



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**“VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FORMA ESPECTRAL DEL FITOPLANCTON Y SU
RELACIÓN TAXONÓMICA EN ABRIL 2008 EN LA ZONA OCCIDENTAL DE BAJA
CALIFORNIA.”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO
PRESENTA:
MARIANA MACÍAS CARBALLO**

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MARZO 2010.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FORMA ESPECTRAL DEL FITOPLANCTON Y SU RELACIÓN
TAXONÓMICA EN ABRIL 2008 EN LA ZONA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA

TESIS
QUE PRESENTA:

MARIANA MACÍAS CARBALLO

APROBADA POR:



DR. EDUARDO MILLÁN NÚÑEZ
Presidente del Jurado



DR. ANTONIO TRUJILLO ORTÍZ
Sinodal Propietario



Cand. a DR. HÉCTOR BUSTOS SERRANO
Sinodal Propietario

RESUMEN

En abril de 2008 se realizó un crucero oceanográfico para monitorear las aguas de la Corriente de California, a bordo del B/O Francisco de Ulloa, en donde se tomaron muestras de agua para determinar el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton y muestras de agua para determinar la abundancia de las células fitoplanctónicas que dominan a 10 metros de profundidad. Al obtener los coeficientes de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) se caracteriza la zona epipelágica en relación con la productividad primaria a escala regional y global al usar imágenes de satélite. Al determinar la variabilidad de a_{ph} y la estructura de la comunidad del fitoplancton fue determinado a lo largo de la región noroeste de la península de Baja California durante la primavera del 2008, se encontraron cuatro curvas representativas con una composición en su mayoría por diatomeas más del 86%, excepto en Ensenada. El claro incremento de a_{ph} desde el océano hasta aguas costeras corresponde en el incremento de la abundancia del fitoplancton y de las especies más grandes. La comunidad del nano-microfitoplancton ($>5 \mu\text{m}$) estuvo compuesta por 20 géneros de diatomeas y 11 géneros de dinoflagelados en donde la abundancia promedio fue de 2.4 y 2.3×10^4 células/L, respectivamente. Los datos sugieren que el nano-microfitoplancton incrementa a lo largo del gradiente de temperatura, con una relación entre la abundancia de células y los eventos de surgencia. Las características oceanográficas indican que las masas de agua que se encontraron a 10 metros de profundidad corresponden a aguas de la Corriente Subártica y a la propia Corriente de California con la mayoría de las estaciones y con una sola estación de Aguas Transicionales. Se concluye que la comunidad del nano-microfitoplancton de Baja California durante abril de 2008 tiene una alta abundancia y diversidad tanto como años anteriores en la misma área de estudio y que hay 5 provincias fitogeográficas con 8 principales géneros de diatomeas en donde la que no forma ninguna asociación es *Eucampia* sp., con más de 800×10^3 células/L encontrándose en San Quintín y *Nitzschia* con 5 especies diferentes en lo que corresponde a Bahía Vizcaíno con 70×10^3 células/L. Mostrando que el nano-microfitoplancton incrementa durante abril de 2008 siendo resultado de un evento La Niña.

DEDICATORIA

A mis padres por su incondicional apoyo, José y Ana María por sus palabras de aliento y paciencia en el transcurso de estos 4 años y medio; a mis hermanas, Marcela, Andrea y Adriana ya que sin sus pláticas, sus palabras de aliento y por que no, sus locuras la realización de esta tesis no hubiera sido posible; a ellos 5 mil gracias y sobretodo por estar siempre conmigo.

A mi mejor amiga Erika, por que siempre estuvo ahí para mí cuando siempre la necesitaba, sus consejos y sus palabras de aliento.

A Susan, Diana, Tania y Xóchitl porque a pesar del poco tiempo que estuvimos conviviendo la amistad es sincera y se que no será una amistad fugaz.

*UN QUERRERO DE LA LUZ ESTUDIA CON MUCHO CUIDADO LA POSICIÓN QUE
PRETENDE CONQUISTAR.*

*POR MÁS DIFÍCIL QUE SEA SU OBJETIVO, SIEMPRE EXISTE UNA MANERA DE
SUPERAR LOS OBSTÁCULOS. VERIFICA LOS CAMINOS ALTERNATIVOS, AFILA LA
ESPADA, PROCURA LLENAR SU CORAZÓN CON LA PERSEVERANCIA NECESARIA
PARA ENFRENTARSE AL DESAFÍO.*

*PERO A MEDIDA QUE AVANZA, EL QUERRERO SE DA CUENTA DE QUE EXISTEN
DIFICULTADES CON LAS QUE NO CONTABA.*

*SI PERMANECE ESPERANDO EL MOMENTO IDEAL, NUNCA SALDRÁ DEL LUGAR; ES
PRECISO UN POCO DE LOCURA PARA DAR EL PRÓXIMO PASO.*

*EL QUERRERO USA UN POCO DE LOCURA. PORQUE EN LA GUERRA Y EN EL
AMOR, NO ES POSIBLE PREVERLO TODO.*

Paulo Cohelo, Manual del guerrero de la luz.

*A Héctor Rubén Galindo Legua que se nos adelantó en el camino y además porque fue un gran compañero y amigo,
siempre estarás en nuestros corazones. D.E.P.*

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto SEMARNAT-CONACyT 23804 "Evaluación del calentamiento superficial del mar y la disminución del plancton en la zona templada del Pacífico Mexicano contrastando dos períodos de monitorio", dirigido por la Dra. Bertha Lavaniegos.

Al Dr. Gilberto Gaxiola-Castro, por facilitarme el apoyo con el proyecto denominado "Procesos de fertilización estacional frente a las costas de Baja California".

A mi director de tesis el Dr. Eduardo Millán, ya que sin su paciencia y sus guías, esto no tendría ni pies ni cabeza, además de todas las oportunidades y consejos que me ha brindado para la realización de esta tesis.

A los dibujantes del cuarto piso del edificio de Oceanología, J.M. Domínguez, F.J. Ponce por la realización e impresión de las figuras.

A mis amigos los biólogos, Guadalupe (Lupe) por siempre apoyarme y darme ánimos para seguir adelante, Daniel (Boya), Daniel, Salvador González (Chava) por darme la oportunidad de crecer en el aspecto profesional y permitirme conocer un poco de la conservación terrestre, Karina, Leonel porque a pesar de todas las discusiones y conflictos que en nuestra amistad se ha presentado siempre estarás en corazón.

Al CICESE por permitirme el uso de sus instalaciones para el análisis de las muestras tomadas en campo.

A todos mis maestros y compañeros de la licenciatura, porque sin el apoyo que brindaron en las aulas no sería igual, gracias al compañerismo que me brindaron, a todas las fiestas, gracias a todos.

