

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**



**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON A PARTIR
DE LA FORMA ESPECTRAL DE ABSORCIÓN FRENTE A BAJA
CALIFORNIA: VERANOS 2001-2003.**

TESIS

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

ELVIA DENISSE SÁNCHEZ PÉREZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. JULIO 2008

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON A PARTIR
DE LA FORMA ESPECTRAL DE ABSORCIÓN FRENTE A BAJA
CALIFORNIA: VERANOS 2001-2003.

RESUMEN

En este estudio, se caracterizó la variabilidad espacio-temporal de la comunidad del fitoplancton a partir de la forma espectral de absorción frente a Baja California. Para ello se colectaron muestras de agua de mar durante los veranos 2001-2003 dentro del proyecto Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL). Durante los tres cruceros se obtuvieron muestras para analizar la composición taxonómica de los principales grupos de fitoplancton, el coeficiente de absorción de luz y la concentración de clorofila. En general, las altas abundancias de los grupos de fitoplancton durante los años de muestreo se detectaron hacia las estaciones costeras, excepto en el 2003, donde las diatomeas mostraron la mayor abundancia hacia el océano. Asimismo, se observó una disminución en la abundancia de células del 50% en el 2002 y 40% en el 2003 en relación a verano del 2001. La composición taxonómica del fitoplancton presentó un patrón similar durante los tres años de muestreo, observándose los géneros de diatomeas más dominantes: *Nitzschia* spp., *Rhizosolenia* spp., *Thalassionema* spp., y *Coscinodiscus* spp., y en dinoflagelados los géneros *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* spp., y *Ceratium* spp. Se detectaron siete provincias biogeográficas durante los tres años de muestreo, donde cada provincia representa la forma espectral que determina el reflejo de la estructura de la comunidad de fitoplancton que la compone; asimismo se determinó que la forma espectral de cada provincia fue independiente de la concentración de clorofila. En este estudio, observamos que las surgencias costeras y los remolinos ciclónicos que se detectaron por medio de imágenes de satélite favorecieron al incremento de células de fitoplancton. Con la serie de tiempo de fitoplancton de tres años de muestreo, podemos concluir que el ecosistema pelágico frente a Baja California fue afectado por el fenómeno denominado El Niño débil reportado para los años 2002-2003.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON A PARTIR
DE LA FORMA ESPECTRAL DE ABSORCIÓN FRENTE A BAJA
CALIFORNIA: VERANOS 2001-2003.

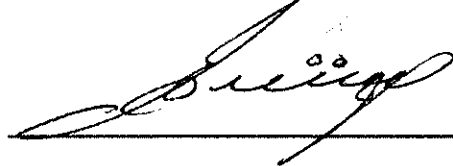
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

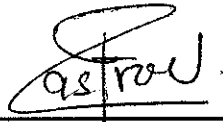
PRESENTA

ELVIA DENISSE SÁNCHEZ PÉREZ

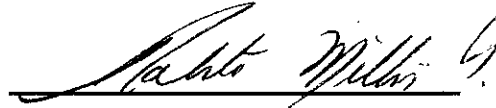
APROBADA POR:



DR. EDUARDO MILLÁN NUÑEZ
DIRECTOR DE TESIS



DR. RUBEN CASTRO VALDEZ
SINODAL



DR. ROBERTO MILLÁN NUÑEZ
SINODAL

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de Tesis y Amigo Dr. Eduardo Millán Núñez por todas sus enseñanzas, conocimientos y valiosos consejos que me permitieron crecer como profesionista y persona. Por la confianza depositada para la realización de este trabajo y las palabras de aliento y motivación para concluirlo. Gracias.

Al Dr. Rubén Castro Valdez y Dr. Roberto Millán Núñez por haber aceptado ser parte del comité. Por sus importantes aportaciones y sugerencias realizadas en este trabajo.

A los Drs. Adriana González y Eduardo Santamaría por sus conocimientos impartidos en los cursos tomados, así como por proporcionarme las imágenes de satélite presentes en este trabajo.

Al Dr. José Zertuche por todos los conocimientos impartidos durante las materias cursadas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios durante el programa de Maestría y Doctorado de la Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC.

Al programa IMECOCAL que fue financiado por el proyecto SEMARNAT-CONACyT # 23804. "Evaluación del calentamiento superficial del mar y la disminución del plancton en la zona templada del Pacífico Mexicano contrastando dos periodos de monitoreo."

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por permitirme hacer uso de sus instalaciones para la realización de este trabajo.

A los técnicos de (CICESE), J.M. Domínguez y F.J. Ponce por su colaboración en la realización de algunas figuras presentes en este manuscrito. De igual manera a Martín de la Cruz por su apoyo.

A mis grandes amigos Vicky Pérez (la prima), Toño Márquez, Roberto Chang, Faride Gutiérrez, Yhali Gutiérrez que a pesar de la distancia seguimos juntos (mas de 10 años de amistad). Por todas aquellas aventuras que pasamos, por sus consejos y apoyo.

A Julie et Léo par son amitié offerte, par tous ces moments que nous partageons, et par ses conseils précieux. Merci Beaucoup.

A mis amigas Claudia Moreno, Moni Montiel y Bárbara que a pesar de las adversidades, siempre he contado con ustedes.

Sin olvidar a mis amigos de la generación que a pesar de tener poco tiempo de conocernos formamos una linda amistad y siempre conté con su apoyo (Yumi, Juli, Miry, Gandhi, Edu, Jacob, Carlitos, Gabo, Romis, Yesi, Daniel) por todas esas aventuras durante la maestría y sobre todo por todas las agradables reuniones.

DEDICATORIA

A DIOS por permitir que la persona más importante en mi vida siga con nosotros al lado de mis hermanos y mía.

A las cuatro personas más importantes en mi vida que gracias a ellas he logrado todo lo que tengo. MI MAMI Y GRAN AMIGA, gracias por tu amor incondicional, por tus valiosos consejos, por enseñarme que a pesar de los tropiezos que uno de, la vida debe continuar, por siempre escucharme y estar ahí cuando mas te he necesitado a pesar de la distancia. A MIS HERMANDOS José Luis y Alax Saúl por todo su apoyo y confianza que me depositaron, por que por muchos años han fungido como papas, por cuidarme. Y sin olvidar a la más pequeña de esta familia a Carito, por darle alegría a nuestras vidas. Mil Gracias por ser mi familia Los adoro y amo.

A una persona muy importante Horacio Martínez Reyes, por todo el amor incondicional que me a brindado, por estar siempre a mi lado cuando lo he necesitado, por su apoyo, cariño y sobre todo su paciencia. Y por ser un ejemplo de humildad.

ÍNDICE

	Pagina
INDICE	I
LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
II.- ANTECEDENTES	4
III.-OBJETIVO GENERAL	5
IV.-OBJETIVOS PARTICULARES	5
V.-ÁREA DE ESTUDIO	5
VI.-METODOLOGÍA	9
VI.1. Colecta de muestras	9
VI.2. Análisis de muestras	11
VI.2.1. Biomasa y composición taxonómica del fitoplancton	11
VI.2.2. Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton	12
VI.2.3. Análisis de la forma espectral	13
VI.2.4. Análisis de la clorofila a	14
VII.- RESULTADOS	15
VII.1. Composición taxonómica y variabilidad espacio-temporal del fitoplancton	15
VII.2. Biomasa total del fitoplancton	21
VII.3. Forma espectral del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton integrada (a_{phn}) y normalizada a 440nm ($a_{phn}/a_{phn440\text{ nm}}$)	24
VII.3.1. Primer intervalo en relación a la concentración de Chla (0-0.50 mg m ⁻³).	24
VII.3.2. Segundo Intervalo en relación a la concentración de Chla (0.50-1.0 mg m ⁻³).	32

VII.3.3. Tercer Intervalo en relación a la concentración de Chla (>1.0 mg m ⁻³)	32
VII.4.-Provincias biogeográficas del fitoplancton a partir de la forma espectral de absorción	43
VII.5.-Caracterización de las provincias biogeográficas a partir de los grupos taxonómicos del fitoplancton con base a la forma espectral de absorción	48
VII.6.-Tamaño promedio de la comunidad de fitoplancton a partir de la biomasa de nano-micro diatomeas	56
VIII.- DISCUSIONES	62
IX.- CONCLUSIONES	74
X.- LITERATURA CITADA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Estructura de la composición taxonómica del fitoplancton durante verano 2001. Géneros ordenados por amplitud de nicho (Bi). Los valores muestran la proporción del género en la muestra.	57
Tabla II. Estructura de la composición taxonómica del fitoplancton durante verano 2002. Géneros ordenados por amplitud de nicho (Bi). Los valores muestran la proporción del género en la muestra.	58
Tabla III. Estructura de la composición taxonómica del fitoplancton durante verano 2003. Géneros ordenados por amplitud de nicho (Bi). Los valores muestran la proporción del género en la muestra.	59
Tabla IV. Porcentaje de la biomasa de nano-micro diatomeas ($\mu\text{g C L}^{-1}$) durante los tres años de muestreo.	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema del Sistema de la Corriente de California. Se muestran los vientos superficiales (flechas vacías) y las corrientes superficiales del océano (flechas llenas), (Tomado de Parés-Sierra *et al.*, 1997). 8
- Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo correspondiente a los tres cruceros realizados en los veranos 2001-2003. 10
- Figura 3. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2001. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados. 17
- Figura 4. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2002. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados. 19
- Figura 5. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2003. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados. 20
- Figura 6. Promedio por líneas a) Grupos taxonómicos del fitoplancton (células L⁻¹), b) Biomasa de células de las Nano-micro diatomeas (µg C L⁻¹), durante los veranos 2001-2003. Las líneas verticales representan el final de cada periodo. 23
- Figura 7. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0-0.50 mg m⁻³). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}); b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440\text{ nm}}$); c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 26
- Figura 8. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0-0.50 mg m⁻³). Durante verano del 2002. a); b) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), c) y e) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440\text{ nm}}$), d) y f) Promedio de la absorción normalizada a 440nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 27

Figura 9. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0-0.50 mg m⁻³). Durante verano del 2003. a) y b) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), c) y e) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$), d) y f) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 30

Figura 10. Forma espectral de la absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0.50-1.0 mg m⁻³). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$). 34

Figura 11. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0.50-1.0 mg m⁻³). Durante verano del 2002. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 35

Figura 12. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (0.50-1.0 mg m⁻³). Durante verano del 2003. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$). 37

Figura 13. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (>1.0 mg m⁻³). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) y d) Absorción normalizada a 440nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$). c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 38

Figura 14. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila (>1.0 mg m⁻³). Durante verano del 2002 a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 39

- Figura 15. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada (a_{phn}), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn}/a_{phn440nm}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral. 41
- Figura 16. Provincias biogeográficas durante cada año de muestreo. a) verano 2001, b) verano 2002 y c) verano 2003. En la parte inferior de cada gráfico se indica el número correspondiente a cada provincia. 44
- Figura 17. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2001. 45
- Figura 18. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2002. 46
- Figura 19. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2003. 47
- Figura 20. Curvas de absorción con igual forma espectral durante los tres años de muestreo. a) Provincia I, b) Provincia II, c) Provincia III, d) Provincia IV, e) Provincia V y f) Provincia VI. El número entre paréntesis indica el total de estaciones de cada provincia. 51
- Figura 21. Localización de las provincias biogeográficas frente a Baja California durante los veranos 2001-2003, de acuerdo a la forma espectral de absorción de luz por fitoplancton. Los números romanos indican las provincias. 53
- Figura 22. Porcentaje de contribución de los grupos taxonómicos del fitoplancton a nivel de género. Durante los veranos 2001-2003. a) Provincia I, b) Provincia II, c) Provincia III y d) Provincia IV. 54
- Figura 23. Imágenes de la concentración de clorofila superficial derivada del satélite a) 14 de julio y b) 15 de julio del 2001. La barra de colores en la parte izquierda de cada imagen indica el intervalo de concentración de la clorofila (mg m^{-3}). 70
- Figura 24. Distribución de la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) a 10 m de profundidad durante verano del 2001. 71

Figura 25. Imágenes de la concentración de clorofila superficial derivada del satélite a) 21 de julio, b) 22 de julio, c) 23 de julio y d) 24 de julio del 2002. La barra de colores en la parte izquierda de cada imagen indica el intervalo de concentración de la clorofila (mg m^{-3}). 72

Figura. 26. Distribución de la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) a 10 m de profundidad. a) verano 2002 y b) verano 2003. 73

I.-INTRODUCCIÓN

La estructura de la comunidad del fitoplancton y su producción primaria son parte fundamental en el ecosistema pelágico del océano, por lo que es importante entender su variabilidad tanto a nivel regional como a nivel de meso-escala (Kahru y Mitchell, 2000). El determinar y entender las causas de variación espacial y temporal del fitoplancton nos lleva al conocimiento de la fertilidad de los océanos, así como a detectar posibles efectos a corto y mediano plazo, tales como el fenómeno de El Niño (Malone y Roederer, 1985). Estudios del fitoplancton han determinado que éste representa ~2% de la biomasa del planeta, equivalente en un 30-60% de asimilación en el océano y con una tasa de fijación del orden de 35 a 45 Gt (Giga tonelada= 10^{12} Kg) de carbono por año (Sakshaug *et al.*, 1997; Falkowski *et al.*, 1998).

Actualmente, se sabe que la biomasa del fitoplancton por clorofila y otros datos como la cosecha cuántica, la irradiancia y el coeficiente de absorción, nos ayudan a detectar las variaciones de la estructura de la comunidad del fitoplancton (Bouman *et al.*, 2000), de tal manera que son considerados parámetros importantes y necesarios para poder comparar la medición "in situ" con la información que nos proporcionan los sensores de satélite; a su vez estas comparaciones son importantes para determinar la productividad primaria a niveles de meso-escala, utilizando el conocimiento de la información bio-óptica del fitoplancton.

El material particulado del cual es parte el fitoplancton, es la principal fuente de variabilidad óptica en el océano. Las células del fitoplancton

determinan la variación de luz reflejada por el mismo, teniendo esté a su vez una relación óptica con la información de clorofila que detecta el satélite; lo cual nos proporciona el conocimiento sinóptico de la biomasa del fitoplancton (Sosik y Mitchell, 1995).

De igual manera, la variabilidad óptica en el mar tiene consecuencias en la atenuación de luz y por consiguiente en la aclimatación de células del fitoplancton. Son estas algunas de las razones por las que se ha incrementado el estudio de las propiedades bio-ópticas del océano, con principal énfasis en la determinación de la biomasa pigmentada a través de sensores remotos.

Las propiedades bio-ópticas como el coeficiente espectral de absorción y el esparcimiento de luz son conocidas como propiedades ópticas inherentes (Preisendorfer, 1961), debido a que su magnitud depende solamente de las sustancias que están en el medio (principalmente el fitoplancton) y no de la estructura geométrica del campo de luz (Kirk, 1986). La absorción de luz por partículas pigmentadas y no pigmentadas en el agua de mar ya ha sido previamente descrita por Yentsch y Phinney (1989), Nelson *et al.* (1993), Cleveland (1995) y Millán-Núñez *et al.* (2004) entre otros. Sin embargo, estas investigaciones han demostrado que a pesar de que la clorofila *a*, es el principal pigmento en la absorción de luz para la producción primaria, se ha determinado que la relación que existe entre el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton y la concentración de clorofila no es lineal. Por esta razón, actualmente se dificulta llegar a resultados conclusivos en la estimación de las variables bio-ópticas por

sensores remotos, ya que las comunidades de fitoplancton incluyen especies de diferente forma y tamaño, así como diferente composición pigmentaria. La variabilidad de las propiedades de absorción de luz por células de fitoplancton son influenciadas principalmente por dos componentes: la concentración intracelular de pigmentos (efecto paquete) y las diferencias en la composición de pigmentos de los diferentes grupos de fitoplancton. El efecto paquete es un aplanamiento en la curva espectral del coeficiente específico de absorción, debido a que los pigmentos se encuentran apilados dentro de los cloroplastos y ocasionan dicho efecto; esto trae como consecuencia la disminución en la eficiencia para absorber la luz principalmente en células grandes denominadas micro-fitoplancton. En general se conoce que el efecto paquete sucede en células grandes y con una alta pigmentación (Kirk, 1986). Por lo tanto, se esperaría un efecto de paquete mayor en aguas con alta concentración de organismos de micro-fitoplancton ($>20 \mu\text{m}$) y viceversa cuando haya pico-fitoplancton ($<2 \mu\text{m}$).

II.-ANTECEDENTES

Corriente de California

Debido a la gran utilización a nivel mundial de la información generada por sensores remotos, es necesario e indispensable que nuestro país empiece a generar la información satelital que se requiere para el estudio de las comunidades del fitoplancton en nuestros mares mexicanos. Uno de los primeros estudios en México, utilizando parámetros bio-ópticos del fitoplancton son los descritos por Millán-Núñez *et al.* (1998, 2004), donde estos autores llevaron a cabo una caracterización del coeficiente específico de absorción de luz por fitoplancton (a^*_{ph}) en el Golfo de California y sur de la Corriente de California. Ellos mencionan que la variabilidad de este parámetro fue principalmente afectada por el tamaño y abundancia de las células, así como por sus principales pigmentos fotosintéticos del fitoplancton de los diferentes grupos taxonómicos tales como: diatomeas, dinoflagelados y cianobacterias.

Sosik y Mitchell (1995) reportan datos de la variabilidad del a^*_{ph} , donde concluyen que ésta variabilidad, se debió principalmente a la diferente composición pigmentaria entre las especies y al efecto paquete de las células. Autores como Barocio *et al.* (2006) relacionan el coeficiente específico de absorción por fitoplancton (a^*_{ph}) y la concentración de pigmentos donde concluyen que la variabilidad de estos parámetros se debió a la composición pigmentaria de la comunidad del fitoplancton. Por otro lado, estos autores estudiaron la distribución vertical del (a^*_{ph}) y detectan que las comunidades de niveles mas profundas presentan una clara variación de

a^*_{ph} (440) relacionada a la mayor proporción de pigmentos fotosintéticos en relación a los pigmentos fotoprotectores. Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, nos surge la idea de caracterizar la estructura de la comunidad del fitoplancton (diatomeas y dinoflagelados) y relacionarlo con la forma de las curvas espectrales de absorción de luz por fitoplancton.

III.-OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la comunidad del fitoplancton a partir de las curvas espectrales de absorción frente a Baja California.

IV.-OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Estimar a nivel de género la composición taxonómica del fitoplancton.
- b) Estimar la variabilidad espacio-temporal de la forma espectral de luz por fitoplancton.

V.-ÁREA DE ESTUDIO

La Península de Baja California se localiza aproximadamente entre 24°-32° Norte y 112°-119° Oeste. A lo largo de su costa fluye lo que se conoce como el Sistema de la Corriente de California (SCC), el cual influye en las condiciones hidrológicas de la costa oeste de Baja California. Este sistema esta compuesto por una corriente superficial conocida como la Corriente de California (CC), por la Subcorriente de California (CU) caracterizada por tener un flujo Subsuperficial en dirección a los polos, y por

la Contracorriente de California (CCC) que es costera y con estacionalidad discontinua (Durazo *et al.*, 2005). Se encuentra delimitado al norte por la Corriente Subártica (CS) y al sur por la corriente Nor-Ecuatorial (CNE) (Fig.1). La transición de uno a otro sistema se hace en regiones de mezcla. De acuerdo con (Vélez-Muñoz 1981; Gómez y Vélez 1982), la CC puede dividirse en tres zonas en términos de masas de agua: zona de dominio de la masa de agua Subártica (localizada desde San Francisco hasta Cabo Mendocino), zona de transición (ubicada frente a la parte norte de Baja California y sur de California) y la zona de influencia ecuatorial (desde Punta Eugenia hasta Cabo San Lucas). Durazo *et al.* (2005); Lynn y Simpson (1987) mencionan que la CC es una corriente superficial ~0-300 m de profundidad, además de ser el brazo oriental de un giro anticiclónico de gran escala del Pacífico Norte; que transporta agua hacia el ecuador a lo largo de la costa occidental de Norte-América hacia la corriente Nor-Ecuatorial (excepto la costa). La velocidad de la CC es típicamente menor a los 25 cm s^{-1} (Reid y Schwarzlose, 1962). Cabe mencionar que frente a Baja California en la parte de la CC se han podido detectar estructuras tales como remolinos, meandros y fronteras, teniendo estos cierta influencia en los procesos biológicos que se llevan a cabo en la región (Lynn y Simpson, 1987; Soto-Mardones *et al.*, 2004; Espinosa-Carreón *et al.*, 2004). En esta región los remolinos a meso-escala son observados con mayor frecuencia en verano, por ejemplo se reportó para julio del 2001, que el campo de velocidad superficial fue fuertemente perturbado por tres remolinos ciclónicos en el eje central a lo largo de la Corriente de California (Schiwing

et al., 2002) y otro remolino ciclónico de mayor escala centrado a los 117° W, 27.5°N para julio del 2002 (Venrick *et al.*, 2003). Un probable mecanismo en el SCC es el forzamiento del viento el cual actúa sobre la corriente costera produciendo inestabilidades dando como resultado la formación de meandros, giros y filamentos, los cual ya han sido estudiados con anterioridad (Bateen *et al.*, 1989; Auad *et al.*, 1991; McCreary *et al.*, 1991; Pares-Sierra *et al.*, 1993). Se conoce que durante la época de primavera y verano los vientos provenientes de la parte noroeste se intensifican debido a que la baja termal continental se acentúa (Hickey, 1979), estas condiciones favorecen a la generación de surgencias, que a través de movimientos verticales ascendentes transportan agua rica en nutrientes y baja en oxígeno (Lynn y Simpson, 1987); dando como resultado afloramientos de fitoplancton y por consecuencia se favorecen los siguientes niveles troficos de la cadena alimenticia.

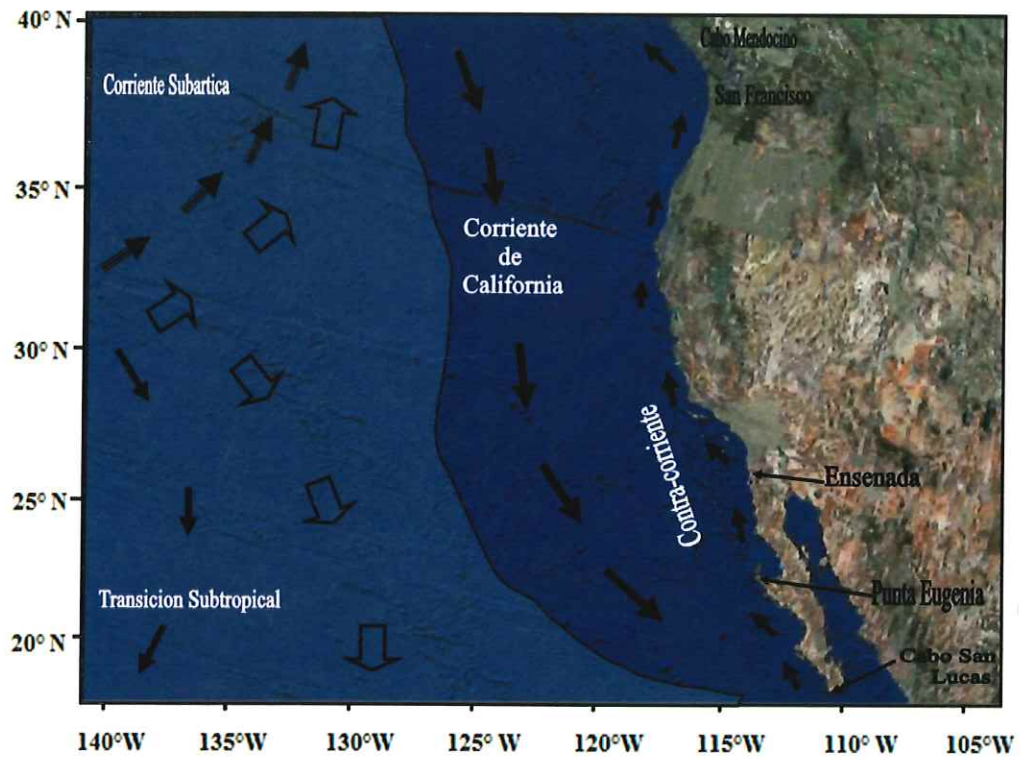


Figura 1. Esquema del Sistema de la Corriente de California. Se muestran los vientos superficiales (flechas vacías) y las corrientes superficiales del océano (flechas llenas), (Tomado de Parés-Sierra *et al.*, 1997).

