

189
2e;



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“VARIACIONES ESTACIONALES E INTERANUALES DE LA BIOMASA FITOPLANCTONICA DERIVADA DE SATELITE EN LA BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

IRIANA LETICIA ZURIA JORDAN

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

Con el propósito de describir las variaciones espaciales y temporales de la abundancia de fitoplancton, representada por la concentración de pigmentos fotosintéticos, en un transecto que cubre la zona de transición entre el Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Oriental Templado, se utilizaron las estimaciones de la concentración de pigmentos derivadas de las imágenes obtenidas durante los ocho años de vida útil del sensor del color del océano Coastal Zone Color Scanner (CZCS), que orbitó a bordo del satélite Nimbus-7 de noviembre de 1978 a junio de 1986. La zona de transición se representó con un transecto que va desde Punta San Hipólito (27° N, 114° 30' W), pasa al suroeste de Cabo San Lucas (22° N, 110° W) donde cambia de dirección, cruza la boca del Golfo de California y llega hasta la zona de Cabo Corrientes (20° 30' N, 105° 30' W). A partir de las escenas originales del CZCS se obtuvieron imágenes promedio para cada mes de cada año. Estos datos corresponden a la concentración de pigmento derivada de foteles de aproximadamente $4 \times 4 \text{ km}^2$. Los datos de concentración de pigmentos derivados del CZCS muestran una gran interconsistencia a pesar de su imprecisión, con una relación clara con la fenomenología física local. Las imágenes del CZCS y el transecto derivado de ellas muestran una distribución de la biomasa fitoplanctónica en forma de manchas, con una estructura muy rica. Por lo anterior, los muestreos discretos realizados en barcos deben tomarse con reserva para generar mapas de distribución de pigmentos fotosintéticos, aunque no debe olvidarse su importancia, ya que generan datos que no pueden ser obtenidos mediante sensores remotos. Las más altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos se presentaron en zonas cercanas a la costa y se debieron a surgencias y a fenómenos de interacción entre las corrientes marinas y la fisiografía costera local. En el frente de Cabo San Lucas se observó un gradiente recurrente de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos al final de primavera e inicios de verano en años no-El Niño, con la excepción de enero de 1983. En este frente, las imágenes del CZCS no detectaron un gradiente de pigmentos durante El Niño. Se presentó una clara variación estacional en las zonas cercanas a la costa, pero con temporalidad diferente al oeste de Baja California que en la zona cercana a Cabo Corrientes. Al oeste de Baja California los valores grandes de pigmentos se presentaron de febrero a agosto, y en la zona frente a Cabo Corrientes se presentaron de enero a mayo. Se observó también una variación interanual que tuvo manifestaciones diferentes al oeste de Baja California con relación a la zona frente a Cabo Corrientes. Se presentaron relativamente bajas concentraciones de pigmentos en todo el transecto a partir de septiembre de 1982, estas bajas concentraciones se mantuvieron hasta agosto de 1984 en la boca del Golfo, y hasta diciembre de 1985 en la costa occidental de Baja California. Los resultados del parámetro estadístico denominado Índice de Potencia Relativa indican que El Niño tuvo un claro efecto en los valores de concentración de pigmento, pero no fue el único factor de variación interanual.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA	
1	<p>Transecto de estudio en la zona de transición entre el Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Oriental Templado. Comienza frente a Punta San Hipólito (27° N, 110° W), pasa al suroeste de Cabo San Lucas (22° N, 110° W) donde cambia de dirección hacia Cabo Corrientes y llega a la parte sur de la boca de Bahía Banderas (20° 30' N, 105° 30' W). Los números al lado del transecto corresponden al número de fotel.</p>	9
2	<p>Patrones principales de circulación estacional de las corrientes superficiales en el Pacífico Oriental de acuerdo con Wyrski (1965). CC significa Corriente de California, CEN Corriente Ecuatorial del Norte, CCEN Contracorriente Ecuatorial del Norte, CES Corriente Ecuatorial del sur, y CCCR Contracorriente de Costa Rica. La línea quebrada frente a Bahía Magdalena representa el límite sur de la CC en agosto-diciembre. Las líneas quebradas al sur de los 10° N representan los límites de la CCEN, y cerca de la costa de México el límite de la CCCR.</p>	22
3	<p>El "año promedio" del transecto obtenido a partir de las 92 composiciones mensuales de las imágenes del CZCS. Los puntos representan el número de fotel dentro del transecto, tomando como cero el primer fotel frente a Punta San Hipólito. La línea punteada corresponde al punto donde cambia de dirección el transecto, frente a Cabo San Lucas.</p>	37-38
4	<p>Los 92 transectos obtenidos de las composiciones mensuales. Los transectos comprenden los 8 años de vida útil del CZCS, de noviembre de 1978 a junio de 1986. Los números al lado de los picos representan la concentración que se alcanza cuando se sobrepasa los 10 mg m⁻³. Las zonas que no tienen datos corresponden a nubosidad. La línea punteada corresponde al punto donde cambia de dirección el transecto, frente a Cabo San Lucas.</p>	48-63

- 5 Series de tiempo de los datos originales mensuales de la concentración de pigmentos para dos foteles del transecto: A) el 80 frente a Bahía Magdalena; B) y el 230 frente a Cabo Corrientes. La concentración de pigmentos está dada en mg m^{-3} . En estas figuras no todos los años tienen el mismo número de meses debido a la falta de datos por nubosidad. C) Serie de tiempo con los datos del "año promedio" para el fotel 80. D) Lo mismo que C pero para el fotel 230. 65
- 6 Series de tiempo de anomalías para el fotel 80 (A) y para el fotel 230 (B). Los valores de las anomalías están dados en mg m^{-3} . 67

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFIA	PAGINA
1 Composición mensual para mayo de 1981, un año no-El Niño. Cada color representa una concentración de pigmentos fotosintéticos en mg m^{-3} . En la parte superior derecha se encuentra la paleta de colores con las equivalencias.	34
2 Lo mismo que en la fotografía 1, para septiembre de 1981, un año no-El Niño.	34
3 Lo mismo que en la fotografía 1, para mayo de 1983, un año El Niño.	35
4 Lo mismo que en la fotografía 1, para septiembre de 1982, un año El Niño.	35

CONTENIDO

	PAGINA
1. INTRODUCCION	
1.1 Generalidades	1
1.2 Ambitos de medición	3
1.3 El sensor del color del océano Coastal Zone Color Scanner (CZCS)	5
2. AREA DE ESTUDIO	8
2.1 Surgencias costeras	15
2.2 Frentes oceánicos	17
2.3 Descripción de las corrientes	19
2.4 Variabilidad estacional	20
2.5 Variabilidad interanual	23
3. OBJETIVOS	27
4. METODOS	28
5. RESULTADOS	
5.1 Ejemplos de las imágenes mensuales compuestas para la zona geográfica que comprende el transecto que se analiza	33
5.2 Descripción del "año promedio"	36
5.3 Descripción de los transectos mensuales originales	40
5.4 Series de tiempo de concentración de pigmentos y anomalías con respecto al "año promedio"	64
6. DISCUSIONES	69
7. CONCLUSIONES	78
8. LITERATURA CITADA	80

VARIACIONES ESTACIONALES E INTERANUALES DE LA BIOMASA FITOPLANC- TONICA DERIVADA DE SATELITE EN LA BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR

1. INTRODUCCION

1.1 Generalidades

El fitoplancton constituye el componente principal del primer eslabón de la cadena alimenticia del océano (Hovis et al., 1980). Está constituido por microorganismos autótrofos que contienen clorofila a, el pigmento fotosintético universalmente presente. Las tasas más altas de producción primaria se observan cuando hay florecimientos de diatomeas (Dugdale y Wilkerson, 1992) y del fitoplancton en general. Esto puede tener efecto en niveles superiores de la cadena trófica ya que se dice que "...todos los peces son diatomeas" (Bigelow, 1926, en Dugdale y Wilkerson, 1992).

Debido a que el fitoplancton es el soporte de la mayoría de las formas de vida en el mar es, por consecuencia, importante para la pesca comercial. La determinación cuantitativa de la productividad primaria del océano y el potencial de los océanos de almacenar CO₂ atmosférico ha ido adquiriendo mucha importancia mientras el hombre modifica el ambiente marino (Walsh et al., 1981). Además la variabilidad espacial y temporal del fitoplancton es interesante por sí misma (Platt et al., 1977) y es un componente central en la dinámica de la oceanografía biológica (Smith et al., 1988).

El océano juega un papel importante en el ciclo global del carbono. Los procesos biológicos del fitoplancton pueden alterar significativamente el intercambio de carbono entre la atmósfera y

el océano. La fotosíntesis del fitoplancton reduce la presión parcial del CO_2 en la superficie de las aguas; una porción del carbono secuestrado como materia orgánica puede pasar a capas más profundas del mar. El efecto neto es un flujo de carbono de la zona eufótica al océano profundo. Este fenómeno es conocido como la "bomba biológica" (Lewis, 1992). La "bomba biológica" se consideraba un mecanismo importante para transportar CO_2 de la atmósfera al océano. Sin embargo existen controversias a este respecto y actualmente se acepta que tal "bomba" es muy ineficiente para transportar CO_2 atmosférico al océano y que esto se debe más bien a procesos fisicoquímicos. De cualquier forma la idea de la "bomba biológica" permitió un avance en el entendimiento de diversos procesos relacionados con el fitoplancton.

El contenido de clorofila en una determinada región del océano puede utilizarse, mediante modelos matemáticos, para estimar la productividad primaria de la zona. La idea de estimar producción a partir de datos de clorofila ha sido atractiva por mucho tiempo (Talling, 1957; Ryther y Yentsch, 1957; Eppley, et al., 1985). Sin embargo, ha habido discusión en cuanto a la precisión de tales estimaciones (Gordon et al., 1980; Smith, 1981; Cullen, 1982). Ahora se acepta que la productividad primaria parece estar bien estimada mediante relaciones empíricas entre luz (flujo fotónico), temperatura, nutrientes y concentración de clorofila en ciertas zonas (Eppley, et al., 1985; Harrison y Platt, 1980).

1.2 Ambitos de medición

La abundancia y distribución de la biomasa fitoplanctónica es variable en un amplio intervalo de escalas de tiempo y espacio (Steele, 1978; Esaias, 1981). Los fenómenos que permiten la explicación de la variabilidad a escalas mayores son diferentes a los fenómenos que permiten explicar la variabilidad a escalas menores. A escalas grandes, mayores de cien km, las corrientes oceánicas controlan la variación de la biomasa fitoplanctónica; a escalas intermedias, entre diez y cien km fenómenos físicos de mesoescala como las surgencias juegan un papel importante; a escalas menores a diez km los fenómenos biológicos como el crecimiento y el pastoreo son los dominantes (Smith et al., 1988).

Los métodos clásicos de muestreo desde embarcaciones son incapaces de resolver escalas grandes de variación de tiempo y espacio. Las escalas temporales han sido relativamente cortas (desde segundos hasta días) y también se encuentran restringidas las escalas de espacio (desde metros hasta decenas de kilómetros). Debido a ésto hay poca certeza en cuanto a las características de la variabilidad del plancton a escalas grandes (Smith et al., 1988).

Las estimaciones de la biomasa del fitoplancton, representada por la concentración de pigmentos fotosintéticos, obtenidas con datos de satélite permiten un análisis de la variabilidad a escalas mayores de tiempo y espacio (Smith et al., 1988). Las observaciones por medio de satélite son el único medio para medir concentraciones de fitoplancton a escalas globales. Permiten revisar grandes áreas

del océano a una escala precisa para monitorear cualquier cambio en el contenido de pigmento, debido a procesos biológicos como crecimiento y pastoreo, o a transporte físico por corrientes oceánicas (Lewis, 1992).

La variabilidad en las propiedades ópticas del océano superficial influyen el color del mismo cuando se observan desde el espacio mediante sensores remotos (Clarke et al., 1970). Para casi todo el océano, las propiedades ópticas están controladas por la concentración de partículas biogénicas y materia disuelta (fitoplancton, bacterias, y sus productos de degradación). Las variaciones en las propiedades ópticas modifican el espectro y la distribución geométrica del campo de luz bajo el agua y por lo tanto alteran el color del océano (Lewis, 1992; Hovis, et al., 1980). Las aguas biológicamente ricas y productivas están caracterizadas por un color verde, mientras que las aguas relativamente pobres del océano abierto son azules (Gordon et al., 1980).

Los procesos físicos de absorción y difusión de la luz permiten relacionar la radiancia o luz ascendente justo por debajo de la superficie del mar (color del agua) a los componentes ópticos del agua. Excepto en las aguas que se encuentran cerca de la costa y en las desembocaduras de los ríos, los componentes biológicos juegan un papel dominante. El más importante es el fitoplancton (Hovis et al., 1980).

El pigmento activo fotosintético universal del fitoplancton es la clorofila a, que absorbe fuertemente a los 443 nm. Esta absorción causa que la radiancia ascendente, producida por la dispersión de la luz solar, que sale del océano a 443 nm decaiga cuando aumenta la concentración de clorofila a. Este pigmento absorbe más débilmente a los 520 y 550 nm (Gordon et al., 1980). Los feopigmentos a, que son productos de degradación de la clorofila a, tienen casi el mismo espectro de absorción que el de ésta, por lo tanto es difícil separar ambos pigmentos.

Por lo anterior, la biomasa del fitoplancton en el océano superficial puede determinarse por su efecto en el color del océano visto desde el espacio. Las observaciones hechas a través del Coastal Zone Color Scanner (CZCS), que orbitó la Tierra a bordo de la nave espacial de la NASA Nimbus-7, han revolucionado el campo de la oceanografía biológica (Lewis, 1992; Hovis, et al, 1980).

1.3 El sensor de color del océano "Coastal Zone Color Scanner" (CZCS)

En 1972 la NASA (National Aeronautics and Space Administration) empezó a hacer investigaciones para determinar si el color del océano se podía medir desde el espacio, y si podía detectarse a pesar de las interferencias debidas a la atmósfera, el reflejo de la luz solar por la superficie del agua, etc. Los resultados de estos esfuerzos fueron alentadores y se reportaron por varios autores (citados por Hovis et al., 1980). En 1973 la NASA aprobó la puesta

en órbita de un sensor de color para el océano llamado Coastal Zone Color Scanner (CZCS) que orbitaría la Tierra a bordo del satélite Nimbus 7 durante un año pero en realidad funcionó durante 8, de 1978 a 1986 (Hovis et al., 1980; Lewis, 1992).

El CZCS se usó como un sensor experimental que proveyó información para calcular la radiancia que sale del agua y que se origina en la primera profundidad óptica, es decir la profundidad que corresponde al inverso del coeficiente de atenuación vertical de la luz difusa (unos seis a diez m de profundidad dependiendo de la atenuación de la luz). La biomasa de fitoplancton (concentración de pigmentos) en esta capa ha sido relacionada empíricamente con la radiancia que sale del agua (Muller-Karger et al., 1991; Sathyendranath et al., 1991).

La radiancia espectral ascendente del agua era captada por el CZCS en cuatro bandas de diferentes longitudes de onda en el visible y dos en el infrarrojo (Smith et al., 1988; Hovis, 1980). La banda espectral centrada a los 443 (banda no. 1) estaba localizada en la región espectral de alta absorción de la clorofila a, esto es, a una longitud de onda en donde las variaciones de la radiancia ascendente son dependientes fuertemente de las concentraciones de clorofila (Hovis et al., 1980). Las dos bandas centradas a los 520 (banda 2) y 550 nm (banda 3) estaban localizadas a longitudes de onda en donde las variaciones de la radiancia respecto a las concentraciones de clorofila son pequeñas (Hovis et al., 1980). La banda 4 (680 nm) permitió realizar correcciones por aerosoles

atmosféricos. La banda 5 (700 a 800 nm, infrarrojo cercano) permitió discriminar las áreas oceánicas de las nubes y la tierra. La banda 6 (1050 a 1250 nm, infrarrojo) pretendía estimar la temperatura de la superficie del océano. Esta última banda no funcionó apropiadamente ya que no tuvo la sensibilidad necesaria.

Mediante programas de computadora se construyen imágenes de concentración de pigmentos fotosintéticos, a partir de los datos de radiancia. Estas imágenes se pueden producir en tonos de grises, donde cada tono representa una concentración, o en falsos colores. La programación permite además generar imágenes promedio, o bien generar series de tiempo o transectos en el espacio. Las estimaciones de concentración de clorofila obtenidas con los datos del CZCS se han comparado con mediciones hechas por barco para una misma zona. Las características generales de las mediciones obtenidas desde el barco están bien reproducidas por las estimaciones del CZCS (Gordon et al., 1980).

Aproximadamente se obtuvieron un total de 65,000 escenas de 2 minutos para el planeta. Cada una de estas escenas representa 2,200 por 800 km y gracias a ellas se tiene ahora una visión nueva de las variaciones biológicas del océano global (Lewis, 1992). El CZCS cesó operaciones en junio de 1986 y ahora la próxima oportunidad para obtener datos de este tipo será la misión SEASTAR/SeaWiFS. Este sensor será lanzado en la primera mitad de 1994.

2. AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la costa Occidental de Baja California Sur y la boca del Golfo de California, y se representa con un transecto que va desde Punta San Hipólito (27° N, 114° 30' W), al sur de Punta Eugenia y al oeste de la Sierra Vizcaino, pasa al suroeste de Cabo San Lucas (22° N, 110° W), donde cambia de dirección dirigiéndose hacia Cabo Corrientes hasta llegar a la parte sur de la entrada de Bahía Banderas, cerca de un poblado llamado Yelapa (20° 30' N, 105° 30' W) (Fig. 1). Dicha zona es de gran interés biológico y oceanográfico ya que es una zona de transición entre el Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Oriental Templado. Además es una región importante para el país en cuanto a pesquerías y a sus grandes reservas de macroalgas.

La costa oeste de Baja California Sur está bañada casi todo el año por agua de la Corriente de California, que se caracteriza por su baja temperatura, baja salinidad y un alto contenido de oxígeno disuelto (Lynn y Simpson, 1987). La plataforma continental a lo largo de esta parte de la península es poco ancha y las profundidades de la zona son menores a los doscientos metros. La plataforma mide de 70 a 80 km de ancho frente a Laguna San Ignacio y posteriormente se estrecha hacia el sur llegando a medir 4 km frente a Todos Santos; en la región de Cabo San Lucas la plataforma está recortada y en el talud la pendiente es muy abrupta (Zárate Vidal, 1991). Gaxiola

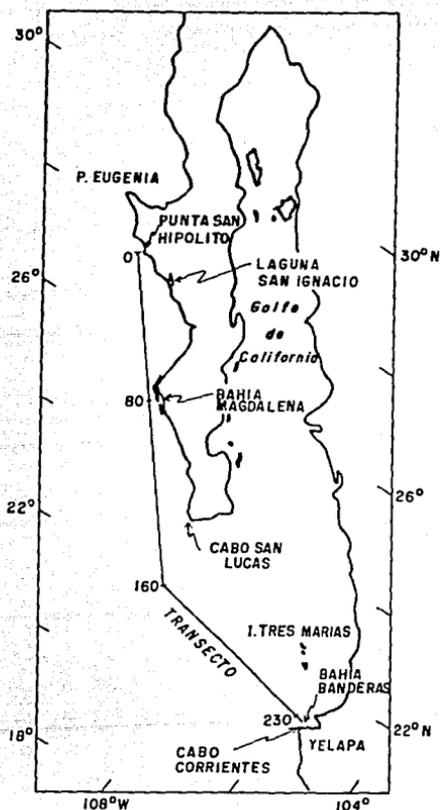


Fig. 1. Transecto de estudio en la zona de transición entre el Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Oriental Templado. Comienza frente a Punta San Hipólito (27° N, 110° W), pasa al suroeste de Cabo San Lucas (22° N, 110° W) donde cambia de dirección hacia Cabo Corrientes y llega a la parte sur de la boca de Bahía Banderas ($20^{\circ} 30'$ N, $105^{\circ} 30'$ W). Los números a lado del transecto corresponden al número de fotel.