A mis amigos y compañeros de la Secretaria de Marina el Oc. Guillermo Martínez (profe Memo), a Lorenzo y a Rafael Morales por sus 5 minutitos que son de gran análisis acerca de la vida y sobre todo gracias por permitirme conocer lo que es el desarrollo del oceanólogo en el campo.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE

	Páginas
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
HIPÓTESIS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS PARTICULARES	5
ÁREA DE ESTUDIO	6
METODOLOGÍA	
***Campo	9
***Laboratorio	10
***Estadística	14
ANTECEDENTES OCEANOGRÁFICOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA DETERMINADA POR CALCOFI DURANTE ABRIL DE 2008	18
RESULTADOS	
A) Variables oceanográficas.	21
B) Estructura de la comunidad del fitoplancton.	27
C) Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton.	36
D) La distribución espacial del coeficiente de luz por fitoplancton ($a_{phn, 440nm}$) a 10 metros de profundidad.	38

E) Clasificación océano-costa a partir del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton.	41
F) Forma de curvas espectrales normalizadas.	41
G) Curvas características para abril de 2008 frente a Baja California.	44
H) Relación de la forma de la curva espectral con la comunidad del fitoplancton.	44
I) Índices ecológicos aplicados a la comunidad del fitoplancton para abril de 2008.	47
J) Análisis estadístico para la comunidad fitoplanctónica para abril de 2008.	51
DISCUSIÓN	59
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

CONTENIDO

TABLAS

	Páginas
I Análisis de fitoplancton (número de campos totales) para un microscopio invertido Carl Zeiss de CICESE.	14
II Amplitud de nicho para los géneros encontrados en abril de 2008 para el área de estudio.	32
III Coeficiente de absorción del material particulado (a_p) y detrítico (a_d), para Abril, 2008.	37
IV Provincias en base al índice de Shannon-Weaver (1949).	48
V Tabla de frecuencias acumulativas del índice de Shannon-Weaver (1949).	48
VI Orden de estaciones correspondientes al índice de Simpson.	50
VII Clave para los dendrogramas utilizando los géneros tal como aparecen en la tabla de amplitud de nicho.	52
VIII Tabla de frecuencias de las distancias Euclidianas de la figura 24.	57
IX Estaciones correspondientes a las provincias fitogeográficas	57

FIGURAS

	Páginas
1 Localización del área de estudio de la región de IMECOCAL. Las estaciones de muestreo en el crucero oceanográfico de abril de 2008 a bordo del B/O Francisco de Ulloa.	7
2 Series de tiempo mensuales para las anomalías del Índice Multivariado ENSO y la Oscilación Decadal del Pacífico. Desde enero de 1984 a marzo de 2009.	20

3	Distribución espacial de la temperatura (°C) a 10 metros de profundidad para abril de 2008.	23
4	Distribución espacial de la salinidad a 10 metros de profundidad para abril de 2008.	24
5	Diagrama TS usando los datos obtenidos durante el crucero 04-05/08.	25
6	Distribución espacial de las masas de agua a 10 metros de profundidad durante abril de 2008.	26
7	Abundancia de nano-microfitoplancton por grandes grupos taxonómicos (diatomeas y dinoflagelados) durante abril de 2008.	28
8	Distribución espacial de las diatomeas (células/L) durante abril de 2008.	29
9	Distribución espacial de dinoflagelados (células/L) durante abril de 2008.	30
10	Distribución espacial del género <i>Nitzschia</i> spp., (células/L) durante abril de 2008.	34
11	Distribución espacial del género <i>Eucampia</i> sp., (células/L) durante abril de 2008.	35
12	Distribución espacial del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton a 440 nm ($/m^1$) durante abril de 2008.	39
13	Magnitud de las curvas espectrales del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) durante abril de 2008.	40
14	Caracterización océano-costa a partir del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) durante abril de 2008.	42
15	Espectros de absorción normalizados ($a_{ph,n}$) por la suma del área debajo de la curva espectral del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton ($a_{ph, /m^1}$).	43
16	Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton para abril de 2008.	45
17	Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el	46

	fitoplancton con la composición de la comunidad para abril de 2008, mayor proporción para diatomeas.	
18	Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton con la composición de la comunidad para abril de 2008, mayor proporción para dinoflagelados.	47
19	Relación del Índice de diversidad de Shannon-Weaver (1949) para abril de 2008.	48
20	Distribución espacial del índice de Shannon-Weaver (1949) indicando provincias fitogeográficas para abril de 2008.	49
21	Relación del Índice de dominancia de Simpson para abril de 2008.	50
22	Dendrograma de los géneros encontrados a partir del Índice de amplitud de nicho, utilizando la distancia Euclidiana y el método UPGMA.	53
23	Dendrograma de los primeros 8 géneros a partir del Índice de amplitud de nicho, utilizando la distancia Euclidiana y el método UPGMA para abril de 2008.	54
24	Dendrograma de las provincias fitogeográficas para el área de estudio utilizando las distancias Euclidianas y el método de conglomerados UPGMA para abril de 2008.	55
25	Provincias fitogeográficas para abril de 2008 utilizando el dendrograma de las provincias en base a la relación de los 8 géneros y los demás.	58

I.- INTRODUCCIÓN

La absorción de la luz solar en el océano se debe a tres factores principalmente: material particulado (pigmentado y no pigmentado), material en solución (sustancias de color), y a la absorción por el agua misma. Estas componentes y principalmente el fitoplancton son las fuentes de variabilidad óptica hidrológica dentro de la zona eufótica (Mitchel y Kiefer, 1988; Bricaud *et al.*, 1995). Los cambios en la estructura de la comunidad del fitoplancton así como en sus pigmentos fotosintéticos se ven reflejados en las diferentes propiedades ópticas del agua de mar, así como en su producción primaria (Sosik y Mitchell, 1995). Son éstas, algunas de las razones por las que se ha incrementado a nivel mundial el estudio de las propiedades bio-ópticas del océano, con principal énfasis en la determinación de la biomasa e identificación del fitoplancton a través del color del océano (Sathyendranath *et al.*, 2004).

La biomasa del fitoplancton y la producción primaria es fundamental en un ecosistema del océano pelágico, por lo que es muy importante entender el ciclo del carbono en el océano, pesquerías y el acoplamiento del ecosistema pelágico a nivel regional. Con el avance de las imágenes por satélite en donde se obtiene el color del océano, ahora es posible estimar la biomasa del fitoplancton a escalas espaciales más grandes y como consecuencias estudiar la variabilidad causada por los cambios climáticos interanuales denominados El Niño ó La Niña (Kahru y Mitchell, 2000, 2002). Existen algunos modelos semi analíticos para la estimación de la producción primaria

en la que se incorporan parámetros bio-ópticos fotosintéticos del fitoplancton. Uno de estos modelos fue propuesto por Platt y Sathyendranath (1988), en la que se incorporan variaciones fisiológicas del fitoplancton en respuesta a la irradiancia. Estos autores recomiendan usar un promedio de los parámetros bio-ópticos determinado para las diferentes regiones y posteriormente estimar la producción primaria a un nivel de escala regional.

Durante los últimos años, una de las metas en la oceanografía Física-Biológica es el determinar y entender la variabilidad del fitoplancton y su producción primaria a diferentes niveles de escala, y son los procesos locales ó regionales los que principalmente controlan el cambio de la estructura de la comunidad del fitoplancton, así como la variabilidad del sistema pelágico. Es en la zona del Pacífico Norte donde se ha demostrado tener una buena relación con índices de variabilidad climática como la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y el ENSO (Oscilación del Sur El Niño) Multivariado (MEI) (Gaxiola-Castro *et al.*, 2008). Durante el 2002-2003, la parte sur de la Corriente de California se caracterizó por un evento débil del fenómeno denominado El Niño (Venrick *et al.*, 2003), lo cual mostró una disminución en los organismos del sistema pelágico planctónico, a diferencia de los tres años anteriores, donde la misma zona mostró características hidrográficas favorables al ecosistema (Millán-Núñez *et al.*, 2004). Por lo anteriormente citado, consideramos que éste trabajo reforzará el conocimiento de la relación coeficiente de absorción de luz y la estructura de la

comunidad del fitoplancton. Asimismo, intentaremos caracterizar la época de muestreo (abril de 2008) con la variabilidad climática histórica y su relación a los fenómenos denominados El Niño ó La Niña.