VI.-METODOLOGÍA

VI.1.-Colecta de muestras

Se realizaron tres cruceros oceanográficos a bordo del B/O Francisco de Ulloa durante los periodos del 26 de junio al 17 julio 2001; del 12 julio al 02 agosto 2002 y del 7 al 29 julio 2003; dentro del proyecto Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) con un promedio de 91 estaciones con una separación de ~37 Km entre cada estación (20 millas náuticas) y divididas en un promedio de 12 líneas hidrográficas perpendiculares de ~74 Km entre líneas (40 millas náuticas) a la costa de Baja California por cada año de muestreo (Fig. 2).

Durante los tres cruceros se tomaron mediciones de temperatura y salinidad "*in situ*" con un CTD (Conductivity-Temperature-Depth). En cada estación se colectaron muestras de agua de mar en botellas Niskin de polietileno (capacidad de 5 litros) a una profundidad de 10 metros, y en algunas estaciones se colectó a diferentes niveles de profundidad de las cuales se analizaron las variables tales como: concentración de clorofila (Chla), coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}), y composición taxonómica de los principales grupos de fitoplancton. Cabe mencionar que en algunos casos se utilizó la irradiancia (E_0) en porcentajes de penetración de luz. A demás de los análisis anteriores se observaron para las mismas fechas de muestreo imágenes de satélite de clorofila superficial obtenidas de los sensores Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) y The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS-Aqua).

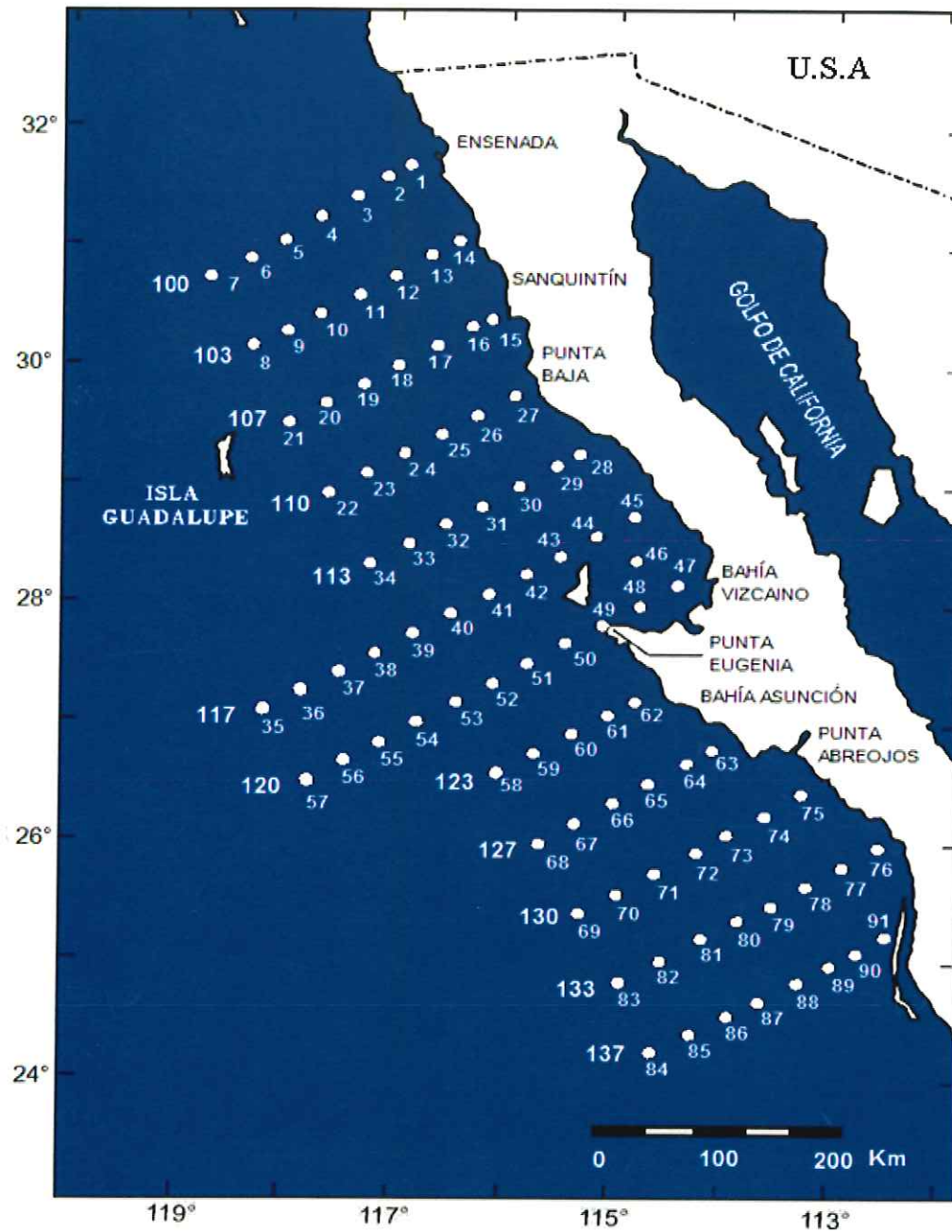


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo correspondiente a los tres cruceros realizados en los veranos 2001-2003.

La resolución espacial del dispositivo es de 4 x 4 Km y las imágenes fueron procesadas para eliminar la interferencia causada por las nubes.

VI.2.-Análisis de muestras

VI.2.1.-Biomasa y composición taxonómica del fitoplancton

Se colectaron 200 mL de agua de mar en botellas oscuras de plástico para las muestras de fitoplancton, se fijaron con formaldehído neutralizado con borato de sodio (0.4% de fijación total) para su posterior análisis en laboratorio. Para el análisis se sedimentaron 50 mL durante 24 horas siguiendo el método de Utermöhl (1958), se utilizó un microscopio invertido Carl Zeiss (160X, 400X) en donde se contaron 100 campos en cada muestra y se identificaron los organismos a nivel de géneros y cuando se observó un organismo dominante en la muestra, se trató de identificar a nivel de especie. Posteriormente, se utilizó la ecuación de Levins (1978) para determinar y clasificar los organismos en un orden de importancia con relación a la estructura de la comunidad del fitoplancton (ecuación 1) la cual se describe a continuación:

$$B_i = \exp \left[- \sum_{j=1}^K (P_{ij}/R_j) \ln (P_{ij}/R_j) \right] \quad (1)$$

Donde: B_i , Índice de nicho; P_{ij} , la proporción del género i en la muestra j ; R_j , la suma de sus proporciones en cada punto.

Durante el análisis de identificación del fitoplancton: las diatomeas se midieron con un ocular micrométrico y posteriormente fueron convertidas en biovolumen (μm^3) tomando las formas estequiométricas sugeridas por (Edler, 1979; Strathmann, 1967). La biomasa poblacional de las células fue calculada de la siguiente manera (ecuación 2).

$$B_p = C_p V_p F_p \quad (2)$$

Donde B_p es la biomasa poblacional de las células ($\mu\text{g C L}^{-1}$), C_p es la concentración de las células (células L^{-1}), V_p es el biovolumen de las células (μm^3 célula L^{-1}) y F_p es el factor de conversión del biovolumen a carbono. Para el caso de las células céntricas el biovolumen se obtuvo a partir del volumen de la esfera (ecuación 3).

$$V = \frac{\pi(d^3)}{6} \quad (3)$$

VI.2.2.-Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton

Las muestras de absorción por fitoplancton se colectaron en filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (25 mm), los cuales se almacenaron en un contenedor de nitrógeno líquido para su análisis en el laboratorio. Posteriormente los filtros fueron descongelados e impregnados con agua de mar filtrada. Se analizaron en un espectrofotómetro con esfera integradora de luz (Schimatzu UV-2401 IPC). Se utilizó un barrido espectral entre 400-750 nm, con resolución de 1 nm, un ancho de banda espectral de 2 nm y

una velocidad media de barrido de 300 nm/min. De esta manera, se obtuvo la curva espectral del material particulado (a_p), posteriormente los filtros se enjuagaron con metanol caliente durante un periodo de 30 minutos siguiendo la técnica de Kishino *et al.* (1985) con un segundo barrido espectral, teniendo como resultado la curva de detritus o material no pigmentado (a_d). Con la diferencia entre el material particulado y el detritus, obtuvimos el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton $a_{ph}(\lambda)$, tal y como se muestra en la (ecuación 4):

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda) \quad (4)$$

Donde $a_{ph}(\lambda)$ (m^{-1}) es la absorción del fitoplancton, $a_p(\lambda)$ (m^{-1}) material particulado, y $a_d(\lambda)$ (m^{-1}) detritus.

VI.2.3.-Análisis de la forma espectral

Cabe mencionar que las curvas espectrales obtenidas son el reflejo de los pigmentos fotosintéticos que conforman a la estructura de la comunidad de fitoplancton, y con el propósito de poder relacionar la identificación de las células del fitoplancton obtenidos de manera tradicional con lo que nos reflejan las curvas espectrales, se analizó la forma espectral la cual consistió en obtener la absorción normalizada (a_{phn}). Primeramente, se obtuvo el área bajo la curva espectral del coeficiente de absorción (m^{-1}) para cada estación de muestreo entre los 400 y 750nm (ecuación 5),

posteriormente con el valor del área se normalizó la absorción de luz por fitoplancton obteniendo una curva espectral normalizada para cada estación.

$$a_{phn} = \frac{a_{ph}(\lambda)(m^{-1})}{\int_{400}^{750} a_{ph}(\lambda)(m^{-1})d\lambda(nm)} \quad (5)$$

VI.2.4.-Análisis de clorofila a

La clorofila (Chla), fue determinada utilizando el protocolo estándar del Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS). La cual consistió en la filtración de 1 litro de agua de mar, correspondiente a cada nivel de profundidad estándar (0, 10, 20, 50, 100 m). El volumen de agua mencionado anteriormente se filtró a una presión constante con filtros de fibra de vidrio (GF/F) de 25 mm, los cuales se almacenaron inmediatamente en nitrógeno líquido para su posterior análisis en laboratorio. Una vez en laboratorio se empleó el método de fluometría (Holm-Hansen *et al.*, 1965), el cual consiste en extraer los pigmentos fotosintéticos en 10 mL de acetona al 90% durante 24 hr a 4°C y en oscuridad completa. Posteriormente se tomó una alícuota de la solución y se obtuvieron las lecturas en un fluorímetro Turner Desings 10-005.

VII.-RESULTADOS

VII.1.-Composición taxonómica y variabilidad espacio-temporal del fitoplancton.

Los análisis del nano-microfitoplancton ($> 5\mu\text{m}$) mostraron un total de 27 géneros correspondientes al verano de 2001; 13 géneros para diatomeas, 10 para dinoflagelados y 2 para silicoflagelados. Los géneros de diatomeas más sobresalientes con relación al índice de nicho fueron *Nitzschia* spp., *Rhizosolenia* spp., y *Thalassionema* spp., con un $\text{Bi} = 37.9$, 17.2 y 9.1 , respectivamente (Tabla I). En general la variabilidad espacial del fitoplancton total (diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados) mostró mayor abundancia hacia las estaciones costeras específicamente al sur de Bahía Asunción, mientras que en las estaciones oceánicas se observó que la abundancia varió gradualmente a lo largo de toda la Península de Baja California desde Ensenada hasta el sur de Punta Abreojos, encontrando abundancias menores a 8×10^3 células L^{-1} (Fig. 3a). La mayor abundancia de diatomeas mostró dos áreas principales, una en la línea 127 cerca de la costa (estación 63) y la línea 130 (estaciones 74 y 75) localizadas al sur de Punta Abreojos mostrando un intervalo de $(2.9-4.0 \times 10^5$ células $\text{L}^{-1})$, y una segunda área con menor abundancia al NW de Punta Eugenia, línea 120 (estación 57) con 8.5×10^3 células L^{-1} (Fig. 3b). Mientras que para los dinoflagelados los géneros más importantes fueron *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* spp., y *Ceratium* spp., con un $\text{Bi} = 62.1$, 26.1 y 21.7 , respectivamente (Tabla I). La abundancia de este grupo taxonómico se localizó en la misma área que las diatomeas pero con un intervalo de $(2.0-3.9 \times 10^5$ células $\text{L}^{-1})$. A pesar de que

se tuvo la presencia de un tercer grupo taxonómico (silicoflagelados) la abundancia fue mínima en comparación a los dos anteriores, mostrando solamente 688 células L^{-1} (Fig. 3c).

En verano del 2002 se observaron 21 géneros en total, 9 géneros de diatomeas, 11 de dinoflagelados y 1 de silicoflagelados. Para este periodo los géneros de mayor importancia en relación con el índice de nicho para diatomeas fueron *Nitzschia* spp., *Rhizosolenia* spp., y *Coscinodiscus* spp., con un $Bi= 37.2, 14.2$ y 7.3 , respectivamente (Tabla II). La abundancia del fitoplancton total para esta época de muestreo reveló máximos hacia la costa, disminuyendo hacia el océano con abundancias menores a 6×10^3 células L^{-1} (Fig. 4a). La abundancia de las diatomeas mostró dos áreas importantes a lo largo del área de estudio, una entre Ensenada y San Quintín en la línea 100 y 103 cerca de la costa (estaciones 1 y 14) con valores entre $(1.26-1.72 \times 10^5)$ células L^{-1} y la segunda área, al sur de Bahía Asunción cerca de la costa en las líneas 127 y 130 (estaciones 63 y 75) presentando valores de $16-19 \times 10^3$ células L^{-1} (Fig. 4b). En los dinoflagelados se detectaron a los géneros *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* spp., y *Ceratium* spp., presentando un índice de nicho entre géneros ($Bi=72.4, 20.7$ y 8.8), respectivamente (Tabla II). La abundancia mostró dos áreas bien definidas, la primera en Ensenada línea 100 (estación 1) y la segunda ubicada al sur de Punta Abreojos en la línea 130 (estación 75) con 18.1×10^3 células L^{-1} y 28.7×10^3 células L^{-1} respectivamente, mientras que hacia las estaciones oceánicas la abundancia se presentó mas homogénea (Fig. 4c). Y

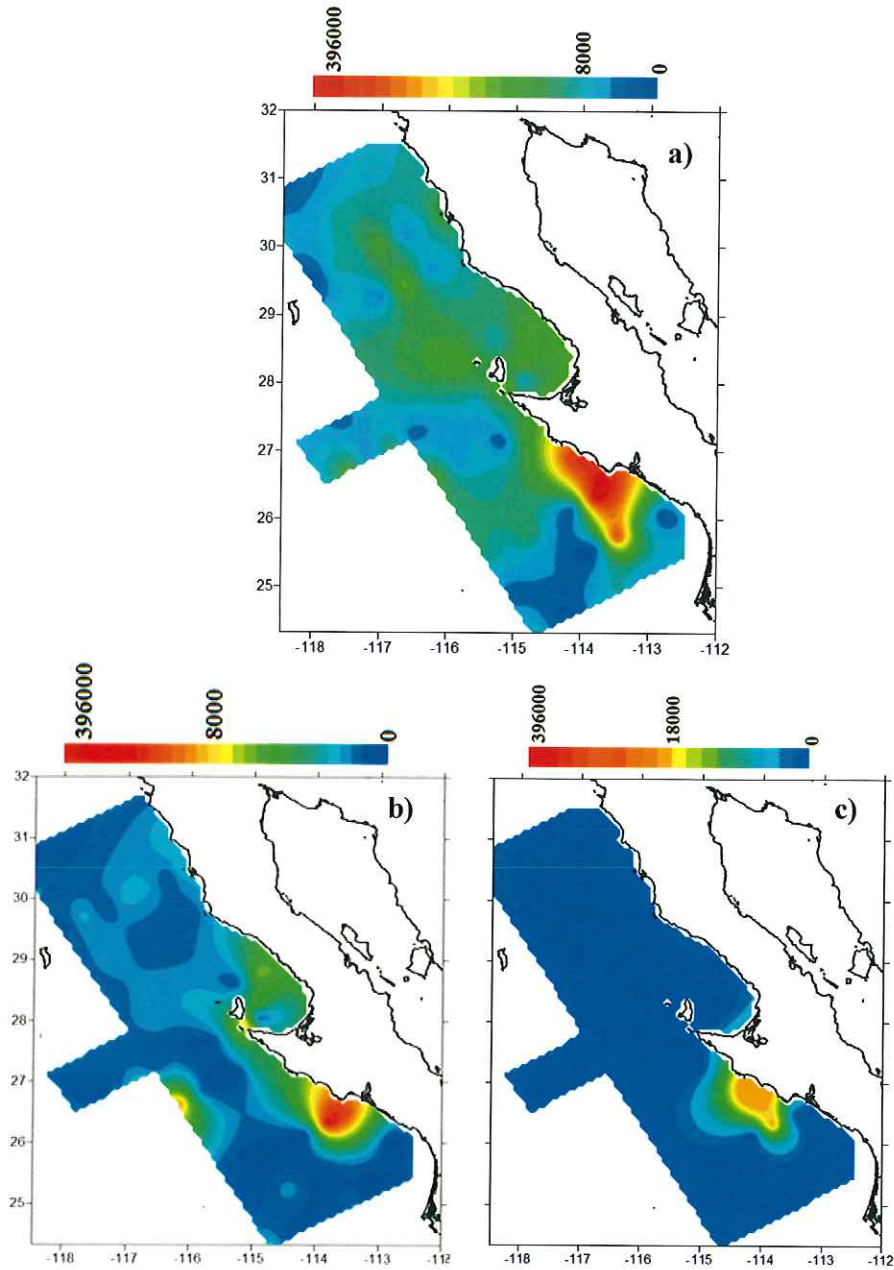


Figura 3. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2001. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados.

nuevamente se detectó la presencia de silicoflagelados con el género *Dictyocha* spp., (689 células L⁻¹).

En el verano del 2003 se identificaron un total de 21 géneros, 9 de diatomeas y 12 de dinoflagelados. Los géneros de diatomeas mas sobresalientes en relación al índice de nicho fueron *Coscinodiscus* spp., *Nitzschia* spp., y *Navicula* spp., con un Bi= 20.9, 18.8 y 9.9, respectivamente (Tabla III). La variabilidad espacial de la abundancia del fitoplancton total mostró un intervalo de 0.1-239x10³ (Fig. 5a). La abundancia de diatomeas mostró un área importante localizada entre Ensenada y San Quintín línea 103 (estaciones 9 y 14) con 1.13-2.37x10⁵ células L⁻¹. Sin embargo, fuera de esta zona se puede observar una estratificación tanto hacia la costa como para el océano, lo cual nos puede indicar un ambiente oligotrófico (Fig. 5b). Mientras que los géneros mas importantes de dinoflagelados en relación al índice de nicho fueron *Gymnodinium* spp., *Ceratium* spp., y *Gyrodinium* spp., con un Bi= 70.8, 20.1 y 16.2, respectivamente (Tabla III). En la Figura 5c se puede observar que la abundancia de los dinoflagelados mostró un área importante ubicada frente a Bahía Vizcaíno línea 120 (estación 48) con 9x10³ células L⁻¹. Fuera de esta área encontramos abundancias menores con un intervalo de 0.5-6x10³ células L⁻¹.

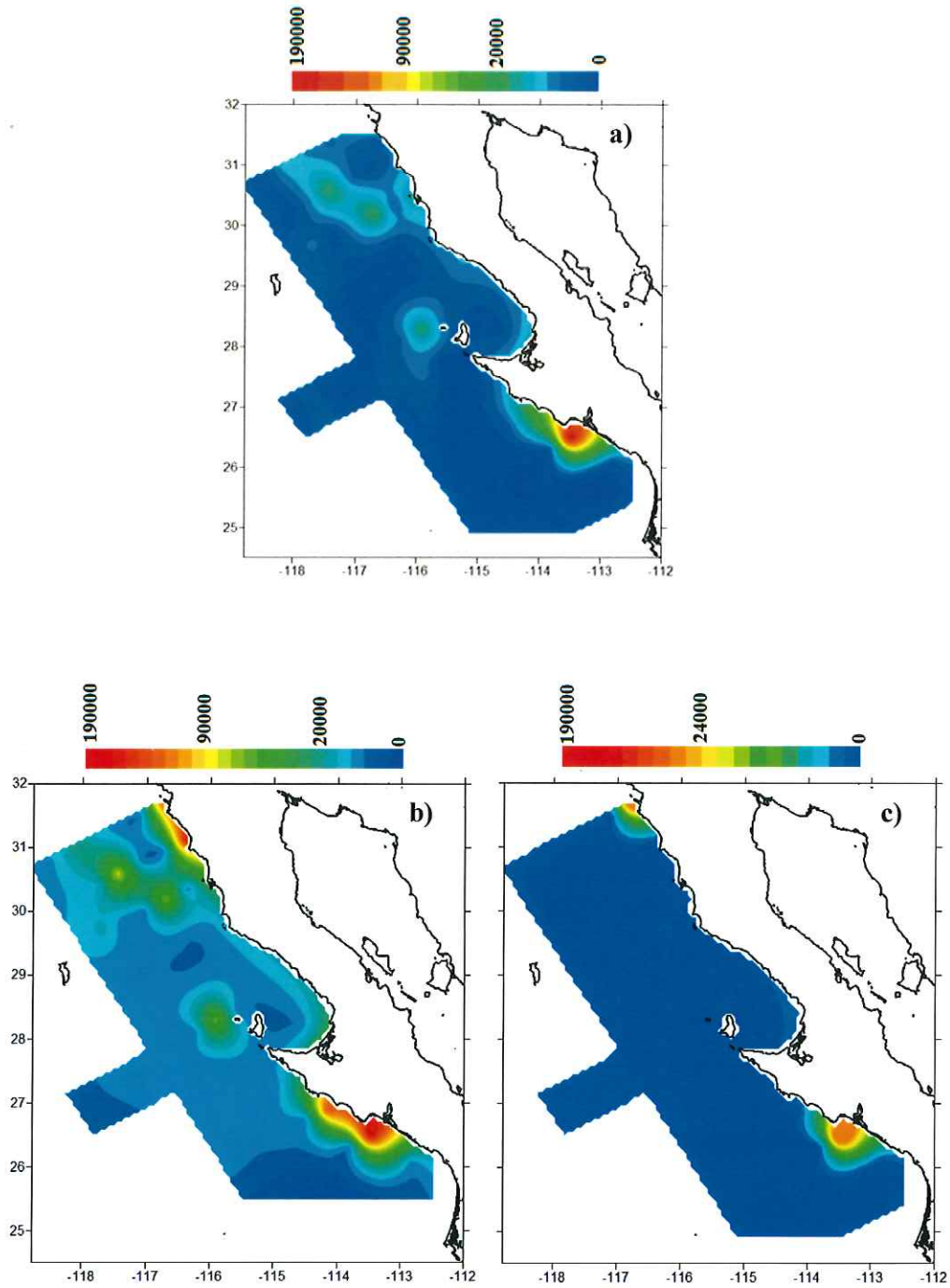


Figura 4. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2002. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados.

