaña al Río Tinto-Odiel y disminuyen hacia la zona sur del área de estudio. La concentración promedio encontrada para el área y el período estudiado fue de $1.04\mu\text{M}$ (Fig. VI).

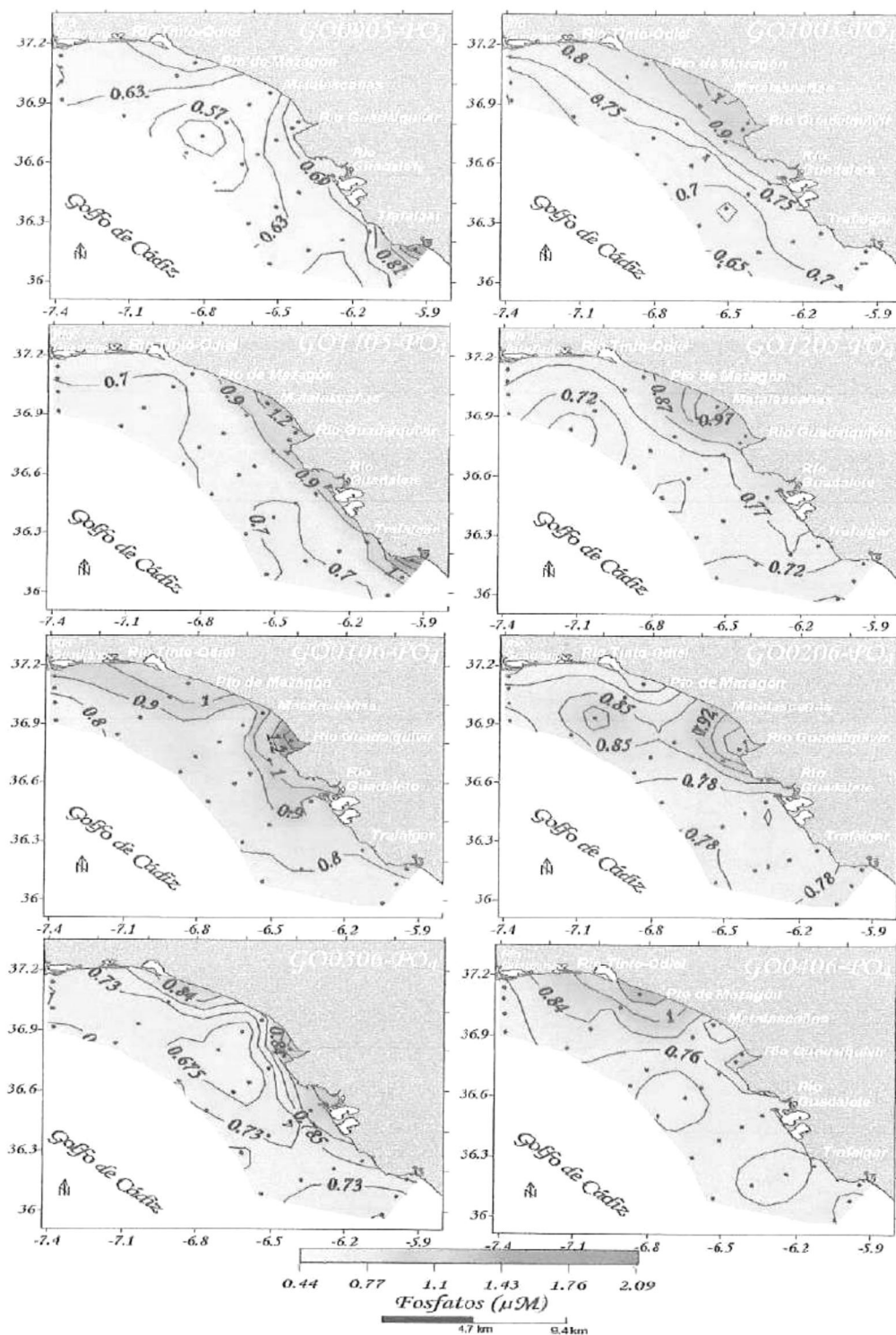


Figura VI.- Distribución espacio-temporal de fosfatos en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.