II.- ANTECEDENTES

Los primeros estudios del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) realizados en la costa de Baja California fueron por Kiefer y Soo Hoo (1982) en marzo de 1979. Mientras que para la parte sur de la Corriente de California fueron realizados por Sosik y Mitchell (1995), estos autores reportaron una base de datos para los años de 1997-1998 acerca de la distribución espacio-temporal de la absorción por material particulado, concluyendo que la variabilidad de la absorción se debió principalmente a la pigmentación de los organismos. Posteriormente Millán-Núñez *et al.*, (2004) llevaron a cabo una caracterización del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) frente a Baja California, donde éstos autores mencionaron que la variabilidad del coeficiente de absorción se debió principalmente al tamaño y abundancia de las células del fitoplancton, así como por sus diferentes pigmentos fotosintéticos. Asimismo, Aguirre-Hernández *et al.*, (2004) reportaron valores altos del a_{ph} para la zona costera de Baja California, donde concluyeron que los valores de absorción estuvieron altamente asociados con células de tamaño pequeño. Barocio *et al.*, (2006) relacionaron el coeficiente de absorción por fitoplancton (a_{ph}) con la profundidad, y detectaron que las

comunidades aclimatadas a los niveles más profundos presentaron una clara variación en el coeficiente de absorción.

Datos más recientes en la relación al sistema pelágico sur de la Corriente de California lo reportaron Gaxiola-Castro *et al.*, (2008) al mostrar una serie de tiempo sobre las anomalías estacionales de la salinidad y temperatura en relación con las variables biológicas medidas en la línea hidrográfica 110 de IMECOCAL, en las que éstos autores mostraron una fuerte relación con los cambios en el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico. La mayor variabilidad que reportaron éstos autores se inició después del verano de 2001, cambiando de valores negativos del índice ODP a altamente positivos hacia el final de 2002 e inicios de 2003; asimismo, se detectó que después del verano de 2003 y hasta el verano de 2006 el índice de la ODP fue principalmente positivo, con sólo períodos cortos de tendencias negativas en los otoños de 2004 y 2005. Asimismo, estos autores reportaron abundancias de células del nano-microfitoplancton (diatomeas y dinoflagelados) recolectadas en la línea 110 durante los cruceros de invierno, mostrando valores altos durante el 2001 y 2007. Estas grandes abundancias de fitoplancton estuvieron asociadas con ligeras anomalías positivas de clorofila a estimadas en la serie de tiempo de largo período. Por otro lado, la disminución de células del microfitoplancton durante el 2002 al 2006 mostró un orden de magnitud menor que el 2001 y 2007.

III.- HIPÓTESIS

Sí detectamos que la forma espectral de absorción de luz por fitoplancton cambia a través del área de estudio, por lo tanto, debemos suponer cambios en la composición taxonómica del fitoplancton. Esto posiblemente se deberá, a que los principales grupos taxonómicos del fitoplancton en la muestra poseen diferentes pigmentos fotosintéticos que absorben luz a diferentes longitudes de onda.

IV.- OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la variabilidad espacial océano-costa de la comunidad de fitoplancton y su relación con la forma espectral de absorción de luz frente a Baja California durante abril de 2008.

V.- OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificación de la composición taxonómica de la comunidad del fitoplancton a nivel de género y en algunas ocasiones a nivel de especie cuando se presente una dominancia.
- Determinar el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}), así como sus principales formas espectrales normalizadas ($a_{ph\lambda}$).

➤ Caracterizar la influencia oceanográfica frente a Baja California y su relación con el coeficiente de absorción y la estructura de la comunidad del fitoplancton.

VI.- ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) se divide en 12 líneas hidrográficas perpendiculares a la línea de costa de Baja California, con un total de 91 estaciones, en particular abril se caracteriza por ser un crucero muy difícil debido a las condiciones climatológicas por eso se muestrearon un total de 45 estaciones hidrográficas (Fig. 1); en ésta región se comprende del Sistema de la Corriente de California (SCC) que está constituido por tres grandes corrientes: Corriente de California (CC) que fluye superficialmente y con dirección al ecuador, Subcorriente de California (CU) que tiene un flujo subsuperficial con dirección a los polos, y por la Contracorriente de California (CCC) que es costera y con estacionalidad intermitente hacia el noroeste (Durazo *et al.*, 2005). La variabilidad interanual del Sistema de la Corriente de California se encuentra estrechamente relacionada con los cambios climatológicos y la circulación atmosférica de latitudes medias, provocando anomalías como El Niño y La Niña (Durazo *et al.*, 2005; Bograd *et al.*, 2001). Durante un evento El Niño, la celda de baja presión de las Aleutianas se

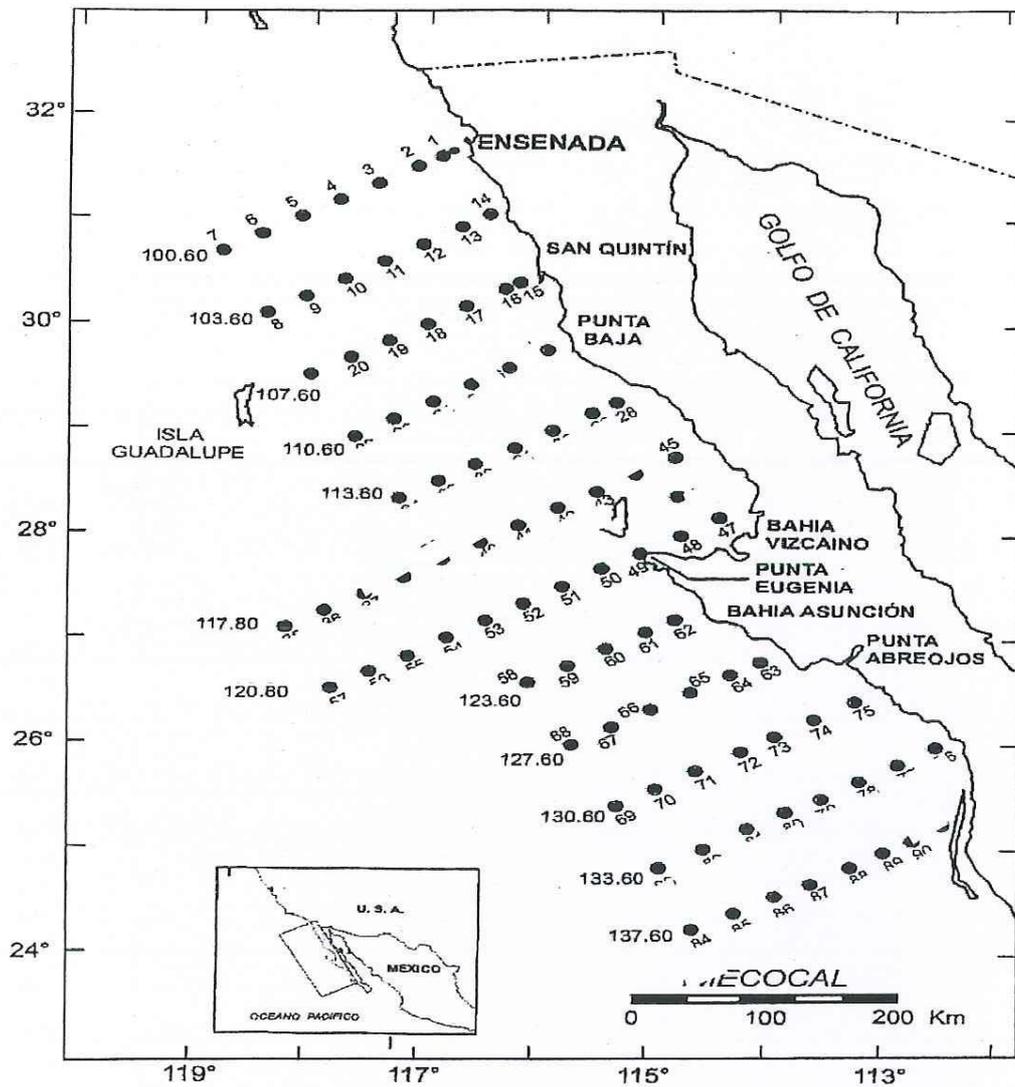


Figura 1.- Localización del área de estudio de la región de IMECCOAL. Las estaciones de muestreo en el crucero oceanográfico de abril de 2008 a bordo del B/O Francisco de Ulloa. Se encuentran enumeradas y las que pertenecen a la red de IMECCOAL se encuentran señaladas en el círculo negro.

fortalece y produce tormentas de invierno muy severas con debilitamiento de la circulación anticiclónica de la atmósfera con un incremento del transporte de Ekman hacia la superficie, lo que provoca un hundimiento de la termoclina (Strub y James, 2003; Schwing *et al.*, 2002).