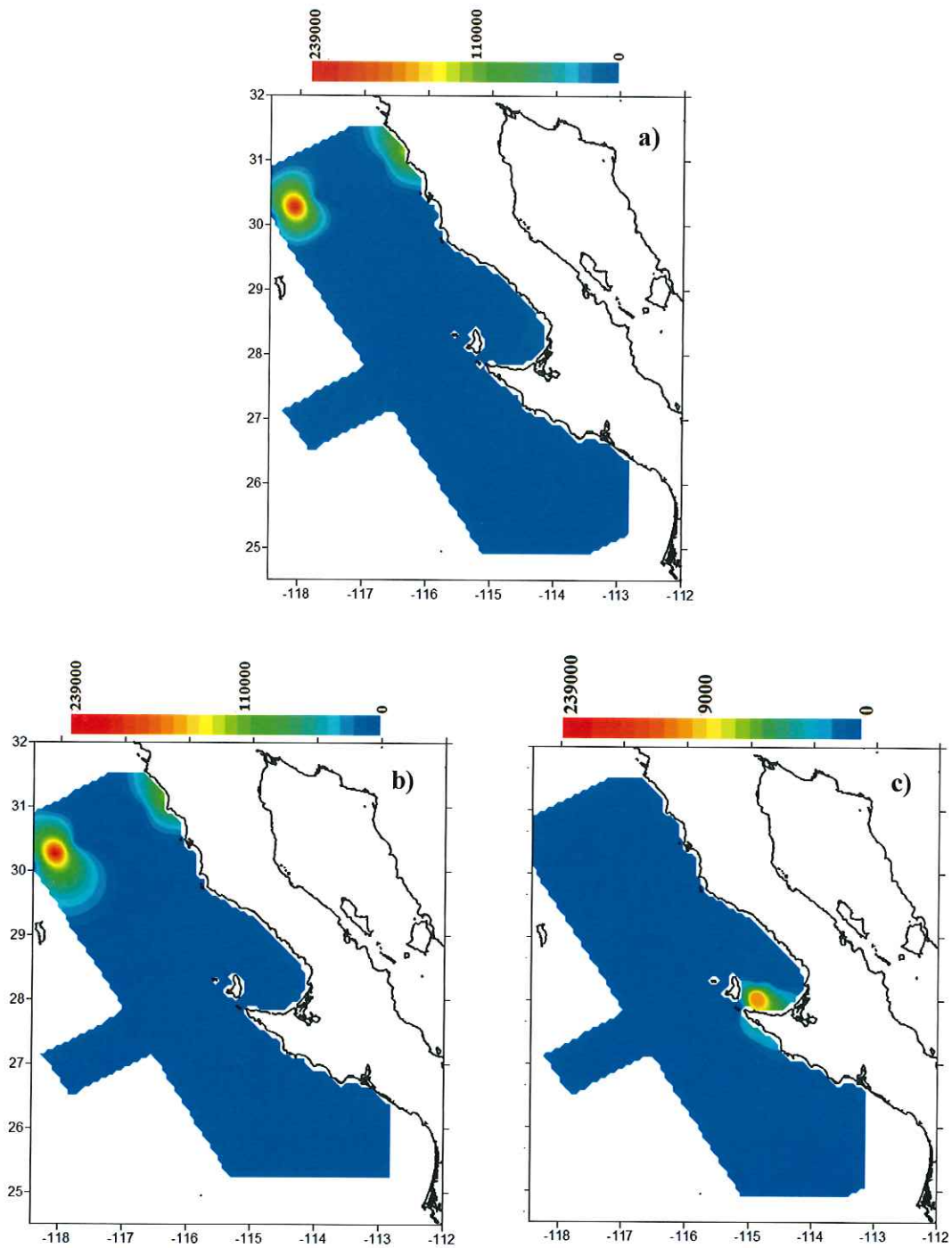


Figura 5. Distribución de la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton (células L⁻¹) a 10m de profundidad durante verano del 2003. a) Fitoplancton total, b) Diatomeas y c) Dinoflagelados.

VII.2.-Biomasa total del fitoplancton

Al analizar por líneas la composición taxonómica del fitoplancton promedio (células L^{-1}), se observa que durante verano del 2001 el grupo de las diatomeas presentó un mayor número de células. Durante el verano del 2002 se mostró un incremento de dinoflagelados con una considerable disminución de células de diatomeas. Sin embargo para verano del 2003, nuevamente observamos un comportamiento similar al 2001 en donde se presenta una dominancia de diatomeas, con disminución de dinoflagelados (Fig. 6a). Dentro de los grupos taxonómicos del plancton, existen divisiones tales como: Nanoplancton (organismos entre 2 y 20 μm) y Microplancton (organismos $>20 \mu m$), tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se calculó la biomasa promedio por líneas de dichos grupos para cada época de muestreo. Además para este estudio, consideramos que el tamaño promedio de la comunidad de fitoplancton, se puede representar por el volumen celular de las diatomeas (biovolumen células L^{-1}).

Los análisis del 2001 revelaron en la línea 127 y 130 un mayor biovolumen de células promedio de nano-diatomeas con valores de 688 y 186 $\mu g C L^{-1}$, respectivamente. Mientras que las micro-diatomeas para la misma época mostraron la mayor biomasa en las líneas 127 y 137 ubicadas al sur de Bahía Vizcaíno con valores de 24 y 36 $\mu g C L^{-1}$, respectivamente (Fig. 6b). Por otro lado durante el verano 2002 disminuyó la biomasa del micro mostrando valores de (0.2-1.2 $\mu g C L^{-1}$), excepto la línea 137 en donde se observó un incremento de 11.8 $\mu g C L^{-1}$; mientras que las nano diatomeas presentaron la mayor biomasa entre Ensenada y San Quintín (líneas 100 y

103) con valores promedio de 17.8 y 19.6 $\mu\text{g C L}^{-1}$, respectivamente. En el verano del 2003 dominó la biomasa de células del micro, ubicadas principalmente en dos áreas: una localizada entre Ensenada y San Quintín, con 12.3 y 40.5 $\mu\text{g C L}^{-1}$, respectivamente; y la segunda al sur de Bahía Asunción, línea 127 con 16.6 $\mu\text{g C L}^{-1}$; mientras que el resto del área de estudio mostró intervalos de 0.18-9.1 $\mu\text{g C L}^{-1}$. Por otra parte el nano mostró poca biomasa a lo largo del área de estudio con valores que oscilaron entre los 0.002-0.2 $\mu\text{g C L}^{-1}$, excepto al sur de San Quintín en las estaciones costeras, de la línea 107 con 4.8 $\mu\text{g C L}^{-1}$ (Fig. 6b).

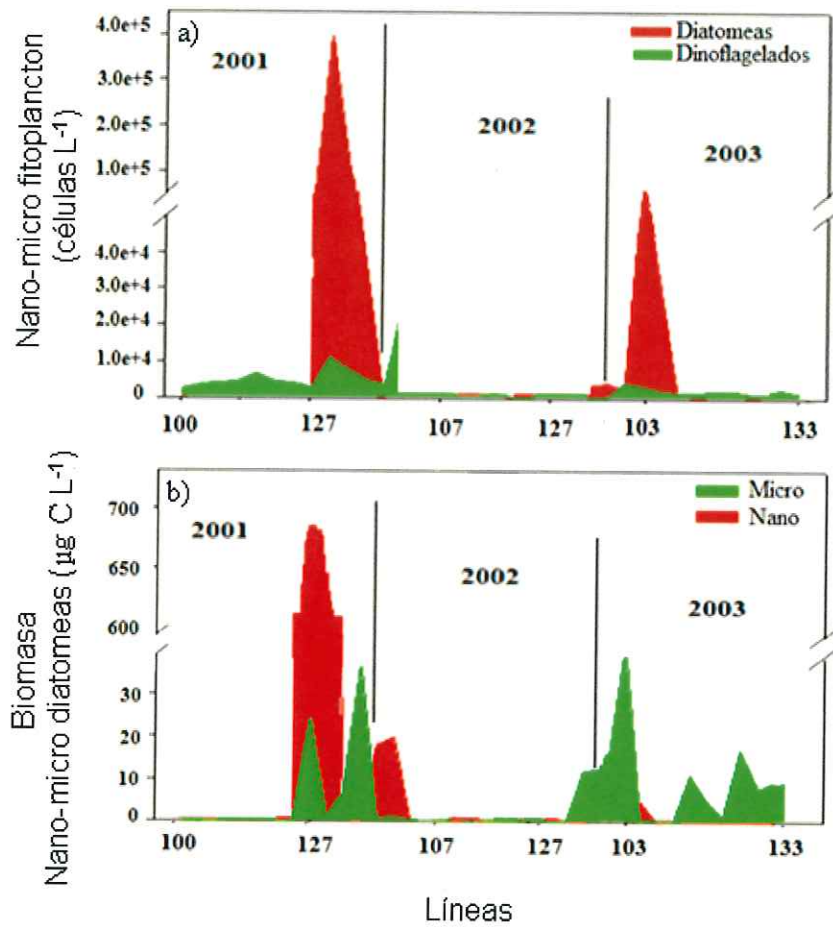


Figura 6. Promedio por líneas a) Grupos taxonómicos del fitoplancton (células L⁻¹), b) Biomasa de células de las Nano-micro diatomeas (µg C L⁻¹), durante los veranos 2001-2003. Las líneas verticales representan el final de cada periodo.

VII.3.-Forma espectral del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton integrada ($a_{ph,n}$) y normalizada a 440 nm ($a_{ph,n}/a_{ph,n 440 \text{ nm}}$).

Como se mencionó previamente, la forma espectral de absorción es el reflejo de la composición de pigmentos fotosintéticos que conforman a la estructura de la comunidad de fitoplancton. Para dicho análisis consideramos relacionar los datos de la concentración de clorofila "in situ" obtenidas en este estudio con las curvas espectrales de absorción de luz por fitoplancton y a su vez compararlos con los datos de composición taxonómica. Con lo mencionado anteriormente, determinamos tres intervalos de clorofila conformados de la siguiente manera: 1) 0-0.50 mg m⁻³, 2) 0.50-1.0 mg m⁻³, 3) > 1.0 mg m⁻³. Por lo que se obtuvieron un total de 20 curvas espectrales para el verano 2001, mientras que en verano del 2002 fueron 59 curvas espectrales y 38 para verano del 2003. Asimismo, para este estudio consideramos que la región azul del espectro (~410-510 nm) de las curvas de absorción, nos dará la información necesaria que necesitamos para dar respuesta a nuestros objetivos planteados.

VII.3.1.-Primer intervalo en relación a la concentración de Chla (0-0.50 mg m⁻³).

Al analizar los espectros de absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph,n}$) durante verano 2001, se obtuvieron 15 curvas espectrales (Fig. 7a). Posteriormente utilizamos la forma espectral de absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n}/a_{ph,n 440 \text{ nm}}$) y las estaciones 17, 18, 19, 24, 26, 38, 41, 57, 58, 62, 84 y 90 mostraron una misma forma espectral

(Fig. 7b), mientras que las estaciones 35, 42 y 83 presentaron diferentes formas espectrales entre ellas (Fig. 7d). Con base a los resultados mencionados anteriormente, se obtuvieron cuatro diferentes curvas espectrales promedio del total de las estaciones (Fig. 7c, 7e).

Durante el verano del 2002 se obtuvieron 26 espectros de absorción (Fig. 8a, 8b). Se observó la misma forma espectral normalizada ($a_{ph,n}/a_{ph,n440\text{ nm}}$) entre las estaciones 22, 33, 35, 37, 68, 73, 83 y 86 (Fig. 8c); 69, 3 y 51 (Fig. 8e); 21, 57, 71, 32 y 31 (Fig. 8g); 23, 55 y 8 (Fig. 8i); 65 y 87 (Fig. 8k); 62 y 4 (Fig. 8m) y 66 y 20 (Fig. 8o). Mientras que la estación 67 mostró diferente forma espectral (Fig. 8q). Se obtuvieron un total de ocho curvas espectrales promedio (Figs. 8d, 8f, 8h, 8j, 8l, 8n, 8p y 8r).

Mientras que en el verano 2003 se obtuvieron 31 curvas integradas normalizadas (Figs. 9a, 9b). Asimismo observamos que las estaciones 6, 9, 11, 12, 16, 18, 19, 24, 25, 30, 33, 35, 41, 65 y 81 (Fig. 9c) mostraron la misma forma espectral en la región azul del espectro. De igual manera observamos que las estaciones 13, 20, 21, 27, 29, 32, 43 y 64 (Fig. 9e); 15, 51 y 60 (Fig. 9g); 17 y 62 (Fig. 9i); mientras que las estaciones 5, 49 y 58 presentaron diferentes formas espectrales (Fig. 9k). Con los resultados anteriores se obtuvieron un total de siete curvas espectrales promedio (Figs. 9d, 9f, 9h, 9j, 9l).

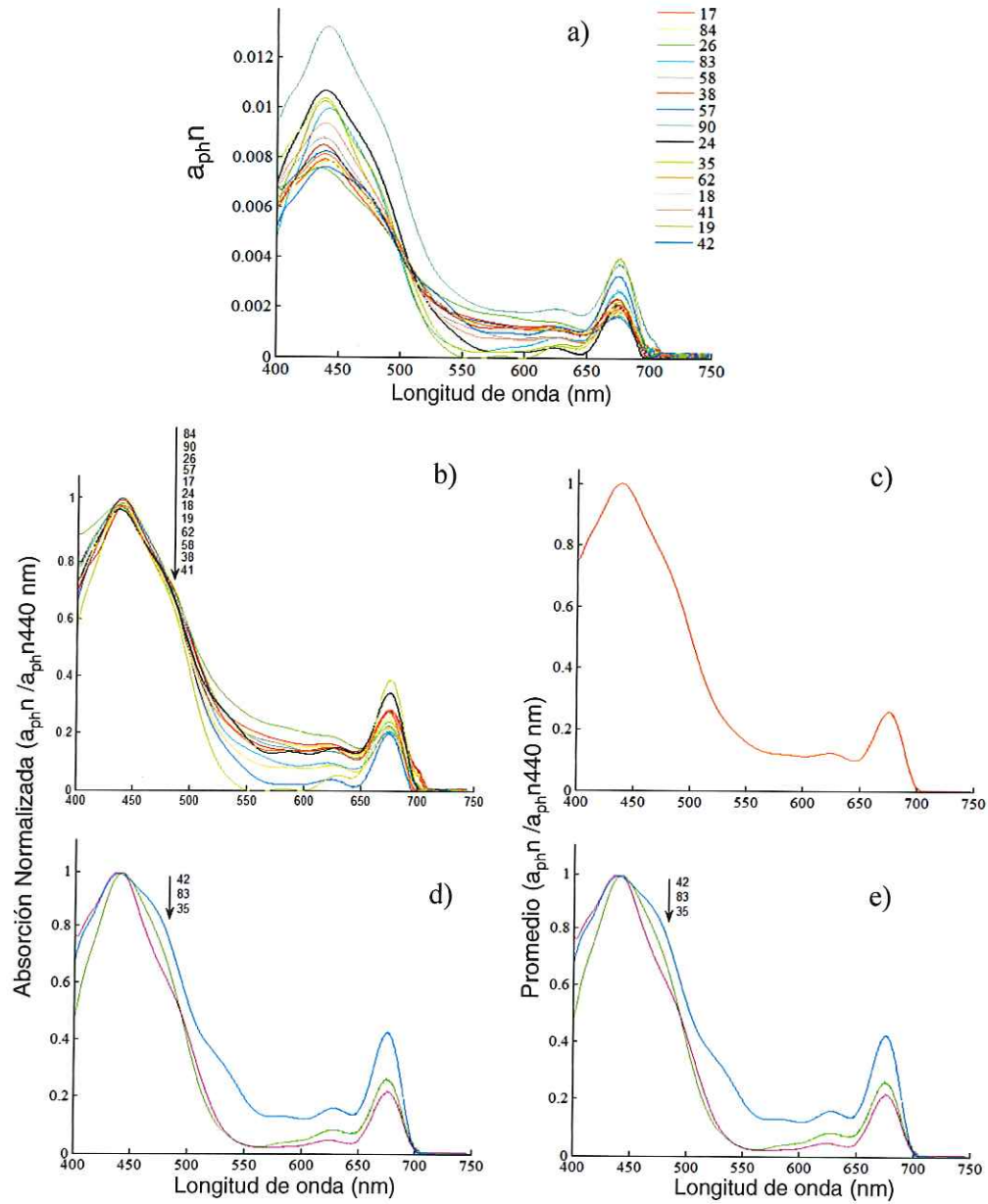


Figura 7. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$); b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n/a_{ph}n440 \text{ nm}$); c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

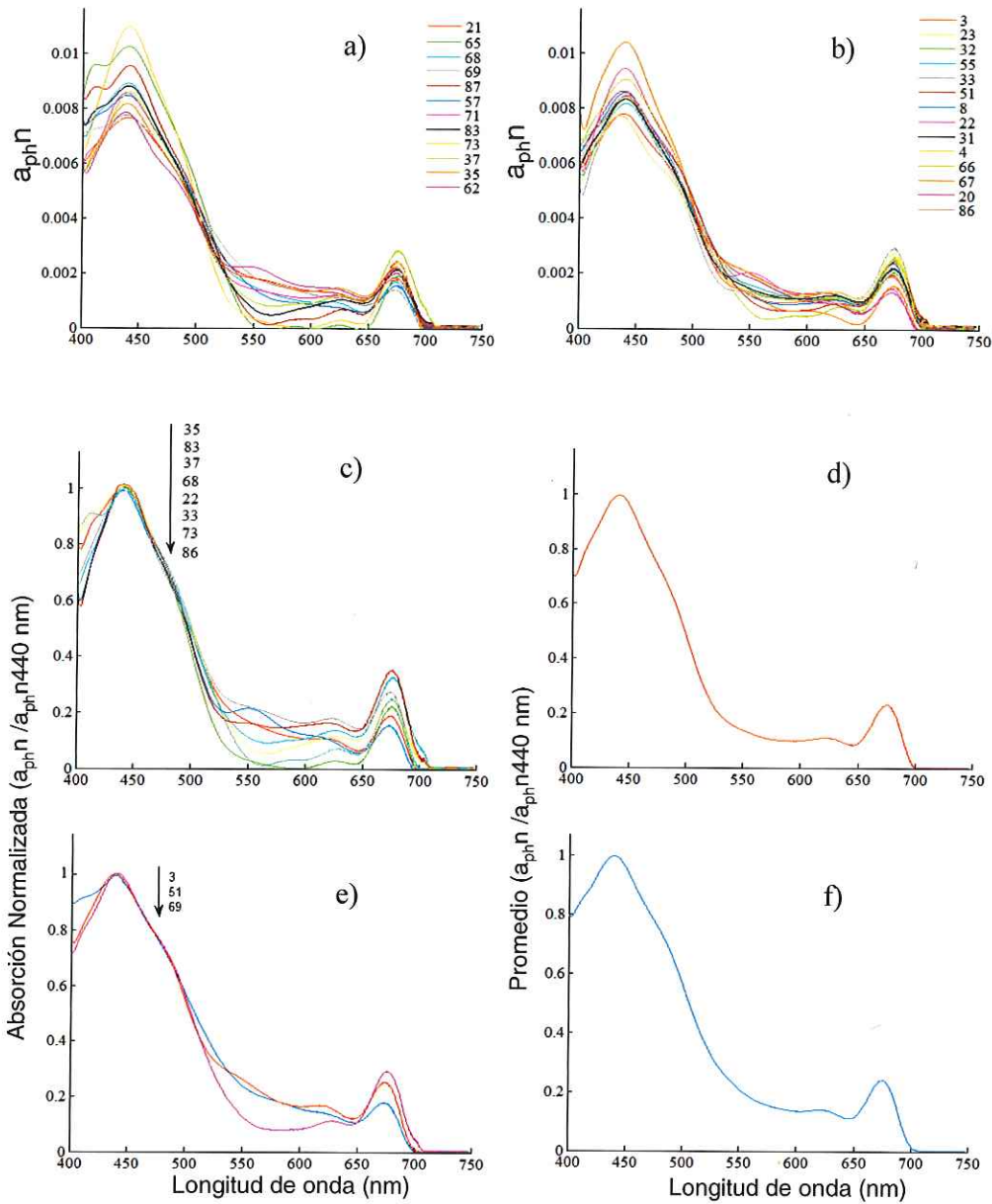


Figura 8. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. a); b) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), c) y e) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n/a_{ph}n_{440\text{nm}}$), d) y f) Promedio de la absorción normalizada a 440nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

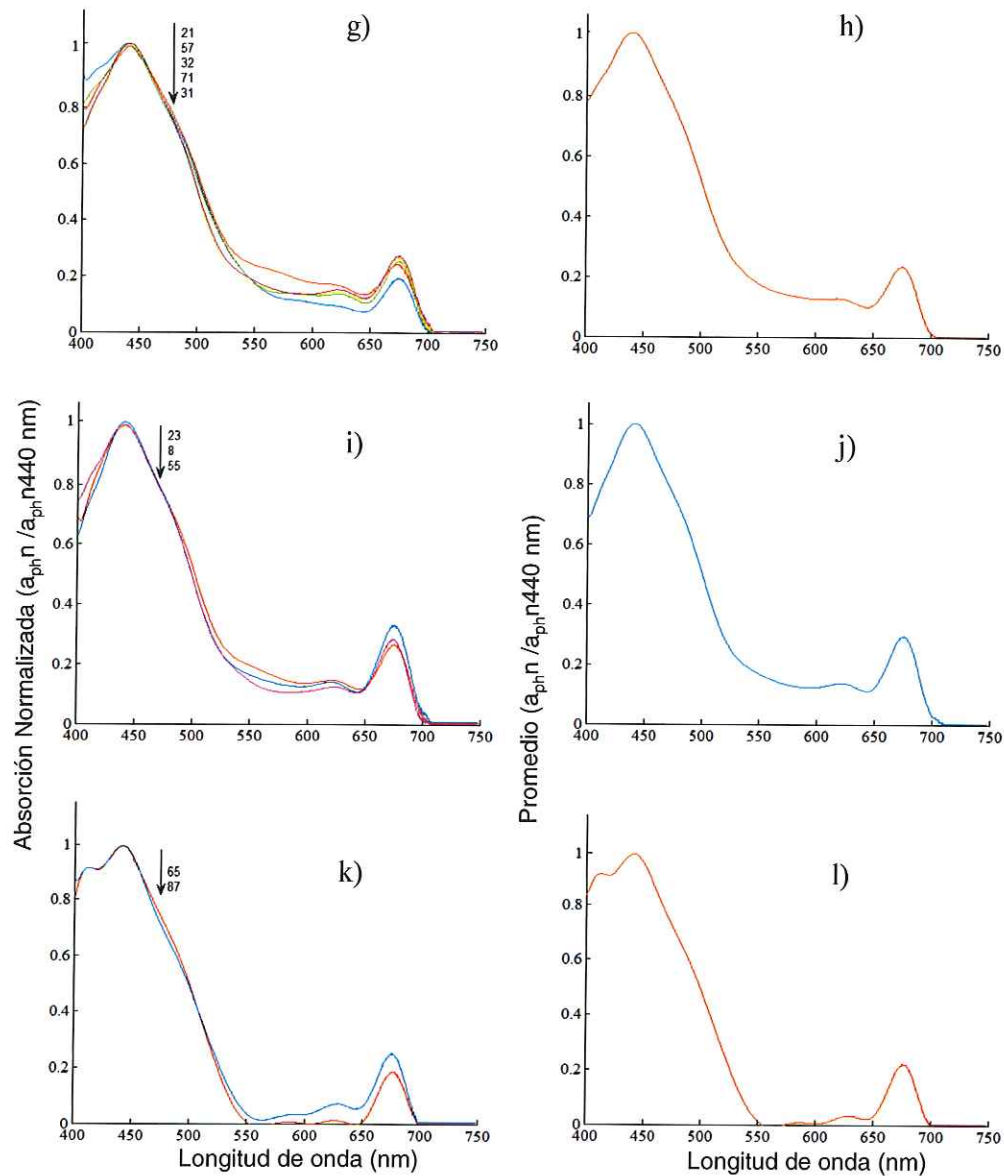


Figura 8. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. g), i) y k) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n} / a_{ph,n440\text{ nm}}$), h), j) y l) Promedio de la absorción normalizada a 440nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