Castro y Alvarez Borrego (1986a, 1986b) estudiaron algunas características de esta región del océano Pacífico durante el invierno, en una zona relativamente alejada de la costa como para no tener influencia de las surgencias costeras, y observaron que no se presenta una tendencia geográfica particular de variación de la profundidad de la zona eufótica. La zona presentó un contenido bajo de nutrientes para las aguas superficiales, pero los nutrientes aumentaron en las partes profundas de la zona eufótica. Los valores de clorofila *a* medidos oscilaron entre 0.11 y 1.25 mg m⁻³, y los valores máximos se observaron en la parte más profunda de la zona eufótica. Encontraron un intervalo de variación de productividad primaria integrada de 0.08 - 0.54 gC m⁻² d⁻¹.

La entrada del Golfo de California se caracteriza por tener tres tipos de agua superficial: agua fría de la Corriente de California de baja salinidad (< 34.60 0/00), que fluye hacia el sur a lo largo de la costa oeste de Baja California; agua más caliente del Pacífico Tropical Oriental que tiene una salinidad intermedia (34.65 - 34.85 0/00), que fluye al área desde el sureste; y agua caliente y muy salina (> 34.9 0/00) que viene del Golfo de California (Alvarez Borrego y Lara Lara, 1991). Por debajo de estas tres masas de agua se encuentra agua Subsuperficial Subtropical, que tiene una salinidad máxima de 34.80 0/00. Debajo de ésta se encuentra agua Intermedia del Antártico caracterizada por un mínimo de salinidad de 34.50 0/00. Y por debajo se encuentra agua del Fondo del Pacífico que tiene una salinidad mayor (34.68 0/00) (Alvarez Borrego, 1983).

En la zona de la boca del Golfo de California las profundidades llegan hasta los 3000 m y la región tiene una estructura termohalina muy complicada caracterizada por frentes, remolinos e intrusiones que se deben a la confluencia de las tres distintas corrientes (Alvarez Borrego y Lara Lara, 1991).

La parte sur del Golfo de California y el océano Pacífico abierto presentan una distribución vertical de nutrientes muy parecida. El fosfato y el silice se incrementan rápidamente con la profundidad hasta 2.3 a 2.5 μM y 30 μM , respectivamente, a 100 m. El silice aumenta con la profundidad hasta 170 μM a 3000 m. La concentración de fosfato alcanza un máximo de 3.5 μM a 800-1200 m y luego decrece a 2.8 μM a 3000 m. Los nitratos también se incrementan rápidamente con la profundidad desde un valor de 0.1 - 0.6 μM en la superficie hasta 25 μM a 100m, con un máximo de 44 μM a 1000-1300 m y luego disminuye a 39 μM a 2500-3000 m (Alvarez Borrego et al., 1978).

Al sur de Bahía Banderas las profundidades se van incrementando gradualmente hasta que se alcanza una profundidad máxima (1436-1754 m) en la fosa que se encuentra frente a las costas de Yelapa. La plataforma continental en la costa sur de la bahía y en la zona de Cabo Corrientes es angosta (Shibya Soto, 1992). Bahía Banderas forma parte de la boca del Golfo de California y está influenciada por las mismas masas de agua y corrientes (Salinas y Bourillón, 1988).

Se han realizado una serie de trabajos de oceanografía en la costa occidental de Baja California Sur con el objeto de conocer las variaciones de las condiciones ambientales de esta zona, que incluye un elevado número de especies de explotación comercial (Cervantes Duarte y Hernández Trujillo, 1989). Esta área tiene gran importancia biológica lo cual está demostrado con estudios de abundancia y distribución de las especies. Cervantes Duarte y Hernández Trujillo (1989) estudiaron las variaciones en la densidad y presencia de especies de copépodos. Se han hecho estudios de distribución y abundancia de larvas de peces (Muñetón Gómez et al., 1990), así como de la estructura de la comunidad ictioplanctónica con objeto de evaluar los recursos pesqueros potenciales de la zona (Saldierna Martínez et al., 1990). También se han estudiado pesquerías importantes como la de macarela (Gluyas Millán, 1989; Esqueda Escárcega, 1990). Sánchez Hidalgo y Anda (1989) analizaron la presencia de gasterópodos holoplanctónicos que definen zonas con diferentes condiciones ecológicas, y además se ha estudiado la ecología de especies como la langostilla Pleuroncodes planipes (Pérez Flores y Auriolles Gamboa, 1990). En las costas de Baja California, especialmente en el área de estudio, el camarón café Penaeus californiensis es una especie abundante, y muy importante comercialmente con niveles que ascienden a 75,000 toneladas por año (Rivera Rodríguez, M. C., 1991). Castro Longoria (CICESE, Ensenada,

comunicación personal) estudia actualmente la biología y la administración del recurso pesquero del pez espada, Xiphias gladius, en el Pacífico frente a la costa occidental de la península.

Estrada y Blasco (1979) estudiaron las comunidades fitoplanctónicas de la zona costera frente a Punta San Hipólito y concluyeron que la dominancia de dinoflagelados se asoció con aguas de surgencia de salinidad y nutrientes relativamente bajos provenientes desde abajo de un núcleo de salinidad mínima de la Corriente de California; y que la dominancia de diatomeas se relacionó con la surgencia de agua más profunda, salina y con alta concentración de nutrientes de la Subcorriente de California. Las máximas abundancias de células reportadas por estas autoras, que alcanzaron valores de 900,000 células por litro, están dentro de los intervalos observados para otras áreas de surgencia.

En la costa oeste de Baja California Sur se distinguen zonas con alta productividad como Bahía Magdalena, en donde se encuentran grandes reservas de macroalgas (Sánchez Rodríguez et al., 1989). El complejo lagunar Magdalena-Almejas ha sido objeto de numerosos estudios algunos de los cuales se mencionan a continuación. Gárate Lizárraga (1990) analizó la estructura de la comunidad fitoplanctónica y encontró que la zona presenta valores muy bajos del índice de diversidad, lo cual refleja la inestabilidad del lugar. Gómez Ochoa y Verdugo Díaz (1990) estudiaron los dinoflagelados de este complejo lagunar. Se ha analizado también la distribución y abundancia de grupos zooplanctónicos como los quetognatos (Meza

Cota et al., 1990), así como de larvas de lenguados (Díaz Andrade, 1990). González Ramírez et al. (1990) estudiaron la estructura de tamaños de la jaiba Callinectes bellicosus, debido a que en los últimos años se ha incrementado su captura en el estado de Baja California Sur, y especialmente en Bahía Magdalena. García Domínguez et al. (1993) estudiaron el ciclo reproductivo de la almeja roñosa Chione californiensis, especie que puede ser considerada como recurso potencial pesquero y de cultivo. El complejo lagunar Magdalena-Almejas es una zona importante de reproducción de la sardina crinuda Opisthonema sp. y monterrey Sardinops sagax (Palomares García, 1992).

La entrada del Golfo de California fué definida como una zona importante de reproducción del atún aleta amarilla en el Pacífico mexicano (Stevenson, 1970; González y Ramírez, 1989). Y la zona de Los Cabos destaca por la presencia del marlín rayado Tetrapturus audax (Arbitia Cárdenas et al., 1990). En el área de Bahía Banderas se han efectuado estudios de diversos aspectos relacionados con el plancton como composición, distribución y abundancia de las especies, etc. (Shibya Soto, 1992). La zona es importante también por ser una área de reproducción de la ballena jorobada Megaptera novaengliae.

2.1 Surgencias costeras.

A lo largo de la costa del Pacífico de Baja California los vientos del norte y del noroeste son muy importantes ya que debido a su acción, y a la rotación de la Tierra, las aguas superficiales cambian su movimiento. De ser a lo largo de la costa pasan a alejarse de ésta. Parte del agua desplazada es reemplazada por agua de partes más profundas. Este fenómeno es conocido como surgencia costera y es importante debido a que lleva a la superficie aguas más frías y ricas en nutrientes (Reid et al., 1958).

Las zonas de surgencia costera, que se localizan generalmente en un radio de 50 km de la costa (Cushing, 1975), llevan hacia la capa de mezcla nutrientes nuevos que promueven los florecimientos y la disponibilidad de material orgánico, lo cual propicia la congregación de organismos consumidores secundarios y terciarios. Puede decirse que las zonas de surgencia son sitios donde se da un proceso de "fertilización" de las aguas (Margalef, 1978). Estas áreas se caracterizan por una alta producción de peces (Mathisen et al., 1978) y es de ahí de donde se obtiene la mitad de la pesca mundial, aún cuando sólo comprenden el 0.1% del área de la superficie del océano (Cushing, 1975). Es importante considerar también la alta producción que se observa en el bentos de estas regiones y que se debe a las altas tasas de sedimentación de materia orgánica y a su incorporación a los fondos marinos (Thiel, 1978).

Las áreas de surgencia pueden ser consideradas como verdaderos ecosistemas en donde se establecen relaciones ecológicas complejas. Las especies que habitan en dichas zonas deben presentar adaptaciones que les permitan resistir las condiciones cambiantes del medio. Por ejemplo, en los centros de surgencia las especies oportunistas (estrategia r) tienen ventaja sobre las demás (Margalef, 1978).

En las costas de Baja California las surgencias son estacionales con una fuerte actividad en marzo y/o abril (Reid et al., 1958; Walsh et al., 1974), o de marzo a junio según Bakun y Nelson (1975), sin embargo todo el año puede observarse algún grado de surgencia. Husby y Nelson (1982) encontraron que al sur de los 30° N en la Corriente de California se desarrolla un patrón de producción de turbulencias en dos distintas épocas del año: una de mayo a junio, acorde con los vientos superficiales provenientes del norte que favorecen las surgencias, y otra en otoño, que se debe a la ocurrencia de tormentas tropicales; presentando una estratificación térmica relativamente fuerte de agosto a noviembre. Durante noviembre, diciembre y enero disminuye la intensidad de las surgencias por el debilitamiento de los vientos; posteriormente durante febrero y marzo los vientos del norte se intensifican de nuevo y reaparecen manchas de surgencia a lo largo de la costa (Reid et al., 1958).

Las poblaciones que habitan áreas donde las surgencias ocurren estacionalmente parecen estar adaptadas y estructuradas para resistir fluctuaciones en la disponibilidad de alimento (Whitledge, 1981). En Baja California la langostilla Pleuroncodes planipes es

probablemente el herbívoro dominante durante la estación de surgencias (Walsh et al., 1974), y durante la estación de relajamiento de surgencias la langostilla cambia su estrategia de alimentación pelágica a bentónica, alimentándose principalmente de detritus del fondo (Cervantes Duarte et al., 1993).

2.2 Frentes oceánicos

La característica oceanográfica más prominente en la entrada del Golfo de California, son los frentes oceánicos, los cuales varían en tiempo, espacio e intensidad. Se encuentran usualmente cerca de Cabo San Lucas y algunas veces cerca de Cabo Corrientes (Griffiths, 1962). Un frente bastante importante es el que se da entre el agua que viene del Golfo de California y el agua de la Corriente de California y/o las aguas del Pacífico Ecuatorial. También se dan frentes importantes en las zonas de surgencias. Los primeros estudios de frentes cerca de las costas de California y Baja California fueron casuales e incidentales gracias a los cruceros del programa CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) que comenzó en 1949.

No existe una definición precisa para "frente". Cromwell y Reid (1956) llamaron "frente" a una banda a lo largo de la superficie del océano a través de la cual cambia abruptamente la densidad. El cambio de densidad puede deberse a diferencias en salinidad y/o temperatura de las masas de agua. Uda (1959) llamó "frente" a la frontera entre dos tipos de aguas.

La idea de que los frentes oceánicos son zonas de agregación de plancton es bastante aceptada. Uda e Ishino (1958) señalaron que los frentes convergentes muestran una línea que se debe a la agregación de la biota y describieron la relación que existe entre un frente localizado en el Pacífico Occidental y las pesquerías japonesas de varias especies de atún. Ellos señalaron que existe una relación definitiva entre la abundancia de peces y los frentes oceánicos. La Fond (1961) indicó que los frentes llevan agua con alta concentración de nutrientes a la superficie y por lo tanto estas zonas tienden a concentrar "alimento para los peces" (Griffiths, 1962). La agregación de plancton en los frentes puede depender del tipo de que se trate; los frentes convergentes sólo agregan o concentran el plancton en la zona, en cambio los frentes divergentes llevan agua con una alta concentración de nutrientes a la superficie y estas condiciones favorecen el florecimiento del fitoplancton.

En 1960 el grupo STOR (Scripps Tuna Oceanographic Research) estudió las propiedades físicas, químicas y biológicas de la entrada del Golfo de California durante la época en la que normalmente el atún aleta amarilla, y posiblemente el barrilete, migran desde la costa oeste del sur de México a través de la boca o hacia dentro del Golfo de California. En la boca del Golfo pueden formar frente, en los 120 m superiores, dos de los tres tipos de agua que ahí se encuentran. El frente más claro y mejor estudiado es el de Cabo San

Lucas, en primavera y verano. En dicha zona se observó una acumulación de peces aguja, sin embargo no se observaron atunes (Griffiths, 1962).

2.3 Descripción de las corrientes

La costa oeste de México constituye la frontera sureste del Giro Anticiclónico del Pacífico del Norte, conocida como Corriente de California, y el límite noreste de la circulación ecuatorial del este, es decir, de una extensión del sistema ecuatorial hacia el Pacífico Oriental Tropical limitado por las costas de Centro y Norteamérica. Estos dos sistemas de corrientes están relacionados con los vientos (Reid et al., 1958).

La costa occidental de Baja California está bañada por la Corriente de California, cuyo constituyente principal es un flujo lento hacia el Ecuador que lleva agua Subártica. En general las masas de agua Subártica tienen un contenido relativamente alto en nutrientes, comparada con las aguas subtropicales que se encuentran hacia el este y hacia el sur (Reid et al., 1958; Michaelsen et al., 1988). Además se caracterizan por temperaturas y salinidades relativamente bajas, así como por un alto contenido de oxígeno (Reid et al., 1958). El agua de la Corriente de California posteriormente cambia su dirección hacia el oeste y alimenta la Corriente Ecuatorial del Norte. El flujo descrito, que corresponde al Pacífico Oriental Templado, es muy variable en escalas de tiempo y espacio.

La circulación en el Pacífico Oriental Tropical está también íntimamente relacionada a los vientos; una corriente con dirección este que viene de la Contracorriente Ecuatorial se divide en dos ramas. La rama del sur cambia hacia el oeste y eventualmente se junta con la Corriente Ecuatorial del sur. La rama del norte se convierte en la Corriente Costera de Costa Rica que fluye a lo largo de la costa de América Central y parte de México. Alcanza una latitud donde confluye con la Corriente de California y se separa de la costa para alimentar la Corriente Ecuatorial del Norte (Badan Dangón et al., 1989). El agua transportada por esta corriente es más caliente y tiene mayor salinidad y menor concentración de nutrientes y oxígeno que el agua de la Corriente de California.

La Corriente de Costa Rica es muy importante ya que gracias a ella el agua Subtropical de la región del Ecuador y el agua Subsuperficial Subtropical que se origina en el Pacífico Central son recicladas y llevadas a la boca del Golfo de California (Wyrтки, 1967) y de ahí al interior (Alvarez Borrego y Schwartzlose, 1979).

2.4 Variabilidad estacional

El esquema de circulación varía mucho estacionalmente. Wyrтки (1966) distinguió tres periodos durante el año que se caracterizan por cambios en la intensidad y en la configuración de las corrientes:

- 1) Agosto a enero: es el periodo más largo y estable en el cual la zona de Convergencia Intertropical está en su posición más al norte, cerca de los 10° N, y la Contracorriente del Ecuador está bien

desarrollada de manera que alimenta la Corriente Costera de Costa Rica, que llega hasta la boca del Golfo de California. La Corriente de California se aleja de la costa cerca de los 25° N y alimenta la Corriente Ecuatorial del Norte al norte de los 20° N (Fig. 2). Para enero la Convergencia Intertropical se mueve hacia el sur, la Contracorriente del Ecuador se hace más débil y el Sistema de la Corriente de California se intensifica.

2) Febrero a abril: la zona de Convergencia Intertropical está en su posición más al sur, cerca de los 3° N, la Contracorriente del Ecuador está prácticamente ausente. La Corriente Costera de Costa Rica es muy débil por lo que se tiene la impresión de que la Corriente de California es muy fuerte. Sin embargo se ha observado que la zona de transición fuera de la Boca del Golfo de California parece no ser afectada por la intensificación de la Corriente de California (Fig. 2).

3) Mayo a julio: la zona de Convergencia Intertropical regresa a su posición norte, y la Contracorriente del Ecuador se forma otra vez de manera que la Corriente Costera de Costa Rica llega hasta Cabo Corrientes. La Corriente de California permanece fuerte y contribuye con una fracción considerable a la Corriente Ecuatorial del Norte. De julio a agosto la Corriente de California se debilita progresivamente (Fig. 2).

Al oeste de Baja California y California se encuentra una contracorriente profunda, abajo de 200 m, que fluye hacia el noroeste a lo largo de la costa. Transporta hacia el norte agua más caliente

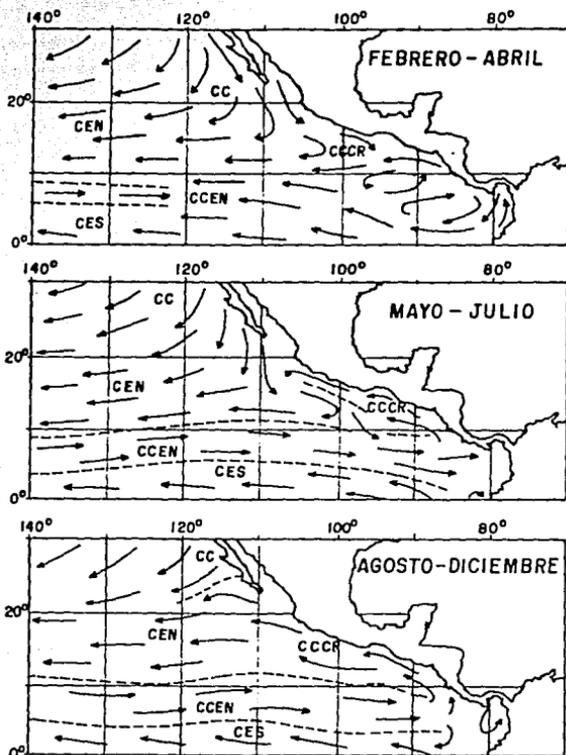


Fig. 2. Patrones principales de circulación estacional de las corrientes superficiales en el Pacifico Oriental de acuerdo con Wyrcki (1965). CC significa Corriente de California, CEN Corriente Ecuatorial del Norte, CCEN Contracorriente Ecuatorial del Norte, CES Corriente Ecuatorial del sur, y CCCR Contracorriente de Costa Rica. La linea quebrada frente a Bahía Magdalena representa el limite sur de la CC en agosto-diciembre. Las lineas quebradas al sur de los 10° N representan los limites de la CCEN, y cerca de la costa de México el limite de la CCCR.

y más salina a lo largo de grandes distancias. Cuando los vientos del norte son débiles o ausentes al final del otoño y al principio del invierno, la contracorriente forma en la superficie un flujo que se extiende desde la punta de Baja California hasta el norte de Punta Concepción, California, donde se le llama la Corriente de Davidson (Reid et al., 1958).

2.5 Variabilidad interanual

Es importante considerar los cambios que se observan en el Pacífico Oriental a escalas mayores de tiempo, es decir, los cambios interanuales. El Niño-Oscilación del Sur es un caso extremo de variabilidad ambiental que se presenta con un periodo de tres a ocho años y que se caracteriza por temperaturas anormalmente altas en la superficie del Pacífico Oriental Tropical, por valores extremadamente bajos en el índice de la Oscilación del Sur y por vientos alisios muy débiles sobre el Pacífico Ecuatorial Central y Occidental (Chávez, 1987), además de que se observan en el Pacífico Oriental fuertes lluvias, invasión de organismos tropicales y mortalidad masiva de varias especies de organismos marinos (Wooster, 1960).

Durante la década de los ochenta se observaron dos episodios de variación climática debidos a El Niño-Oscilación del Sur, el primero y el más severo en 1982-83 y el segundo durante 1986-87 (Barber, 1992). Antes de estos dos fenómenos los cambios interanuales en la variabilidad de la concentración superficial de los nutrientes,

así como los cambios a escalas mayores de espacio, no se habían reconocido. Durante el fenómeno ocurrido en 1982-83 se observó una drástica caída de la productividad del ecosistema marino en el Pacífico Oriental Tropical.