De acuerdo con Gómez-Valdés y Vélez-Muñoz (1982) la CC puede dividirse en tres zonas en términos de masas de agua: Agua Subártica del Pacífico (SAW), la cual se forma en altas latitudes desde San Francisco hasta Cabo Mendocino, donde hay un exceso de precipitación y pérdida de calor. La SAW al entrar al SCC forma un núcleo de baja salinidad y temperatura, sin embargo, frente a Baja California incrementa su temperatura y salinidad debido al calentamiento y evaporación latitudinal a lo largo de su trayectoria hacia el ecuador (Durazo y Baumgartner, 2002). En la porción de la CC frente a Baja California se han podido observar estructuras dinámicas complejas, tales como remolinos, meandros y fronteras, teniendo estos una influencia importante en los procesos biológicos que se llevan a cabo en la región (Lynn y Simpson, 1987; Soto-Mardones *et al.*, 2004). 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

aflorescimientos de fitoplancton y por consecuencia se favorecen los siguientes niveles tróficos de la cadena alimenticia.

VII.- METODOLOGÍA

EN CAMPO

La red de estaciones IMECOCAL corresponde desde la línea 100 frente a Ensenada, hasta la línea 137 al sur de Punta Abreojos. Las líneas se extienden desde la estación 30 hasta la 60 entre 100 y 120 millas náuticas con relación a la costa, y navegando a bordo del B/O Francisco de Ulloa del 16 de abril al 1 de mayo de 2008. Durante el crucero se utilizó un sistema CTD (Conductivity-Temperature-Depth) modelo SBE-911 plus, el cual consiste de una unidad submarina y una unidad de control en cubierta. La unidad SBE-911 consta de una caja de presión de hasta 3400 m de profundidad, conteniendo en su interior la electrónica para la adquisición y telemetría de datos, además del sensor de presión, así como un sensor de oxígeno, fluorímetro y altímetro sónico. Cada lance de CTD se hizo conjuntamente con una Roseta para 12 botellas Niskin de 5 litros cada una y un perfilador de corrientes LADCP (Lowering Acoustic Doppler Current Profiler, RDI, BB-WH300). En las estaciones de muestreo se obtuvieron muestras de CTD, secuenciadas para su correcta identificación, tomando nota de nombre, posición geográfica y profundidad de las estaciones, la presión (db), hora y fecha a la profundidad máxima del lance de CTD.

Para determinar el coeficiente de absorción de luz, se filtró un litro de agua, usando filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (25 mm), las cuales se almacenaron en un contenedor de nitrógeno líquido para su posterior análisis en laboratorio. Para la identificación de la composición taxonómica del fitoplancton, se colectaron 250 mL de agua de mar en botellas oscuras de plástico, fijándolas con adición de 5 mL de formol al 5%, neutralizado con borato de sodio (0.4% de fijación total) para su posterior análisis en laboratorio (UNESCO, 1978).

EN LABORATORIO

Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton.-

Los filtros que se colocaron en nitrógeno líquido, fueron extraídos de las rejillas y colocados en recipientes debidamente protegidos de la luz; en donde primero se realizó una lectura de absorción en un espectrofotómetro con esfera integradora (Schimatzu UV-2401 PC), con un barrido espectral de 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 durante un período de 30 minutos siguiendo la técnica de Kishino *et al.*, (1985), y con un segundo barrido espectral, se consigue la curva de detritus o material no pigmentado (a_d). Con la

diferencia entre el material particulado y el detritus, se elabora el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton ($a_{ph}(\lambda)$) (ecuación 1).

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda) \quad (1)$$

donde $a_{ph}(\lambda)$ (m^{-1}) es el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton, $a_p(\lambda)$ (m^{-1}) material particulado, y $a_d(\lambda)$ (m^{-1}) detritus. El espectro de absorción se corrigió por el esparcimiento de luz (β), donde se hace un ajuste de la densidad óptica de las muestras filtradas $OD_{filt}(\lambda)$ a la densidad óptica de las muestras en suspensión $OD_{sus}(\lambda)$, (ecuación 2).

$$OD_{sus} = 0.368(OD_{fitoplancton}) + 0.4068(OD_{fitoplancton})^2 \quad (2)$$

Forma espectral de absorción de luz por fitoplancton.-

Con el propósito de poder relacionar los análisis de la estructura de la comunidad del fitoplancton por el método de microscopía ($>5\mu m$), se determinaron las curvas espectrales de las cuales se pudieron derivar las formas características de la comunidad del fitoplancton; a estos análisis se les denomina coeficiente de absorción del fitoplancton normalizado (a_{phn}). Primeramente, se obtuvo el área bajo la curva espectral del coeficiente de absorción de luz (a_{ph}) para cada estación de muestreo

entre los 400 y 750 nm (ecuación 3), posteriormente con el valor del área de absorción calculada, se elaboró una curva espectral normalizada para cada estación.

$$a_{ph\Omega} = \frac{a_{ph}(\lambda)(m^{-1})}{\int_{400}^{750} a_{ph}(\lambda)(m^{-1})d\lambda(nm)} \quad (3)$$

Cuantificación del fitoplancton.-

Para el análisis de fitoplancton se sedimentaron 50 mL de agua de mar durante 24 horas siguiendo el método de Utermöhl (1958), en el cual 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. Cuando se observó un organismo dominante en la muestra, tratamos de identificarlo a nivel de especie. El análisis de las muestras de fitoplancton se realizó con la guía técnica propuesta por Hasle (1978) y su identificación taxonómica se basó principalmente en Cupp (1943), Hasle y Syvertsen (1996), Licea *et al.*, (1996), Moreno *et al.*, (1997) y Tomas (1997).

A partir de los conteos del fitoplancton, se calculó la abundancia de células de la siguiente manera (ecuación 4).

$$N = \frac{Nc * NCO * 1000}{V * NCC} \quad (4)$$

donde N es el número de células por Litro, Nc es el número de células contadas, NCO es el número de campos del objetivo, V es el volumen de la muestra sedimentada (50 mL), finalmente NCC, es el número de campos contados. El número de campos totales de cada amplificación (Tabla I), se calculó dividiendo el área de la cámara de sedimentación entre el área del campo. El área de la cámara se determinó midiendo su diámetro con un vernier, mientras que el área del campo se calculó midiendo su diámetro con la rejilla referida a un micrómetro American Optical (Nájera-Martínez, 1992). Posteriormente se calcularon las abundancias relativas de cada taxa fitoplanctónico (diatomeas y dinoflagelados). Se ordenaron los géneros de acuerdo a la ecuación de amplitud de nicho de Levins (1978), donde los taxa con el nicho más amplio, tienen una abundancia relativa alta en la comunidad y son también los que representan una mayor distribución espacial (ecuación 5).

$$B_i = \exp\left[\sum_{j=1}^k \left(\frac{P_{ij}}{R_j}\right) \ln\left(\frac{P_{ij}}{R_j}\right)\right] \quad (5)$$

donde R_j es la sumatoria de la proporción del género i en la muestra j ; P_{ij} es la proporción del género i en la muestra j ; R_j , es la suma de sus proporciones en cada punto o tiempo de muestreo y k es el número de estaciones de muestreo, ó también el tiempo muestreado.