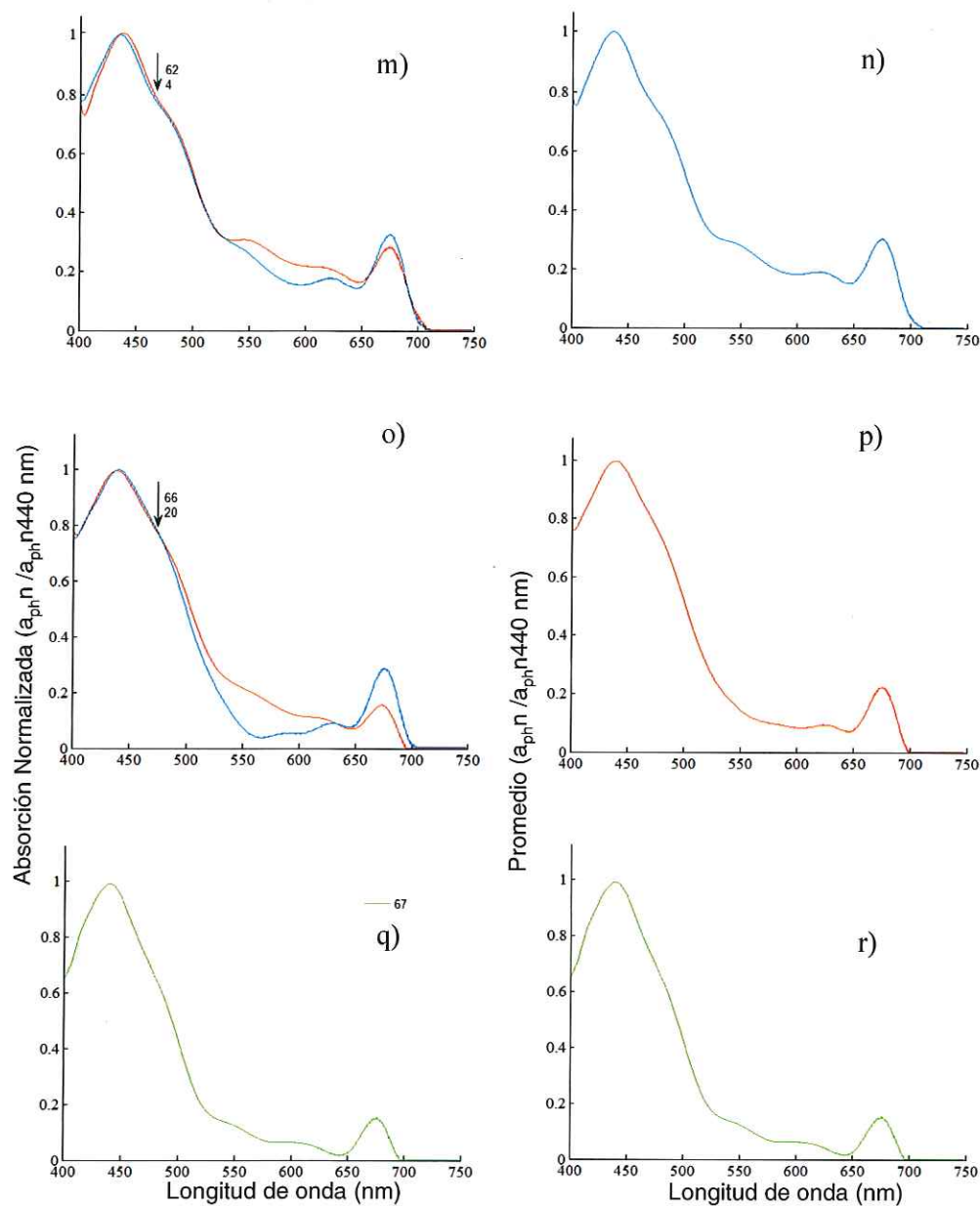


Figura 8. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. m), o) y q) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n}/a_{ph,n440 \text{ nm}}$), n), p) y r) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

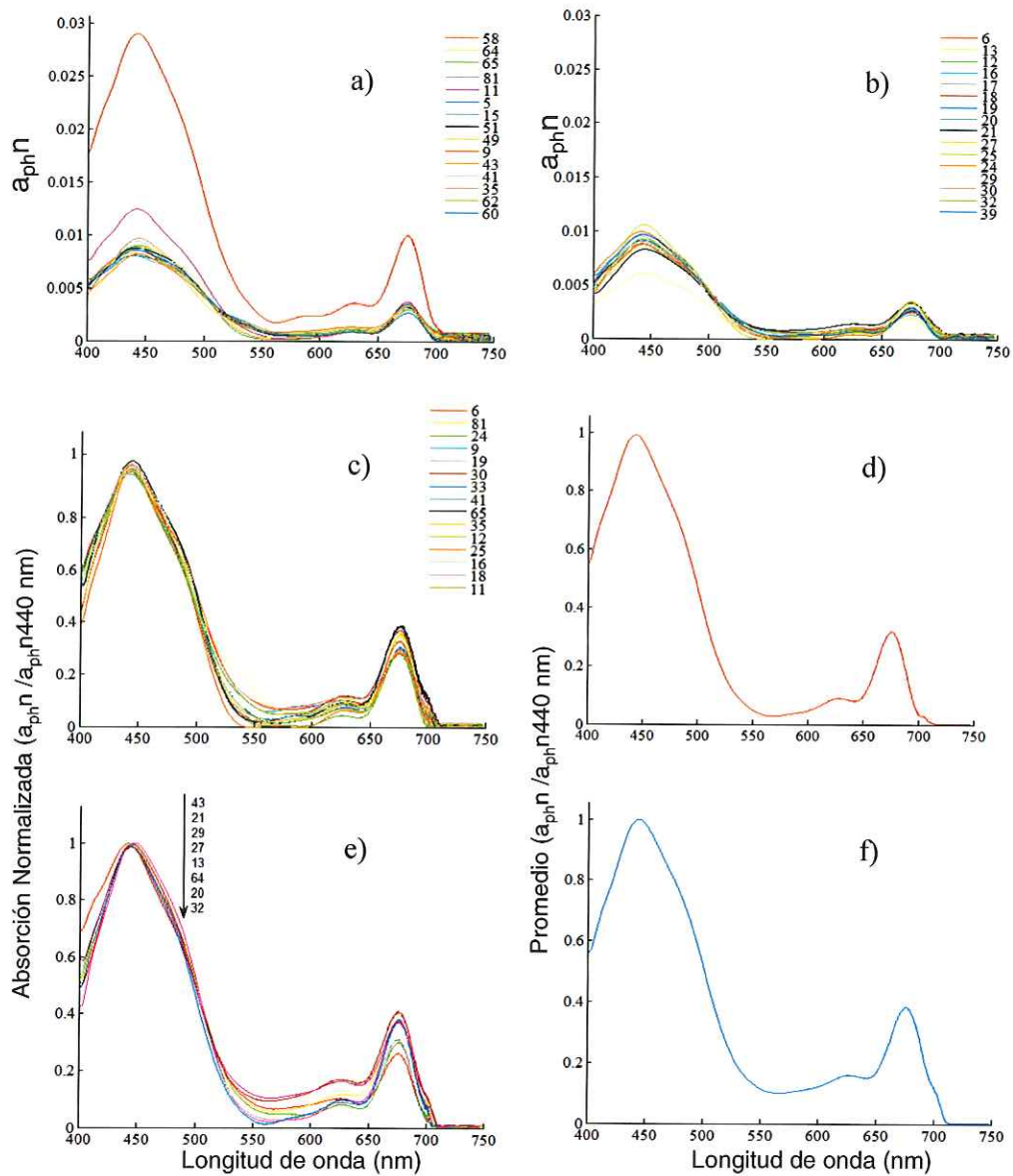


Figura 9. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. a) y b) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), c) y e) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n/a_{ph}n_{440nm}$), d) y f) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

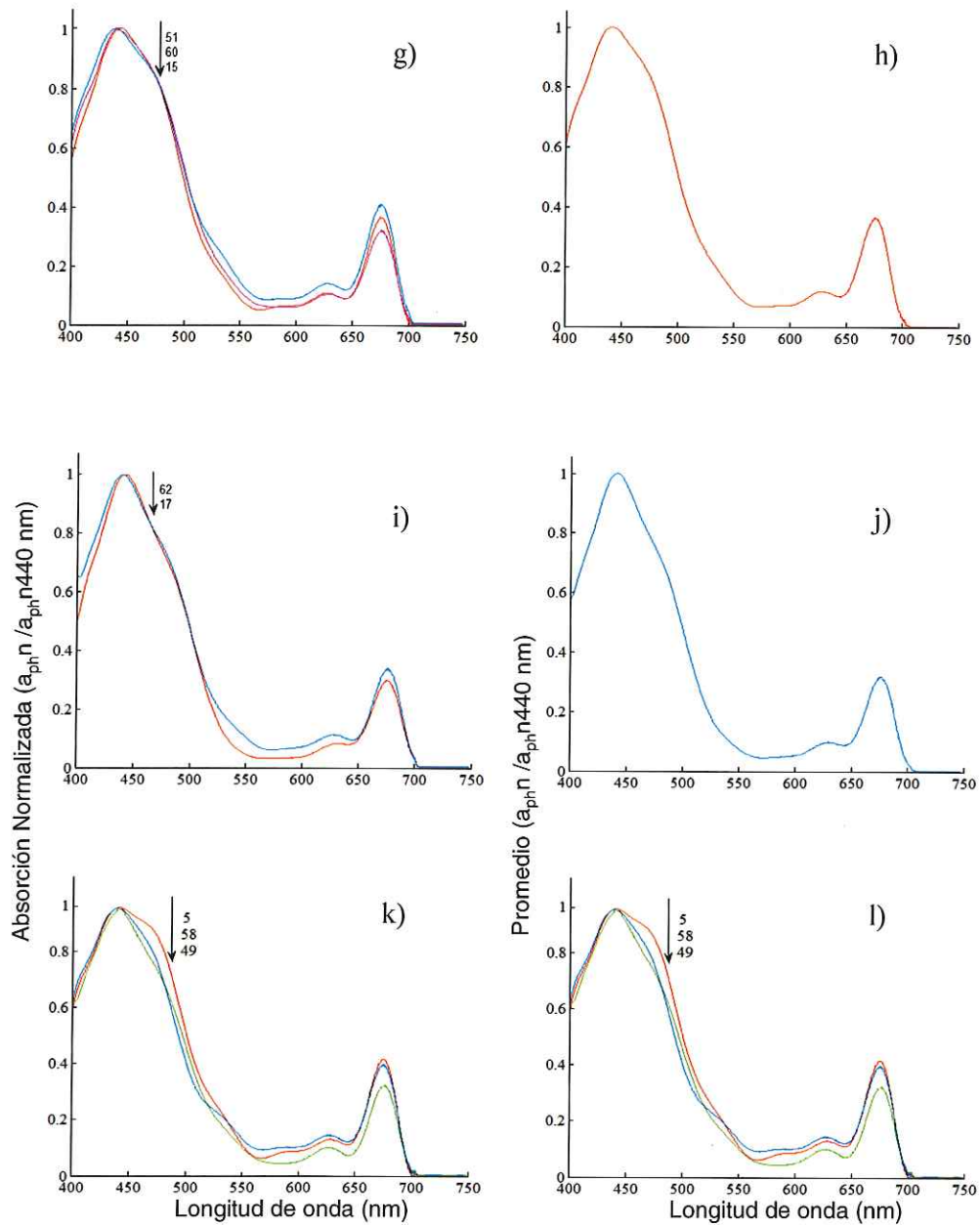


Figura 9. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0-0.50\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. g), i) y k) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n} / a_{ph,n440\text{ nm}}$). h), j) y l) Promedio de la absorción normalizada a 440nm La flecha indica la posición de la curva espectral.

VII.3.2.-Segundo Intervalo en relación a la concentración de Chla (0.50-1.0 mg m⁻³).

Cabe mencionar que para el verano 2001, se obtuvo solamente una curva espectral integrada normalizada (Fig. 10a), donde la forma espectral normalizada a 440 nm se puede observar en la (Fig. 10b). Mientras que en verano del 2002 se obtuvieron 19 espectros de absorción (Fig. 11a), pudimos observar que las estaciones (6, 10, 16, 25, 24, 26, 27, 38, 40, 43, 52, 53 y 72) presentaron la misma forma espectral de absorción normalizada (Fig. 11b), así mismo entre las estaciones 11, 12 y 18 (Fig. 11d) y 50 y 54 (Fig. 11f), mientras que la estación 36 mostró diferente forma espectral (Fig. 11h). De los resultados anteriormente mencionados se obtuvieron un total de 4 curvas promedio (Figs. 11c, 11e y 11g, 11i). Durante el verano 2003 solamente se obtuvo una curva espectral integrada normalizada (Fig. 12a), correspondiente a la línea 133 (estación 77), donde la forma espectral normalizada a 440 nm se puede observar en la (Fig. 12b).

VII.3.3.-Tercer Intervalo en relación a la concentración de Chla (>1.0 mg m⁻³)

Durante el 2001 se obtuvieron 4 curvas espectrales normalizadas integradas (Fig. 13a). Las estaciones 63 y 75 mostraron formas espectrales similares (Fig. 13b), así mismo las estaciones 45 y 28 (Fig. 13d). Se obtuvieron 2 curvas promedio del total de las estaciones (Figs 13c, 13e). Para el verano 2002 se obtuvieron 14 curvas espectrales integradas normalizadas (Fig. 14a). Las estaciones que mostraron la misma forma espectral fueron 5, 14, 41, 77, 78 y 48 (Fig. 14b), así mismo entre las

estaciones 1 y 63 (Fig. 14d), 76 y 47 (Fig. 14f) y 75, 45 y 90 (Fig. 14h), mientras que la estación 28 mostró forma espectral diferente (Fig. 14j). De esta manera se obtuvieron cinco espectros promedio del total de las estaciones (Figs. 14c, 14e, 14g, 14i y 14k). Durante verano del 2003 se obtuvieron 6 curvas espectrales integradas normalizadas (Fig. 15a), donde pudimos observar que las estaciones 45 y 75 presentaron misma forma espectral (Fig. 15b), de igual manera las estaciones 3 y 71 (Fig. 15d); mientras que las estaciones 14 y 74 mostraron diferente forma espectral (Fig. 15f). Por lo que se obtuvieron 4 curvas espectrales promedio (Figs. 15c, 15e y 15g).

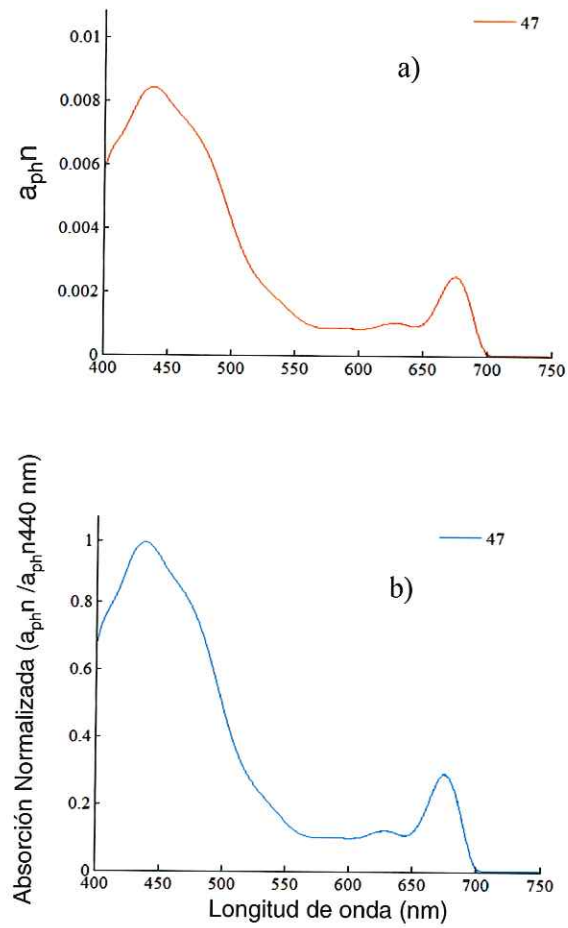


Figura 10. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0.50\text{-}1.0\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), b) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n / a_{ph}n_{440\text{ nm}}$).

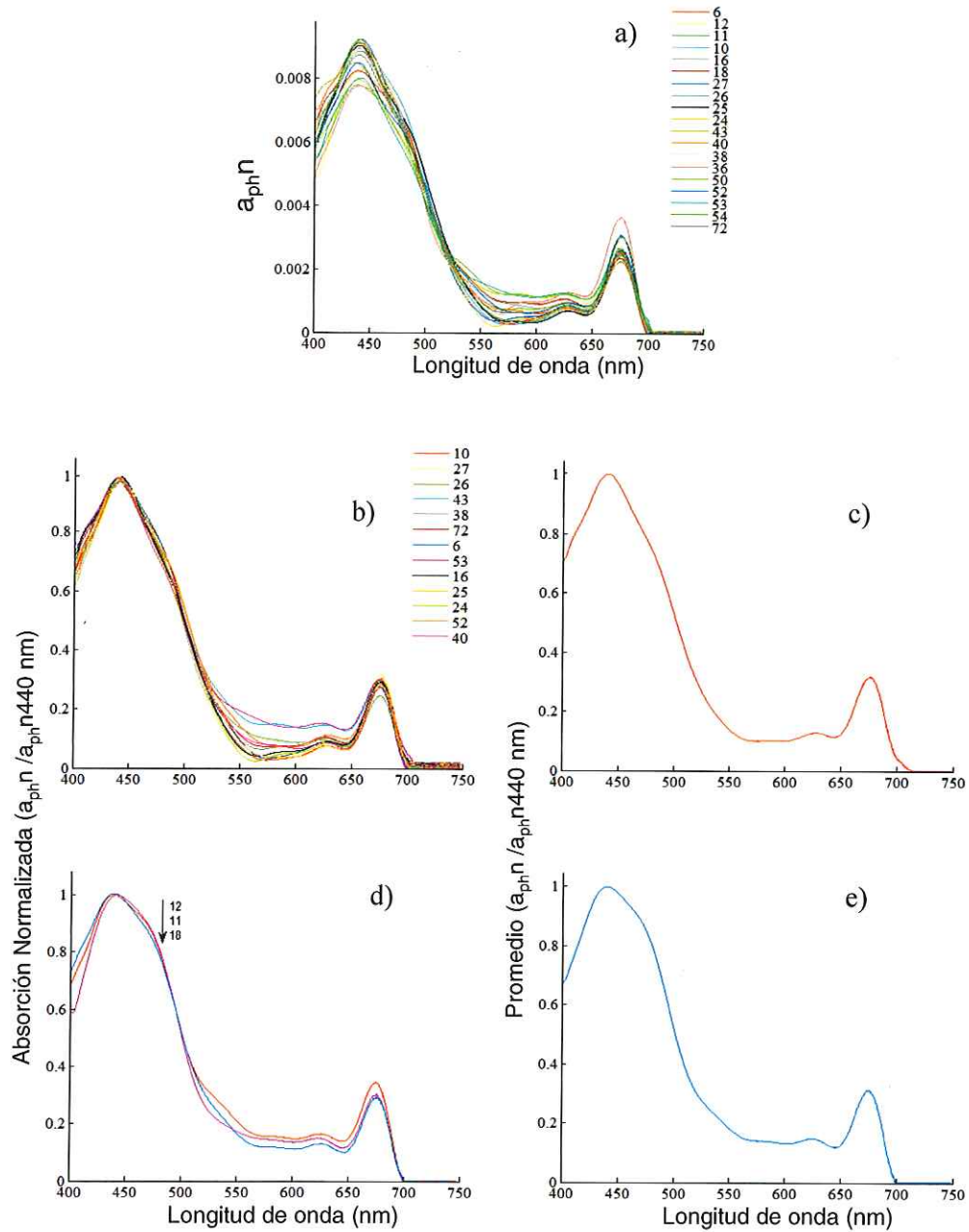


Figura 11. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0.50\text{-}1.0\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph,n}$), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n}/a_{ph,n440\text{ nm}}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

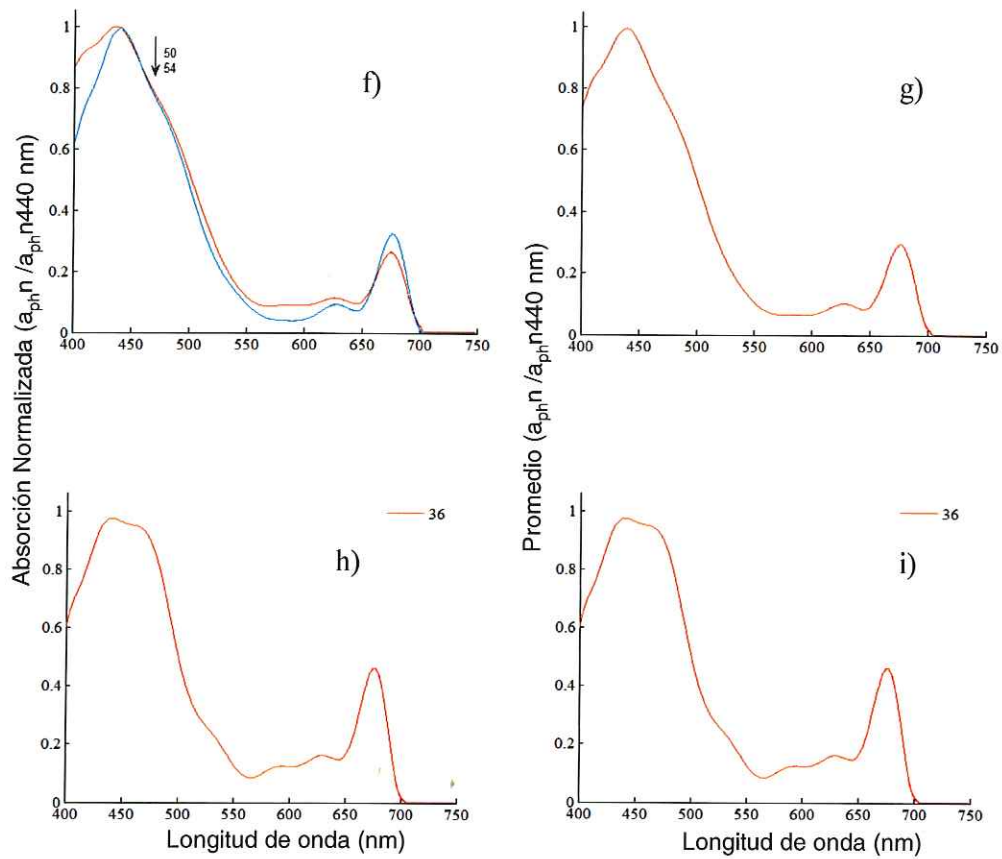


Figura 11. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0.50-1.0\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. f) y h) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{phn} / a_{phn440\text{ nm}}$), g) e i) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

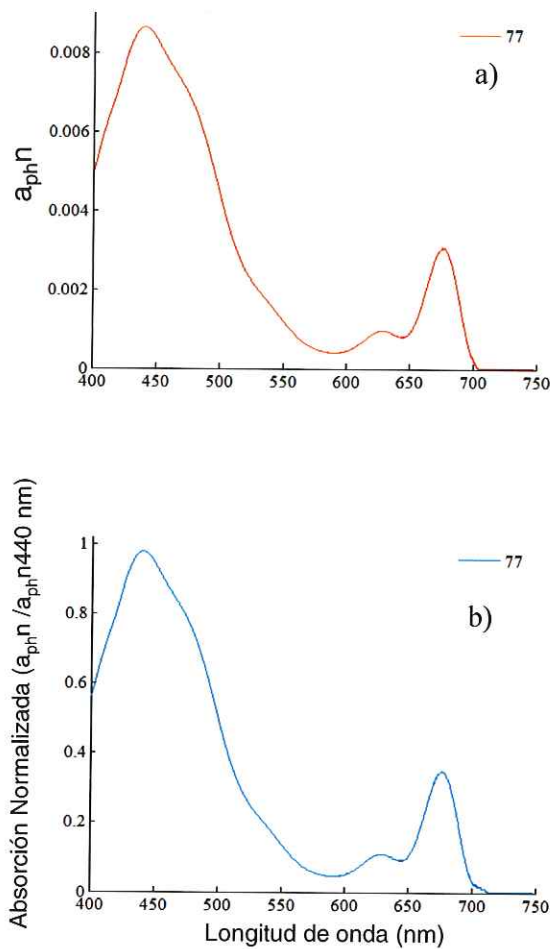


Figura 12. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($0.50\text{-}1.0 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), b) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n / a_{ph}n 440\text{nm}$).