En condiciones normales los vientos alisios impulsan la Corriente Ecuatorial del Sur, que transporta agua desde el este hacia el oeste. Las aguas de esta corriente se hallan expuestas a la incidencia continua del sol tropical (Chávez, 1987). De esta manera se produce una acumulación de agua caliente en el Pacífico Occidental. La acumulación de estas masas de agua caliente elevan el nivel del mar provocando que la capa de mezcla y la termoclina sean profundas. En el Pacífico Oriental Tropical las masas de agua quedan con una temperatura templada y la termoclina y la capa de mezcla son poco profundas. La termoclina y la capa de mezcla son dos factores que tienen consecuencias biológicas, ya que la fotosíntesis está limitada por la luz, que disminuye con la profundidad, y por la concentración de nutrientes, la cual es mayor por debajo de la termoclina. En el Pacífico Oriental Tropical la cercanía de los nutrientes a la superficie y las condiciones óptimas de luz, así como las surgencias que llevan a la superficie aguas ricas en nutrientes, convierten a esta zona en una de las áreas oceánicas más productivas.

La mayoría de las teorías sobre el origen de El Niño sugieren que su desencadenamiento es resultado de vientos anómalos en el Pacífico Occidental Tropical. Según uno de los modelos más avanzados, la zona de aguas cálidas en el Pacífico Occidental Tropical se va

ampliando poco a poco lo que lleva a un flujo de agua hacia el este (onda planetaria de Kelvin). Como resultado de este flujo la estructura térmica del océano Pacífico se modifica de tal manera que la termoclina y la nutriclina se hacen más profundas en el Pacífico Oriental Tropical (Chávez, 1987; Barber, 1992). Las surgencias costeras no desaparecen durante el desarrollo de El Niño como se creía antes; los vientos responsables de las surgencias no sólo persisten, sino que incluso se intensifican (Enfield, 1981), pero el agua que llevan a la superficie es pobre en nutrientes. Se sabe que las surgencias costeras llevan agua a la superficie desde zonas de la columna de agua relativamente poco profundas (25 a 100 m). Si la termoclina y la nutriclina están a mayor profundidad, entonces el agua que llega a la superficie debido a las surgencias es de bajo contenido de nutrientes (Barber, 1992). Además El Niño provoca una reducción en la cantidad de luz disponible para las poblaciones de fitoplancton debido a que la capa de mezcla se hace más profunda (Barber y Chávez, 1983). Como consecuencia la productividad primaria baja en el Pacífico Oriental Tropical durante los fenómenos de El Niño (Barber y Chávez, 1983; Cane, 1983). La reducción en la producción de materia orgánica afecta el crecimiento y el éxito reproductivo de zooplancton, peces, aves y mamíferos marinos y en general de todo el ecosistema pelágico costero del Pacífico Oriental (Chávez, 1987). Debido a que temperatura, nutrientes, productividad y alimento están muy ligados en los ecosistemas de surgencias, los peces, aves marinas y mamíferos

marinos han desarrollado adaptaciones conductuales que les permite usar la temperatura como pista para encontrar áreas donde abunda el alimento. También este tipo de comportamiento se ve alterado por El Niño, por lo que los organismos deben mostrar una respuesta conductual a corto plazo que les permita sobrellevar la anomalía térmica (Barber y Chávez, 1983).

El efecto de El Niño se extiende por las corrientes marinas hasta latitudes muy altas. El Niño de 1982-83 hizo sentir su efecto hasta las costas de Alaska. Esta anomalía ocurrió en el Sur del Golfo de California desde septiembre-octubre de 1982 hasta por lo menos junio de 1984 (Mee et al., 1985).

3. OBJETIVOS

Describir el patrón de variación espacial en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos en la zona de transición entre el Pacífico Oriental Templado y el Pacífico Oriental Tropical, utilizando los datos derivados de las imágenes del Coastal Zone Color Scanner (CZCS).

Describir las variaciones estacionales de esos patrones.

Describir las variaciones interanuales, con especial mención del efecto del evento El Niño-Oscilación del Sur 1982-83 en las concentraciones de pigmentos.

4. METODOS

Las estimaciones de la concentración de pigmentos en aguas superficiales se derivaron de las imágenes obtenidas durante los ocho años de vida útil del Coastal Zone Color Scanner, de noviembre de 1978 a junio de 1986.

Las imágenes del CZCS que contenían alguna porción de las aguas que rodean a Baja California se escogieron previamente mediante un proceso de proyección con el programa BROWSE, desarrollado en el Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA, por G. Feldman y N. Kuring (Muller-Karger et al., 1991). La concentración de pigmentos fue obtenida con una resolución espacial aproximada de 4 km por submuestreo de las imágenes originales en el GSFC (Feldman et al., 1989, citados en Muller-Karger et al., 1991). La concentración se derivó de las razones de las radiancias ascendentes en el azul (443 nm) o en el azul-verde (520 nm) entre las radiancias ascendentes en el verde (550 nm), usando los algoritmos bio-ópticos de Gordon et al. (1983a; 1983b; 1988). Un algoritmo se utiliza para calcular las concentraciones de pigmentos menores a 1.5 mg m^{-3} , que se presentan en aguas donde se puede suponer que el detritus y las sustancias disueltas orgánicas de color covarían con el fitoplancton; y el otro se utiliza para concentraciones mayores que 1.5 mg m^{-3} . El primer algoritmo tiene una precisión de 30%, y el segundo tiene una mayor imprecisión.

Aproximadamente el 80% de la radiancia detectada por el satélite se puede deber a la dispersión causada por la atmósfera. Esta radiancia atmosférica es difícil de separar de las imágenes del CZCS debido a la dispersión causada por los aerosoles que son componentes de la atmósfera. Los aerosoles son muy variables, espacial y temporalmente, en concentración, composición y distribución de tamaños (Gordon et al., 1980). Los datos de radiancia obtenidos del CZCS han sido corregidos utilizando algoritmos de corrección atmosférica (Gordon, 1978; Gordon et al., 1980).

Las imágenes individuales de la concentración de pigmento para las aguas de Baja California fueron recartografiadas en un recuadro con las coordenadas 35° N 122° W, 18° N 105° W, utilizando los datos de navegación y deriva con los que contaba el satélite al momento de generar cada imagen, (Santamaría del Angel, E., Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, comunicación personal). El proceso de recartografiado se llevó a cabo utilizando el programa DSP de la Universidad de Miami.

Se obtuvieron finalmente un total de 1042 escenas diarias para las costas de Baja California: 23 para 1978, 176 para 1979, 233 para 1980, 156 para 1981, 135 para 1982, 117 para 1983, 34 para 1984, 94 para 1985 y 74 para 1986. El procesado de las imágenes fue realizado por el M. en C. Eduardo Santamaría del Angel, bajo la supervisión del Dr. Frank Muller-Karger, en el Departamento de

Ciencias Marinas de la Universidad del Sur de Florida (USF), campus San Peterburgo, Florida. Más detalle sobre el procesamiento de las imágenes puede encontrarse en Muller-Karger et al. (1991).

A partir de las imágenes se procedió a hacer las composiciones mensuales, es decir, se obtuvieron imágenes promedio para cada mes de cada año a partir de todas las imágenes disponibles para un mes determinado (no necesariamente todos los meses de un año tienen el mismo número de imágenes). Se cuenta con 92 imágenes compuestas mensuales, que abarcan desde noviembre de 1978 hasta junio de 1986, a partir de las cuales se extrajeron los datos para el transecto, según sus coordenadas. Estos datos corresponden a la concentración de pigmento derivada de foteles (elementos de fotografía) de aproximadamente $4 \times 4 \text{ km}^2$, es decir, hay un dato de concentración de pigmento para cada cuatro kilómetros del transecto.

La zona de transición entre el Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Oriental Templado se representó con un transecto que va desde Punta San Hipólito (27° N , $114^\circ 30' \text{ W}$), pasa al suroeste de Cabo San Lucas (22° N , 110° W) donde cambia de dirección, posteriormente cruza la boca del Golfo de California y llega hasta la zona de Cabo Corrientes, terminando en la costa sur de la entrada de Bahía Banderas ($20^\circ 30' \text{ N}$, $105^\circ 30' \text{ W}$) (Fig. 1).

Con los 92 transectos se describe la variación espacial haciendo énfasis en variaciones de concentración de pigmentos a través de frentes, el efecto de la cercanía a la costa y las surgencias, y el efecto de las corrientes y masas de agua.

Se promediaron todos los transectos de enero, todos los de febrero, y así sucesivamente para obtener el "año promedio" representativo. Con este "año promedio" se describe la variación estacional de la biomasa de fitoplancton.

Las variaciones interanuales se analizaron mediante series de tiempo de concentración de pigmentos y anomalías con respecto al "año promedio". Para ésto se escogieron dos localidades representativas: una en el fotel 80 del transecto, que está frente a Bahía Magdalena; y otra en el fotel 230, frente a Cabo Corrientes. Las anomalías son las diferencias del valor de concentración de cada mes de calendario (X_i) y el del mes promedio respectivo (\bar{X}_i) ($X_i - \bar{X}_i$), donde i es el número del fotel o localidad. Para cada localidad se codificó el conjunto de anomalías en dos bloques, mediante la definición de períodos El Niño y no-El Niño. De acuerdo con Robles Pacheco y Christensen (1984) El Niño se comenzó a manifestar en el area de estudio en septiembre de 1982. Analizando las series de tiempo de concentración de pigmentos, se definió el final del efecto de El Niño en diciembre de 1985 para el fotel 80 y en agosto de 1984 para el fotel 230. El resto de las series se consideró con condiciones no-El Niño. Luego se calculó el Índice de Potencia Relativa (IPR) (Navarro Fierro, 1988):

$$IPR = 1 - (B_{r_1} / A_{r_2}),$$

donde r_1 es el número de meses para el período de El Niño, y r_2 es el número de meses para los períodos no-El Niño. La A corresponde al número de meses con anomalía negativa durante El Niño y la B es el número de meses con anomalía negativa durante no-El Niño.

El Índice de Potencia Relativa es una prueba de valoración basada en el análisis binario derivado de tablas de contingencia 2x2. Se utiliza para estimar con qué efectividad un factor (en este caso El Niño) puede favorecer la frecuencia de alguna condición antagónica-excluyente del juego de datos (en este caso las anomalías negativas) (Navarro-Fierro, 1988). El valor del IPR es una ponderación proporcional de qué tan fuerte puede ser el efecto del factor sobre la condición. El IPR puede tomar desde valores negativos hasta 1.0 positivo. Los valores negativos indican que la condición aparece cuando no está presente el factor; el cero muestra que un número ponderado igual de condiciones ocurren con o sin la presencia del factor; el 1.0 positivo indica que todas las observaciones de la condición ocurren cuando el factor está presente. Los valores positivos entre 0 y 1.0 muestran qué tanto influye el factor en la presencia de la condición. Por último es importante señalar que el IPR no considera la magnitud de la condición sino sólo su presencia.

5. RESULTADOS

5.1 Ejemplos de las imágenes mensuales compuestas para la zona geográfica que comprende el transecto que se analiza

En los ejemplos de las composiciones mensuales de las imágenes del CZCS para el noroeste de México, que comprende la zona de estudio (Fots. 1 a 4), se aprecia que la distribución espacial de la concentración de pigmentos fotosintéticos es muy irregular, en forma de manchas, lenguetas y meandros. En general las concentraciones más elevadas ocurrieron en las zonas costeras, y las zonas oceánicas alejadas de la costa presentaron concentraciones muy bajas, representadas por los colores violeta y guinda.

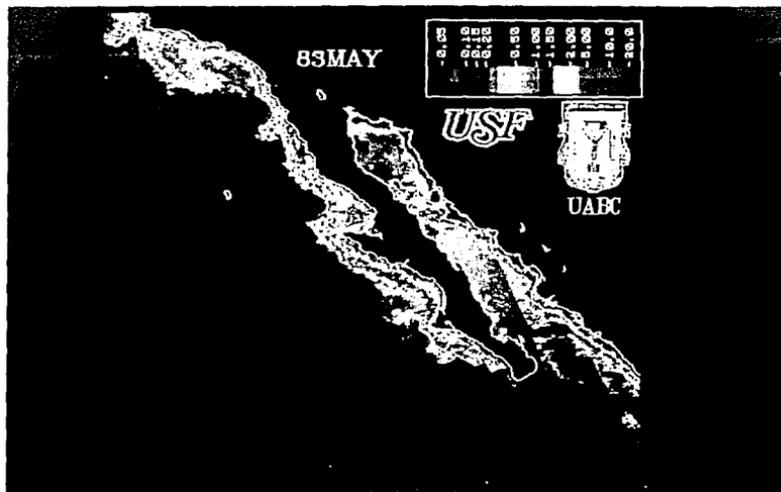
En las cuatro fotografías se aprecia la variación estacional y la variación interanual. 1981 fue un año con condiciones no-El Niño y la segunda mitad de 1982, y 1983, fueron años El Niño. Comparando mayo y septiembre de 1981 se aprecia en el Golfo de California el efecto de las condiciones de "invierno" (mayo, Fot. 1) con mayores concentraciones de pigmentos principalmente en la parte norte y en la costa continental hasta Cabo Corrientes, y las condiciones de "verano" (septiembre, Fot. 2) con agua muy oligotrófica en la parte sur del Golfo. Al oeste de la península de Baja California se aprecian muy altas concentraciones tanto en mayo como en septiembre de 1981, pero en mayo los altos valores de pigmentos fotosintéticos presentaron una extensión geográfica mucho mayor, hasta Cabo San Lucas, mientras que en septiembre los valores



Fot. 1. Composición mensual para mayo de 1981, un año no-El Niño. Cada color representa una concentración de pigmentos fotosintéticos en mg m^{-3} . En la parte superior derecha se encuentra la paleta de colores con las equivalencias.



Fot. 2. Lo mismo que en la fotografía 1, para septiembre de 1981, un año no-El Niño.



Fot. 3. Lo mismo que en la fotografía 1, para mayo de 1983, un año El Niño.



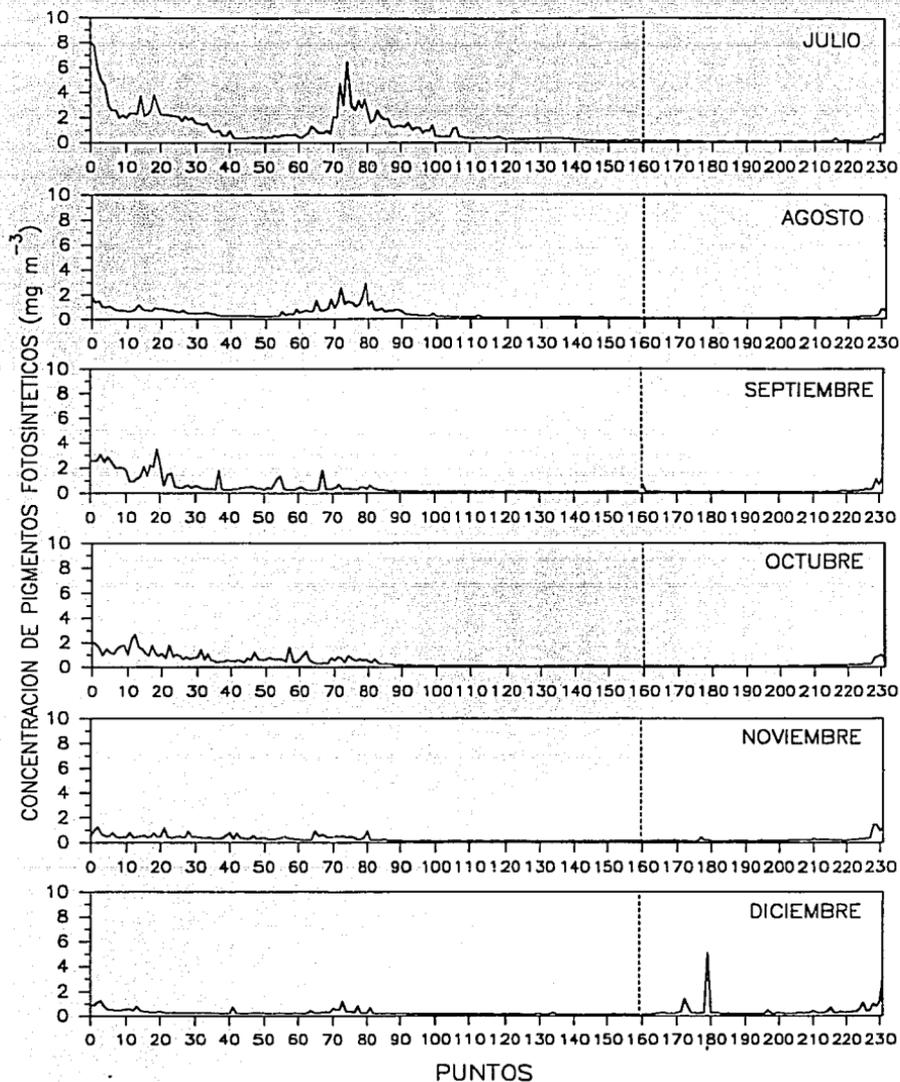
Fot. 4. Lo mismo que en la fotografía 1, para septiembre de 1982, un año El Niño.

fueron bajos al sur de Bahía Magdalena. En septiembre de 1982 (Fot. 3) los valores de pigmentos fueron extremadamente bajos al oeste de la península y en la parte sur y la boca del Golfo. En este mes no se apreció ningún efecto costero que produjera alta concentración de pigmentos al oeste de la península. En mayo de 1983 se presentaron valores altos de pigmentos sólo en zonas muy restringidas a la costa oeste de la península y fueron muy bajos en la boca del Golfo.

5.2 Descripción del "año promedio"

En general a lo largo del transecto se presentaron concentraciones altas de pigmentos fotosintéticos en las zonas cercanas a la costa (Fig. 3). Se distinguen tres zonas principales que tienen influencia costera: la primera se encuentra en la parte más norteña del transecto (entre los foteles 0 y 40) y corresponde a la zona frente a Punta San Hipólito - Laguna San Ignacio; la segunda se encuentra frente a Bahía Magdalena, entre los foteles 60 y 120; finalmente la tercer zona se encuentra en la parte más sureña del transecto, frente a Bahía Banderas (entre los foteles 210 y 230). Las zonas más alejadas de la costa son regiones oceánicas donde generalmente las concentraciones de pigmento fueron pequeñas, menores a 1 mg m^{-3} . Se observan dos zonas principales de bajas concentraciones de pigmentos, una entre la región de Laguna San Ignacio a Bahía Magdalena, y la segunda frente a Cabo San Lucas y en la boca del Golfo de California. Las concentraciones mínimas se presentaron en la boca del Golfo de California con valores a menudo

Fig. 3. El "año promedio" del transecto obtenido a partir de las 92 composiciones mensuales de las imágenes del CZCS. Los puntos representan el número de fotel dentro del transecto, tomando como cero el primer fotel frente a Punta San Hipólito. La línea punteada corresponde al punto donde cambia de dirección el transecto, frente a Cabo San Lucas.



del orden de centésimas de mg m^{-3} . En general la variación espacial fue muy irregular con picos de máximos y mínimos, denotando una distribución en forma de manchas.

En enero las concentraciones de pigmento se mantuvieron bajas y más o menos constantes a lo largo del transecto, aunque pueden observarse algunos picos de hasta $>2 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 3). En la zona cercana a Cabo Corrientes se observaron las mayores concentraciones de este mes ($>3 \text{ mg m}^{-3}$). En febrero empezó a observarse el patrón típico de mayores concentraciones en las regiones costeras y de menores concentraciones en las regiones oceánicas. Durante este mes la zona frente a Bahía Magdalena alcanzó concentraciones de casi 2 mg m^{-3} y en la zona de Cabo Corrientes las concentraciones alcanzaron casi los 4 mg m^{-3} . Los meses de marzo, abril y mayo presentaron en general una tendencia de aumento de las concentraciones de pigmentos, llegando a 5 mg m^{-3} en la zona de Bahía Magdalena y hasta $>7 \text{ mg m}^{-3}$ en la zona de Bahía Banderas. En mayo y junio la zona oceánica entre Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena tuvo las más altas concentraciones del año (para esa zona), a menudo mayores a 1 y hasta 2 mg m^{-3} . Las mayores concentraciones de pigmento para el "año promedio" se alcanzaron en junio frente a San Hipólito (hasta 10 mg m^{-3}) y en la zona de Bahía Magdalena (hasta 8 mg m^{-3}). En la zona de Cabo Corrientes las concentraciones fueron bajas (menores a 1 mg m^{-3}) a partir de este mes y se mantuvieron así hasta octubre. Julio todavía presentó concentraciones altas (hasta 8 mg

m^{-3}) en las dos zonas costeras norteñas. Entre San Hipólito y Bahía Magdalena las concentraciones bajaron de agosto a febrero, aunque pueden observarse picos aislados de hasta $>2 \text{ mg } m^{-3}$.