Tabla I.- Número de campos totales para el microscopio invertido Carl Zeiss de CICESE.

Amplificación	NC	Equivalencia de cada división de la rejilla
16 x	343.77	6.9 μm
40 x	2527.03	2.6 μm

En este estudio se realizaron cálculos de índices ecológicos para determinar el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica para el área de estudio. Dichos índices son: El índice de Shannon-Weaver (1949) se usó para indicar la cuantificación de la diversidad de la comunidad fitoplanctónica, el cual menciona que entre más alto indica heterogeneidad en la comunidad del fitoplancton. El segundo índice utilizado fue el de Simpson el cual indica la dominancia de los taxa encontrados.

Cabe mencionar que en el índice de Shannon-Weaver (1949) y en el dendrograma de la asociación de los géneros principales con las estaciones se realizaron tablas de frecuencias para asociar las similitudes entre la misma comunidad fitoplanctónica.

Estadística aplicada a partir de análisis de conglomerados (Cluster).-

El análisis consiste en agrupar un conjunto de datos multidimensionales (filas de la matriz de datos X) en un conjunto de grupos homogéneos. Para ello se utilizaron funciones de similitud o similaridad entre ellos.

El análisis de conglomerados también se conoce como métodos de clasificación automática o no supervisada. Hay básicamente dos tipos de análisis de conglomerados.

- ✦ Métodos jerárquicos, que no asumen ningún modelo estadístico para los datos.
- ✦ Métodos que asumen un modelo definido para los datos.

En el caso de los métodos jerárquicos; como los aplicados en este estudio, los datos se ordenaron en niveles de manera que los niveles superiores contuvieran a los inferiores. La jerarquía construida permitió obtener también una partición de los datos en grupos. En este caso se utilizaron la matriz de distancias a similitudes entre elementos de la matriz de datos. Los conglomerados jerárquicos se analizaron por lo denominado "cluster" (Johnson y Wichern, 2008).

Los tipos de algoritmos jerárquicos que se aplicó fueron de división; en el cual el algoritmo asumió que en un primer paso todos los datos conformarían un solo conglomerado. Este "cluster" se fue dividiendo sucesivamente en conglomerados más pequeños de acuerdo al criterio seleccionado previamente. El resultado de este procedimiento se representó por medio de un dendrograma.

En el dendrograma la escala vertical representa la distancia. La distancia entre dos conglomerados que se calculó según el siguiente algoritmo:

Distancias entre elementos: disimilaridades.-

Se dispone de una matriz de datos $X_{n \times p} = (x_{ic})$ en que i representa una observación y c una variable. Una matriz de disimilaridades o distancias $D_{n \times n}$ es una matriz tal que su elemento i, j es una disimilaridad $d(i, j)$ tal que para todo i, j, k :

$$1. d(i, j) \geq 0$$

$$2. d(i, i) = 0$$

$$3. d(i, j) = d(j, i)$$

$$4. d(i, j) \leq d(i, k) + d(k, j)$$

donde D es simétrica y su diagonal está formada por ceros.

La disimilaridad $d(i, j)$ representa una medida de la diferencia entre dos observaciones x_i y x_j y constituyen la base para la formación de conglomerados. Algunas medidas de disimilaridad Hay varias medidas de disimilaridad o distancia, apropiadas para diferentes tipos de escala en que se miden los datos: escalas numéricas lineales, numéricas no lineales, ordinales, nominales y nominales binarias (ecuación 6):

Escalas numéricas.-

Distancia Euclidiana:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{c=1}^p (x_{ic} - x_{jc})^2} \quad (6)$$

Si se corta el dendrograma a un nivel de distancia dado, obtenemos una clasificación del número de grupos existentes n ese nivel y los elementos que lo forman (Johnson y Wichern, 2008).

Método utilizado para determinar el número de clusters.-

UPGMA (Unweighted Pair Group Method using arithmetic Averages), que utiliza medias ponderadas según el número de elementos que hay en cada conglomerado. Si E_i, E_j, E_k son conglomerados de n_i, n_j, n_k elementos, respectivamente y E_i, E_j son los conglomerados más próximos (ecuación 7), entonces:

$$\delta'(E_k, E_i \cup E_j) = \frac{n_i}{n_i + n_j} \delta(E_i, E_k) + \frac{n_j}{n_i + n_j} \delta(E_j, E_k) \quad (7)$$

Si la matriz de distancias original D no cumple la propiedad ultramétrica, los distintos métodos de clasificación darán lugar a matrices ultramétricas distintas y, por tanto, a representaciones jerárquicas distintas (Johnson y Wichern, 2008).

Correlación cofenética.-

Como ocurre en el caso Euclidiano, en general una matriz de distancias D , obtenido a partir de una matriz de datos multivariantes X , no cumple con la propiedad ultramétrica.

Esto dio lugar al problema de aproximar la matriz de distancias $D=(\delta_{ij})$ con una matriz ultramétrica $U=(u_{ij})$, según el criterio utilizado descrito anteriormente.

La medida de proximidad que se utiliza es la correlación cofenética, que es el coeficiente de correlación lineal (de Pearson) entre los $n(n-1)/2$ pares de distancias (δ_{ij}, u_{ij}) para $1 \leq i < j \leq n$.

Este coeficiente vale 1 cuando ambas matrices son proporcionales (iguales). Esto equivale a decir que la matriz **D** ya cumple la propiedad ultramétrica y por lo tanto, la clasificación es exacta (Johnson y Wichern, 2008).

Antecedentes oceanográficos y variabilidad climática determinada por CALCOFI durante abril de 2008.

McClatcie *et al.*, (2009) describieron el estado de la Corriente de California entre la primavera de 2008 y 2009, basándose en observaciones climatológicas y oceanográficas tomadas a lo largo de la costa oeste de Norteamérica. Los resultados conclusivos mostraron una fase fría con relación a la Oscilación del Sur El Niño ocurrido en 1998-1999, el cual se reflejó en los valores negativos de la Oscilación Decadal del Pacífico (Fig. 2). Durante el 2007, el Sistema de la Corriente de California experimentó una fuerte y persistente condición La Niña, reflejado en bajas temperaturas de la superficie del mar, a través de los eventos de surgencias por encima de lo normal. En la parte meridional de California y Baja California la nutriclina fue más profunda que lo

usual y las concentraciones de nitrato y de clorofila a fueron más altas, sin embargo la temperatura superficial del mar no presentó cambios, con excepción de enero de 2008.

Basándose en los criterios de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) para una clasificación El Niño/La Niña, se sugiere que el 2000-2001 y 2007-2008 fueron clasificados como La Niña, sin embargo, durante el 2002-2006, se consideraron como períodos El Niño. Los registros de la NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>), mostraron una condición La Niña fuerte a finales del 2007. Posteriormente mostraron condiciones cerca de lo normal en el verano de 2008, seguido de un enfriamiento y un desarrollo de la condición La Niña débil para abril de 2009, en donde las anomalías de la temperatura superficial del mar (SST) fueron negativas. Al finalizar el 2008-2009 se presentó una breve transición de ENSO a condiciones neutrales.