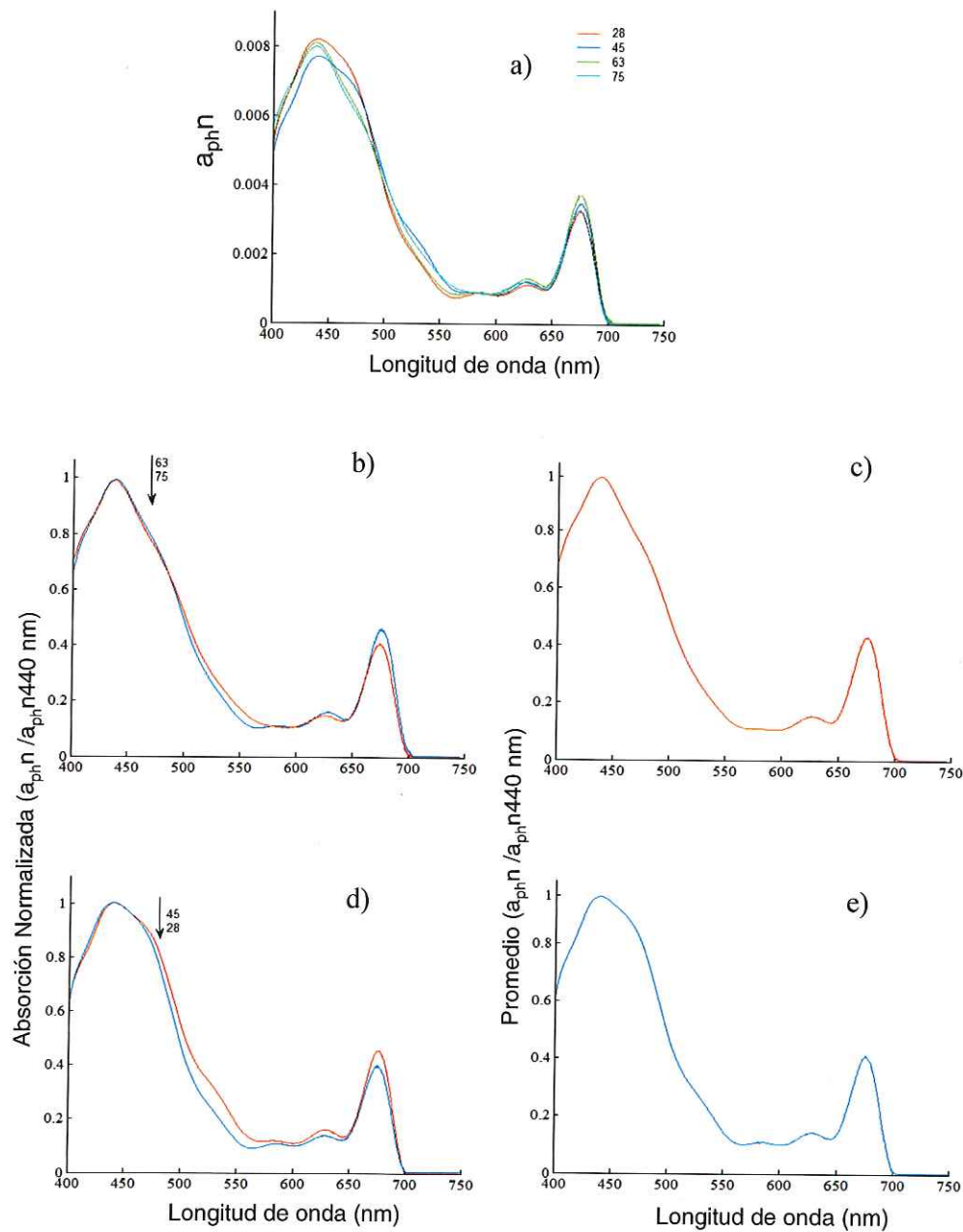


Figura 13. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2001. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), b) y d) Absorción normalizada a 440nm ($a_{ph}n/a_{ph}n_{440\text{nm}}$). c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

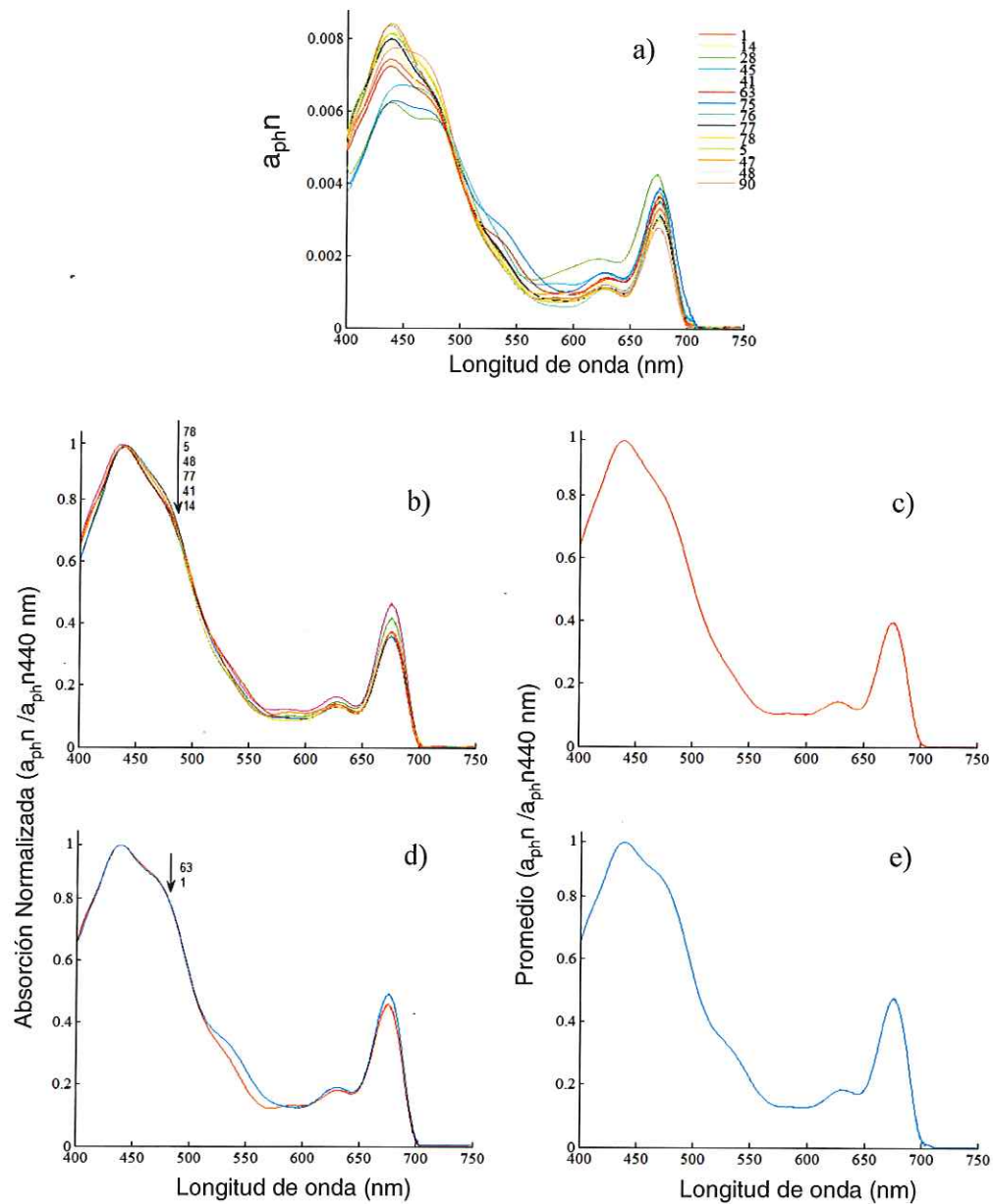


Figura 14. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0\text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2002. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph,n}$), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph,n}/a_{ph,n440\text{ nm}}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

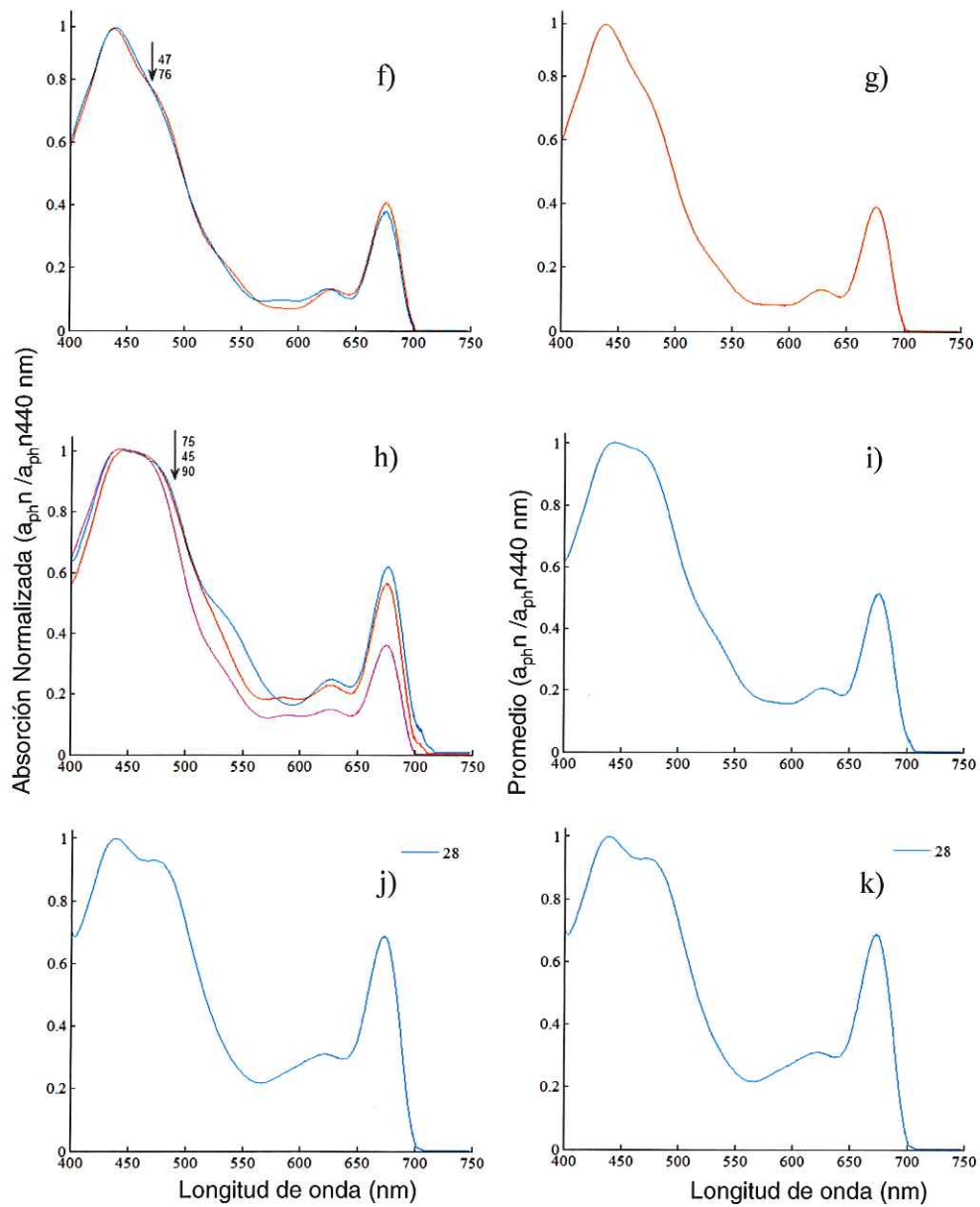


Figura 14. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0\ mg\ m^{-3}$). Durante verano del 2002. f), h) y j) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph\ n} / a_{ph\ n440\ nm}$), g), i) y k) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

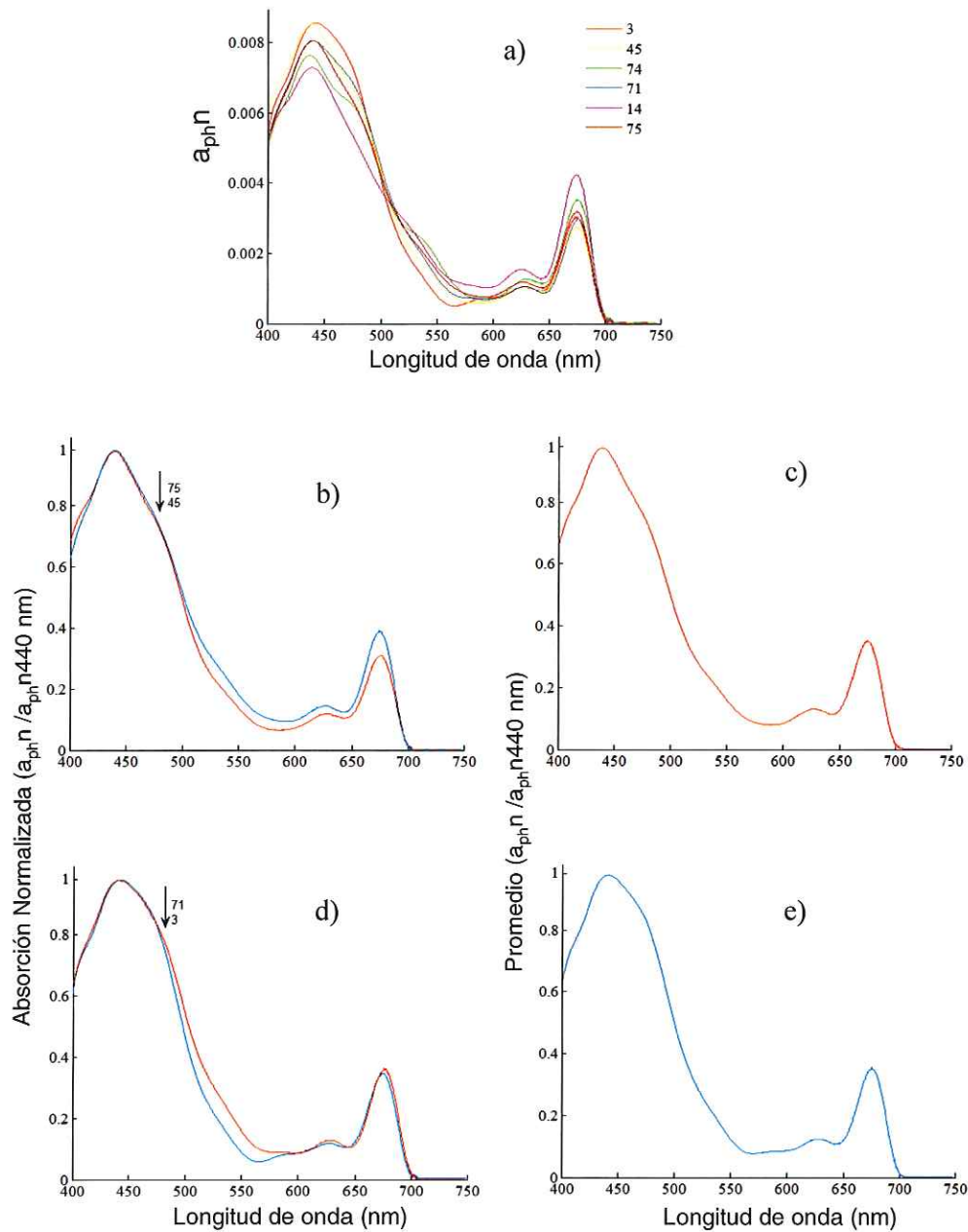


Figura 15. Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. a) Absorción por fitoplancton integrada normalizada ($a_{ph}n$), b) y d) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n/a_{ph}n_{440\text{ nm}}$), c) y e) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

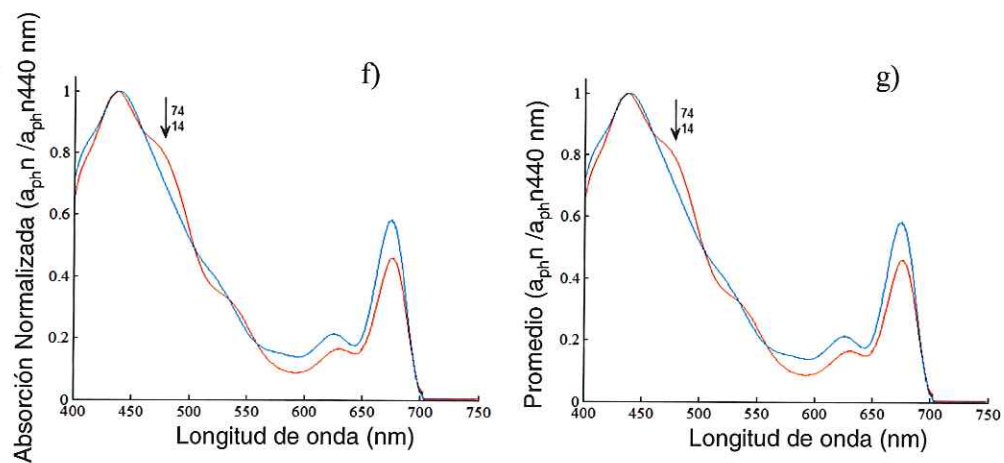


Figura 15. (Continuación). Forma espectral del coeficiente de absorción por fitoplancton en relación al intervalo de la concentración de clorofila ($>1.0 \text{ mg m}^{-3}$). Durante verano del 2003. f) Absorción normalizada a 440 nm ($a_{ph}n/a_{ph}n440\text{nm}$), g) Promedio de la absorción normalizada a 440 nm. La flecha indica la posición de la curva espectral.

VII.4.-Provincias biogeográficas del fitoplancton a partir de la forma espectral de absorción.

Con base a los resultados obtenidos designamos a todas aquellas estaciones que presentaban la misma forma espectral de absorción, independientemente de la concentración de clorofila y de la época de muestreo con el mismo número de provincia. Al analizar en conjunto todos los espectros de absorción resultantes, pudimos observar durante verano del 2001 cuatro provincias biogeográficas, mientras que en verano 2002 seis provincias (excepto la III), y siete durante verano 2003 (excepto la VI). (Figs. 16a, 16b, 16c). Así mismo el promedio de las formas espectrales características de cada provincia correspondiente a cada año de muestreo (Figs. 17, 18 y 19). El analizar las curvas espectrales de las provincias biogeográficas en los tres años de muestreo nos permitió observar 7 curvas con igual forma espectral (Fig. 20).

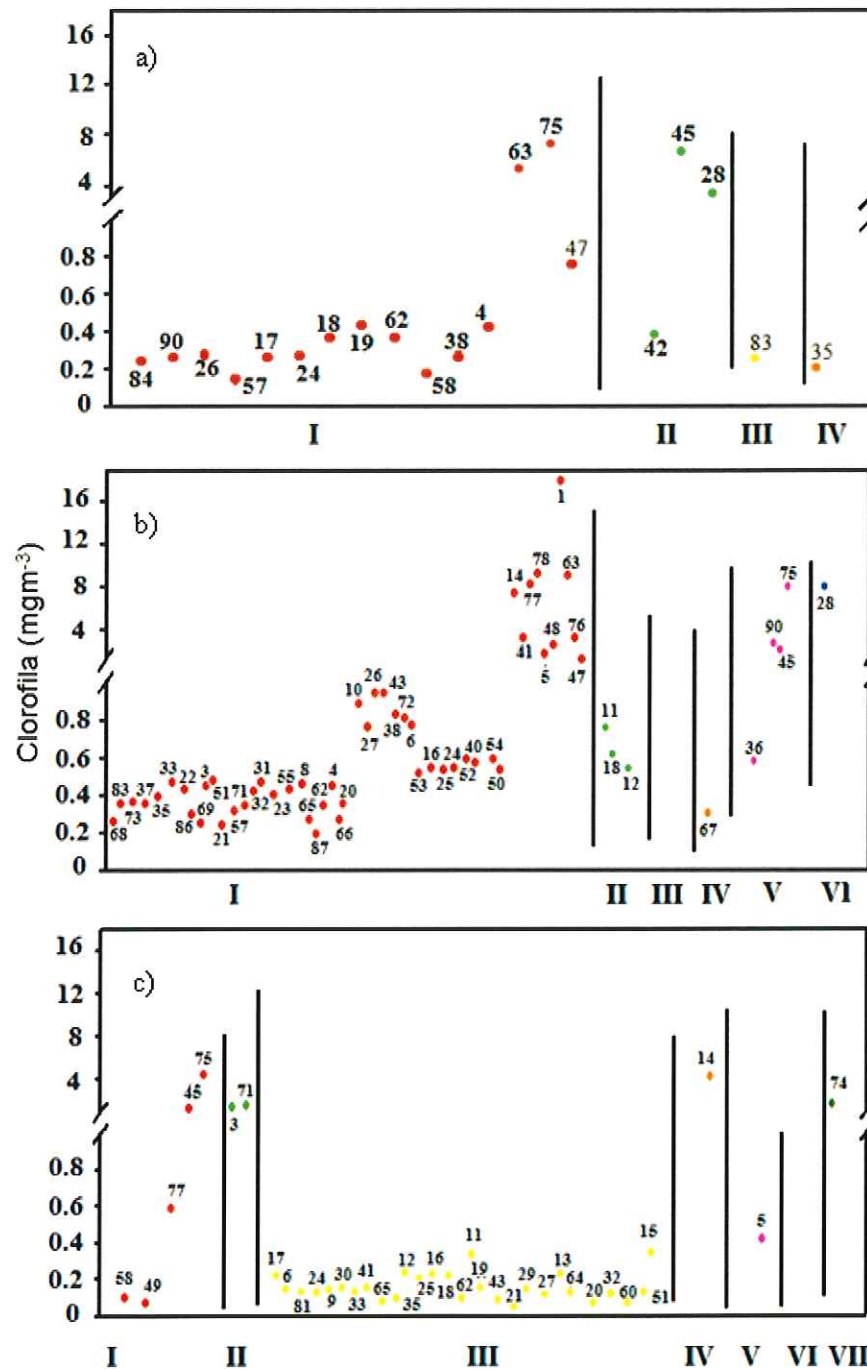


Figura 16. Provincias biogeográficas durante cada año de muestreo. a) verano 2001, b) verano 2002 y c) verano 2003. En la parte inferior de cada gráfico se indica el número correspondiente a cada provincia.