VI Silicatos

Durante el mes de septiembre '05 la concentración de silicatos mostró una distribución espacial con un intervalo de valores de $4.1-0.7\mu\text{M}$ y con los niveles más reducidos en la zona norte de la plataforma. En octubre '05, se detectaron las mayores concentraciones durante el período muestreado con valores de hasta $40\mu\text{M}$ medidos en estaciones cercanas a la costa y localizadas entre los puertos de Mazagón y Matalascañas (Fig. VII). Estas concentraciones disminuyeron hacia la zona más oceánica del área de estudio. En noviembre '05 el intervalo de concentraciones detectado, presentaron valores de $31.5-1.0\mu\text{M}$, encontrándose los máximos asociados a la desembocadura del Río Guadalquivir. Esta tendencia se apreció igualmente en diciembre '05 aunque las concentraciones descendieron ligeramente con valores comprendidos entre $10.0-0.4\mu\text{M}$. Estos niveles de silicatos se mantuvieron en enero '06 ($14.5-0.3\mu\text{M}$), ubicando las mayores concentraciones sobre la desembocadura del Río Guadalquivir y en la región norte del área de estudio, disminuyendo hacia las zonas de mar abierto. En febrero '06 la concentración disminuyó y se observó una distribución casi homogénea sobre el área estudiada, con concentraciones mayores hacia el norte (Fig. VII).

En primavera se detectaron los valores mínimos de silicatos para todo el período considerado, con concentraciones de $0.2\mu\text{M}$ y con los máximos alcanzados en la zona aledaña a la desembocadura del Río Guadalquivir (Fig. VII). La concentración promedio encontrada para el área y el período estudiado fue de $7.7\mu\text{M}$.