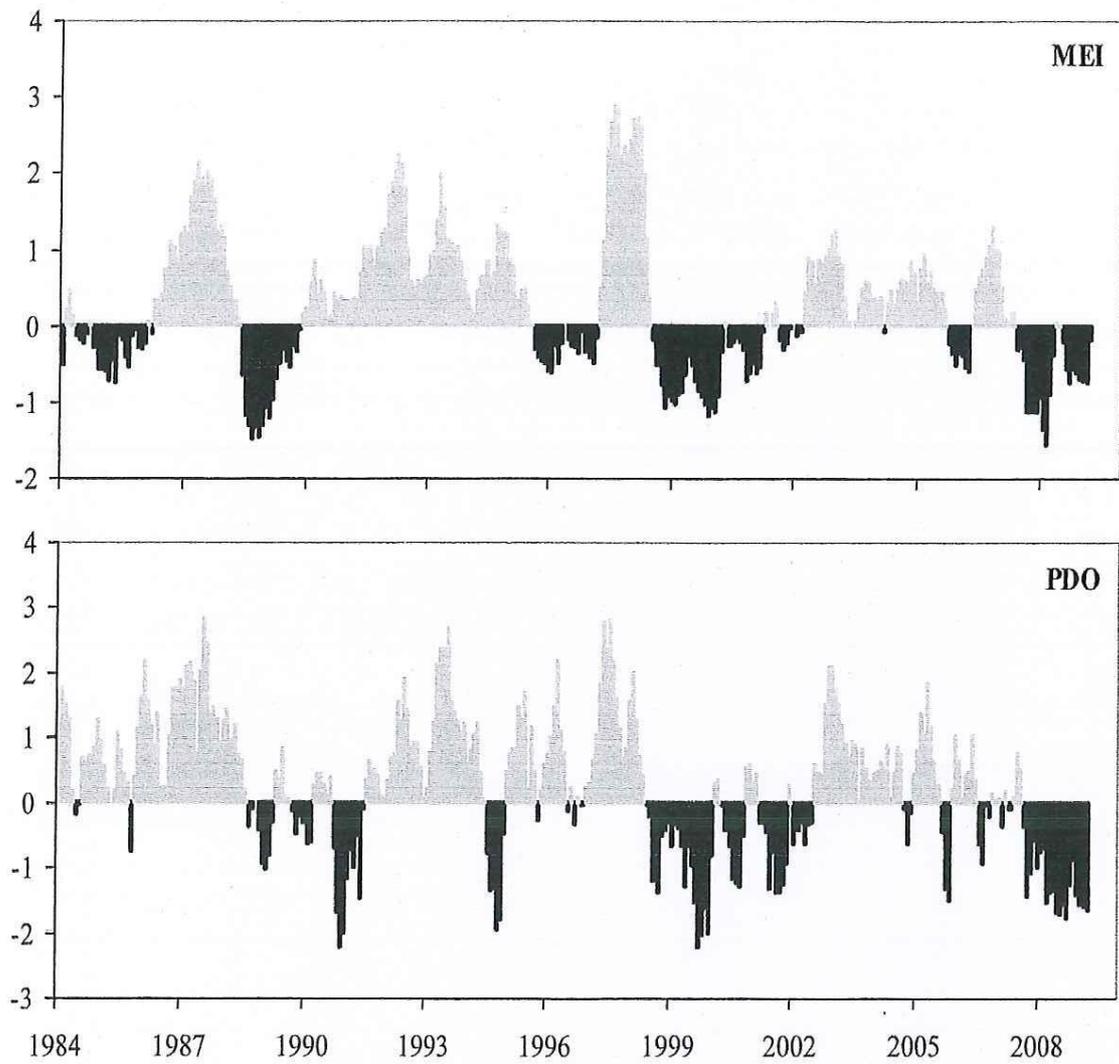


Figura 2.- Series de tiempo mensuales para las anomalías del Índice Multivariado ENSO y la Oscilación Decadal del Pacífico. Desde enero de 1984 a marzo de 2009.

VIII.- RESULTADOS

A) Variables físicas oceanográficas

La temperatura espacial a 10 metros de profundidad mostró valores con un intervalo de 10 a 22.50 °C, observándose un hundimiento de agua caliente en Punta Eugenia con una temperatura de aproximadamente 20°C a partir de la estación 47; mientras que en la parte norte del área de estudio detectaron temperaturas menores de 12°C, además se detectó una zona de surgencia con temperaturas menores de 10°C al sur de Puna Baja (Fig. 3).

La distribución espacial de la salinidad a 10 metros de profundidad mostró un intervalo de valores de 33.6 a 34.4, observándose una baja salinidad en la parte norte zona oceánica del área de estudio con valor de 33.6 y en la parte sur del área de estudio se encuentran las mayores salinidades de hasta 34.2 (Fig. 4).

Las masas de agua que tienen influencia sobre el Sistema de la Corriente de California ya han sido anteriormente reportadas por (Torres-Orozco, 1993; Castro-Valdez, 2001; Durazo y Baugmartner, 2002; Pickard, 1975); las cuales son la misma Corriente de California (CCW) con una salinidad característica de 33.7 y con temperaturas que van de los 12 a los 18 °C; Agua Subártica (SAW), con temperaturas de 8 a 20 °C y salinidades que van de 33.1 a 34; Agua Intermedia del Pacífico (PIW) son aguas frías de 4 a 9°C y salinidades de 34.5 a 34.8; el Agua Profunda del Pacífico (PDW) con temperaturas de 2 a 4°C y salinidades de 33.5 a 34.5; Agua Subsuperficial

Ecuatorial (ESsW) con temperaturas de 8 a 15 °C y con salinidades de 33.3 a 34.6 y Agua Transicional (TrW) con temperaturas de 12°C y con salinidades de 34. Para éste trabajo, se presentan las masas de agua que tuvieron influencia durante el período de abril de 2008 frente a Baja California (Fig. 5).

Las estaciones a 10 metros corresponden a tres masas de agua, las cuales son, Agua de la Corriente Transicional frente a Bahía Asunción (estación 60), Agua de la Corriente SubÁrtica con un total de 12 estaciones (3 a 12 y 19-20) y por último la mayoría de las estaciones corresponden a Aguas de la Corriente de California con un total de 34 estaciones (1-2, 13-18, 28, 45, 47-53, 58-59, 61-75) (Fig. 6).