Al oeste de la península de Baja California se presentaron los valores más bajos de noviembre a febrero, mientras que en la región de la boca del Golfo hubo "manchas" de valores relativamente altos, hasta más de 2 y en un caso hasta más de $4 \text{ mg } m^{-3}$, en diciembre y enero (Fig. 3). Frente a Bahía Banderas se presentaron valores altos a finales de otoño, todo el invierno y gran parte de la primavera, con valores máximos de marzo a mayo (hasta más de $6 \text{ mg } m^{-3}$). Al oeste de Baja California se presentó la máxima extensión de altos valores en mayo y junio. En verano y otoño los valores de concentración de pigmentos disminuyeron paulatinamente en esta parte frente a Baja California para llegar en noviembre a valores en su mayoría menores a $1 \text{ mg } m^{-3}$. En la boca del Golfo y frente a Bahía Banderas, los valores mínimos se presentaron de julio a noviembre.

5.3 Descripción de los transectos mensuales originales

Noviembre y diciembre de 1978 presentaron concentraciones muy bajas a lo largo del transecto (Fig. 4). Estas concentraciones de pigmento fueron en su mayoría menores a $0.2 \text{ mg } m^{-3}$, con los mínimos en la boca del Golfo ($<0.1 \text{ mg } m^{-3}$) y notándose un ligero aumento frente a Cabo Corrientes ($0.4-1.2 \text{ mg } m^{-3}$). En general estas concentraciones son más bajas que las de noviembre y diciembre del año promedio.

1979 podría considerarse como típico o representativo de la variación estacional debido a que no presentó muchas diferencias con el "año promedio". En enero las concentraciones fueron muy bajas a todo lo largo del transecto, similar a lo encontrado al final de 1978, aunque se observó un ligero aumento frente a Bahía Magdalena (0.4 mg m^{-3}), y hay un fotel anormalmente alto en la boca del Golfo (10 mg m^{-3}). A partir de febrero la variación temporal y espacial de las concentraciones de pigmentos mostraron las mismas tendencias que en el año promedio, pero fueron más altas en 1979. En junio, en las dos zonas costeras norteñas, a menudo los valores fueron mayores a 10 mg m^{-3} , y aunque disminuyeron en julio y agosto se mantuvieron muy por encima de los del año promedio. Sin embargo, no se observaron valores mayores, con respecto a los del año promedio, en la zona oceánica entre Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena, y tampoco frente a Cabo Corrientes. Entre primavera y otoño, los valores más bajos se presentaron en septiembre. En octubre y noviembre hubo concentraciones relativamente altas (hasta $>4 \text{ mg m}^{-3}$) en la parte norte del transecto, hasta Bahía Magdalena. Los datos de noviembre de este año fueron los más altos de todos los noviembrés. De octubre a diciembre, las concentraciones de la zona de Cabo Corrientes, aumentaron hasta 8 mg m^{-3} .

1980 presentó claras diferencias con respecto a 1979, aunque se mantuvo el mismo patrón general de variación espacial y temporal. En enero de 1980 la concentración de pigmentos fue en general más alta que en 1979. Frente a Bahía Magdalena fue entre 1 y 2 mg m^{-3} .

y frente a Cabo Corrientes hasta 2 mg m^{-3} . En mayo las concentraciones llegaron a ser muy altas al oeste de Baja California ($>10 \text{ mg m}^{-3}$) y geográficamente se extendieron más. La región entre Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena presentó concentraciones altas, que llegaron hasta 5 mg m^{-3} , a pesar de ser una zona alejada de la costa. Contrario a mayo, junio de 1980 presentó valores menores y menos extendidos que junio de 1979. Julio de 1980 fue semejante a julio de 1979, pero de agosto a diciembre de 1980 se presentaron valores claramente menores de concentración de pigmentos que en los meses respectivos de 1979, principalmente octubre y noviembre.

En enero y febrero de 1981 las concentraciones se mantuvieron en general más bajas que en el año promedio, continuando el patrón de los últimos meses de 1980, con excepción de la zona frente a Bahía Magdalena que en enero de 1981 se comportó similar a enero de 1980. La diferencia entre marzo de 1981 y marzo de los dos años previos es que en el primero se presentaron concentraciones más altas en la zona frente a San Hipólito y más bajas frente a Cabo Corrientes. Los resultados de abril de los tres años son similares, aunque con valores menores frente a Cabo Corrientes en abril de 1981. Las concentraciones de mayo de 1981 son similares a las de mayo de 1980, pero con valores menores en la zona oceánica frente a Laguna San Ignacio - Bahía Magdalena, con excepción de un pico anormalmente alto (5 mg m^{-3}) centrado en el fotel 50. De junio a septiembre de 1981 se presentaron diferencias muy marcadas con relación a los dos años previos. En junio de 1981 las concentraciones

frente a Bahía Magdalena fueron excepcionalmente bajas (la mayoría $<1 \text{ mg m}^{-3}$), aunque frente a San Hipólito fueron más altas que el promedio. En septiembre de 1981 la situación fue inversa, con valores relativamente altos frente a San Hipólito - Bahía Magdalena. En julio de 1981 las concentraciones fueron relativamente altas en la zona oceánica entre San Hipólito y Bahía Magdalena. Los valores de octubre de 1981 fueron más altos que los de octubre de 1980 y similares a los de octubre de 1979, aunque en la zona frente a Cabo Corrientes fueron tan bajos como los de octubre de 1980. En noviembre y diciembre la concentración de pigmentos permaneció en general baja a lo largo de todo el transecto, con algunos picos de hasta $>2 \text{ mg m}^{-3}$ sobre todo al oeste de la península y frente a Cabo Corrientes. Las concentraciones de noviembre de 1981 fueron menores a las de 1979 y similares a las de 1980, mientras que las de diciembre de 1981 fueron similares a las de 1979 y mayores que las de 1980.

Enero, febrero y marzo de 1982 presentaron valores más altos de pigmentos que los meses respectivos de los tres años anteriores. Enero de 1982 fue un mes con valores excepcionalmente altos para esa época del año, con "manchas" o picos de concentraciones de hasta 10 mg m^{-3} , inclusive en la boca del Golfo. Los valores frente a Cabo Corrientes también fueron muy altos en estos tres meses de 1982. Los valores de abril y mayo de 1982 tendieron a ser menores que los de los años previos, principalmente en la zona frente a Cabo Corrientes, aunque casi no hubo datos para esta zona en mayo de 1982 debido a la nubosidad. Esta fue mucho más intensa en 1982

que en años previos, por lo que la imagen para junio no está completa y se termina aproximadamente en el fotel 70, frente a Bahía Magdalena. En la parte con datos se alcanzaron concentraciones muy altas, cerca de los 16 mg m^{-3} , en las zonas costeras frente a San Hipólito y Bahía Magdalena, y las concentraciones se mantuvieron elevadas (4 mg m^{-3}) en la zona oceánica entre ambas regiones. De nuevo, en julio no se tuvieron datos en la boca del Golfo debido a la nubosidad. Las altas concentraciones se encontraron frente a San Hipólito - San Ignacio, y frente a Bahía Magdalena fueron menores que en años previos. El resto del año, desde agosto hasta diciembre, las concentraciones se mantuvieron muy bajas (en general $<1 \text{ mg m}^{-3}$) a todo lo largo del transecto, menores que las de años anteriores y que las del año promedio. En agosto se alcanzó a notar todavía la influencia de la cercanía de la costa frente a San Hipólito y Bahía Magdalena. Los datos de octubre de 1980 y 1982 son igualmente bajos. Diciembre de 1982 mostró datos similares a los de otros años, con manchas de alta concentración en algunos foteles ($>2 \text{ mg m}^{-3}$).

Enero de 1983 presentó concentraciones relativamente altas de pigmentos respecto a los eneros de los años previos y con respecto a la segunda mitad de 1982. En la parte norte del transecto, las concentraciones se mantuvieron en general alrededor de 1 mg m^{-3} . Durante este mes no se observaron valores altos frente a Bahía Magdalena, sin embargo se presentaron manchas de alta concentración en la región oceánica alrededor de Cabo San Lucas, cerca del fotel donde cambia de dirección el transecto; en dicha zona hubo picos

con concentraciones de hasta 8 mg m^{-3} . En la boca del Golfo se observó un fotel con concentración muy alta (19 mg m^{-3}). En febrero las concentraciones fueron muy bajas a todo lo largo del transecto (menores a 1 mg m^{-3}), siguiendo la tendencia de la segunda mitad de 1982, siendo especialmente notorias las bajas concentraciones frente a Bahía Magdalena y Cabo Corrientes. En marzo los resultados fueron similares a marzo de 1981, con valores de concentración frente a Cabo Corrientes más bajos que en los otros años. En abril y mayo los resultados fueron similares a los de 1982 y más bajos que los de los años previos. Debido a la nubosidad no hay datos para junio, salvo en la zona sureña del transecto, cercana a Cabo Corrientes, donde hubo concentraciones menores a 0.3 mg m^{-3} . En toda la segunda mitad de 1983 se observaron en general valores muy bajos de concentración de pigmentos (alrededor de 0.1 mg m^{-3}). En muchos casos no se contó con datos por la abundante nubosidad, principalmente en agosto, noviembre y diciembre.

Enero, febrero, marzo, abril y mayo de 1984 mantuvieron el patrón de muy bajas concentraciones de la segunda mitad de 1983, con excepción de la zona frente a Cabo Corrientes que presentó valores "normales" de hasta más de 8 mg m^{-3} de enero a abril. En mayo también la zona frente a Cabo Corrientes presentó valores bajos. En abril y mayo se empezaron a notar valores relativamente altos en la región frente a Bahía Magdalena, sin ser tan altos como los de otros años. Junio y julio no tienen datos debido a la nubosidad. De agosto a octubre, las zonas del transecto que tienen

datos muestran concentraciones que siguen siendo muy bajas (generalmente $<0.3 \text{ mg m}^{-3}$), repitiendo el patrón de 1983, salvo un fotel en septiembre frente a Cabo Corrientes ($>3 \text{ mg m}^{-3}$). En octubre hubo una gran nubosidad y se tuvieron muy pocos datos. En noviembre las concentraciones fueron más altas que en noviembre de 1983 y que el del "año promedio", en la zona entre San Hipólito y Bahía Magdalena. La imagen de diciembre de 1984 es también incompleta y se tienen datos sólo de la parte sur del transecto. En este mes se tienen foteles aislados con alta concentración ($>10 \text{ mg m}^{-3}$) en la región de la boca del Golfo; y en la zona de Cabo Corrientes las concentraciones fueron menores a 1 mg m^{-3} , pero relativamente mayores que las de diciembre de 1983, pareciéndose a las del año promedio.

En enero de 1985 las concentraciones fueron excepcionalmente altas para la parte norte del transecto, de San Hipólito a Bahía Magdalena. Para esta zona, los datos de enero de 1985 fueron los más altos de todos los eneros disponibles. En esta zona se presentaron picos con concentraciones que llegaron hasta 10 mg m^{-3} . Al sur de Bahía Magdalena se encontró un fotel con concentración alta (15 mg m^{-3}). En la boca del Golfo las concentraciones fueron en general bajas, similar al año promedio, pero no se tienen datos para la zona de Cabo Corrientes. Los datos de febrero se parecen a los del año promedio. Los resultados de marzo y abril fueron también similares a los del año promedio, pero en marzo de 1985 las concentraciones frente a San Hipólito fueron menores y las de la zona frente a Cabo Corrientes fueron mayores y se extendieron más geográficamente.

Sólo la primera parte del transecto tiene datos para mayo y los valores son menores que los del año promedio y tienen una extensión geográfica menor. En Junio las concentraciones fueron en general bajas frente a Bahía Magdalena con excepción de un pico de $>10 \text{ mg m}^{-3}$, y fueron relativamente altas en la zona entre Bahía Magdalena y Cabo San Lucas ($12 \text{ a } 20 \text{ mg m}^{-3}$). Para la zona de la boca del Golfo no hubo datos por nubosidad. En Julio las concentraciones de pigmentos fueron similares a las del año promedio, pero frente a San Hipólito fueron bajas ($<1 \text{ mg m}^{-3}$). Agosto y septiembre presentaron concentraciones más bajas que el promedio, pero se tienen pocos datos por nubosidad. Octubre presentó concentraciones más altas que el año promedio frente a San Hipólito pero con una extensión geográfica menor. El resto del transecto de octubre fue similar al del año promedio. En noviembre los valores fueron en general menores que en el año promedio con excepción de un pico de $>6 \text{ mg m}^{-3}$ frente a Laguna San Ignacio. Diciembre es en general similar al del año promedio, pero las concentraciones de la boca y la zona frente a Cabo Corrientes de este mes son menores a las de diciembre promedio.

En Enero de 1986 las concentraciones son parecidas a las de Diciembre de 1985, aunque pueden verse pequeños incrementos en la boca del Golfo. Febrero, marzo y abril presentaron concentraciones relativamente altas (hasta 14 mg m^{-3}), con relación a las del año promedio, en las zonas costeras. En marzo, los altos valores frente a Bahía Magdalena se extendieron más al sur hasta la región frente a Cabo San Lucas. En abril los valores frente a San Hipólito y

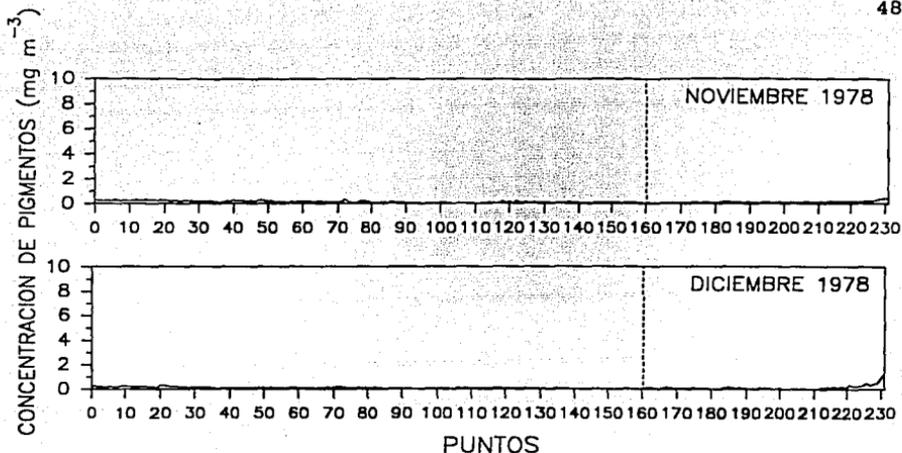


Fig. 4. Los 92 transectos obtenidos de las composiciones mensuales. Los transectos comprenden los 8 años de vida útil del CZCS, de noviembre de 1978 a junio de 1986. Los números al lado de los picos representan la concentración que se alcanza cuando se sobrepasa los 10 mg m⁻³. Las zonas que no tienen datos corresponden a nubosidad. La línea punteada corresponde al punto donde cambia de dirección el transecto, frente a Cabo San Lucas.