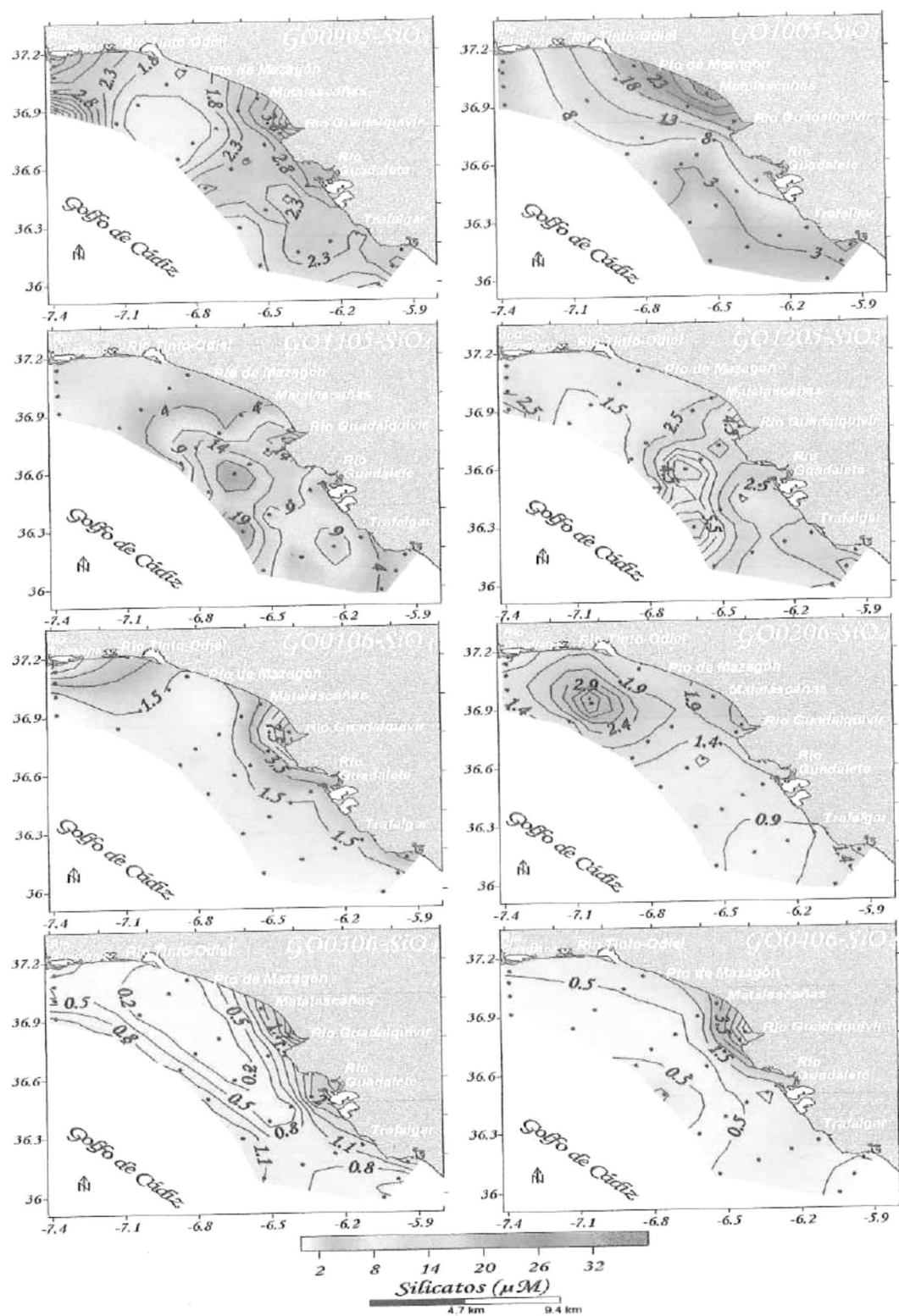


Figura VII.- Distribución espacio-temporal de silicatos en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.

VII Carbono orgánico disuelto (COD)

Durante septiembre '05 la distribución espacial de COD mostró una tendencia de aumento hacia la zona sur de la plataforma y en la desembocadura del Río Guadalquivir, con un intervalo de valores entre 84.2 y 222.1 μM . (Fig. VIII).

Por el contrario, en enero '06 se detectó una disminución del COD, y una distribución casi homogénea, aunque se observaron concentraciones mayores hacia la costa, en concreto en el área aledaña a la desembocadura de los ríos Tinto-Odiel, Guadalquivir y hacia Trafalgar (66.1-132.7 μM). Las concentraciones mínimas encontradas para todo el período de estudio se apreciaron durante el mes de febrero '06 y hacia el sur de la plataforma, con valores situados en un intervalo de concentraciones de entre 44.0-156.3 μM . La concentración promedio de carbono orgánico disuelto durante el período estudiado fue de 123.3 μM (Fig.VIII).