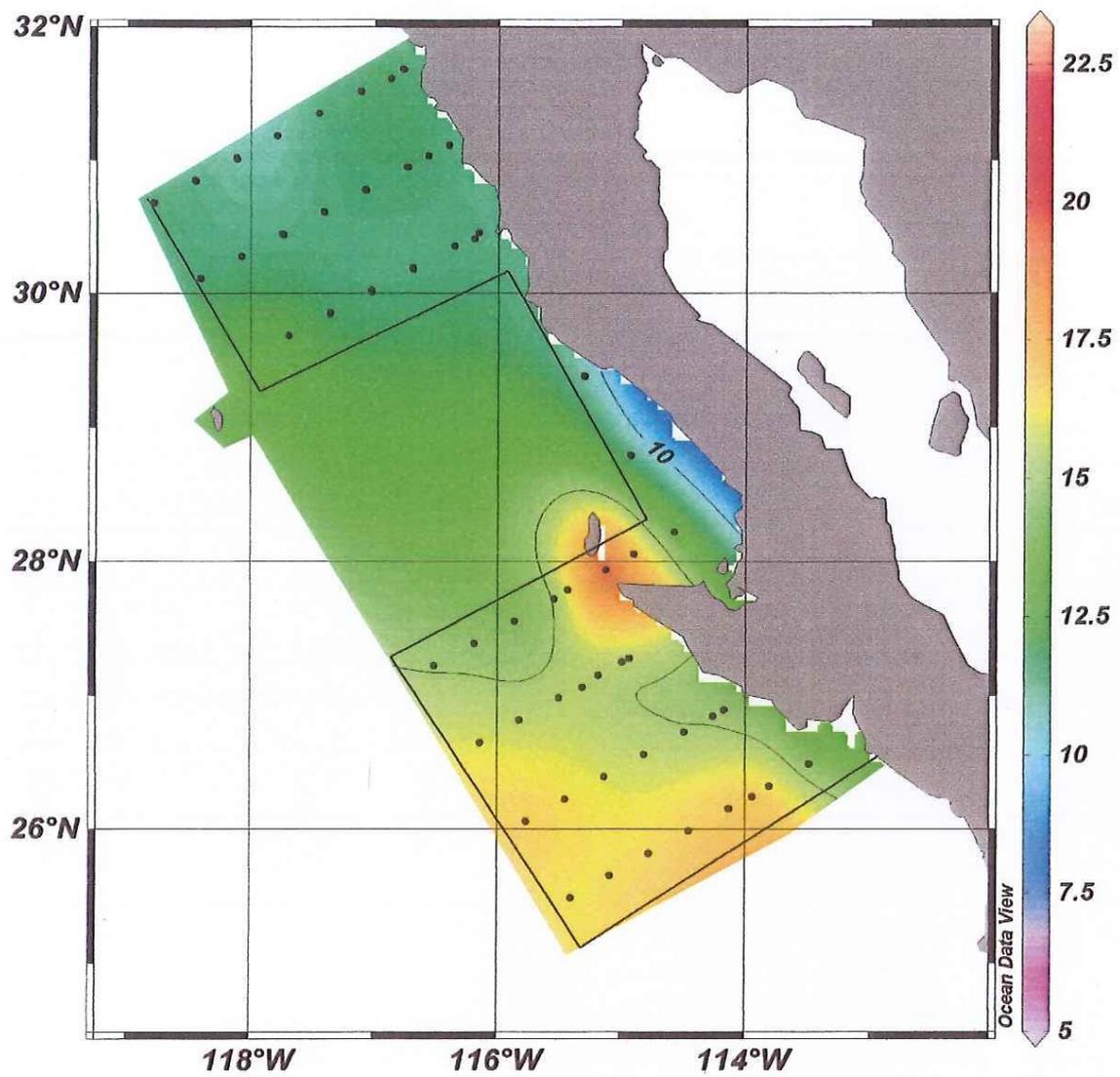


Figura 3.- Distribución espacial de la temperatura (°C) a 10 metros de profundidad para abril de 2008.

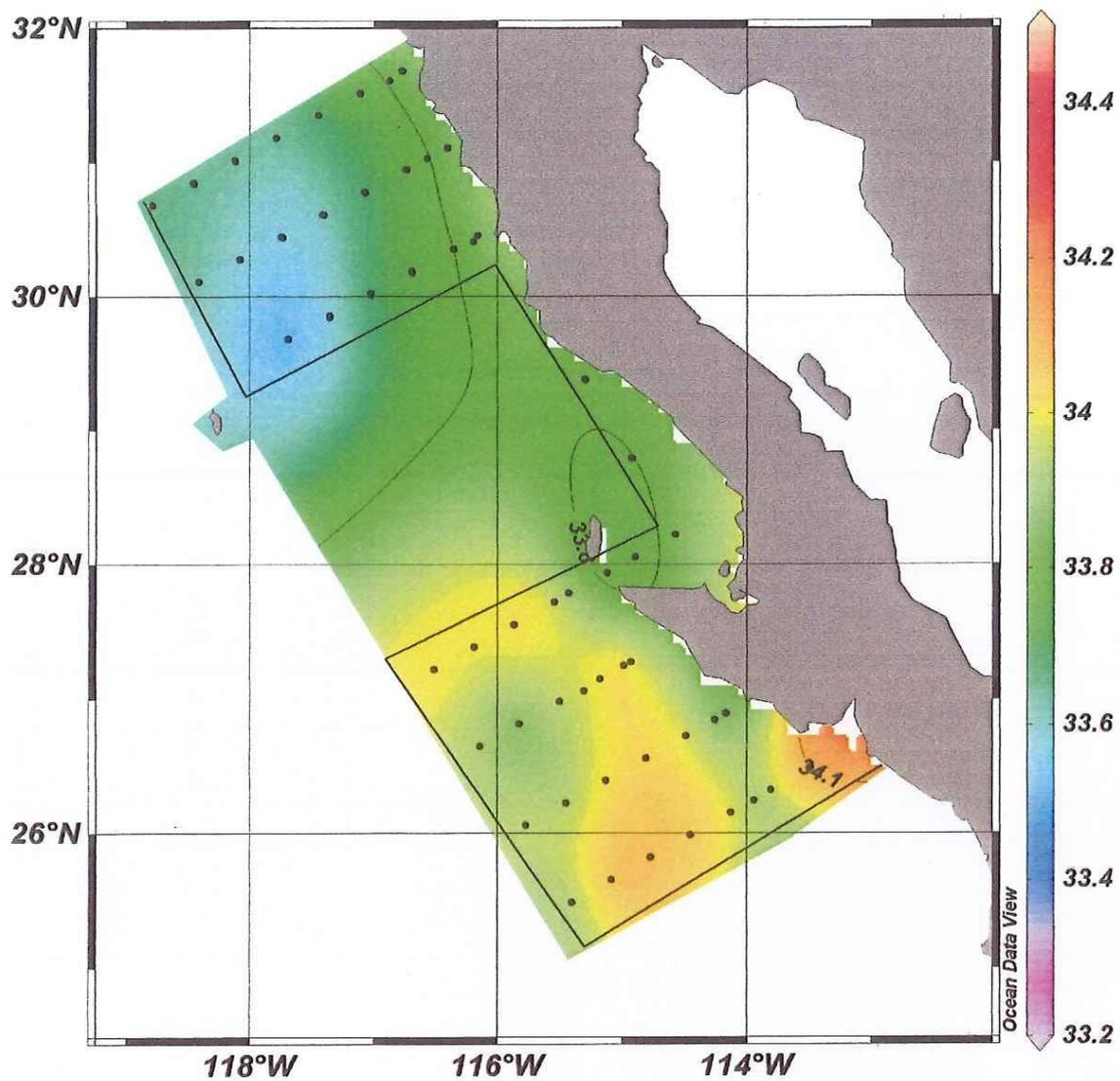


Figura 4.- Distribución espacial de la salinidad a 10 metros de profundidad para abril de 2008.