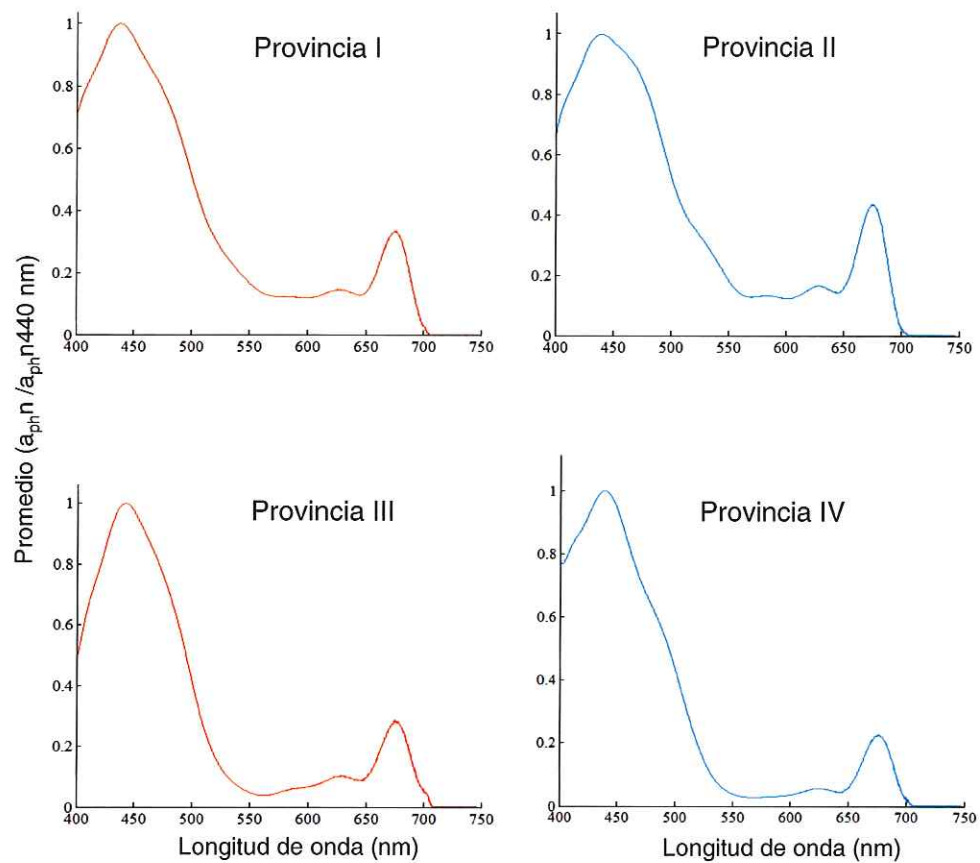


Figura 17. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2001.

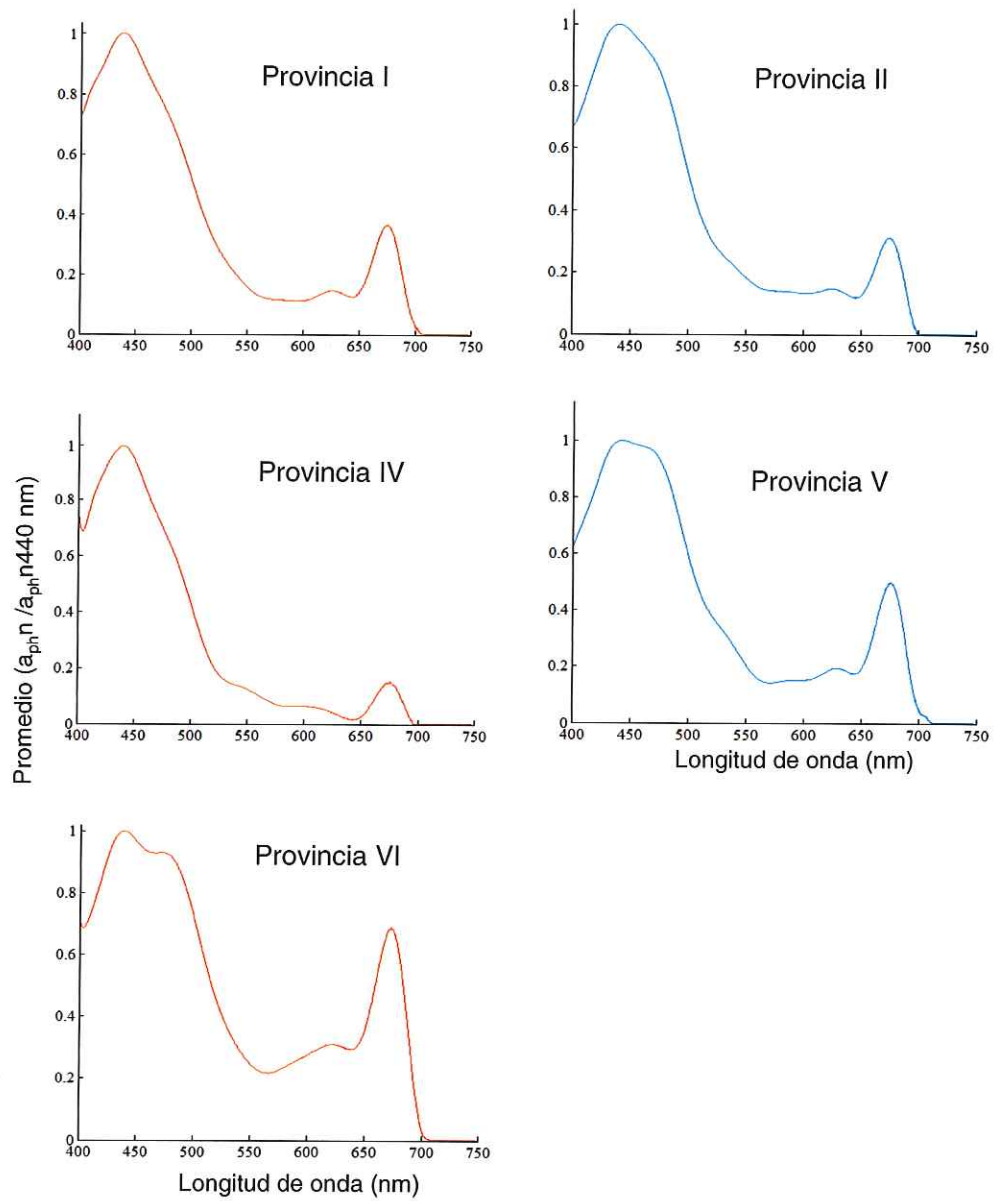


Figura 18. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2002.

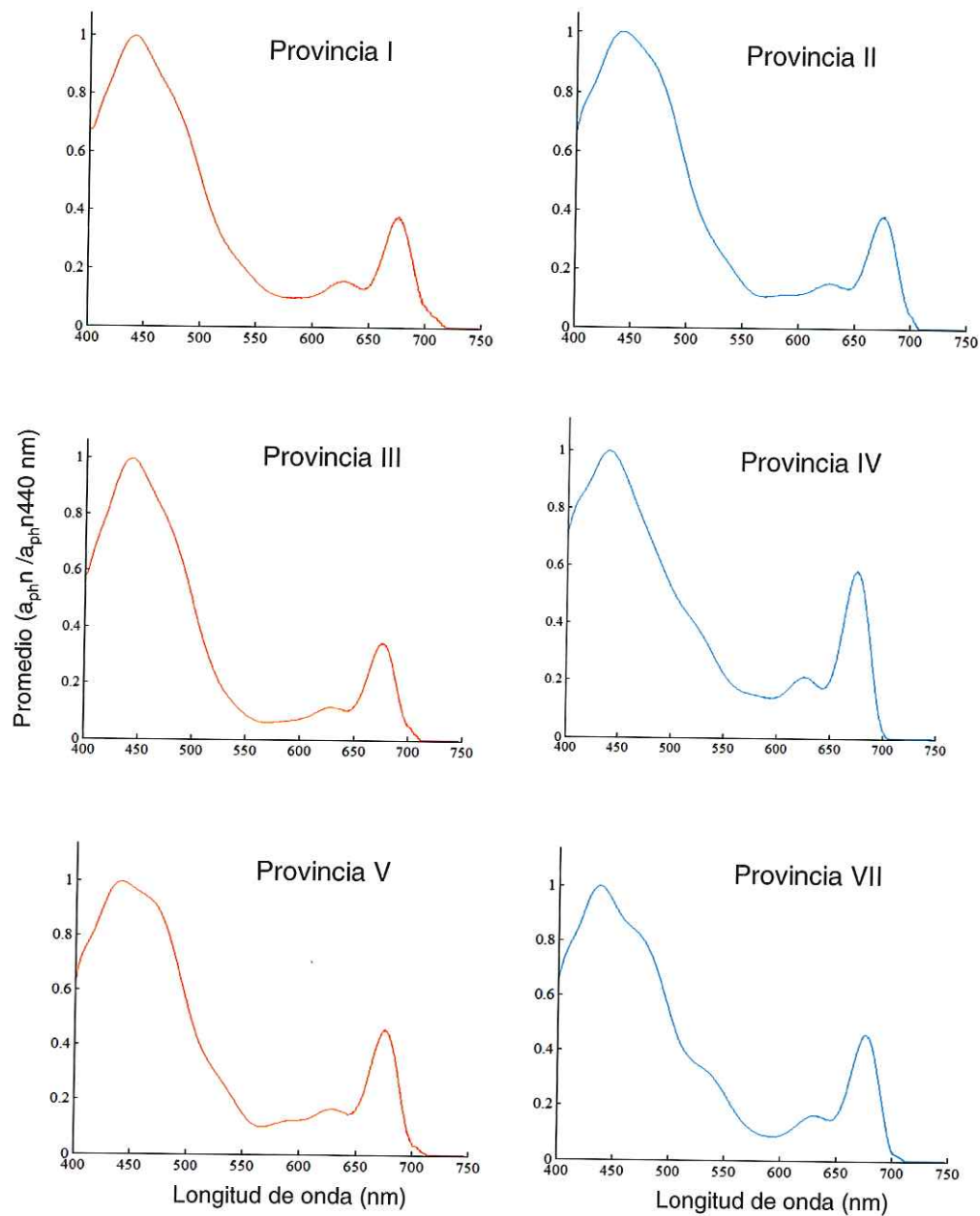


Figura 19. Formas espectrales promedio para cada una de las provincias durante verano 2003.

VII.5.-Caracterización de las provincias biogeográficas a partir de los grupos taxonómicos del fitoplancton con base a la forma espectral de absorción.

Como se mencionó anteriormente, los grupos del fitoplancton pueden ser caracterizados basándose en la presencia de algún pigmento. Con base a los resultados obtenidos, observamos que la provincia I mostró una forma espectral similar entre si, durante 15 estaciones del 2001, 50 en 2002 y 5 en 2003 (Fig. 20a). En general las estaciones de la provincia I se encuentran distribuidas de Ensenada hasta el sur de Punta Abreojos (Fig. 21), en el 2001 la forma espectral de la provincia I ocupó un área en la zona de estudio de ~18%, en 2002 de ~62%, mientras que en 2003 ~6%. Asimismo, se caracterizó por tener una mayor contribución del grupo taxonómico diatomeas con un 88.6%, distribuido de la siguiente manera: *Nitzschia* 85% y *Thalassionema* 1.2%; mientras que los dinoflagelados presentaron solamente un 11.3% dominando el género *Gymnodinium* 10% y *Gyrodinium* con el 0.8% (Fig. 22a). Por otro lado la provincia II presentó la misma forma espectral en 3 estaciones del 2001-2002 y 2 en 2003 (Fig. 20b). Las estaciones de la provincia II están ubicadas en tres zonas: una entre Punta Baja y Bahía Vizcaíno, una segunda al norte de San Quintín y la tercera frente a Ensenada y al SW de Punta Abreojos (Fig. 21), en el 2001 y 2002 la forma espectral de la provincia II ocupó un área en la zona de estudio de ~4%, mientras que en 2003 fue ~2.5%. Asimismo observamos que la provincia II se caracterizó por tener una contribución de 49.3%, de diatomeas del cual el genero *Nitzschia* apporto 45% y *Rhizosolenia* 1.6%,

mientras que dinoflagelados aportaron un 50.6%, dominando el género *Gymnodinium* con 46% y *Gyrodinium* con el 1.6% (Fig. 22b).

De igual manera la provincia III, presentó una misma forma espectral durante 1 estación del 2001 y 28 en 2003 (Fig.20c). Las estaciones de la provincia III se encuentran ubicada en dos zonas: una desde San Quintín hasta Bahía Asunción y una segunda al sur de Punta Abreojos (Fig. 21). Asimismo observamos que la forma espectral ocupó en 2001 una pequeña área en la zona de estudio de ~1.2% mientras que en 2003 fue ~35%. Por otra parte detectamos mayor contribución del grupo taxonómico diatomeas aportando 84% distribuido de la siguiente manera: *Nitzschia* 82.8% y *Coscinodiscus* con un 0.88%; mientras que los dinoflagelados aportaron 16% del cual *Gymnodinium* contribuyó con 12.4% y *Gyrodinium* 2.8% (Fig. 22c).

La forma espectral de la provincia IV fue similar durante 1 estación del 2001 al 2003 (Fig. 20d). Las estaciones de esta provincia se encuentran distribuidas desde Ensenada hasta Bahía Asunción (Fig. 21). Durante los tres veranos observamos que la forma espectral ocupó un área de ~1.2% de la zona de estudio. Sin embargo se caracterizó por tener un 95% del grupo taxonómico con mayor contribución de diatomeas aportando 94.4% *Nitzschia*; mientras los dinoflagelados aportaron solamente el 5% donde *Ceratium* aportó 2.9% y *Gymnodinium* 1.7% (Fig. 22d). Por otra parte la provincia V mostró igual forma espectral en 4 estaciones del 2002 y 1 en 2003 (Fig. 20e). Las estaciones de la provincia V se encuentran distribuidas al sur de Punta Baja (Fig. 21). Asimismo se caracterizó por presentar

porcentajes similares de los grupos taxonómicos, mostrando para diatomeas 55% donde *Nitzschia* aportó 52.8% y *Coscinodiscus* 1.2%; mientras que los dinoflagelados contribuyeron con un 45% del cual *Gymnodinium* aportó 42.9% y *Gyrodinium* 1.6% (Fig. 22e).

Por otra parte la forma espectral de la provincia VI solamente se presentó en 1 estación del 2002 (Fig. 20f). La estación de esta provincia se encuentra localizada entre Punta Baja y Bahía Vizcaíno (Fig. 21), el área que ocupó la provincia VI en la zona de estudio fue ~1.2%. Consideramos que la forma espectral de esta provincia se debió principalmente a una mayor contribución del grupo taxonómico dinoflagelados con un 71.4%, donde *Gymnodinium* aportó 69%, mientras que las diatomeas aportaron un 28.5% donde *Rhizosolenia* contribuyó con un 19% (Fig. 22f). De igual manera la forma espectral de la provincia VII se mostró solamente en 1 estación del 2003 (Fig. 20g). La estación de esta provincia se encuentra localizada al sur de Bahía Asunción (Fig. 21). Asimismo observamos que ocupó una pequeña área de la zona de estudio de ~1.2%. Sin embargo se caracterizó por tener 89% de contribución del grupo taxonómico dinoflagelados con el género *Gymnodinium*, mientras que las diatomeas solamente aportaron el 11% distribuido de la siguiente manera: *Coscinodiscus* 7.8% y *Navicula* 3.1% (Fig. 22g).

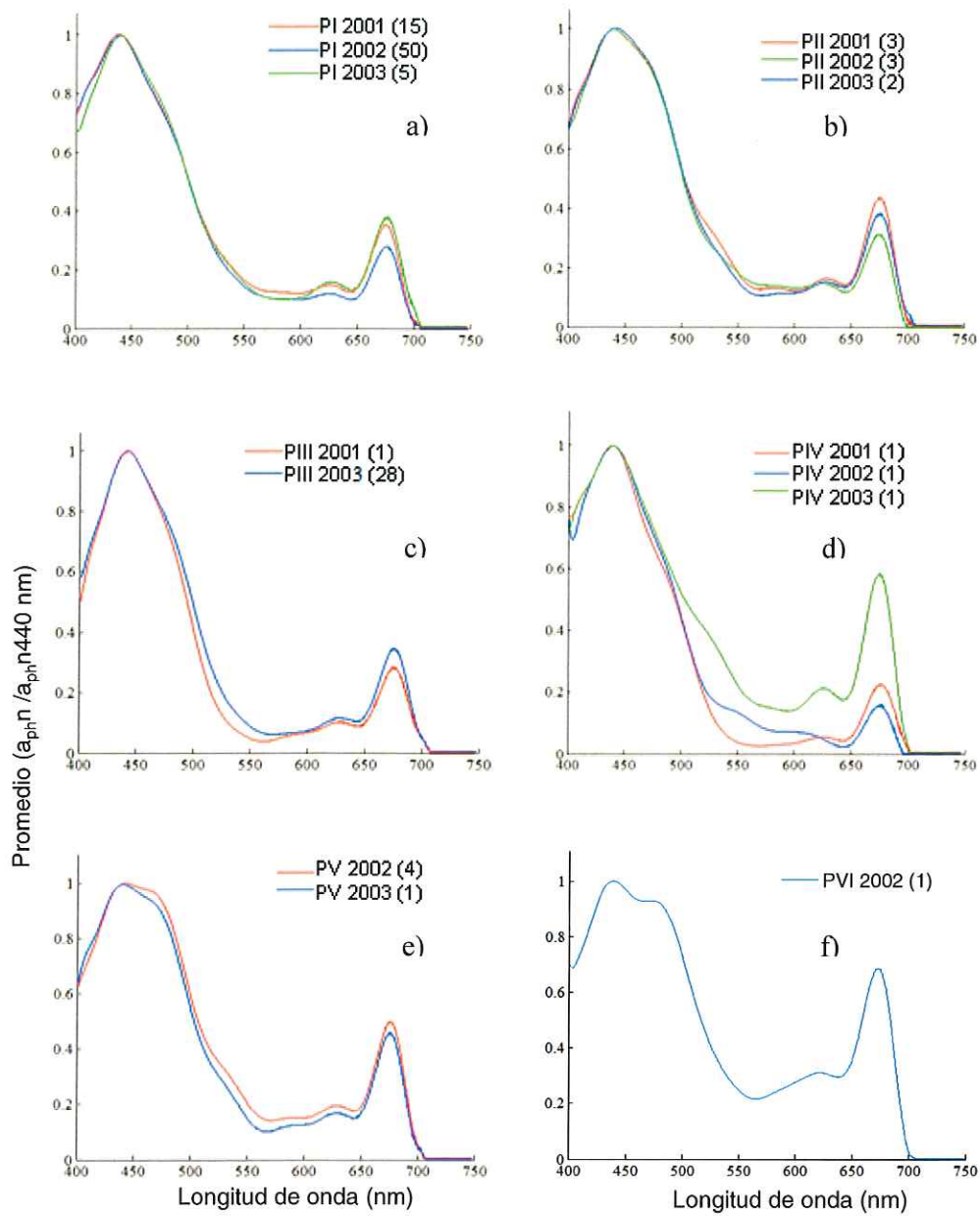


Figura 20. Curvas de absorción con igual forma espectral durante los tres años de muestreo. a) Provincia I, b) Provincia II, c) Provincia III, d) Provincia IV, e) Provincia V y f) Provincia VI. El número entre paréntesis indica el total de estaciones de cada provincia.

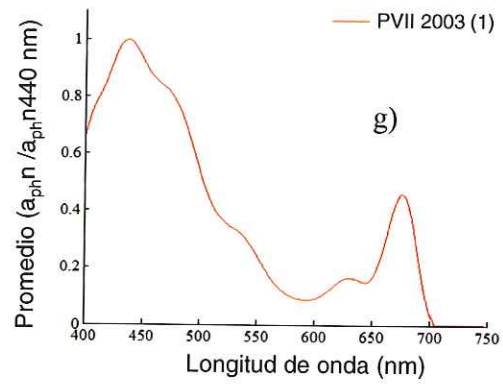


Figura 20. (Continuación). Curvas de absorción con igual forma espectral durante los tres años de muestreo. g) Provincia VII. El número entre paréntesis indica el total de estaciones de cada provincia.