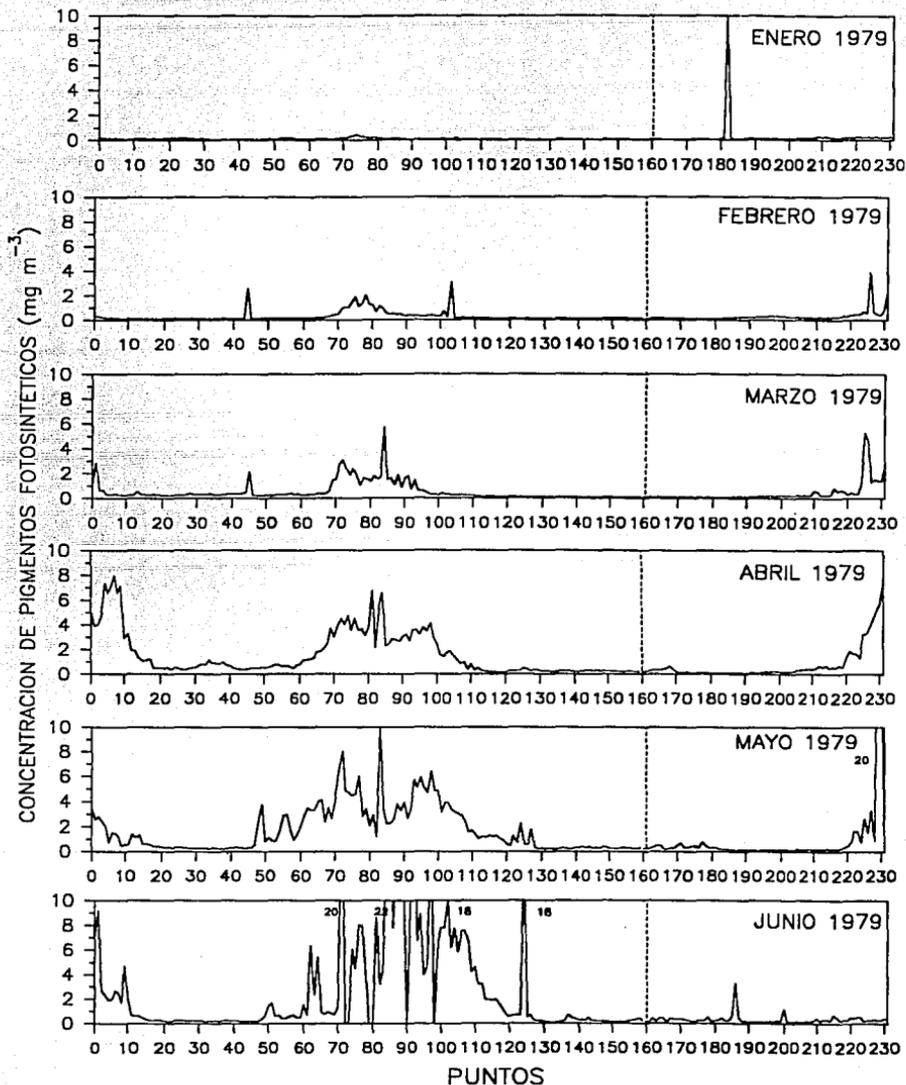


Fig. 4 continuación

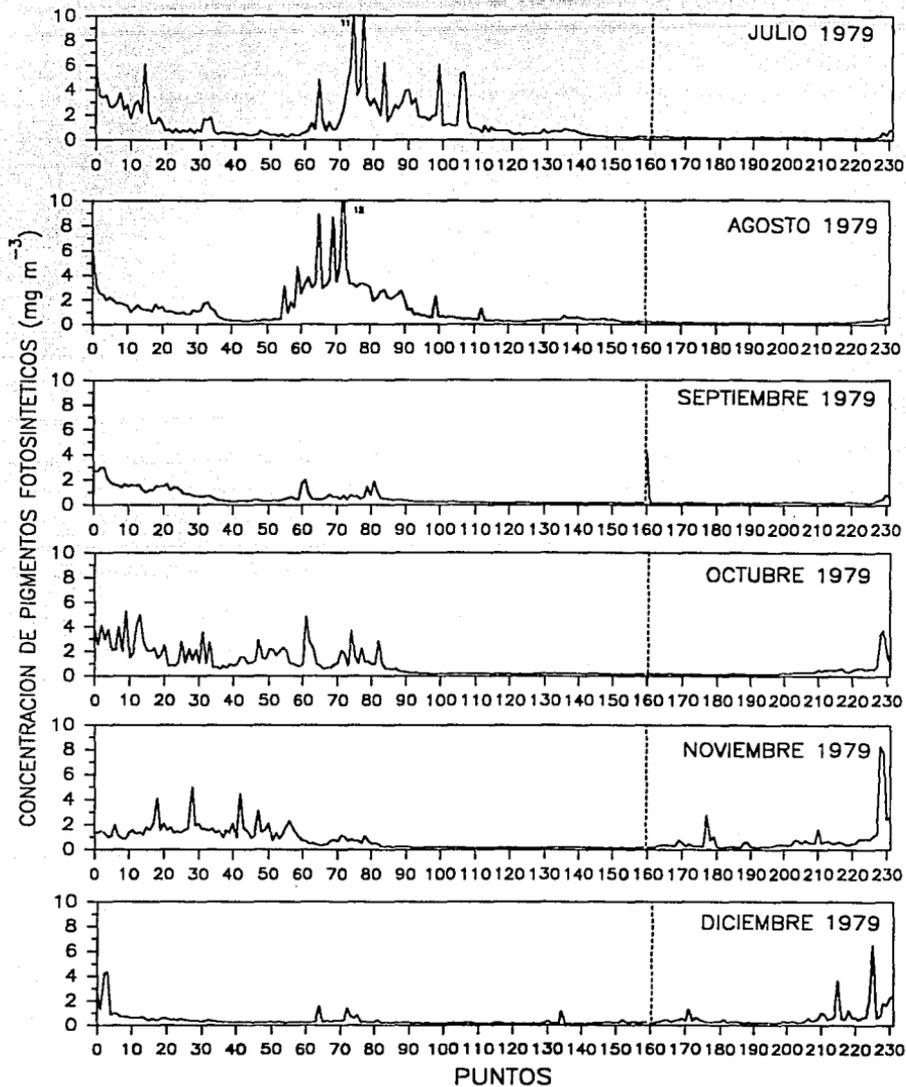


Fig. 4 continuación

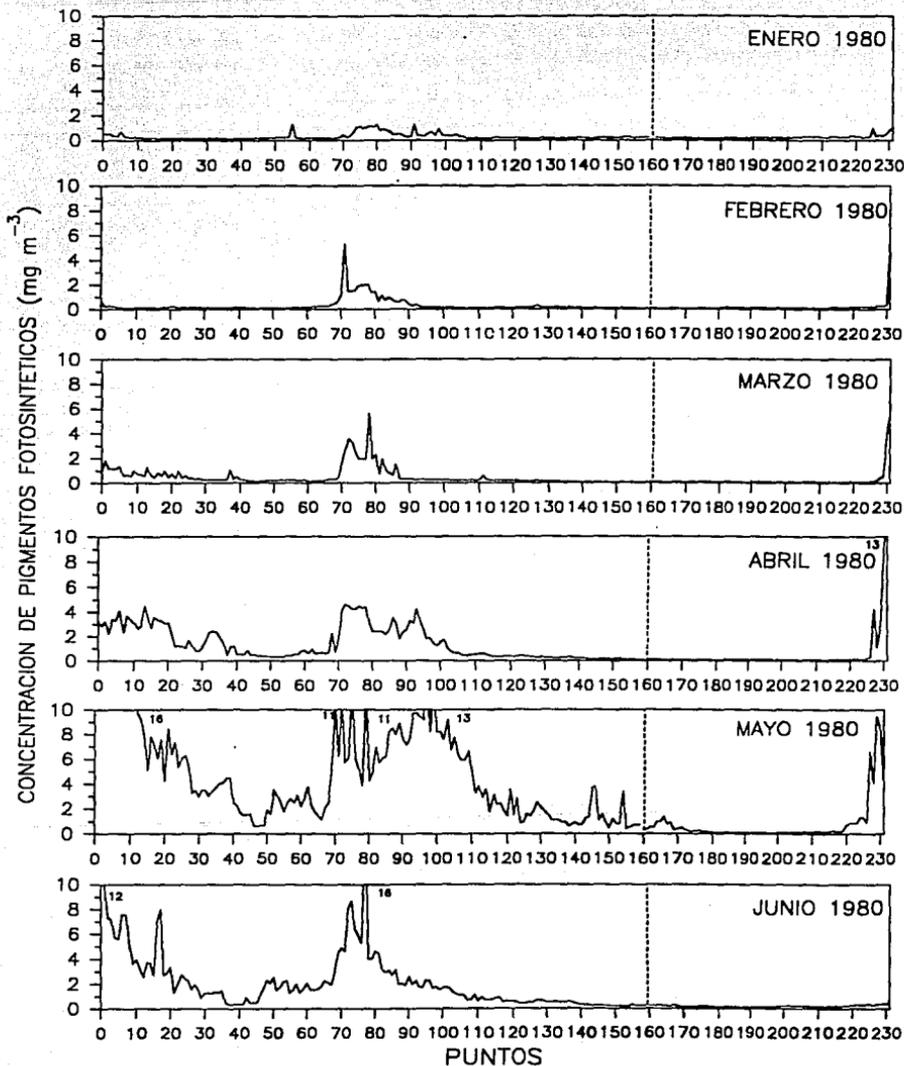


Fig. 4 continuación

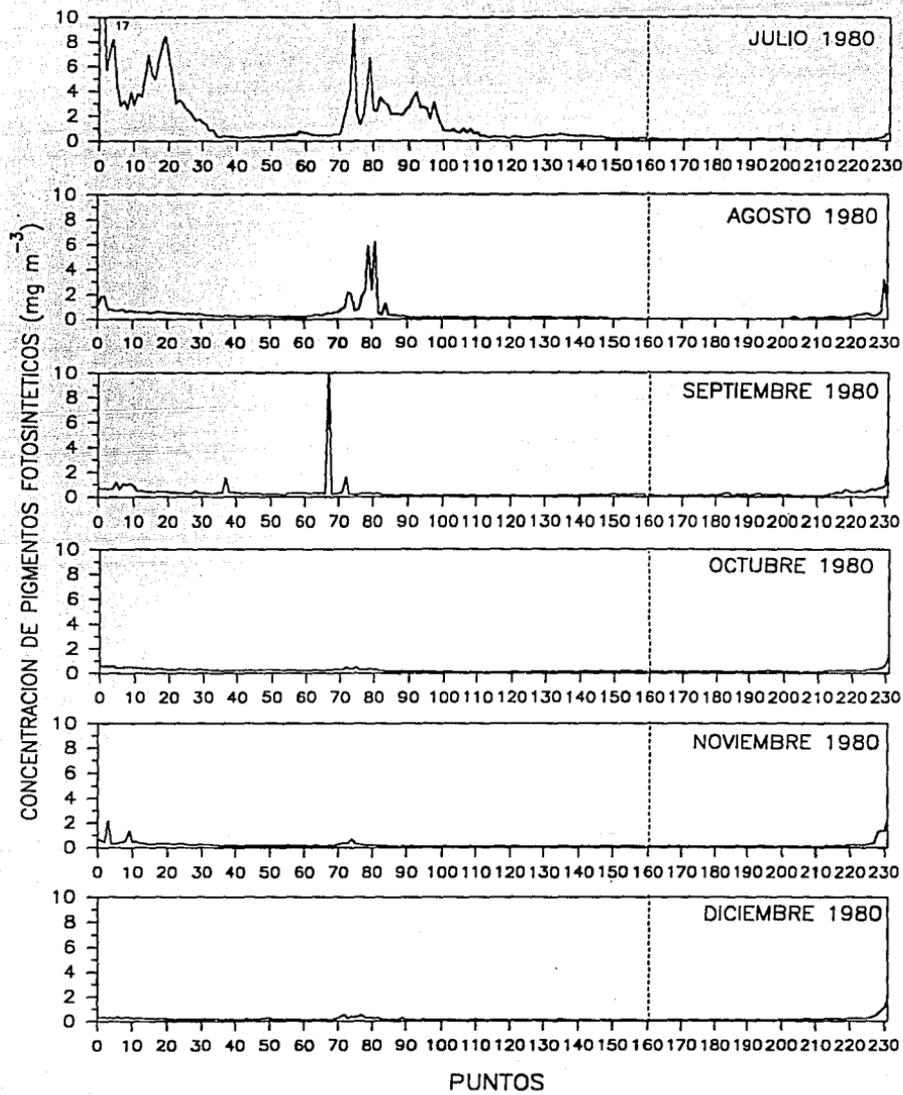


Fig. 4 continuación

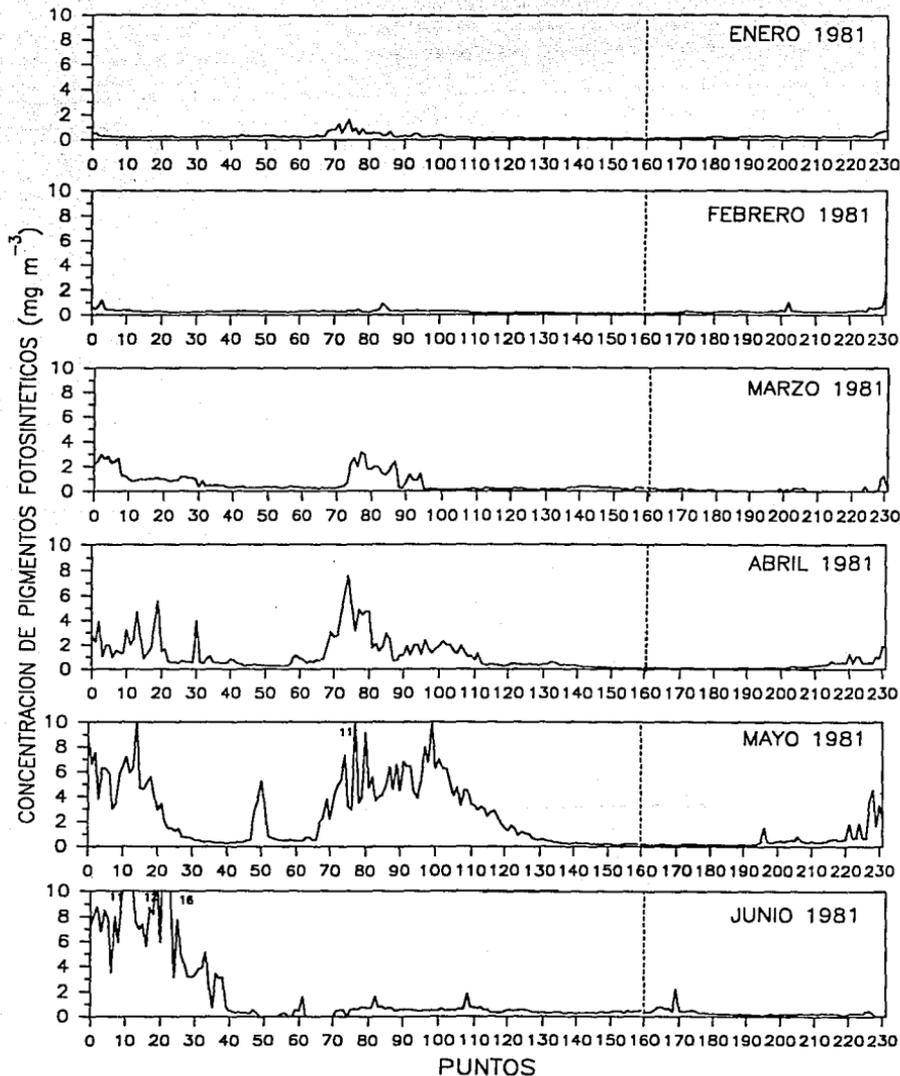


Fig. 4 continuación

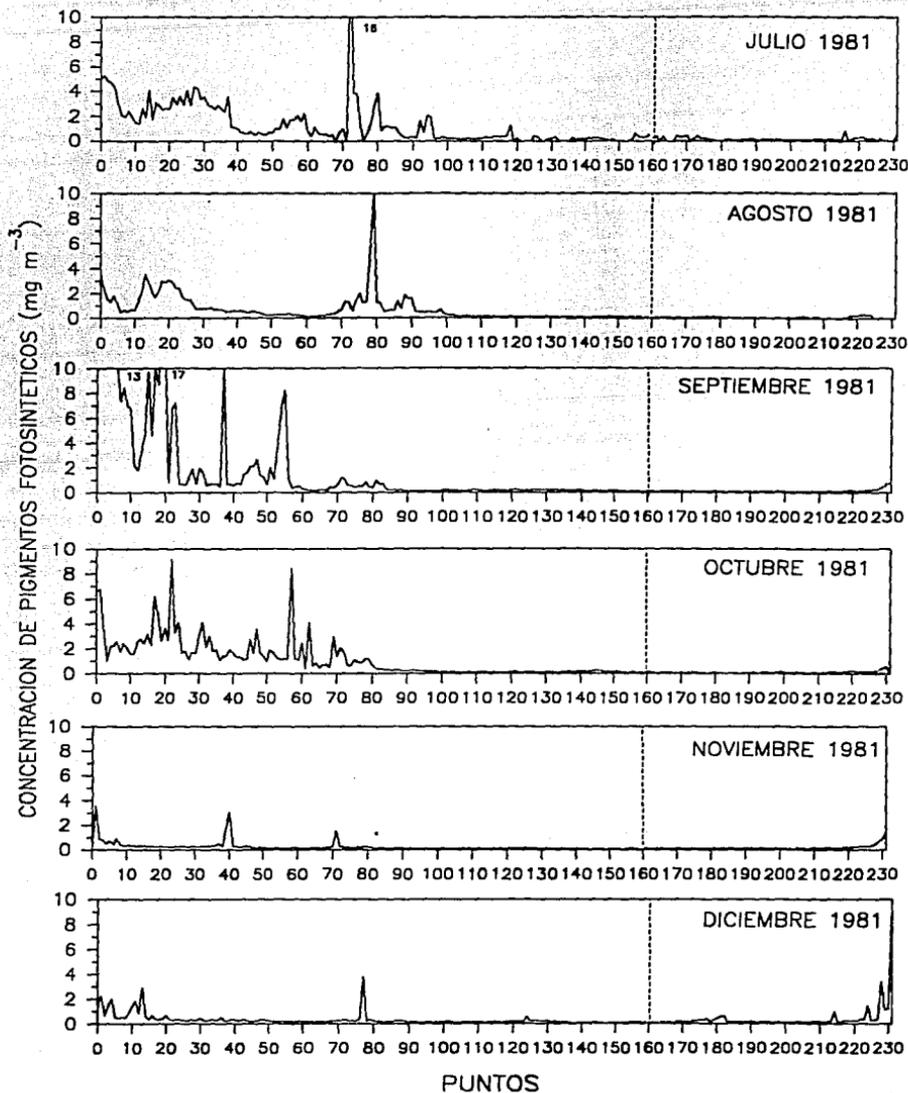


Fig. 4 continuación

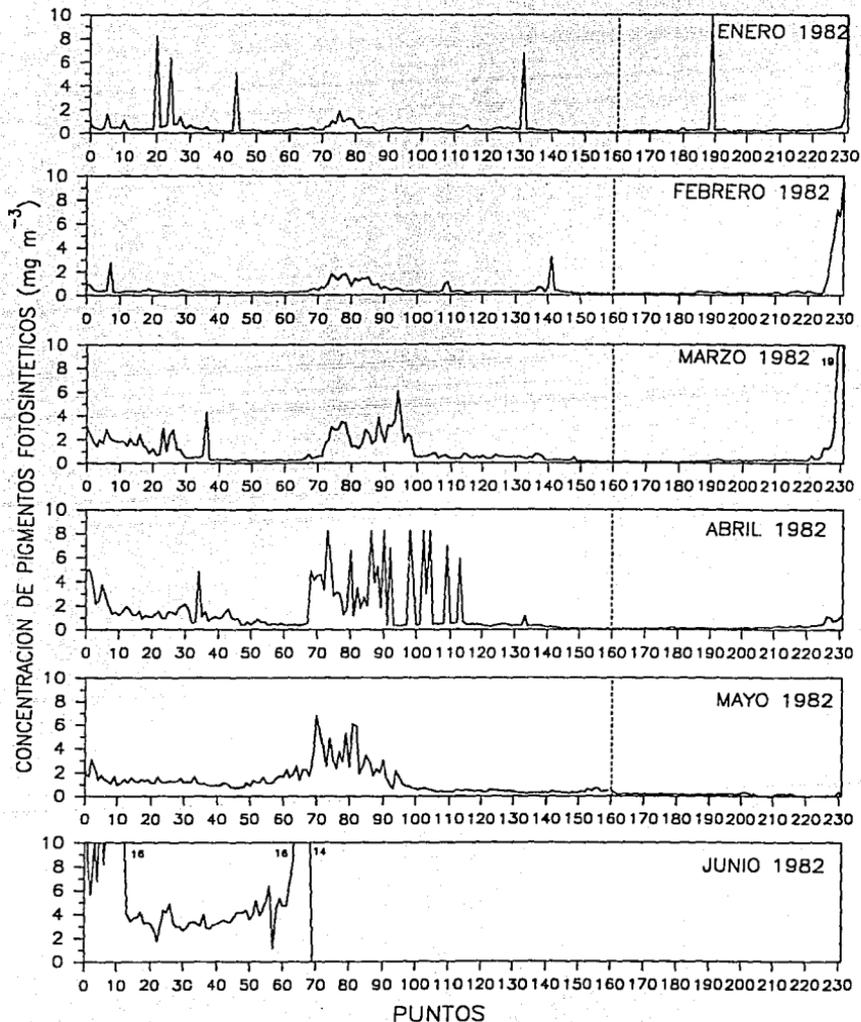


Fig. 4 continuación

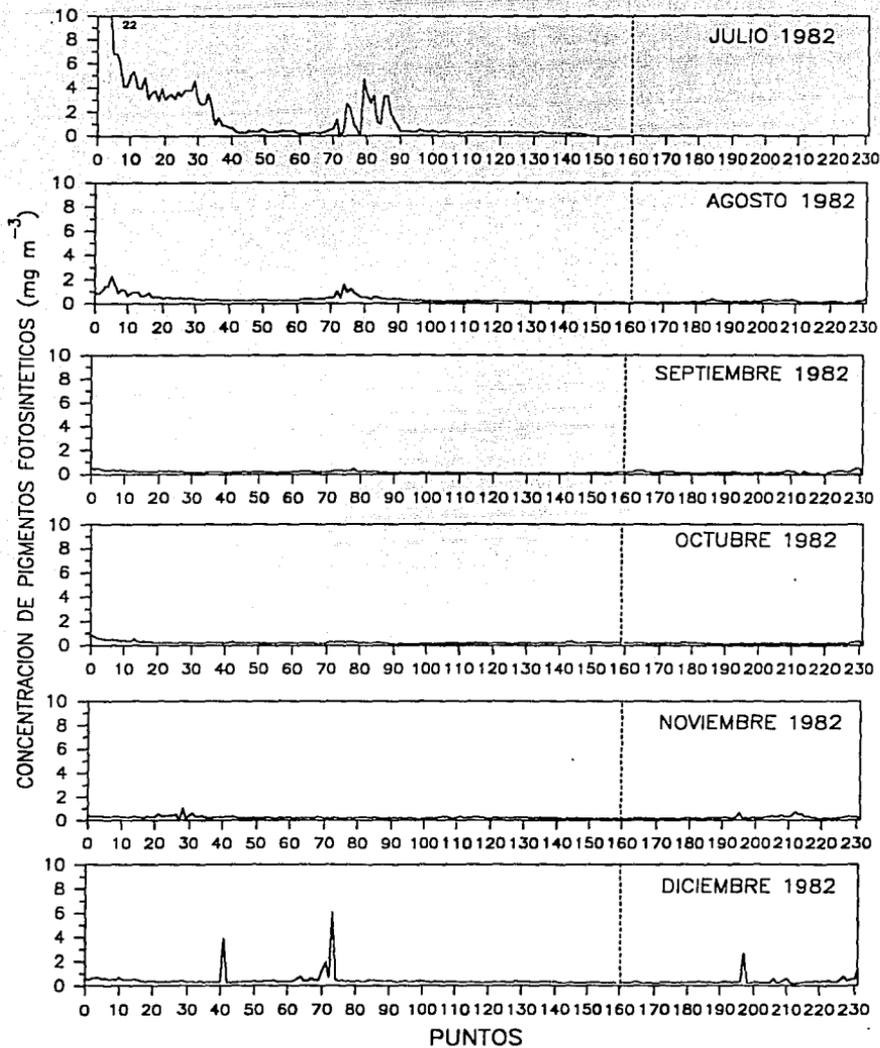


Fig. 4 continuación

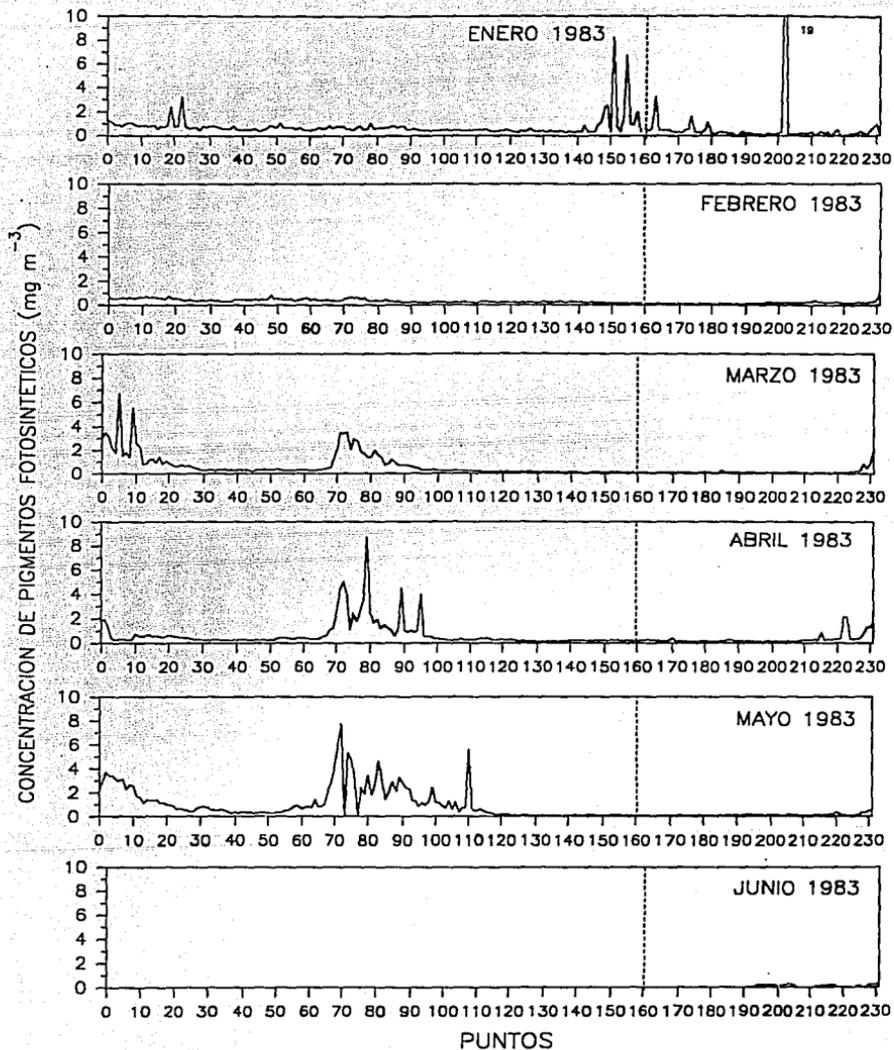


Fig. 4 continuación

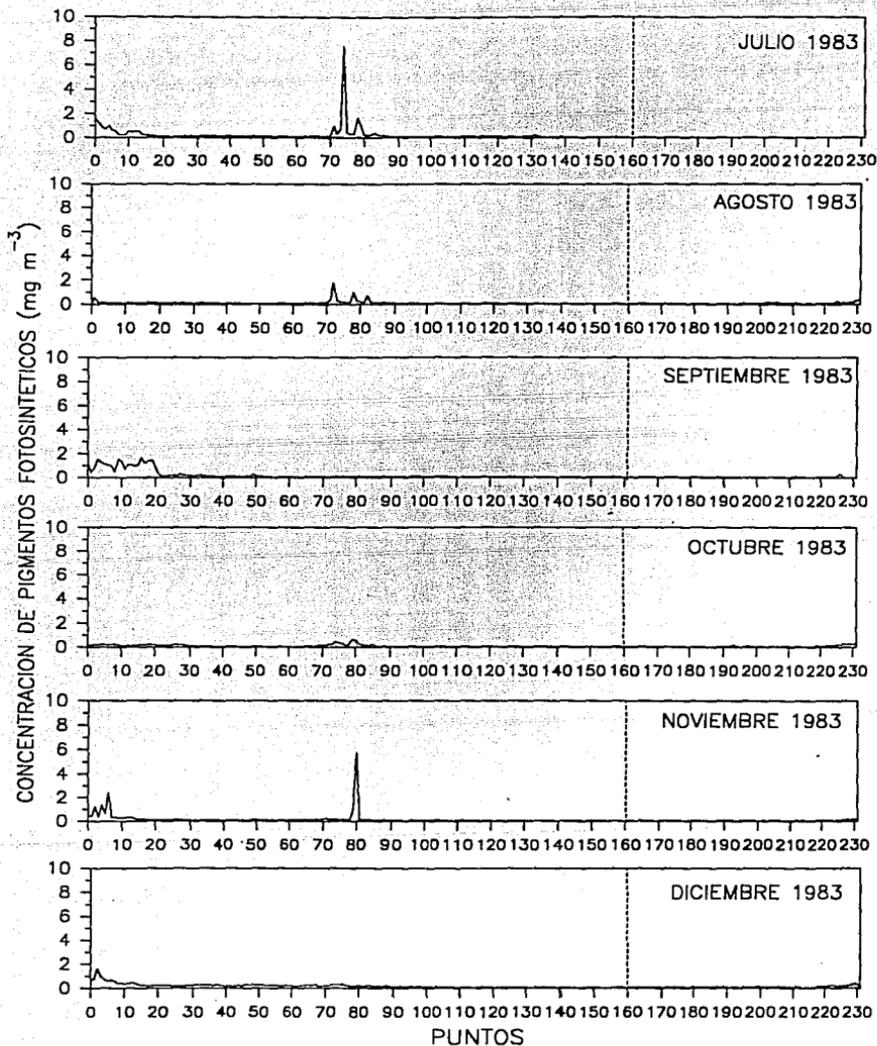