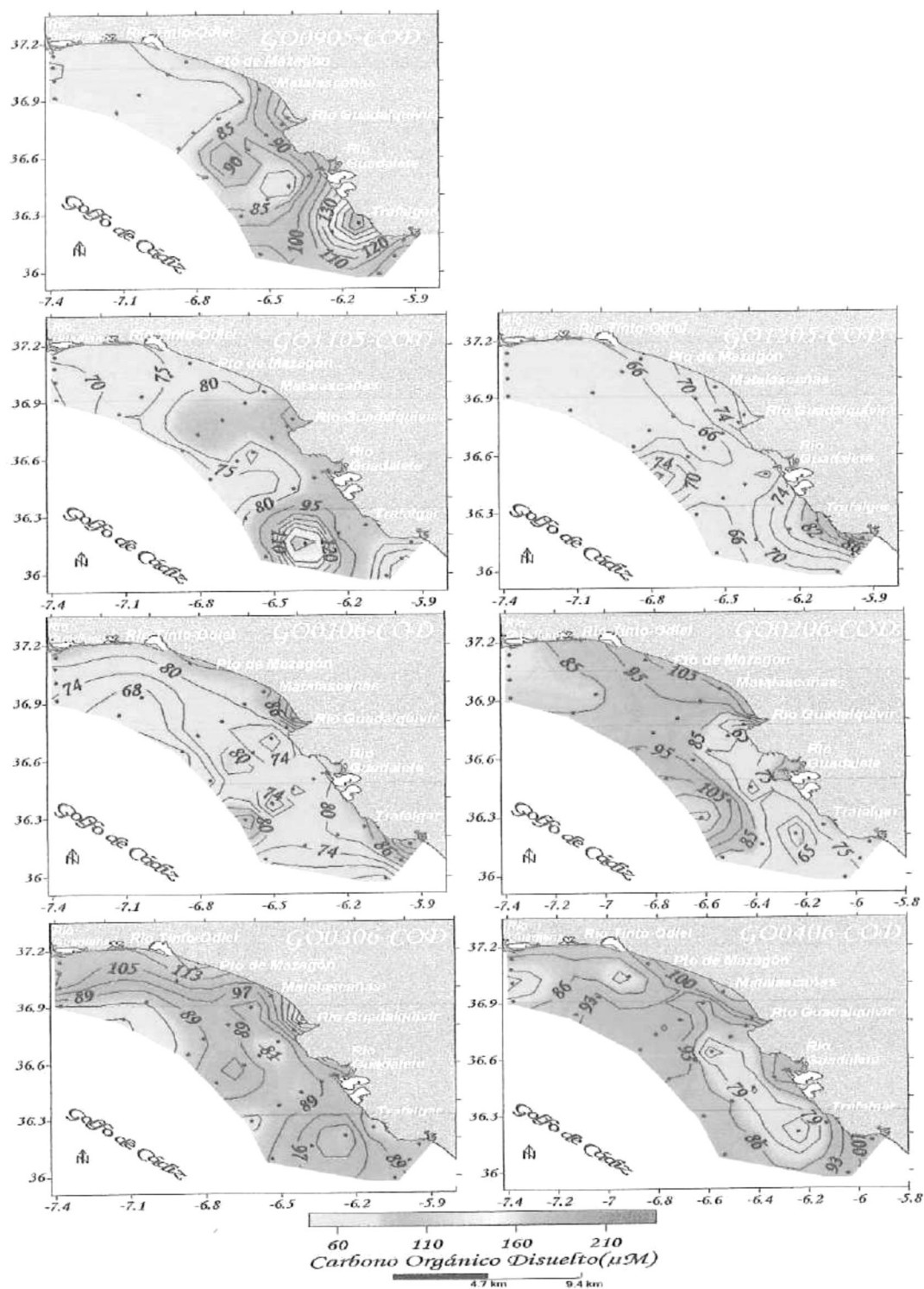


Figura VIII.- Distribución espacio-temporal en la superficie de COD durante septiembre '05 a abril de '06.

VIII Clorofila a

La concentración de clorofila a en la plataforma mostró una clara tendencia estacional, aunque durante todo el periodo se observaron mayores concentraciones de clorofila a en la franja más costera con respecto a la zona de mar abierto. En septiembre '05, la clorofila a alcanzó una concentración de 4.1 µg/l, particularmente en el área de la desembocadura del Río Guadalquivir, comportamiento que se repite en octubre, con las concentraciones máximas de todo el período de estudio, con valores de hasta 6.4µg/l en esa área próxima al río (Fig. IX). Son estos dos meses los que presentaron el intervalo más amplio de concentraciones con niveles que oscilaron entre 0.06 y los 6.4µg/l. Durante noviembre '05 hubo un descenso generalizado y la distribución de clorofila a fue algo más homogénea, aumentando las concentraciones nuevamente hacia la costa, y en concreto, en el área frente a la Bahía de Cádiz. Los valores medidos fueron de entre 0.1 y 1.6µg/l. Hacia diciembre '05 las mayores concentraciones se detectaron hacia el norte del área estudiada con máximos de 2.3µg/l. mientras que en enero '06 se observó el intervalo de concentración menos amplio con valores de 1.4 a 0.07µg/l (Fig. IX). En febrero '06 la concentración de clorofila a creció nuevamente con respecto a meses previos, presentado mayores valores hacia la zona norte costera con un intervalo de 0.1 a 4.6 µg/l. Esta distribución se extendió a primavera con un intervalo de valores de 0.2 a 5.9µg/l en marzo '06 y de 0.02 a 3.5 µg/l en abril '06 (Fig. IX). La concentración promedio de clorofila a para el período estudiado fue de 1.9µg/l.