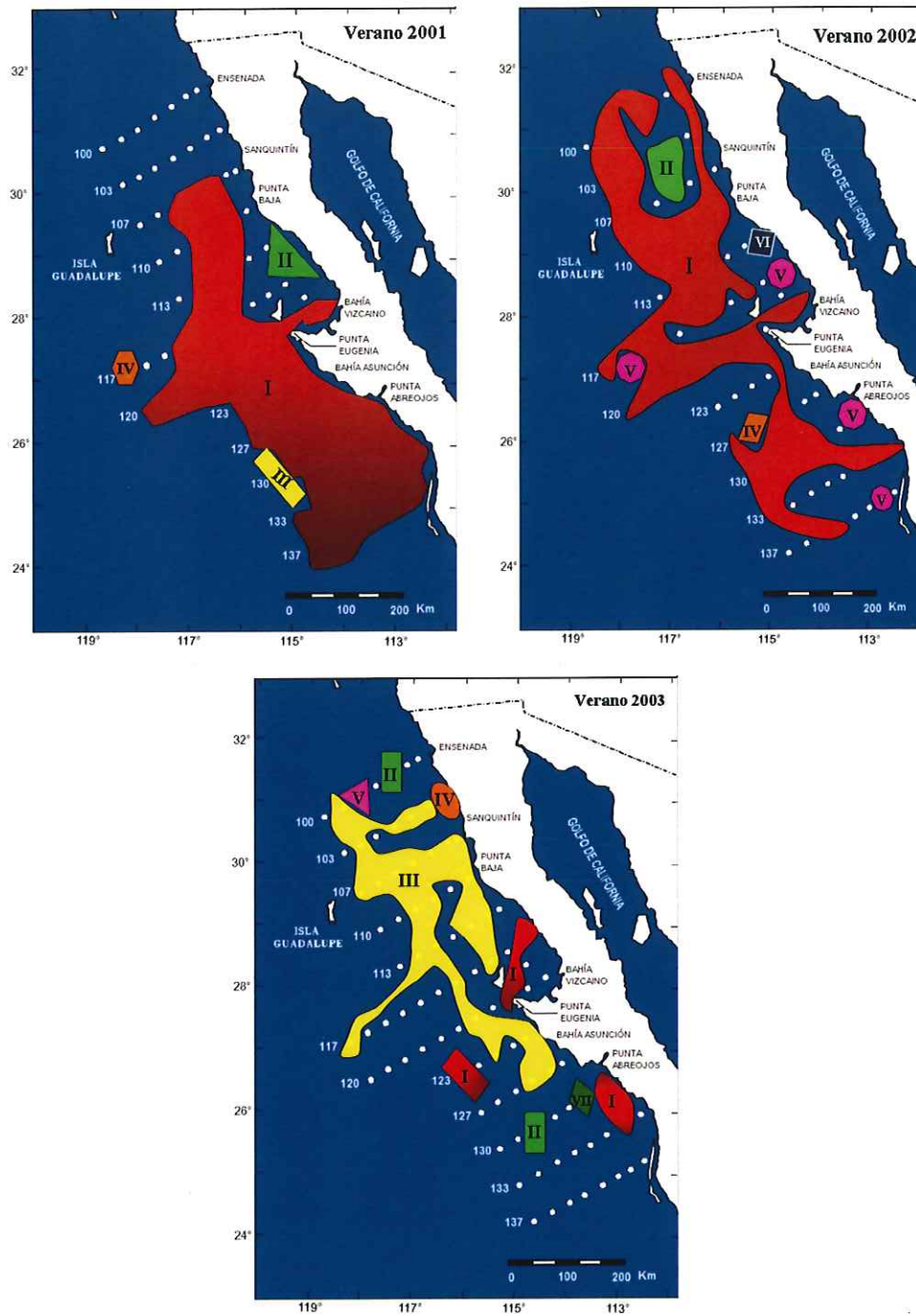


Figura 21. Localización de las provincias biogeográficas frente a Baja California durante los veranos 2001-2003, de acuerdo a la forma espectral de absorción de luz por fitoplancton. Los números romanos indican las provincias.

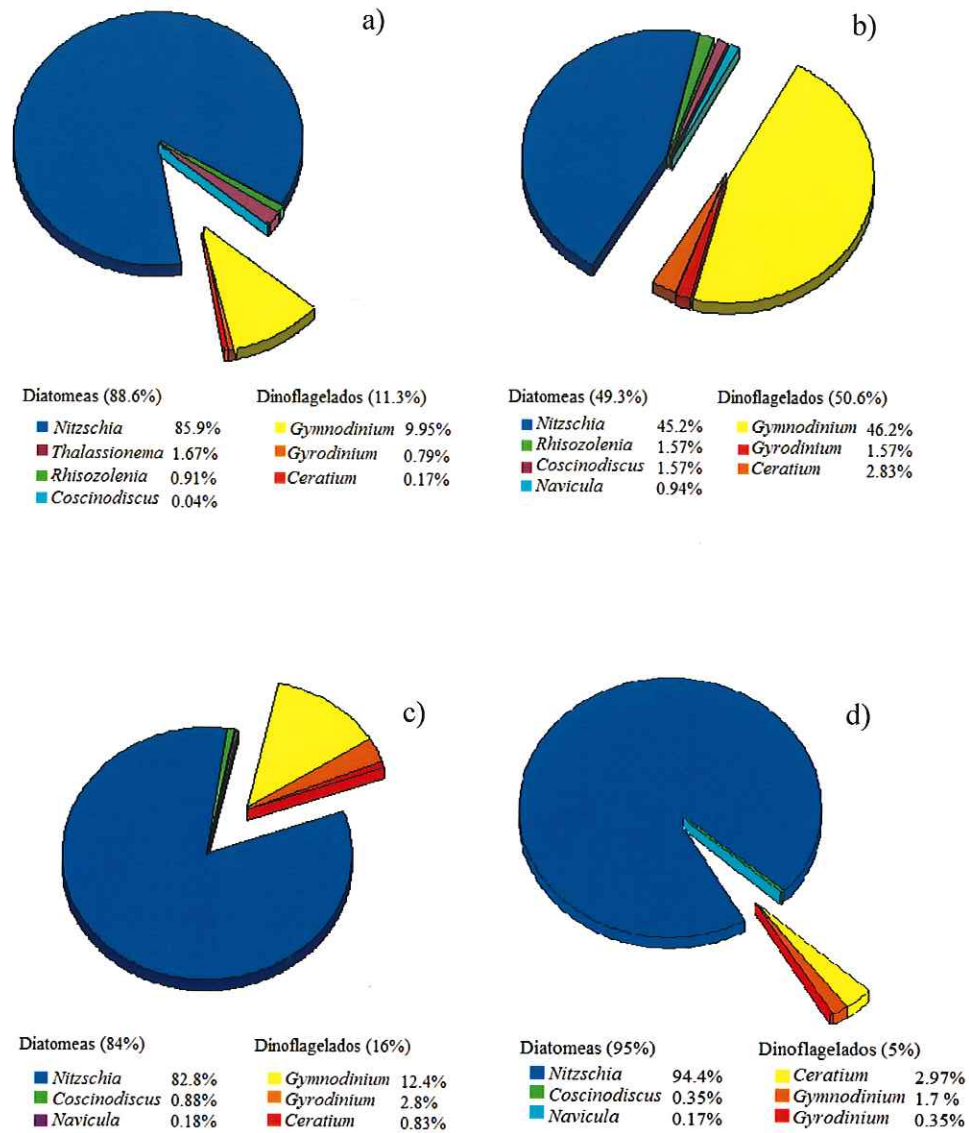


Figura 22. Porcentaje de contribución de los grupos taxonómicos del fitoplancton a nivel de género. Durante los veranos 2001-2003. a) Provincia I, b) Provincia II, c) Provincia III y d) Provincia IV.

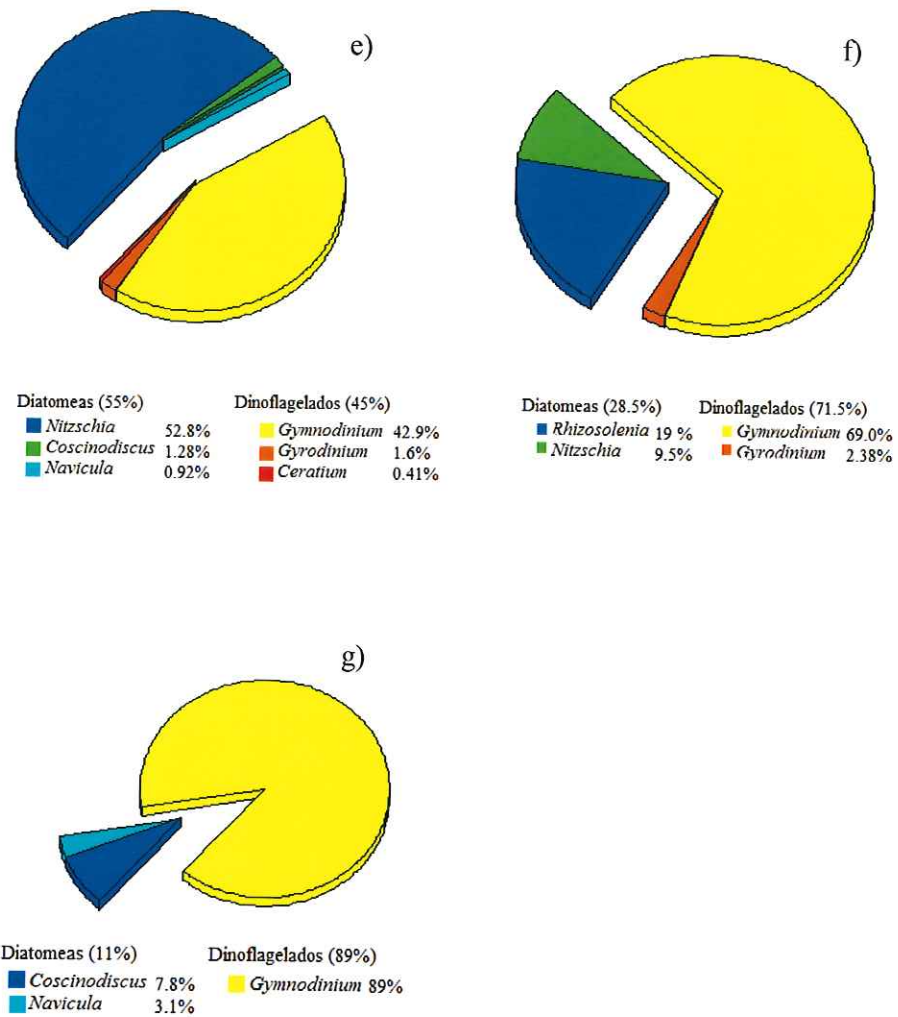


Figura 22. (Continuación). Porcentaje de contribución de los grupos taxonómicos del fitoplancton a nivel de género. Durante los veranos 2001-2003. e) Provincia V, f) Provincia VI, g) Provincia VII.

VII.6.-Tamaño promedio de la comunidad de fitoplancton a partir de la biomasa de nano-micro diatomeas

Al analizar las células del nano (5-20 μm) y micro (>20 μm) diatomeas obtenidas de la biomasa ($\mu\text{g C L}^{-1}$) durante las tres épocas del año, observamos en la provincia I que las nano-diatomeas dominaron con 97.1%, mientras que las micro-diatomeas presentaron 2.8% (Tabla IVa). Durante la provincia II detectamos que las nano y micro diatomeas mostraron porcentajes similares con un 47.2% y 52.7%, respectivamente (Tabla IVb). Sin embargo la provincia III mostró que las micro diatomeas fueron mas abundantes con 98%, mientras que las nano presentaron 1.9% (Tabla IVc). En la provincia IV la mayor abundancia se observó por parte de las nano-diatomeas con un 78.1%, mientras que las micro presentaron solamente 21.8% (Tabla IVd). Por otra parte la provincia V mostró abundancias similares de nano-micro diatomeas con 53.2% y 46.7%, respectivamente (Tabla IVe). Mientras que la provincia VI presentó solamente células del nano con un 100% (Tabla IVf). Sin embargo observamos que la provincia VII mostró un menor porcentaje en células de nano diatomeas (Tabla IVg)

Tabla IV. Porcentaje de la biomasa de nano-micro diatomeas ($\mu\text{g C L}^{-1}$) durante los tres años de muestreo.

Biomasa Diatomeas ($\mu\text{g C L}^{-1}$)										
P	Epoca	Est	Nano	Micro	P	Epoca	Est	Nano	Micro	
I	2001	17	0.527	0.707			57	0	0	
		18	0.524	0			71	0	0	
		19	1.069	0			72	0	0	
		24	0.185	0.602			73	0.041	0	
		26	0.592	0			83	0	0	
		38	0	0			86	0	0	
		41	0	0			87	0	0	
		57	0.039	0.141			1	122.82	1.096	
		58	1.850	0			14	92.387	1.648	
		62	1.178	0.737			41	0.030	0	
		63	688.37	24.016			47	0	0.770	
		75	475.69	0			48	0.010	0	
		84	0.091	0			63	10.026	4.545	
		90	0	0.770			76	0.039	0	
		I	2002	47			0.261	0	77	0
3	0.091			0	78	0.010	0			
4	0.439			1.300	68	0.083	0.632			
5	1.237			1.546	69	0	0			
6	0.445			0	62	0.010	0			
8	0			0	65	0.059	0			
10	1.171			0	66	0	0			
16	0			0.031	I	2003	58	0	0	
20	1.300			0.371	45	0	0			
21	0			0	49	0	0			
22	0.010			0	75	0.018	0			
23	0			0	77	0.029	1.971			
24	0			0	(a)			Total	1401	41.7
25	0			0				%	97.1	2.8
26	0.010			0	II	2001	28	0	0	
27	0.059	0	42	0.074			0			
31	0.017	0	45	0.387			0			
32	0.072	0.849	2002	11		4.635	2.834			
33	0.045	0		12		0.010	0			
35	0	0		18	0.010	1.386				
37	0.020	0	II	2003	3	0	0			
38	0.006	0			71	0.434	1.971			
40	0.020	0			(b)			Total	5.54	6.19
43	0.081	0	%	47.2				52.7		
50	0	0								
51	0	0.77								
52	0.172	0								
53	0	0								
54	0.010	0								
55	0	0								

Tabla IV. (Continuación). Porcentaje de la biomasa de nano-micro diatomeas ($\mu\text{g C L}^{-1}$) durante los tres años de muestreo.

Biomasa Diatomeas ($\mu\text{g C L}^{-1}$)										
P	Epoca	Est	Nano	Micro	P	Epoca	Est	Nano	Micro	
III	2001	83	0.070	0	V	2002	36	0	0	
							45	0	0	
III	2003	6	0	0			75	3.571	0.346	
		9	0	241.75			90	0	0	
		11	0	0	V	2003	5	1.115	3.767	
		12	0.254	0.770			Total	4.68	4.11	
		13	0.847	0.770			(e)	%	53.2	46.7
		15	4.812	0.180						
		16	0	0	VI	2002	28	0.325	0	
		17	0	0			Total	0.32	0	
		18	0	0			(f)	%	100	
		19	0	0						
		20	0	0	VII	2003	74	0.204	31.81	
		21	0	0			Total	0.2	31.81	
		24	0.010	0.957			(g)	%	0.63	99.3
		25	0	0						
		27	0	0.082						
		29	0	0						
		30	0	0						
		32	0.043	0						
		33	0	0						
		35	0.168	40.520						
		41	0	0.770						
		43	0.010	0						
		51	0.179	20.928						
		60	0	0						
		62	0	0						
		64	0	0						
		65	0	0						
		81	0.00497	7.855						
		Total	0.36	70.07						
		(c)	%	1.9	98					
IV	2001	35	0	0						
IV	2002	67	0	0						
IV	2003	14	0.3634	0.1019						
		Total	0.36	0.1						
		(d)	%	78.1	21.8					

VIII.- DISCUSIONES

Durante los tres años de muestreo observamos que las altas abundancias de fitoplancton se localizaron cerca de la costa en dos zonas bien definidas: una entre Punta Baja y Bahía Vizcaíno y la segunda al sur de Punta Eugenia. De igual manera, durante el 2001 la abundancia de diatomeas y dinoflagelados fue mayor hacia las estaciones costeras ubicadas entre Bahía Asunción y Punta Abrejos con un claro dominio de células del tamaño nano-diatomeas. El observar las mayores abundancias de células cerca de la costa, nos sugiere la presencia de eventos de surgencia que a través de procesos de advección transportan agua rica en nutrientes desde capas mas profundas del océano hacia la superficie produciendo florecimientos de fitoplancton; tal y como lo reportan Goericke *et al.* (2004) para esta zona de estudio. Mientras que en las estaciones oceánicas se observaron bajas abundancias, esto posiblemente se deba a que los organismos se encontraban en un ambiente más oligotrófico, donde los nutrientes son bajos y la temperatura es mayor. Por otra parte, los conteos de fitoplancton mostraron géneros dominantes dentro del grupo de diatomeas: *Nitzschia* spp., *Rhizosolenia* spp., y *Thalassionema* spp, y por los dinoflagelados fueron *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* spp., y *Ceratium* spp; estos resultados fueron similares a enero del 2001 reportados por Millán-Núñez *et al.* (2004), lo cual nos sugiere que la composición taxonómica de la comunidad de fitoplancton a nivel de género presentó un patrón consistente e independiente a la época de estudio.

Por otro lado, se observó que en el verano del 2002 la abundancia de células de fitoplancton disminuyeron hasta en un 50% que julio del 2001, esto posiblemente se debió a la presencia de agua superficial con mayor temperatura y salinidad para esta época de muestreo (Durazo *et al.*, 2005), lo que ocasionó cambios en la estructura del ecosistema pelágico. En cuanto a la diversidad de los géneros de diatomeas y dinoflagelados fueron similares a los reportados en verano del 2001. Sin embargo a pesar de mostrar células de mayor tamaño (micro-diatomeas) su biomasa fue menor, debido a su escasa abundancia cuantitativa; tal y como lo muestra la figura 6.

En verano del 2003, se detectó una disminución de ~40% en la abundancia de células del fitoplancton total con respecto a verano del 2001 y ~21% mayor que en 2002. En este año, observamos que las mayores abundancias del fitoplancton total se detectaron hacia las estaciones oceánicas especialmente el grupo de las diatomeas (estación 9, una de las mas alejadas a la costa) con aproximadamente 2.37×10^5 células L^{-1} . No es frecuente observar este comportamiento en aguas oceánicas, ya que generalmente los florecimientos de fitoplancton se asocian a surgencias costeras. Sin embargo consideramos que estos resultados podrían estar relacionados con la presencia de meandros, reportados para esta época de muestreo por Goericke *et al.* (2004) frente a Baja California; los meandros se definen como curvaturas muy pronunciadas en la trayectoria de una corriente marina, lo que pudo ocasionar un posible desplazamiento de los organismos del fitoplancton hacia el océano abierto. Por otra parte, la mayor

abundancia de dinoflagelados se presentó al sur del área de estudio, entre Bahía Vizcaíno y Punta Eugenia cercano a la costa; esto podría deberse a una post-surgencia ó a la confluencia de dos masas de agua: la del norte denominada agua subártica del Pacífico (fría y poco salada), y la del sur nombrada agua del Pacífico Ecuatorial (cálida y salada), lo que implica que en el ecotono se desarrolle una estructura frontal (Jerónimo y Gómez-Valdés, 2006) la cual podría originar condiciones óptimas para los organismos del fitoplancton. En cuanto a la diversidad de los géneros para diatomeas durante el 2003, se observaron que los más dominantes fueron *Coscinodiscus* spp., *Nitzschia* spp., y *Navicula* spp., y en dinoflagelados *Gymnodinium* spp, *Ceratium* spp., y *Gyrodinium* spp. El encontrar un patrón similar de los grupos de fitoplancton a nivel de género durante los tres años de muestreo, se confirma la idea de una composición taxonómica relativamente consistente a través del tiempo. Es importante hacer notar que durante los veranos 2002-2003, autores como Venrick *et al.* (2003) y Schwing *et al.* (2002) reportaron que el SCC mostró la influencia de un evento "El Niño". Este episodio climático fue descrito por McPhaden (2004) para el Pacífico Ecuatorial como un moderado El Niño, con anomalías en la temperatura superficial del mar a partir de septiembre a diciembre del 2002. Estas anomalías aunadas con el flujo de la corriente superficial con dirección al este se desplazaron ha principios de julio y fueron detectadas en el Pacífico Ecuatorial por McPhaden (2004). La influencia de este evento fue detectado por la intrusión de agua del subártico (SAW) la cual se extendió hacia la zona frente de Baja California durante los meses posteriores a

verano del 2002. Hickey (1979) y Lynn (1986), mencionan que el (SAW) al entrar al SCC forma un núcleo de baja salinidad y temperatura, la cual se encuentra entre la superficie y 100 m de profundidad frente a California. Sin embargo frente a Baja California esta incrementa su temperatura y salinidad debido al calentamiento y evaporación latitudinal a lo largo de su trayectoria hacia el ecuador (Durazo y Baumgartner, 2002). Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, estas condiciones climatológicas posiblemente afectaron los años del 2002 y 2003.

El llegar a conocer que factores causan la variabilidad en la forma de las curvas espectrales con relación a la estructura de la comunidad de fitoplancton fue uno de nuestros principales objetivos. Autores como Roesler *et al.* (1989), han mencionado que los espectros de absorción presentan dos tipos de variaciones como son magnitud y forma, argumentando que la forma es consecuencia de la composición de pigmentos así como de la contribución de cada uno. Por otra parte autores como Morel y Bricaud, (1981), Satheyendranath *et al.* (1987); Mitchell y Kiefer (1988); Sosik y Mitchell (1991), y Millán-Núñez *et al.* (2004), determinaron que el espectro del coeficiente de absorción no es constante en magnitud y forma, argumentando que las principales causas son el tamaño de la partícula y su composición pigmentaria. La figura 16, muestra las provincias biogeográficas de las diferentes formas espectrales de absorción normalizada en las que se agrupan entre sí, independientemente de la concentración de clorofila y el año de muestreo. Esto posiblemente se debe a que la composición taxonómica cualitativa del fitoplancton en algunos casos es persistente a

través de los años para la zona frente a Baja California. Esto nos permitió observar un total de 7 distintas formas espectrales denominadas provincias (Fig. 20); ya que cada provincia se distingue por tener una estructura y tamaño de la comunidad de fitoplancton diferente a las demás.

La forma espectral de las provincias I, III y IV mostraron una semejanza entre sí, principalmente en el hombro de la curva espectral entre los 440 y 550 nm correspondiente a la zona azul-verde; es en este intervalo en donde se acentúa la similitud de las curvas espectrales. En estas tres provincias podríamos deducir que su forma espectral nos indica que la estructura de la comunidad estuvo dominada por células del nano-micro diatomeas; tal y como se observa en las figuras 22a, 22c y 22d en las que estas tres provincias superan el 85% de diatomeas en la estructura de su comunidad. A diferencia de la provincia II que presenta una forma espectral más robusta, que la hace tener como característica de una población dividida entre 49% en diatomeas y 51% en dinoflagelados (Fig. 22b).

La provincia V y VI presentaron formas espectrales ligeramente diferentes. Sin embargo se observa una tendencia entre los 430 y 470 nm, a mostrar una misma forma espectral; esto posiblemente se relaciona a que los dinoflagelados comienza a dispararse como grupo dominante en un 45% y 72% respectivamente; por lo que consideramos que las causas que pudieron influir a esta forma espectral fueron los dinoflagelados, dominando el género *Gymnodinium* spp y células grandes del nano-micro fitoplancton. Sin embargo se observó que la provincia VII mostró alta contribución de dinoflagelados y a pesar de esto, su forma espectral fue diferente, esto

podría deberse al mayor porcentaje de células de micro diatomeas ($>20\mu\text{m}$), así como al resto de la estructura de la comunidad que la componen (Fig. 22g). Es importante hacer hincapié de que las curvas espectrales son el reflejo de toda una comunidad del fitoplancton capturado por filtros tipo GF/F con porosidad de $\sim 0.7\ \mu\text{m}$, por lo que esto nos indicaría la presencia de organismos del picoplancton que de cierta manera reflejan o colaboran en su forma espectral. A diferencia de las células del nano-micro fitoplancton ($>5\ \mu\text{m}$), que observamos con el microscopio invertido.

De acuerdo a las condiciones oceanográficas reportadas para los años de muestreo, autores como Schwing *et al.* (2002) reportaron la presencia de remolinos ciclónicos a lo largo de la zona de estudio. Estos remolinos ciclónicos se caracterizan por producir una depresión en la superficie del océano y un flujo de agua hacia la misma, como consecuencia una elevación de la termoclina y un adelgazamiento en la capa superficial (Duxbury *et al.*, 2000), son estas las razones por las que se les asocia regularmente con bajas temperaturas y altas concentraciones de nutrientes y por consecuencia una mayor abundancia de fitoplancton. Caso contrario en los remolinos anticiclónicos, en donde el flujo es hacia el interior de la columna de agua y son asociados a temperaturas cálidas y baja abundancia de fitoplancton (Van Aken *et al.*, 2003).