Fig. 4 continuación

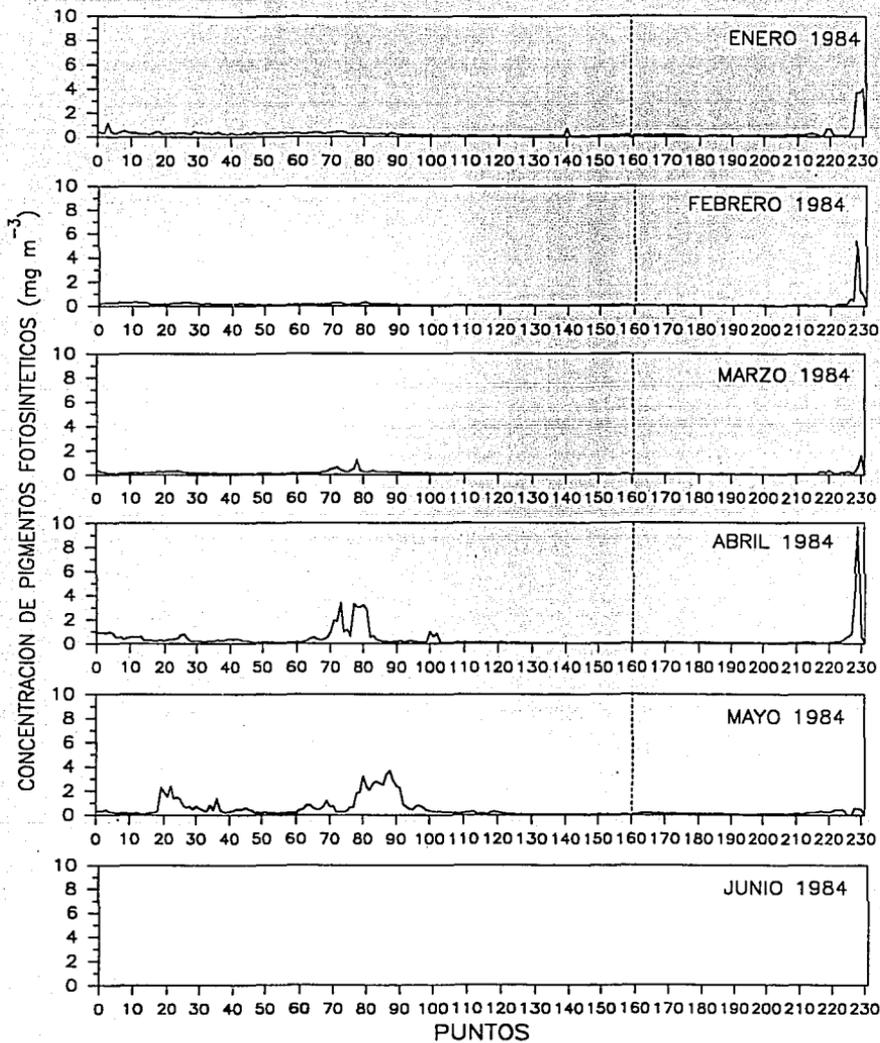


Fig. 4 continuación

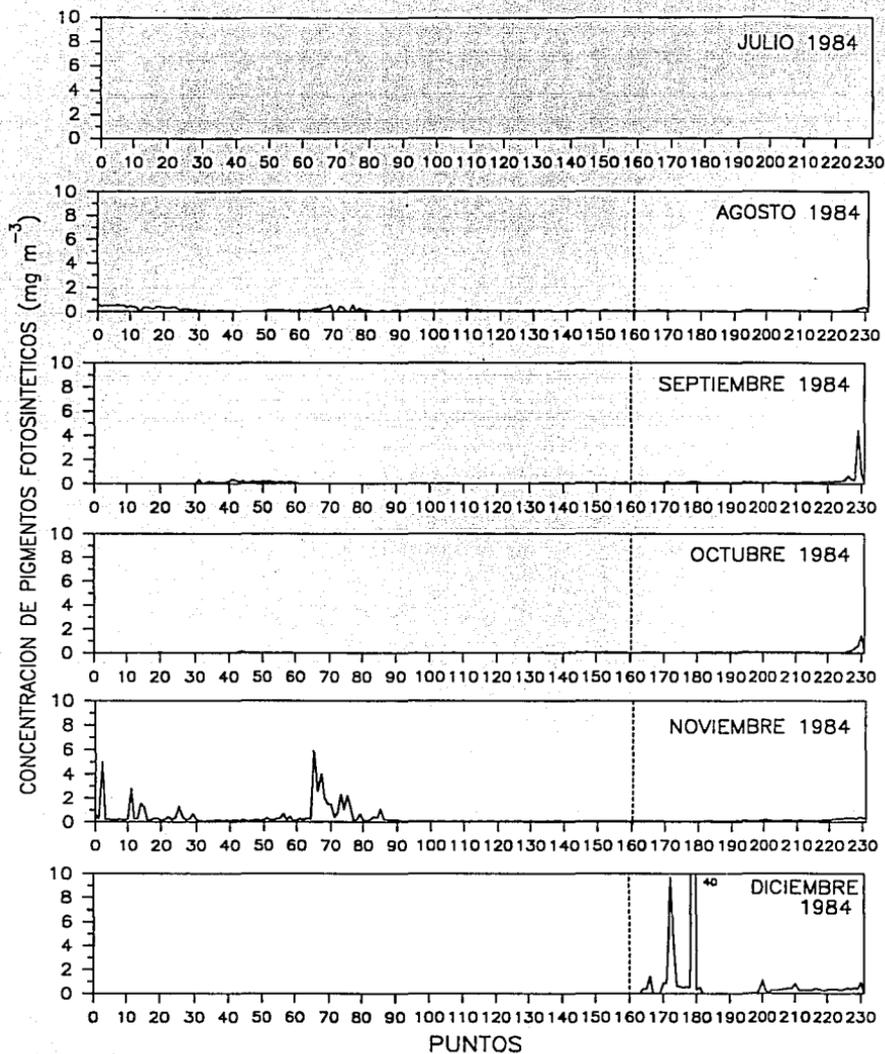


Fig. 4 continuación

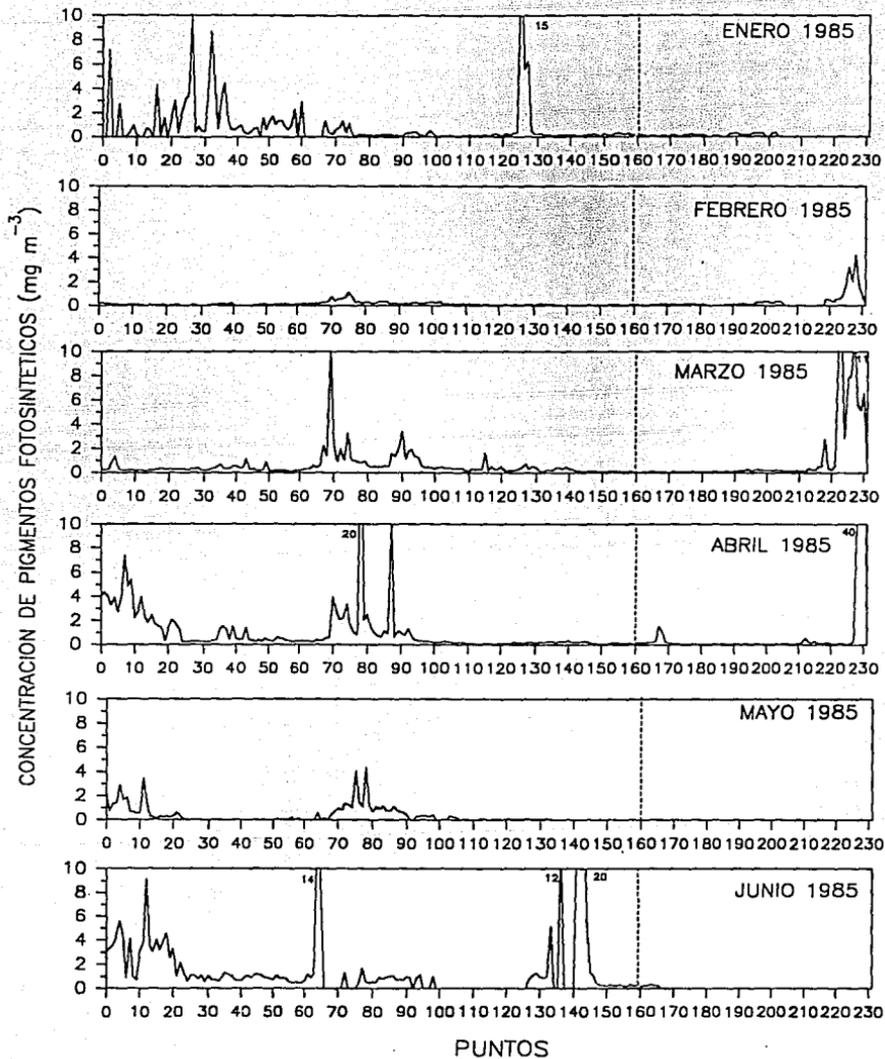


Fig. 4 continuación

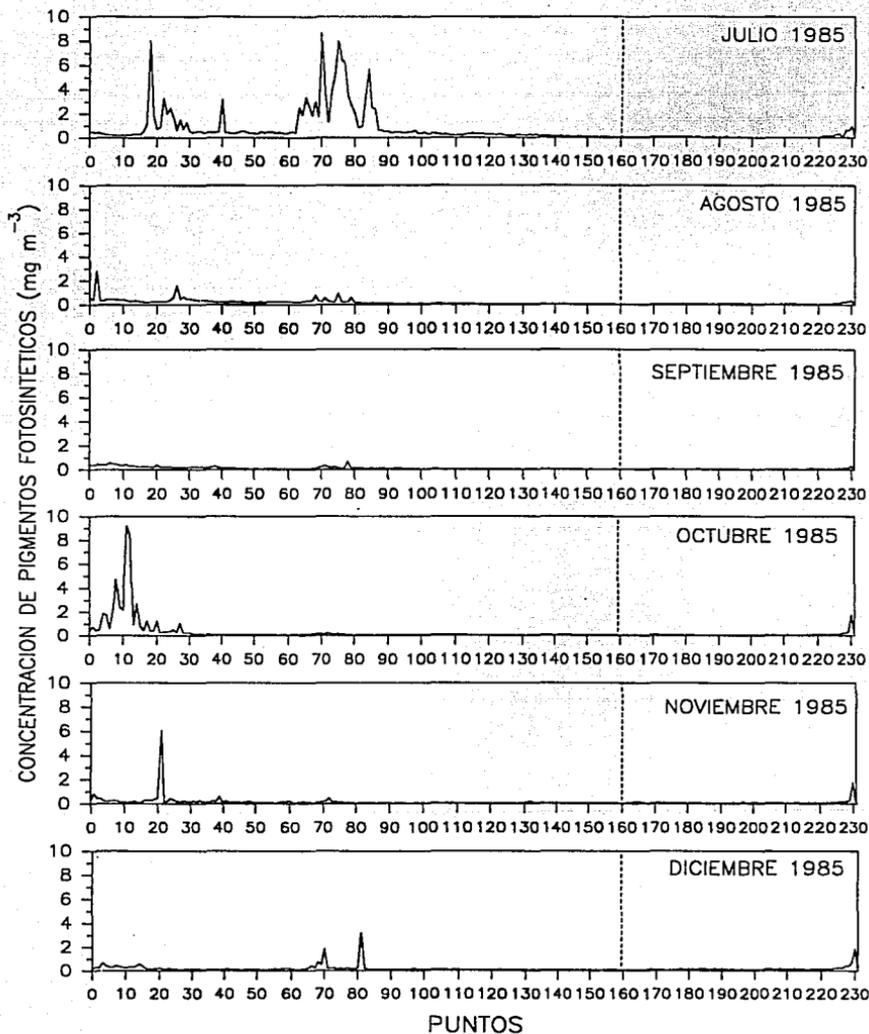


Fig. 4 continuación

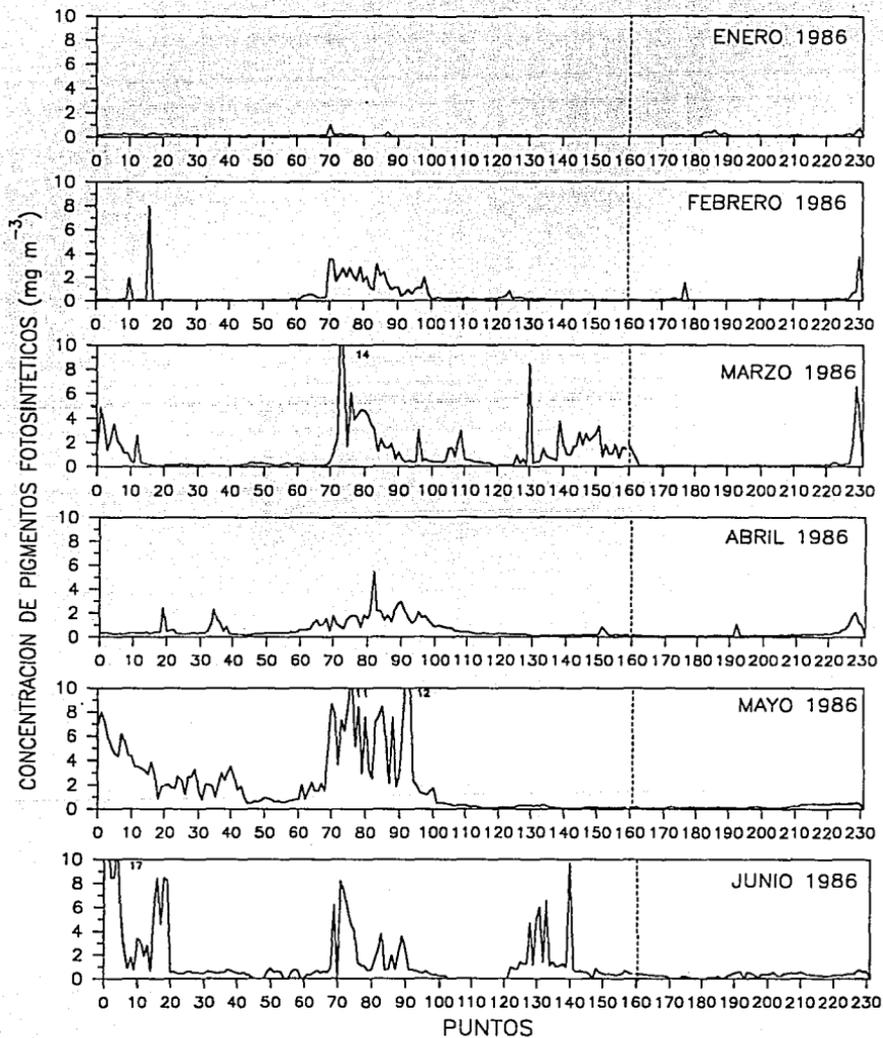


Fig. 4 continuación

frente a Cabo Corrientes fueron más bajos que en el año promedio. En mayo las concentraciones fueron mayores que en mayo promedio para las zonas cercanas a la costa, con excepción de la zona cercana a Cabo Corrientes que presentó valores más bajos. Junio de 1986 es muy semejante a junio de 1985.