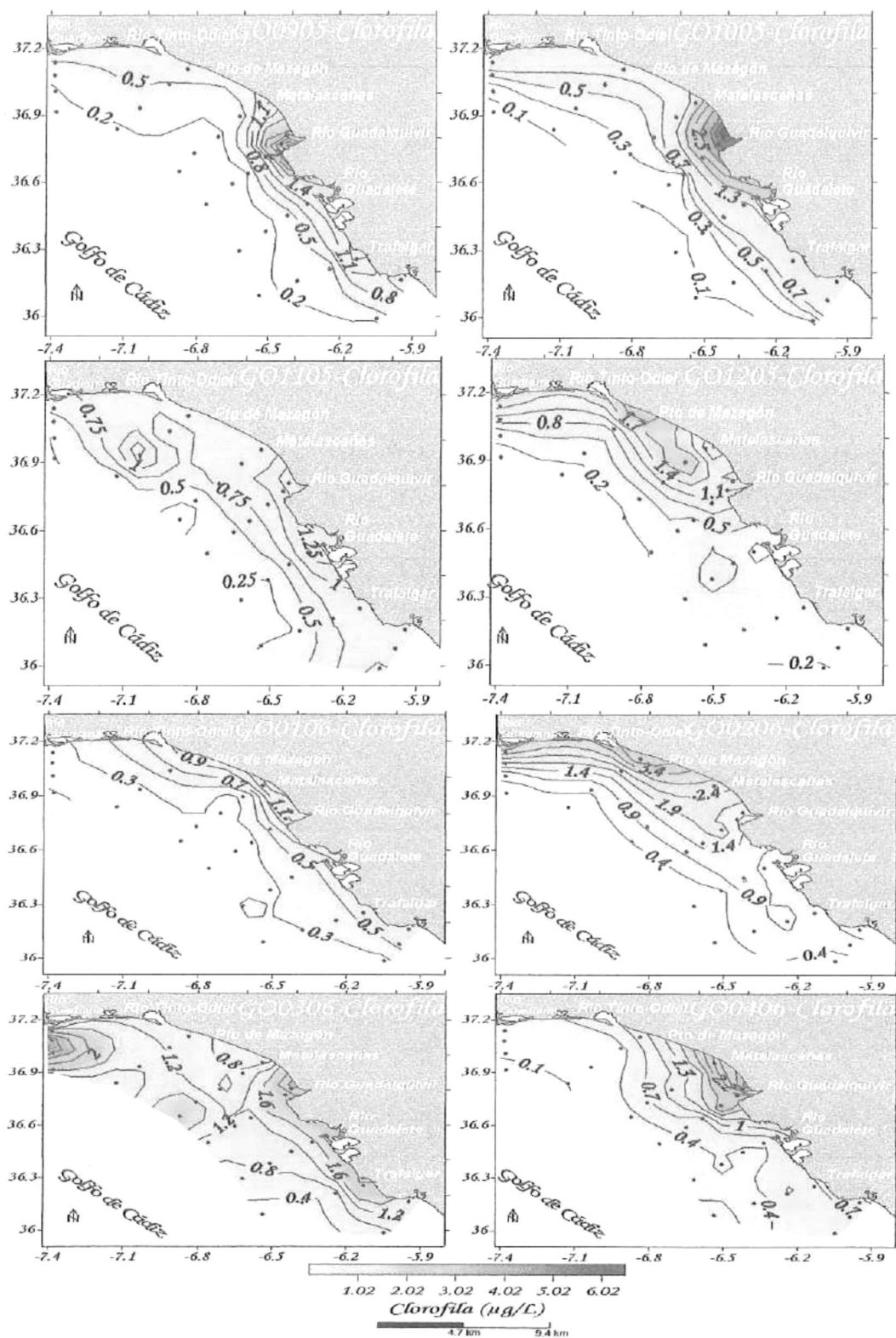


Figura 9.- Distribución espacio-temporal de Clorofila *a* en la superficie durante septiembre '05 a abril de '06.