En este estudio, utilizamos la imagen de satélite del 14 julio del 2001 para detectar evidencias a través de la clorofila (Fig. 23a), de que al sur de Punta Eugenia se formó un remolino ciclónico; denotándose una mejor

definición un día después (Fig. 23b). Es importante hacer mención que la concentración de clorofila *a* se utiliza regularmente como un índice de biomasa del fitoplancton (Hoepffner *et al.*, 1993) y tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, presentamos en la figura 24 la distribución espacial de la clorofila; esto es con la idea de mostrar la influencia positiva del remolino ciclónico el cual originó condiciones óptimas para los organismos del fitoplancton y por ende las altas concentraciones de clorofila principalmente en la zona de frontera hacia las estaciones costeras (líneas 127 y 130).

Durante el verano del 2002, autores como Soto-Mardones (2004) reporta para esta zona de estudio la formación de remolinos ciclónicos al sur de Punta Eugenia. En la imagen de satélite obtenida el 21 de julio del 2002 (Fig. 25a) se observó el remolino ciclónico reportado por Venrick *et al.* (2003) siendo constante durante tres días posteriores (Figs. 25b, 25c, 25d), consideramos que la presencia de este remolino, pudo haber sido una de la causas de encontrar altas concentraciones clorofila y fitoplancton al sur de Bahía Asunción (Fig. 26a). Mientras que los valores altos observados hacia el norte de Punta Baja se debieron a eventos de surgencia ocurridos en este año, tal y como lo reportan Venrick *et al.* (2003). Las imágenes de satélite correspondientes a verano del 2003 no pudieron ser utilizadas, debido a que mostraron demasiada interferencia causada por las nubes. Sin embargo la distribución espacial de clorofila mostró una disminución de hasta $\sim 5 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 26b) en relación a los veranos anteriores, esto posiblemente se debió a

la influencia de agua de origen subártica reportada por Goericke *et al.* (2004) para este año de muestreo.

Recapitulando lo anteriormente expuesto, consideramos que verano del 2001 fue el que mostró la mayor abundancia promedio de células de fitoplancton principalmente de diatomeas, así como de la biomasa celular (Fig.6). Los conteos de células del verano 2002, mostraron un decaimiento tanto de diatomeas como de dinoflagelados, con un promedio de $\sim 3.5 \times 10^5$ células L^{-1} en relación a verano del 2001. Nosotros consideramos que estos cambios en la abundancia de células, pudo haber sido la combinación de los eventos climatológicos que se presentaron en los años de muestreo, como fueron: la influencia de El Niño débil y por la presencia de agua pobre en nutrientes de origen subártico; lo cual ocasionó cambios en la estructura de la comunidad de fitoplancton.

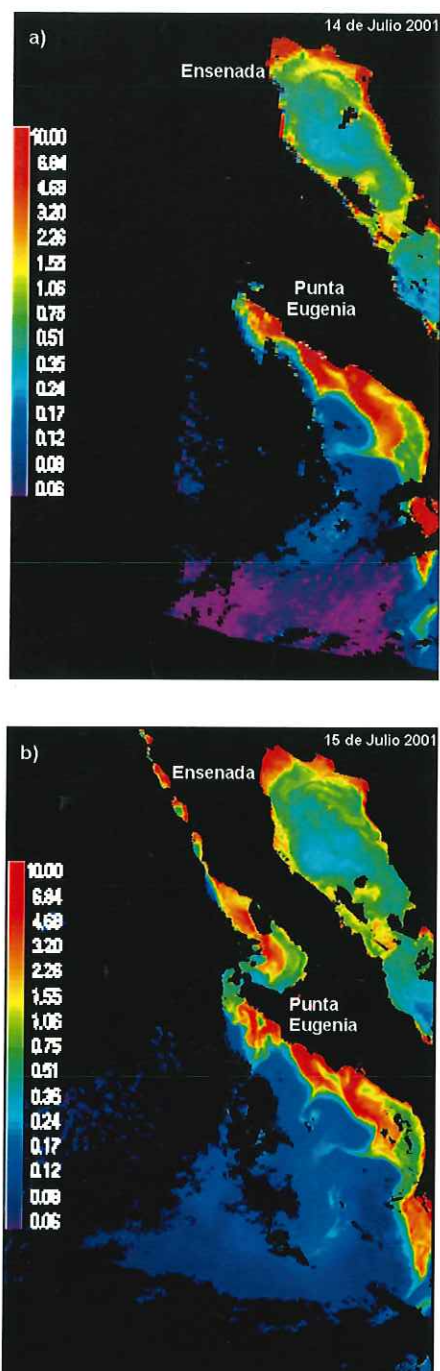


Figura 23. Imágenes de la concentración de clorofila superficial derivada del satélite a) 14 de julio y b) 15 de julio del 2001. La barra de colores en la parte izquierda de cada imagen indica el intervalo de concentración de la clorofila (mg m^{-3}).

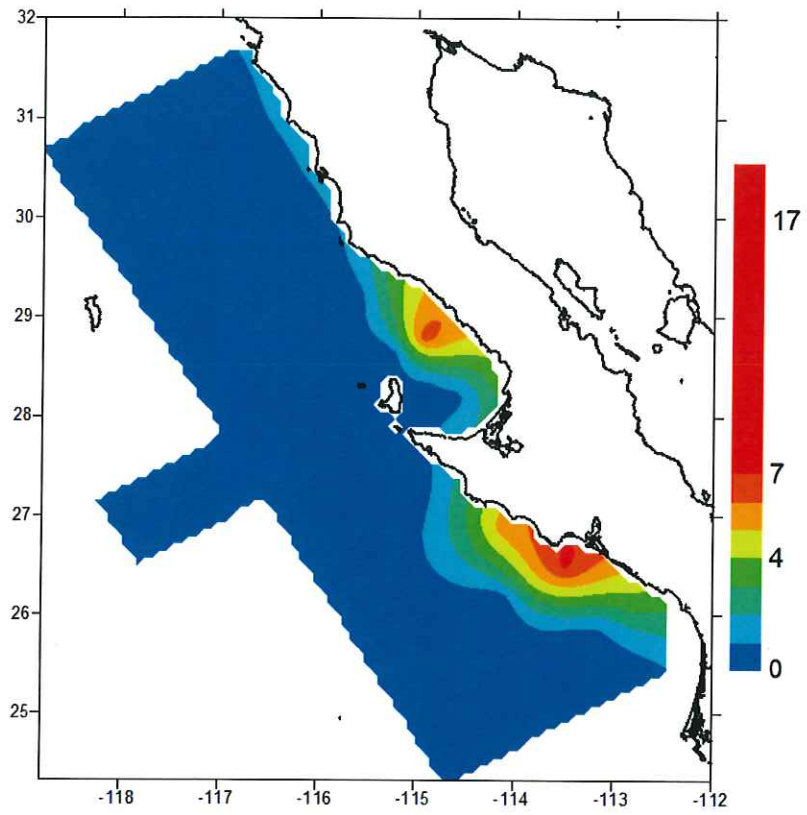


Figura. 24. Distribución de la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) a 10 m de profundidad durante verano del 2001.

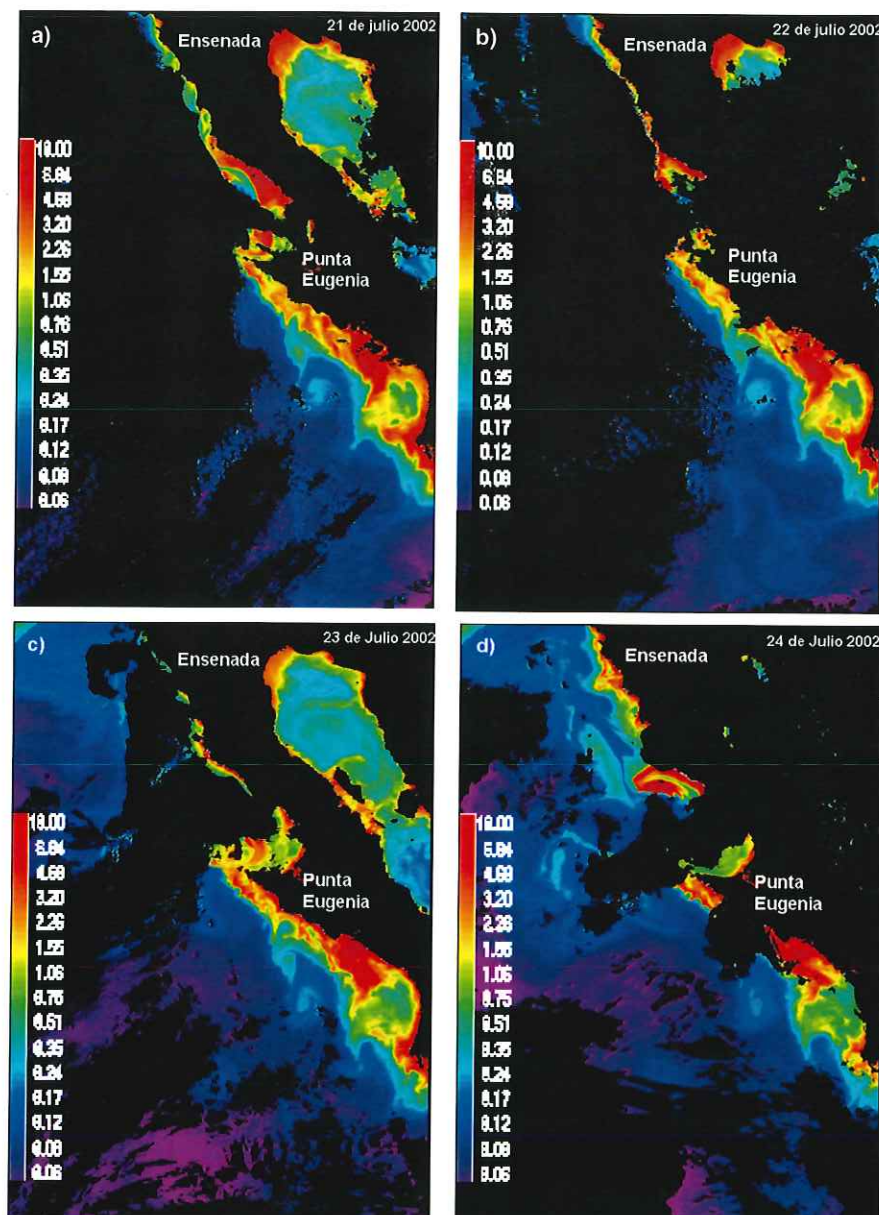


Figura 25. Imágenes de la concentración de clorofila superficial derivada del satélite a) 21 de julio, b) 22 de julio, c) 23 de julio y d) 24 de julio del 2002. La barra de colores en la parte izquierda de cada imagen indica el intervalo de concentración de la clorofila (mg m^{-3}).

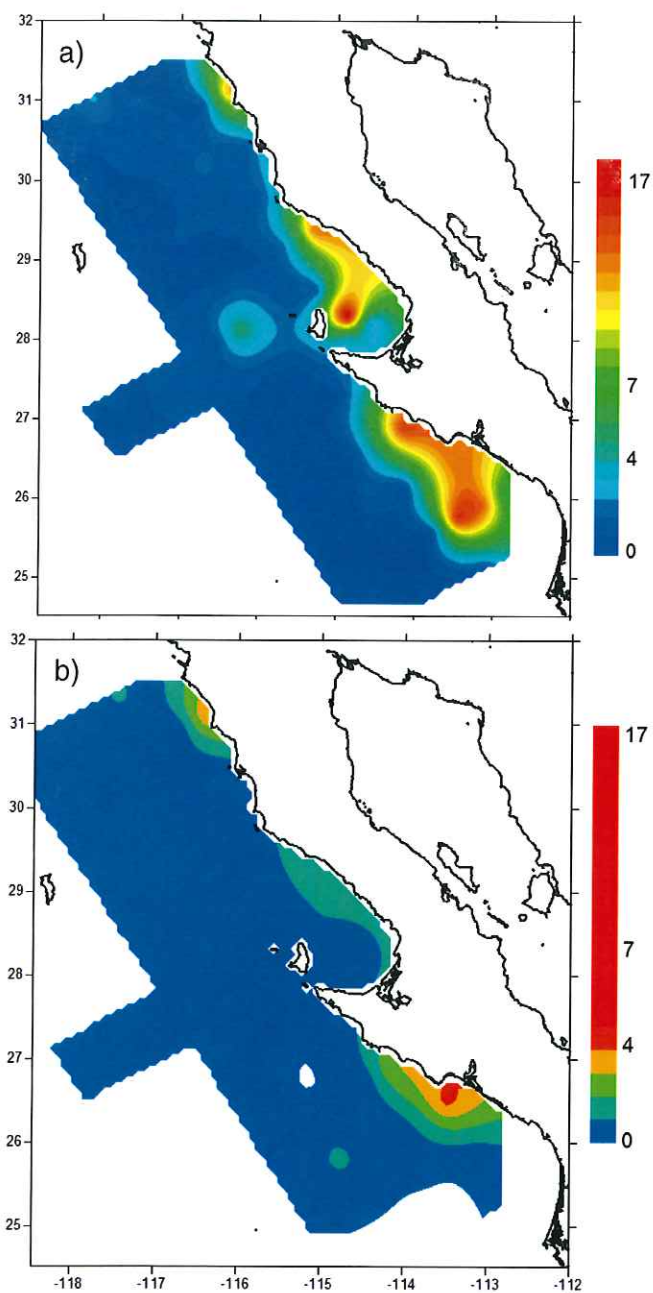


Figura. 26. Distribución de la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) a 10 m de profundidad. a) verano 2002 y b) verano 2003

IX.- CONCLUSIONES

Se detectaron siete provincias biogeográficas durante los tres años de muestreo, dónde cada provincia mostró una forma espectral característica, siendo ésta el reflejo de la estructura de la comunidad de fitoplancton que la compone. La forma espectral de cada provincia fue independiente de la concentración de clorofila.

En los casos cuando el hombro de la curva espectral entre los 440 y 550 nm mostró una pendiente menor, determinamos que esta relación se debió posiblemente a la composición taxonómica del nano-micro diatomeas. A diferencia de los dinoflagelados que mostraron una mayor pendiente.

En este estudio, determinamos que las imágenes de satélite son un complemento muy importante para un mejor entendimiento de los florecimientos del fitoplancton a partir de procesos físicos-oceanográficos.

Con la serie de tiempo de la composición taxonómica del fitoplancton en los tres años de muestreo, pudimos inferir que el ecosistema pelágico frente a Baja California fue afectado negativamente por la influencia del fenómeno denominado El Niño débil reportado para los años 2002-2003.

X.-LITERATURA CITADA

- Auad, G., Páres-Sierra, A., Vallis, K.G., 1991. Circulation and energetic of a model of the California Current System. *Journal of Physical Oceanography* **21**: 1334-1552.
- Barocio-León O.A., Millán-Núñez, R., Santamaría-Del-Ángel, E., González-Silvera, A., Trees, C.C. 2006. Spatial Variability of Phytoplankton Absorption Coefficients and Pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography*; **66**: 873-885.
- Bateen, M.K., R.L. Haney, T.A. Tielking y P.G. Renaud. 1989. A numerical study of the wind forcing of eddies and jets in the California Current System. *Journal of Marine Research.*, **47**:493-523.
- Bouman, H.A., Platt, T., Kraay, G.W., Satthyendranath, S. y Irwin, B.D. 2000. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic .I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **200**:3-18.
- Cleveland, J. S. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll a concentration. *Journal Geophysical. Res.* **100**: 13333-13344.
- Duxbury, A.C., A.B. Duxbury y K.A. Sverdrup. 2000. *An Introduction to the World's Oceans*. 6a. Edición. McGraw-Hill. 528 pp.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progr. Oceanogr.*, **54**, 7-31.
- Durazo, R., G. Gaxiola-Castro, B. Lavaniegos, R. Castro-Valdez, J. Gómez-Valdez y A. Mascarenhas. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja California coast, 2002-2203: A weak El Niño and Subarctic water enhancement. *Ciencias Marinas.*, **31(3)**:537-552
- Elder, L., 1979. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. *Baltic Marine Biology.*, **5**: 1-38.
- Espinosa-Carreón, T.L., P.Ted Strub, Emilio Beier, Francisco Ocampo-Torres, y Gilberto Gaxiola-Castro. 2004. Seasonal and interannual variability of satellite derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. *J. Geophy. Res.* **109(C3)**: C03039.
- Falkowski, P.G., R.T. Baber, y V. Smetacek. 1998. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary productivity. *Science.*, **281**: 200-206.

- Goericke, R., E. Venrick, A. Mantyla, S. Bograd, F.B. Schwing, A. Huyer, R.L. Smith, P.A. Wheeler, R. Hooff, W.T. Peterson, G. Gaxiola-Castro, J. Gómez-Valdez, B.E. Lavaniegos, K.D. Hyrenbach y W.J. Sydeman. 2004. The state of the California Current, 2003-2004: a rare "normal" year. *CalCOFI Reports.*, **45**: 27-59.
- Gómez-Valdés, J., y H. S. Vélez-Muñoz. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas.*, **8**:167-176.
- Hickey, B.M. 1979. The California Current System hypotheses and facts. *Progress. Oceanography.*, **81**:191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1993. Determination of the major groups of phytoplankton pigments from the absorption spectra of total particulate matter. *Journal of Geophysical. Research.*, **98**: 22789-22803.
- Holm-Hansen, O., C Lorenzen, R. Holmes y J. Strickland. 1965. Fluorometric determination of Chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, **30**: 3-15.
- Jeronimo G, y Gomez- Valdes J. 2006. Promedios de temperatura y salinidad sobre la superficie isopicnica en la capa superior del océano frente a Baja California. *Ciencias Marinas.*, **32**(4):663-671.
- Kahru, M., Mitchell, B.G., 2000. Influence of the 1997-98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current. *Geophysical Research Letters.*, **27**: 2937-2940.
- Kirk, J.T.O., y P.A. Tyler 1986. The spectral absorption and scattering properties of dissolved and particulate components in relation to the underwater light field of some tropical Australian fresh-waters. *Freshwater Biol.*, **16**:573:583.
- Kishino, M., Takahashi, M., Okami, N., Ichimura, S., 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea. *Bulletin of Marine Science.*, **37**:634-642.
- Levins, R., 1978. Evolution in changing environments. Princeton University Press Princeton. 39-65pp.
- Lynn, R. J. 1986. The Subartic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, **16**, 209-222.
- Lynn, R.S y J. J. Simpson. 1987. California Current System. The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal Geophysical. Res.*, **92**: 12947-12966.

- Malone, T. F. y J. G. Roederer. 1985. Global change. En: Malone y Roederer (eds). Cambridge University Press, New York.
- McCreary, J.P., Y. Fukamachi y P.K. Kundu. 1991. A numerical investigation of the jets and eddies near and eastern ocean boundary. *Journal of Marine Research.*, **96**:2515-2534.
- McPhaden, M.J. 2004. Evolution of the 2002–2003 El Niño. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **85**, 677, doi:[10.1175/BAMS-85-5-677](https://doi.org/10.1175/BAMS-85-5-677).
- Millán-Núñez, E., Lara-Lara, J. R., Cleveland, J. S. 1998. Variations in specific absorption coefficients and total phytoplankton in the Gulf of California. *CalCOFI. Rep.* **39**.
- Millán-Núñez, E., Sieracki, M.E., Millán-Núñez, R., Lara-Lara, J.R., Gaxiola-Castro, G., Trees, C.C. 2004. Specific absorption coefficient and phytoplankton biomass in the southern region of the California Current. *Deep-Sea Research II.*, **51**:817-826.
- Morel, A., Bricaud, A., 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Research.*, **28**: 1375-1393.
- Mitchell, B.G. y D.A. Kiefer. 1988. "Variability in pigments specific particulate fluorescence and absorption spectra in northeastern Pacific Ocean. *Deep-Sea Research.*, **35**:665-689.
- Nelson, N.B., Prezelin, B.B., Bidigare, R.R., 1993. Phytoplankton light absorption and package effect in California coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* **94**:217-227.
- Parés-Sierra, A., W.B. White y C.K. Tai. 1993. Wind driven coastal generation of annual mesoscale eddy activity in the California Current. *Journal of Geophysical Oceanography.*, **23**:1110-11121.
- Parés Sierra, A., M. López, y E. Pavía. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico nororiental. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía n°3. Unión Geofísica Mexicana*, 1-24.
- Preisendorfer. R.W. 1961. Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea. *International Union of Geophysics and International Association of Oceanography.* **10**:83-91.
- Reid, J. L., y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, **67**:2491-2497.

- Roesler, C. S., M.J. Perry y K.L. Carder. 1989. Modeling in situ phytoplankton absorption from total absorption spectra in productive inland marine waters. *Limnol. Oceanogr.*, **34(8)**:1510-1523.
- Sakshaug, E., Bricaud, A., Dandonneau Y., Falkowski, P. G., Kiefer D. A., Legendre L., Morel A., Parslow, J. y Takahashi, M. 1997. Parameters of photosynthesis: definitions, theory and interpretation of results. *J. of Plankton Res.*, **19**:1637-1670.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, **32(2)**: 403-415.
- Schwing, F. B., S. J. Bograd, C. A. Collins, G. Gaxiola-Castro, J. García, R. Goericke, J. Gómez-Valdés, A. Huyer, K. D. Hyrenbach, P. M. Kosro, B. E. Lavaniegos, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, M. D. Ohman, W. T. Peterson, R. L. Smith, W. J. Sydeman, E. Venrick y P. A. Wheeler. 2002. "The State of the California Current, 2001-2002: hill the California Current keep its cool, or is El Niño Looming? Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., **43**: 31-73 p.
- Sosik, H.M. y B.G. Mitchell. 1991. " Absorption, fluorescesce, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella teriolecta*". *Limnol. and Oceanogr.*, **36(5)**:910-921.
- Sosik, H.M. y Mitchell, B.G., 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System. *Deep-Sea Research I.*, **42**:1717-1748.
- Soto-Mardones, L., A. Parés-Sierra, J. Garcia, R. Durazo y S. Hormazabal. 2004. Análisis of the mesoscale structure in the IMECOCAL región (off Baja California) from hydrographic ADCP and altimetry data. *Deep-Sea Research II.*, **51**:785-798.
- Strathmann, R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. And Oceanogr.*, **12**:411-418.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Verein Theor. Angew. Limnology.*, **9**:1-38.
- Van Aken, H.M., A.K. van Veldhoven, C. Veth, W.P.M. Ruijter, P.J. Leeuwen, S.S. Drijfhout, C.P. Whittle y M. Rouault. 2003. Observations of a young Agulhas ring, Astrid, durnig MARE in March 2000. *Deep-Sea Research II.*, **50(1)**: 167-195.

- Vélez-Muñoz, H. S. 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y espacial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Escuela Superior de Ciencias Marinas. 131 pp.
- Venrick, E., Bograd, S., Checkley, D., Cummings, S., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Hunter, J., Huyer, A., Hyrenbach, K.D., Lavaniegos, B.E., Mantyla, A., Schwing, F.B., Smith, R.L., Sydeman, W.J. and Wheeler, P.A. (2003). The state of the California Current, 2002–2003: Tropical and subarctic influences vie for dominance. *CalCOFI Rep.*, **44**: 28–60.
- Yentsch, C.S. y Phinney, D.A. 1989. A bridge between ocean optics and microbial Ecology *Limnology Oceanography.*, **34(8)**:1694-1705.