5.4 Series de tiempo de concentración de pigmentos y anomalías con respecto al "año promedio"

Tanto las series de tiempo con los datos mensuales originales como los del año promedio, para ambas localidades, muestran con claridad la variación estacional (Fig. 5). Esta variación tiene diferencias entre las dos localidades. En el fotel 80 al oeste de la península, los valores altos de concentración de pigmentos se presentaron en general de febrero a agosto, con los máximos en la primera mitad de primavera (5A y C). Mientras que en el fotel 230 frente a Cabo Corrientes, los valores altos se presentaron de febrero a mayo, también con los máximos en la primera mitad de primavera (Fig. 5B y D). Las concentraciones altas de Cabo Corrientes fueron mayores (a menudo $>10 \text{ mg m}^{-3}$) y de menor duración que frente a Bahía Magdalena. El valor máximo del año promedio del fotel 80 fue 4 mg m^{-3} y se presentó en mayo, y el máximo del año promedio del fotel 230 fue $>6 \text{ mg m}^{-3}$ y se presentó en abril.

En la serie de tiempo del fotel 80 se aprecia que los valores de concentración fueron menores de la segunda mitad de 1982 hasta el final de 1985, con relación a los otros años de la serie, con

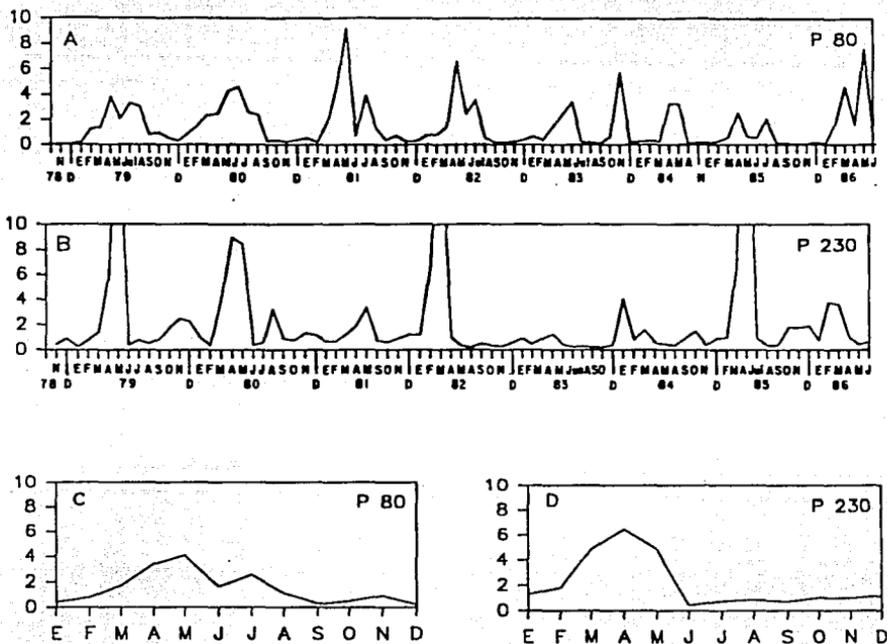


Fig. 5. Series de tiempo de los datos originales mensuales de la concentración de pigmentos para dos foteles del transecto: A) el 80 frente a Bahía Magdalena; B) y el 230 frente a Cabo Corrientes. La concentración de pigmentos está dada en mg m^{-3} . En estas figuras no todos los años tienen el mismo número de meses debido a la falta de datos por nubosidad. C) Serie de tiempo con los datos del "año promedio" para el fotel 80. D) Lo mismo que C pero para el fotel 230.

excepción del valor de noviembre de 1983 que fue el único noviembre de la serie que presentó un valor mayor a 0.5 mg m^{-3} (6 mg m^{-3}). En la serie de tiempo del fotel frente a Cabo Corrientes se aprecia que los valores fueron menores de la segunda mitad de 1982 hasta la primera mitad de 1984, con respecto a los de los otros años, con excepción del valor de enero de 1984 que fue el único enero de la serie que rebasó 1 mg m^{-3} (4 mg m^{-3}).

Los valores absolutos de las anomalías fueron en general mayores para el fotel 230 que para el 80, lo cual indica mayores fluctuaciones interanuales frente a Cabo Corrientes que frente a Bahía Magdalena (Fig. 6). En la serie de tiempo del fotel 80 se aprecia que las anomalías fueron consecutivamente positivas y negativas del inicio de la serie hasta agosto de 1982 y en 1986, pero las anomalías positivas tuvieron valores absolutos claramente mayores que los de las negativas (Fig. 6A). Por el contrario, las anomalías de esta serie en la porción de septiembre de 1982 hasta el final de 1985 son casi todas negativas, con la única excepción de nuevo de la anomalía de noviembre de 1983 que fue positiva y grande ($>4 \text{ mg m}^{-3}$). De una manera similar, en la serie de tiempo del fotel 230 también se aprecia que las anomalías fueron consecutivamente positivas y negativas del inicio de la serie hasta agosto de 1982, y de septiembre de 1984 al final de la serie, y de nuevo, en estos casos los valores absolutos de las anomalías positivas fueron claramente mayores que los de las negativas (Fig. 6B). De septiembre de 1982 a agosto de

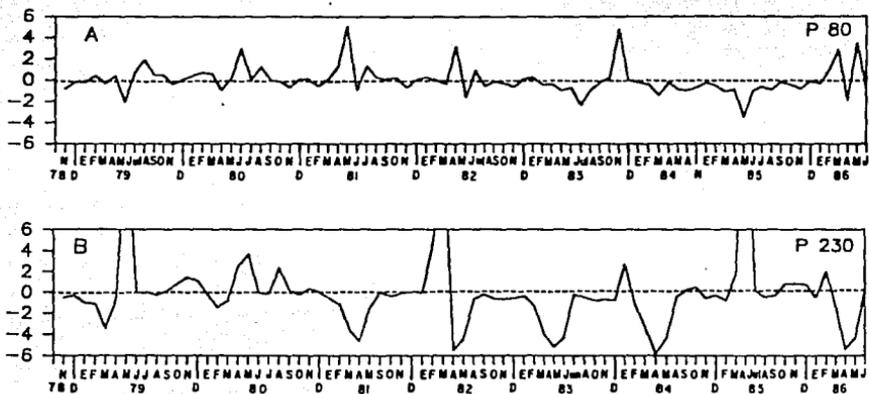


Fig. 6. Series de tiempo de anomalías para el fotel 80 (A) y para el fotel 230 (B). Los valores de las anomalías están dados en mg m^{-3} .

1984, las anomalías fueron negativas para este fotel, de nuevo con excepción de enero de 1984, que presentó una anomalía positiva grande ($>2 \text{ mg m}^{-3}$).

Para el fotel 80 el número de meses con condición El Niño fue 40, y se presentaron 36 anomalías negativas; y el número de meses con condición no-El Niño fue de 52 y se presentaron 23 anomalías negativas. Para el fotel 230 el número de meses con condición El Niño fue 22 y se presentaron 21 anomalías negativas; y el número de meses con condición no-El Niño fue de 70 y se presentaron 44 anomalías negativas. El IPR para el fotel 80 es 0.51, y el del fotel 230 es 0.34, lo cual indica un efecto del fenómeno El Niño en la producción de anomalías negativas de pigmentos fotosintéticos en estas localidades.

6. DISCUSIONES

Los datos de concentración de clorofila obtenidos mediante muestreos directos de agua de mar son muy escasos para el área de estudio. Por lo tanto es difícil hacer una comparación con los datos derivados del CZCS para probar su validez. Sin embargo, las series de tiempo del CZCS son muy consistentes; sus ciclos estacionales y su variación espacial se comportan muy de acuerdo a lo esperado según la fenomenología física, tal como el movimiento de masas de agua y la ocurrencia de eventos de surgencia. Santamaría del Angel et al. (en prensa) hicieron una comparación de datos de clorofila in situ con datos derivados del CZCS para el Golfo de California y encontraron que hay una buena correspondencia, pero el CZCS tiende a sobrestimar los valores.

Datos de cruceros entre abril y agosto de 1967 muestran que la mediana de los valores de concentración de clorofila superficial, en la entrada del Golfo, aumentó de 0.65 a 0.97 mg m^{-3} , mientras que la productividad primaria superficial medida por el método de ^{14}C aumentó de 5.6 $\text{mgC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ en abril a 17.8 $\text{mgC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ en junio antes de regresar a 2.6 $\text{mgC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ en agosto. En esta región la más alta productividad se registró cerca de las islas Las Tres Marias y la segunda más alta cerca de Cabo San Lucas, siendo ambas localidades de surgencia (Stevenson, 1970). Gaxiola Castro y Alvarez Borrego (1986a) encontraron valores de clorofila a para la boca del Golfo desde 0.10 hasta 0.88 mg m^{-3} para toda la zona eufótica. Valdez Holguín (1986) reportó valores de clorofila, medidos en barco

en marzo de 1983, de 0.2-0.4 mg m⁻³ para los primeros 10 m, para el área cerca de Cabo San Lucas y la parte central de la boca del Golfo.

En los tiempos en que se hacían solamente muestreos discretos para realizar análisis de pigmentos fotosintéticos, como clorofila *a*, se tenía el concepto de que la distribución espacial era muy uniforme, con gradientes suaves, y que solamente en cuerpos de agua costeros se observaban variaciones abruptas. Con el advenimiento de técnicas de medición continua, con uso de fluorímetros, aparatos sumergibles y sistemas de flujo continuo de agua de mar superficial, se comenzaron a generar series de espacio que mostraron que aún en zonas relativamente alejadas de la costa la distribución de pigmentos fotosintéticos, y otras variables físicas y químicas como temperatura y pH, presentaban variaciones rápidas, similares en algunos casos a los frentes térmicos (Herman y Denman, 1977; Zirino y Lieberman, 1985; Zirino et al., 1988). Finalmente, las imágenes de satélite mostraron con toda claridad la rica estructura que generalmente presenta la distribución de pigmentos fotosintéticos en zonas hasta cientos de kilómetros alejadas de la costa (Traganza, 1985).

La distribución irregular, en forma de manchas, se debe a una combinación de factores físicos, químicos y biológicos que afectan al fitoplancton, tales como advección vertical por surgencias, movimientos de masas de agua, mezcla por el efecto del viento (incluyendo tormentas) o por fenómenos asociados a las mareas, distribución en forma de manchas de nutrientes como los que contienen

nitrógeno, reproducción diferencial del fitoplancton, pastoreo diferencial por el zooplancton, etc. (Yentsch, 1981). Las imágenes del CZCS sugieren que las mediciones puntuales de pigmentos fotosintéticos, que se realicen mediante muestreos desde barcos, deben tomarse con la debida reserva, y preferentemente no deben utilizarse para construir mapas de distribución espacial, con isogramas que implican interpolaciones. Sin embargo no debe olvidarse la importancia de los muestreos desde embarcaciones, ya que arrojan otro tipo de información, principalmente de fenómenos biológicos que también afectan la productividad primaria. Traganza et al. (1983) indicaron que los procesos de surgencia costera vistos desde un sensor en un satélite son diferentes a las estructuras simples que se esperarían de los conceptos clásicos. Con sensores remotos se observa que pueden desarrollar una circulación ciclónica, una circulación anticiclónica, o flujos superficiales que se extienden lejos de la costa como lenguetas gigantes de agua fría embebidas en la Corriente de California. Con observaciones simultáneas de satélite y de barco, estos autores observaron un sistema ciclónico de surgencia frente a Punta Sur, California, y concluyeron que estas inyecciones recurrentes de aguas frías y ricas en nutrientes producen la misma estructura superficial distintiva de temperatura y de nutrientes. El microplancton se concentra en los frentes térmicos y de nutrientes que definen estos sistemas.

En el frente termohalino de Cabo San Lucas (Griffiths, 1962) no se observó un gradiente claro de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos de una manera permanente. Sin embargo, este gradiente se observó de una manera recurrente al final de primavera e inicios de verano, en años no-El Niño, con la excepción de enero de 1983 (se presentó en julio y agosto de 1979, mayo, junio y julio de 1980, mayo y junio de 1981, marzo, abril y mayo de 1982, enero de 1983, junio y julio de 1985, y marzo y junio de 1986) (Fig. 4). Las imágenes del CZCS no detectaron un gradiente de pigmentos durante El Niño en el frente de Cabo San Lucas.

Las mayores concentraciones de pigmentos en las zonas costeras del noroeste de México se deben principalmente al efecto de las surgencias. Estas acarrean agua desde la parte afótica de la columna de agua, donde solamente ocurre la respiración y la remineralización de los nutrientes, hacia la zona eufótica, como un proceso natural de fertilización. En la costa oeste de Baja California existen condiciones favorables para las surgencias prácticamente todo el año, gracias a los vientos del noroeste, pero son muy débiles de noviembre a febrero, con un máximo de intensidad a finales de primavera y principios de verano (Bakun y Nelson, 1975). Frente a Cabo Corrientes, las surgencias se presentan de diciembre a mayo, con condiciones de "invierno" y vientos del noroeste en el Golfo de California (Alvarez Borrego, 1983).

La estacionalidad de las surgencias es uno de los principales factores que causan la variación estacional de los pigmentos fotosintéticos. En la zona de la boca del Golfo, incluyendo la parte frente a Cabo Corrientes, otro factor importante es la estacionalidad de las masas de agua. Con condiciones de "verano" en el Golfo de California, los vientos son del sureste y refuerzan la Contra Corriente de Costa Rica, que transporta Agua Superficial Ecuatorial, también llamada Agua Superficial del Pacífico Tropical Oriental, hacia el interior del Golfo. El Agua Superficial Ecuatorial es más caliente, menos salina (Griffiths, 1962) y oligotrófica (Alvarez Borrego et al., 1978). Por lo anterior se tienen menores concentraciones de pigmentos en "verano" (junio a noviembre) que en "invierno" en la región frente a Cabo Corrientes (Fig. 3).

Las surgencias en la costa oeste de Baja California están asociadas no sólo a los vientos sino también a las corrientes oceánicas, principalmente la Corriente de California y su contracorriente, la Corriente de Davidson. En agosto la concentración de pigmentos empieza a disminuir sensiblemente en áreas como frente a Bahía Magdalena y presenta valores muy bajos hasta enero (Fig. 3). En este período, como se mencionó en la descripción del área de estudio, la Corriente de California es débil y tiene como límite al sur precisamente el área de Bahía Magdalena (Fig. 2c), la Contra Corriente de Costa Rica es fuerte y tiene su mayor desplazamiento hacia el norte para encontrarse con la Corriente de California a los 24° N, lo cual empobrece las comunidades fitoplanctónicas desde

Bahía Magdalena hacia el sur. En la zona frente a Punta San Hipólito la concentración de pigmentos es sensiblemente baja solamente de noviembre a febrero. Esto debe tener relación con la manifestación superficial de la Corriente de Davidson en esta época, que al fluir hacia el norte inhibe las surgencias costeras.

Además de la variación estacional los resultados muestran la presencia de variabilidad interanual. En el área de estudio el efecto de El Niño se sintió desde septiembre de 1982 y trajo como consecuencia una reducción en la productividad primaria, lo cual se reflejó en una baja de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos a lo largo del transecto. La disminución en las concentraciones de pigmentos se mantuvo hasta agosto de 1984 en la boca del Golfo de California, y hasta diciembre de 1985 en la costa occidental de Baja California, lo cual se refleja en las series de tiempo de anomalías (Fig. 6). A causa del flujo de agua caliente proveniente del Pacífico Occidental, en el ecuador, que luego fluye hacia el área de estudio con la Corriente de Costa Rica, la termoclina y nutriclina se hicieron más profundas (a la manera como lo describió Chávez (1987) para la zona frente a Perú), de manera que el agua superficial y el agua que afloraba a la superficie gracias a las surgencias era agua con muy pocos nutrientes que no permitió los florecimientos de fitoplancton. Klaus Wyrtki (Universidad de Hawaii) presentó en la Conferencia Chapman que se realizó en Guayaquil, Ecuador, en 1986, una película elaborada con mapas que muestran la variación del nivel del mar en todo el Pacífico Norte de 1981 a

1984. Esta película muestra que mientras el efecto de El Niño, reflejado en niveles de mar anómalamente altos, ya no se presentaba en la boca del Golfo y al sur de ella después de la segunda mitad de 1984, al oeste de la península los altos niveles se mantuvieron a través de todo 1984 (Alvarez Borrego, S., CICESE, comunicación personal). Torres Moye y Alvarez Borrego (1985, 1987) documentaron el efecto de El Niño, en los veranos de 1983 y 1984 respectivamente, en las poblaciones fitoplanctónicas de las aguas costeras a 8 km de la boca de Bahía San Quintín, en el noroeste de Baja California, y reportaron valores máximos de clorofila a de $<3 \text{ mg m}^{-3}$ para 1983 y de $<2 \text{ mg m}^{-3}$ para 1984, comparados con valores de hasta más de 15 mg m^{-3} para 1977 y 1979, años no-El Niño.

El mayor IPR para la serie de anomalías del fotel 80, con respecto al del fotel 230, no significa que El Niño tuvo un efecto menor en las concentraciones de pigmentos en el fotel 230. Durante el período El Niño, todos los meses con excepción de uno tuvieron anomalías negativas en la serie del fotel 230. Mientras que en el fotel 80, cuatro meses presentaron anomalías positivas durante El Niño. El mayor IPR para el fotel 80 se debió a que en los períodos no-El Niño se presentó un número de anomalías negativas menor a la mitad del número de meses, mientras que para el fotel 230 el número de anomalías negativas fue mayor que la mitad del número de meses con condición no-El Niño. Lo anterior indica que el valor del IPR entre 0 y 1.0 sí indica que hubo un efecto claro de El Niño en las dos localidades geográficas escogidas, pero el valor absoluto del

IPR no necesariamente significa un mayor efecto en un lugar con respecto al otro, sino que sugiere que otros fenómenos oceanográficos pueden causar anomalías negativas durante períodos no-El Niño. Estos fenómenos podrían ser lo que en oceanografía física llaman "El Niño Norte" (Trasviña, A., CICESE, comunicación personal) y que consiste en la producción de anomalías positivas de temperatura por calentamiento local. Este calentamiento local produce una mayor estratificación que podría en teoría inhibir el aporte de nutrientes de la zona afótica a la eufótica. Cualquier fenómeno que disminuya la mezcla de las aguas superficiales y subsuperficiales, puede disminuir el aporte de nutrientes a la zona eufótica y por lo tanto causar baja biomasa fitoplanctónica. Estos fenómenos pueden ser: vientos más débiles, menor incidencia de tormentas tropicales, mayor irradiación solar local, etc. Los valores del IPR indican que El Niño no es el único fenómeno causante de variación interanual en la zona de estudio. Al estudiar el acoplamiento del Golfo de California a la variabilidad climática interanual de gran escala, Baumgartner y Christensen (1985) postularon la existencia de dos fuentes principales de variabilidad interanual en el Golfo. Estas son fluctuaciones independientes de: a) el giro del Pacífico Norte, b) la circulación ecuatorial; cualquiera de las cuales puede resultar en una predominancia no estacional o en una intensificación de un patrón de circulación estacional sobre el otro.

Con la puesta en órbita del nuevo sensor del color del océano SeaWiFS se podrán generar series de tiempo con mejor cobertura espacial y temporal. Con ello se podrán realizar mejores análisis de la interacción entre la dinámica del medio ambiente y el fitoplancton. Haciendo las calibraciones adecuadas, con datos generados simultáneamente desde embarcaciones y desde el satélite, se podrá obtener una mejor valoración de la productividad primaria oceánica a una escala regional (Smith, et al., 1982). Mientras tanto, el banco de datos del CZCS debe seguirse utilizando para realizar estudios de otras zonas de nuestros mares.