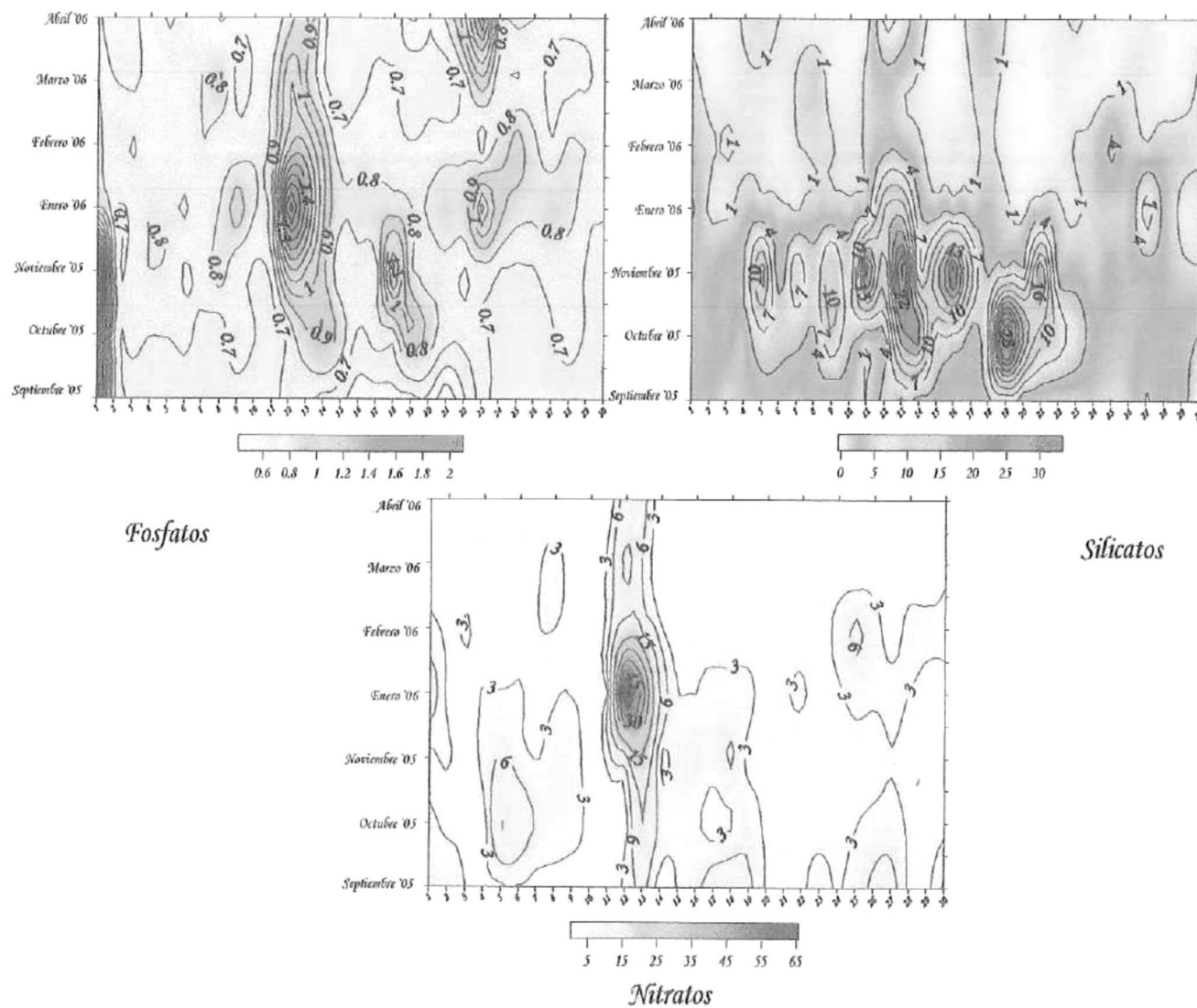


Figura X. Distribución de concentraciones de nutrientes durante el período estudiado.