7. CONCLUSIONES

Los datos de concentración de pigmentos derivados del CZCS muestran una gran interconsistencia a pesar de su imprecisión, con una relación clara con la fenomenología física local.

Las imágenes del CZCS y el transecto derivado de ellas muestran una distribución de la biomasa fitoplanctónica en forma de manchas, con una estructura muy rica. Por lo anterior, los muestreos discretos realizados en barcos deben tomarse con reserva para generar mapas de distribución de pigmentos fotosintéticos, aunque no debe olvidarse su importancia, ya que arrojan otro tipo de datos que no pueden ser captados por sensores remotos.

Las más altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos se presentaron en zonas cercanas a la costa y se debieron a surgencias y a fenómenos de interacción entre las corrientes marinas y la fisiografía costera local.

En el frente de Cabo San Lucas se observó un gradiente recurrente de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos al final de primavera e inicios de verano en años no-El Niño, con la excepción de enero de 1983. En este frente, las imágenes del CZCS no detectaron un gradiente de pigmentos durante El Niño.

Se presentó una clara variación estacional en las zonas cercanas a la costa, pero fue diferente al oeste de Baja California que en la zona cercana a Cabo Corrientes. Al oeste de Baja California los

valores grandes de pigmentos se presentaron de febrero a agosto, y en la zona frente a Cabo Corrientes se presentaron de enero a mayo.

Se presentó también una clara variación interanual que tuvo manifestaciones diferentes al oeste de Baja California con relación a la zona frente a Cabo Corrientes. Se presentaron relativamente bajas concentraciones de pigmentos en todo el transecto a partir de septiembre de 1982, estas bajas concentraciones se mantuvieron hasta agosto de 1984 en la boca del Golfo, y hasta diciembre de 1985 en la costa occidental de Baja California. Los resultados del IPR indican que El Niño tuvo un claro efecto en los valores de concentración de pigmento, pero no fue el único factor de variación interanual.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

8. LITERATURA CITADA

- Alvarez Borrego, S., J. A. Rivera., G. Gaxiola Castro., M. J. Acosta Ruiz y R. A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2): 53-71.
- Alvarez Borrego, S. y R. A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 6: 43-63.
- Alvarez Borrego, S. 1983. Gulf of California. Chapter 17. En: B. H. Ketchum, (Ed.) ESTUARIES AND ENCLOSED SEAS, Elsevier Sci. Publ., Amsterdam: 427-449.
- Alvarez Borrego, S. y R. Lara Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: B. R. Simoneit y J. P. Dauphin (Eds.) THE GULF AND PENINSULAR PROVINCE OF THE CALIFORNIAS. Am. Assoc. Petr. Geol. Memoir 47, 555-567.
- Arbitia Cárdenas, L. A., J. R. Torres Villegas y F. Galván Magaña. 1990. Espectro trófico-energético del marlín rayado Tetrapturus audax (Philippi, 1887) del área de Cabo San Lucas, B.C.S. México. En: RESUMENES DEL VIII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BIOLOGIA MARINA. 4-8 JUNIO 1990, ENSENADA, B.C. MEXICO: 60.
- Badan Dangón, A., J. M. Robles y J. García. 1989. Poleward flows off Mexico's Pacific coast. En: S. J. Neshyba, Ch. N. K. Mooers, R. L. Smith y R. T. Barber (Eds.), POLEWARD FLOWS ALONG EASTERN OCEAN BOUNDARIES, Coastal and Estuarine Studies, Vol. 34: 176-202.

- Bakun, A. y C. Nelson. 1975. Climatology of the upwelling related processes off Baja California. *CalCOFI Rep.*, 19: 128-137.
- Barber, R. T. 1992. Geologic and climatic time scales of nutrient variability. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (Eds.), *PRIMARY PRODUCTIVITY AND BIOGEOCHEMICAL CYCLES IN THE SEA*, Plenum Press, New York, 89-105 p.
- Barber, R. T. y F. P. Chávez, 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, 222: 1203-1210.
- Baumgartner, T. R. y N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*, 43: 825-848.
- Cane, M. A. 1983. Oceanographic events during El Niño. *Science*, 222: 1189-1195.
- Cervantes Duarte, R. y S. Hernández Trujillo. 1989. Características hidrográficas de la parte sur de la Corriente de California y su relación con algunas especies de copépodos en 1983. *Inv. Mar. CICIMAR*. 4(2): 211-224.
- Cervantes Duarte, R., S. Aguiñaga García y S. Hernández Trujillo. 1993. Condiciones de surgencia asociadas a la distribución de zooplancton en Sn. Hipólito, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 19 (1): 117-135.
- Chávez, F. 1987. El Niño y la Oscilación del Sur. *Investigación y Ciencia*, 128: 46-57.
- Clarke, G. U., G. C. Ewing, y C. J. Lorenzen. 1970. *Science*, 167: 1119.

- Cromwell, T. y J. L. Reid Jr. 1956. A study of oceanic fronts. *Tellus*, 1: 94-101.
- Cullen, J.J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll *a*. *Canadian Jour. Fish. Aquat. Scie.*, 39: 791-803.
- Cushing, D. H. 1975. Ciclos de producción en áreas de afloramientos. En: ECOLOGIA MARINA Y PESQUERIAS. Ed. Acribia: 23-39.
- Díaz Andrade, C. L. 1990. Distribución y abundancia de larvas de lenguados en Bahía Magdalena, B.C.S. (1983). En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN, SIN.: 6.
- Dugdale, R. y F. Wilkerson. 1992. Nutrient limitation of new production in the sea. En: Falkowski, P. y A. D. Woodhead (Eds.), PRIMARY PRODUCTIVITY AND BIOGEOCHEMICAL CYCLES IN THE SEA, Plenum Press, New York: 107-121.
- Enfield, D. B. 1981. Thermally driven wind variability in the planetary boundary layer above Lima. *Journal of Geophysical Research*, 86: 2005.
- Eppley, R. W., et al. 1985. Estimating ocean production from satellite chlorophyll. Introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. *Journal of Plankton Research*, 7 (1): 57-70.
- Esaias, W. 1981. Remote sensing in biological oceanography. *Oceanus*, 24(3): 32-39.

- Esqueda Escárcega, G. M. 1990. Estudio de larvas de macarela en la costa occidental de Baja California Sur. En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN, SIN.: 19.
- Estrada, M. y D. Blasco. 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnology and Oceanography*, 24(6): 1065-1080.
- Gárate Lizárraga, I. 1990. Estructura de las asociaciones del microfitoplancton en el complejo lagunar Magdalena-Almejas durante 1984-1986. En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN, SIN.: 4.
- García Domínguez, F. G., G. García Melgar y P. González Ramírez. 1993. Ciclo reproductivo de la almeja roñosa Chione californiensis (Broderip, 1835) en Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*, 19 (1): 15-28.
- Gaxiola Castro, G. y S. Alvarez Borrego. 1986a. Photosynthesis-irradiance relationship for winter phytoplankton in Pacific waters off Mexico. *Oceanologica Acta*, 9 (4): 497-501.
- Gaxiola Castro, G. y S. Alvarez Borrego. 1986b. Productividad primaria del Pacífico mexicano. *Ciencias marinas*, 5: 25-40.
- Gluyas Millán, M. G. 1989. Período de reproducción, distribución de tallas y relación longitud-peso de la macarela del litoral de Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1): 65-72.

- Gómez Ochoa, F. y G. Verdugo Díaz. 1990. Los dinoflagelados de Pacífico oriental tropical frente a Bahía Magdalena, B.C.S., México en mayo de 1985 y 1986. En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN, SIN.: 20.
- González, P. G. y M. Ramírez. 1989. Zonas y épocas de reproducción del atún aleta amarilla, Thunnus albacares (Bonnaterre, 1788), en el Pacífico mexicano. Inv. Mar. CICIMAR, 4 (2): 203-210.
- González Ramírez, P. G., R. Rodríguez Sánchez y F. García Domínguez. 1990. Composición por talla de Callinectes bellicosus (Stimpson, 1859) (Crustacea: Portunidae) en Bahía Magdalena, B.C.S., México. En: RESUMENES DEL VIII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BIOLOGIA MARINA, 4-8 JUNIO 1990, ENSENDADA B.C. MEXICO: 61.
- Gordon, H. R. 1978. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. Appl. Opt., 17: 1631-1636.
- Gordon, H. R., D. K. Clark, J. L. Mueller y W. A. Hovis. 1980. Phytoplankton Pigments from the Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: comparisons with surface measurements. Science, 210: 63-66.
- Gordon, H. R., D. K. Clark, J. W. Brown, O. B. Brown, R. H. Evans y W. W. Broenkow. 1983a. Phytoplankton pigment concentration in the Middle Atlantic bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. Appl. Opt., 22: 20-35.

- Gordon, H. R., J. W. Brown, O. B. Brown, R. H. Evans y D. K. Clark. 1983b. Nimbus-7 CZCS: reduction of its radiometric sensitivity with time. *Appl. Opt.*, 22: 3929-3931.
- Gordon, H. R., O. B. Brown, R. H. Evans, J. W. Brown, R. C. Smith, K. S. Baker y D. K. Clark. 1988. A semianalytic radiance model of ocean color. *Journal of Geophysical Research*, 93 (D9): 10909-10924.
- Griffiths, R. C. 1962. Studies of oceanic fronts in the mouth of the Gulf of California, an area of tuna migrations. Sections 4 y 5, experience paper no. 34. World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. La Jolla, Calif.
- Harrison, W. G. y T. Platt. 1980. Variations in assimilation numbers of coastal marine phytoplankton: effects of environmental covarities. *Jour. Plankton Res.*, 2: 249-260.
- Herman, A. W. y K. L. Denman. 1977. Rapid underway profiling of chlorophyll with an in situ fluorometer mounted on a Batfish vehicle. *Deep-Sea Research*, 24:385-397.
- Hovis, W. A., D. K. Clark, F. Anderson, F. Austin, R. W. Wilson, W. H. Baker, E. T. Ball, H. R. Gordon, J. L. Mueller, S. Z. El-Sayed, E. Sturm, R. C. Wrigley y C. S. Yenstch. 1980. Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: System description and initial imagery. *Science*, 210: 60-63.
- Husby, D. M. y C. S. Nelson. 1982. Turbulence and vertical stability in the California Current. *CalCOFI Rep.*, 19: 128-137.

- La Fond, E. C. 1961. Oceanography and food. Naval Research Reviews, O. N. R. Dept. of Navy, Wash. D. C., 9-13.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (Eds.), PRIMARY PRODUCTIVITY AND BIOGEOCHEMICAL CYCLES IN THE SEA. Plenum Press, New York: 139-153.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California Current system: the seasonal variability of its physical characteristics. Journal of Geophysical Research. 92 (C12): 12947-12966.
- Margalef, R. 1978. What is an upwelling ecosystem? En: R. Boje y M. Tomczak (Eds.), UPWELLING ECOSYSTEMS, Springer-Verlag, N. Y.: 12-14.
- Mathisen, O. A., R. E. Thorne, R. J. Trumble y M. Blackburn. 1978. Food consumption of pelagic fish in an upwelling area. En: R. Boje y M. Tomczak (Eds.), UPWELLING ECOSYSTEMS, Springer-Verlag, N. Y.: 111-144.
- Mee, L. D., A. Ramírez-Flores, F. Flores-Verdugo and F. González-Farías. 1985. Coastal upwelling and fertility of the southern Gulf of California: impact of the 1982-1983 ENSO event. Tropical Ocean and Atmosphere Newsletter, 31: 9-10.
- Meza Cota, S.M., M. J. Haro Garay y R. V. Massé Zendejas. 1990. Distribución y abundancia de quetognatos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena durante el ciclo estacional 1988-1989. En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN SIN.: 6.

- Michaelsen, J., X. Zhang y R. C. Smith. 1988. Variability of pigment biomass in the California Current System as determined by satellite imagery. 2. Temporal Variability. *Journal of Geophysical Research*, 93(D9): 10883-10896.
- Muller-Karger, F. E., J. J. Walsh, R. H. Evans, y M. B. Meyers. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research*, 96 (C7): 12645-12665.
- Muñetón Gómez, M. del S., M. S. Cota Meza y G. M. Esqueda Escárcega. 1990. Abundancia y distribución de larvas de peces en la costa occidental de B. C. S., México (verano, 1985). En: RESUMENES DE LA V REUNION ANUAL DE PLANCTOLOGIA, 26 AL 28 DE ABRIL DE 1990, MAZATLAN, SIN.: 23.
- Navarro-Fierro R. 1988. Introducción a la bioestadística. Análisis de Variables Binarias. Mc Graw Hill. México. 170 p.
- Palomares García, J. R. 1992. Análisis de la taxocenosis de los copépodos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena- Almejas, B.C.S., durante 1985-1986. *Ciencias Marinas*, 18 (3): 71-92.
- Pérez Flores, R. y D. Aurióles Gamboa. 1990. Alimentación de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) durante el periodo de reproducción en la costa occidental de B.C.S. En: RESUMENES DEL VIII SIMPOSIO INTERNACIONA DE BIOLOGIA MARINA, 4-8 JUNIO 1990, ENSENADA, B.C. MEXICO.: 27.

- Platt, T., K. L. Denman y A. D. Jassby. 1977. Modeling the productivity of the phytoplankton. En: E. D. Goldberg et al. (Eds.), THE SEA, vol. 6. Wiley Press: 807-856.
- Reid, J. L., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California Current System. CalCOFI Prog. Rep., 7-1-56 a 1-1-58, Mar. Resour. Comm., Calif. Dep. of Fish & Game, Sacramento, 27-56.
- Rivera Rodríguez, M.C. 1991. Efecto de la sustitución de las harinas de camarón, pescado y soya por harina de langostilla Pleuroncodes planipes en el crecimiento y la supervivencia del camaron café Penaeus californiensis. Tesis Profesional, UMSNH, Morelia, Mich. 73 pp.
- Robles-Pacheco, J. M. y N. Christensen. 1984. Effects of the 1982-83 El Niño on the Gulf of California. EOS, 64: 1039.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2: 281-285.
- Saldierna Martínez, R.J., G. Aceves Medina y E. González Navarro. 1990. Ictioplancton de la costa occidental de Baja California Sur (verano, 1987). En: Resúmenes de la V Reunión Anual de Planctología, 26 al 28 de abril de 1990, Mazatlán, Sin.: 4.
- Salinas, Z. y M. Bourillón. 1988. Taxonomía, diversidad y distribución de los cetáceos de la Bahía de Banderas, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 152 p.

- Sánchez Hidalgo y Anda. 1989. Gasterópodos holoplanctónicos de la Costa Occidental de Baja California Sur, en mayo y junio de 1984. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1): 1-14.
- Sánchez Rodríguez, I. et al, 1989. Estudio florístico estacional de las algas en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4 (1): 35-48.
- Santamaría del Angel, E., S. Alvarez Borrego y F. Muller-Karger. (en prensa). Regiones biogeográficas del Golfo de California basadas en imágenes del Coastal Zone Color Scanner. En: F. González Farías y J. De la Rosa Vélez (Eds.), *TEMAS DE OCEANOGRAFIA BIOLOGICA EN MEXICO*, Vol. 2, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.
- Sathyendranath, S., T. Platt, E. P. W. Horne, W. G. Harrison, O. Ulloa, R. Outerbridge y N. Hoepffner. 1991. Estimation of new production in the ocean by compound remote sensing. *Nature* 353: 129-133.
- Shibya Soto, C. I. 1992. Caracterización sistemática de los euphausiidos (Crustacea: Malacostraca) de Bahía Banderas, Jalisco y Nayarit, en el verano y otoño de 1990. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara. 50 p.
- Smith, R. C. 1981. Remote sensing and the depth distribution of ocean chlorophyll. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 5: 359-361.

- Smith, R. C., R. W. Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California Coastal Waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Marine Biology*, 66: 281-288.
- Smith, R. C., X. Zhang y J. Michaelsen. 1988. Variability of pigment biomass in the California Current System as determined by satellite imagery. 1. Spatial Variability. *Journal of Geophysical Research*, 93 (D9): 10863-10882.
- Steele, J. H. 1978. Some comments on plankton patches. En: J. H. Steele (Ed.), *SPATIAL PATTERNS IN PLANKTON COMMUNITIES*, Plenum Press, New York: 1-20.
- Stevenson, M. R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance to the Gulf of California, October 1966 - August 1967: *Boletín de la Comisión Interamericana del Atún Tropical*, 4: 389-504.
- Talling, J. F. 1957. The phytoplankton population as a compound photosynthetic system. *New Phytol.* 56:133.
- Thiel, H. 1978. Benthos in upwelling regions. En: R. Boje y M. Tomczak (Eds.), *UPWELLING ECOSYSTEMS*, Springer-Verlag, N. Y.: 124-138.
- Torres Moye, G. y S. Alvarez Borrego. 1985. Efectos de El Niño en los nutrientes y el fitoplancton de verano de 1983, en aguas costeras de Baja California Occidental. *Ciencias Marinas*, 11(2): 107-113.

- Torres-Moye, G. y S. Alvarez-Borrego. 1987. Effects of the 1984 El Niño on the summer phytoplankton of a Baja Californian upwelling zone. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14,383-14,386.
- Traganza, E. D., V. M. Silva, D. M. Austin, W. L. Hanson y S. H. Bronsink. 1983. Nutrient mapping and recurrence of coastal upwelling centers by satellite remote sensing: its implication to primary production and the sediment record. En: E. Suess y J. Thiede (Eds.), *COASTAL UPWELLING*, Plenum, New York: 61-83.
- Traganza, E. D. 1985. Application of satellites to Chemical Oceanography. En: A. Zirino (Ed.). *Mapping strategies in chemical oceanography*, American Chemical Society, *Advances in Chemistry Series*, 209: 373-392.
- Uda, M. 1959. Oceanographic seminars. *Man. Rep. Series (Oceanographic and Limnological)*, 51, Fish. Res. Bd. of Canada, 110 pags.
- Uda, M. y M. Ishino. 1958. Enrichment pattern resulting from eddy systems in relation to fishing grounds. *Jour. Tokio Univ. Fish.*, 44(1-2): 105-129.
- Valdez-Holguin, J. E. 1986. Distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en el Golfo de California durante el evento de El Niño 1982-1983. Tesis M. en C., CICESE, Ensenada, Baja California, México. 90 p.
- Walsh, J. J., J. C. Kelley, T. E. Whitledge y J. J. Mac Issac. 1974. Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 19 (4): 553-572.

- Walsh, J. W., G. T. Bowe, R. L. Iverson y C. P. McRoy. 1981. Biological export of shelf carbon is a sink of the global CO₂ cycle. *Nature*, 291: 196-201.
- Whitledge, T. E. 1981. Nitrogen recycling and biol. populations in upwelling ecosystems. *Coastal upwelling. Coast. Estuar. Sci.*, 1: 128-137.
- Wooster, W. S. 1960. El Niño. En: SYMPOSIUM ON THE CHANGING PACIFIC OCEAN IN 1957 AND 1958, Parte II, Sección I: The physical evidence, CalCoFI Rep. 7: 43-46.
- Wyrтки, K. 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. An. Rev.*, 4: 33-68.
- Wyrтки, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern Pacific Ocean. *Jour. Oceanology and Limnology*, 1: 117-147.
- Yentsch, C. S. 1981. Phytoplankton growth in the sea, a coalescence of disciplines. En: P. G. Falkowski (Ed.). PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE SEA, Plenum Press, New York, 19: 17-32.
- Zárate Vidal, S. E. 1991. Topografía y batimetría de la Costa Occidental de Baja California. En: G. de la Lanza Espino (Compiladora), OCEANOGRAFIA DE LOS MARES MEXICANOS, AGT Editor, México. 569 p.
- Zirino, A. y S. H. Lieberman. 1985. pH-temperature relationships in the Gulf of California. En: A. Zirino (Ed.). MAPPING STRATEGIES IN CHEMICAL OCEANOGRAPHY, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series, 209: 393-400.

Zirino, A., P. C. Fiedler y R. S. Keir. 1988. Surface pH, satellite imagery and vertical models in the tropical ocean. *The Science of the Total Environment*, 75: 285-300.