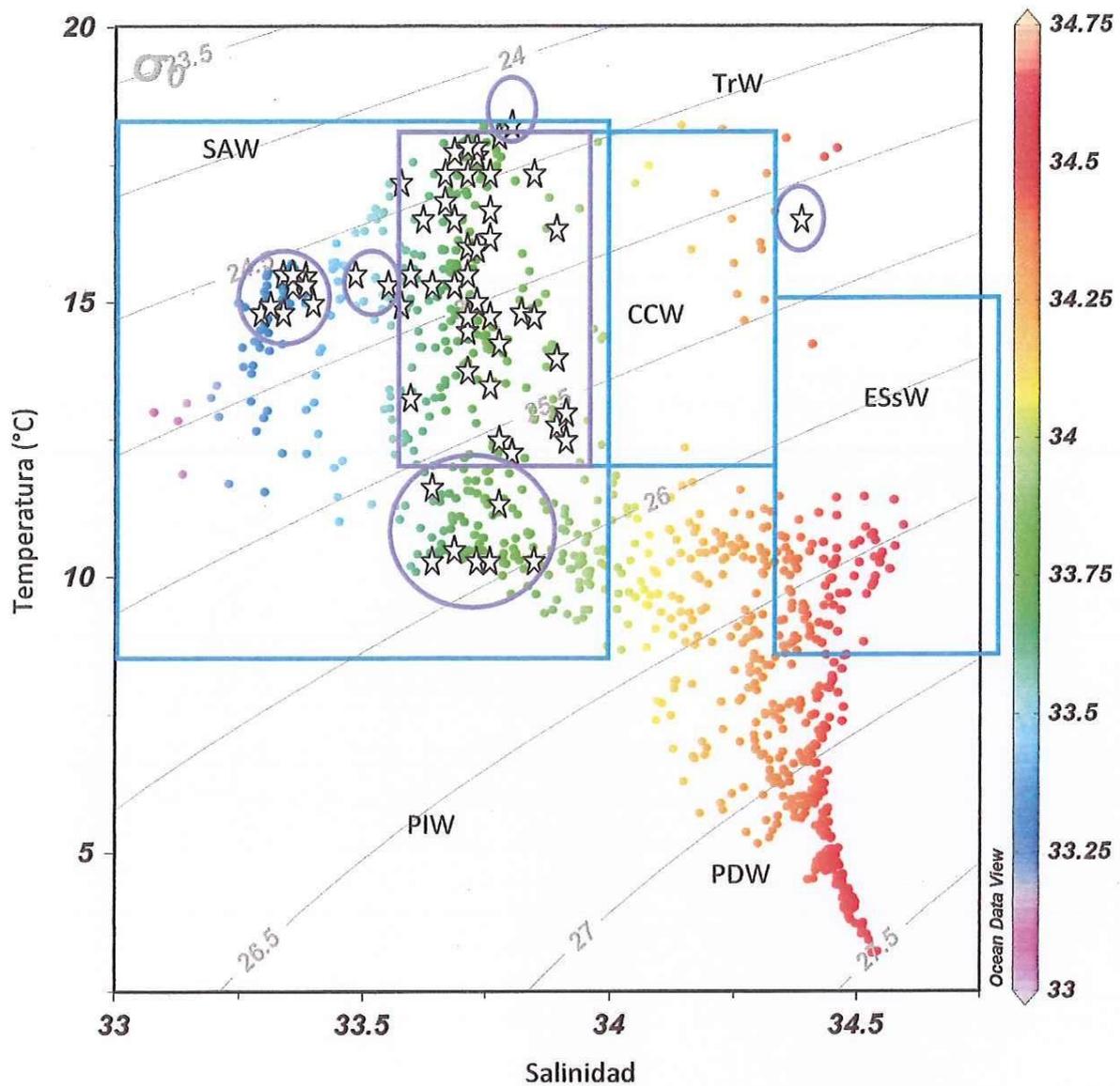


Figura 5.- Diagrama TS usando los datos obtenidos durante el crucero 04-05/08, donde se muestran las masas de agua encontradas para el área de muestreo. Las estrellas que se encuentran dentro de los círculos del diagrama TS indican los datos a 10 metros de profundidad. Las masas de agua que se describen son CCW, Agua de la Corriente de California; ESsW, Agua de la Corriente Subsuperficial Ecuatorial; PDW, Agua Profunda del Pacífico; PIW, Agua Intermedia del Pacífico; SAW, Agua Sub Ártica; TrW, Agua Transicional

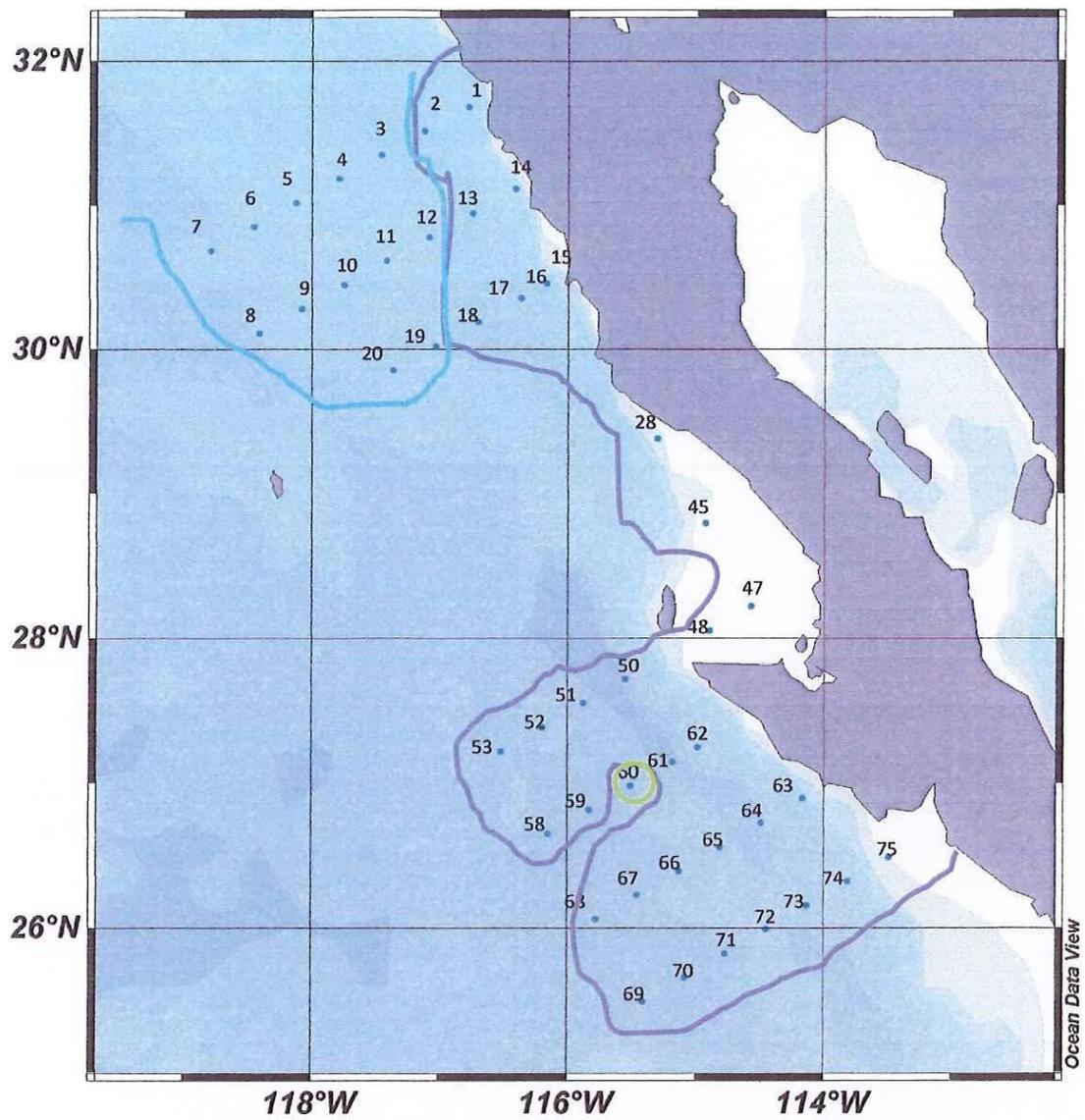


Figura 6.- Distribución espacial de las masas de agua a 10 metros de profundidad encontradas en abril de 2008. Las líneas indican la separación de las diferentes masas de agua.

B) Estructura de la comunidad del fitoplancton

La distribución del nano-microfitoplancton total se presenta con base a las características oceanográficas determinada por los procesos como surgencias por lo que se ha encontrado una dominancia de las diatomeas en toda el área de estudio de 1×10^6 células/L en la estación 15; mientras que los dinoflagelados mostraron valores de 40,000 células/L (Fig. 7). La distribución espacial de diatomeas, mostraron un parche de aproximadamente 675×10^3 células/L en la estación 15, mientras que presenta una disminución gradual hacia la zona oceánica con una abundancia de 1×10^3 células/L (Fig. 8). La distribución de los dinoflagelados se encontraron mayormente concentrados en la estación 15 con una abundancia de 30,000 células/L; la distribución presenta dos parches importantes, uno mencionado anteriormente y el segundo se encuentra en la estación 47 con una abundancia aproximada de 10,000 células/L (Fig. 9).

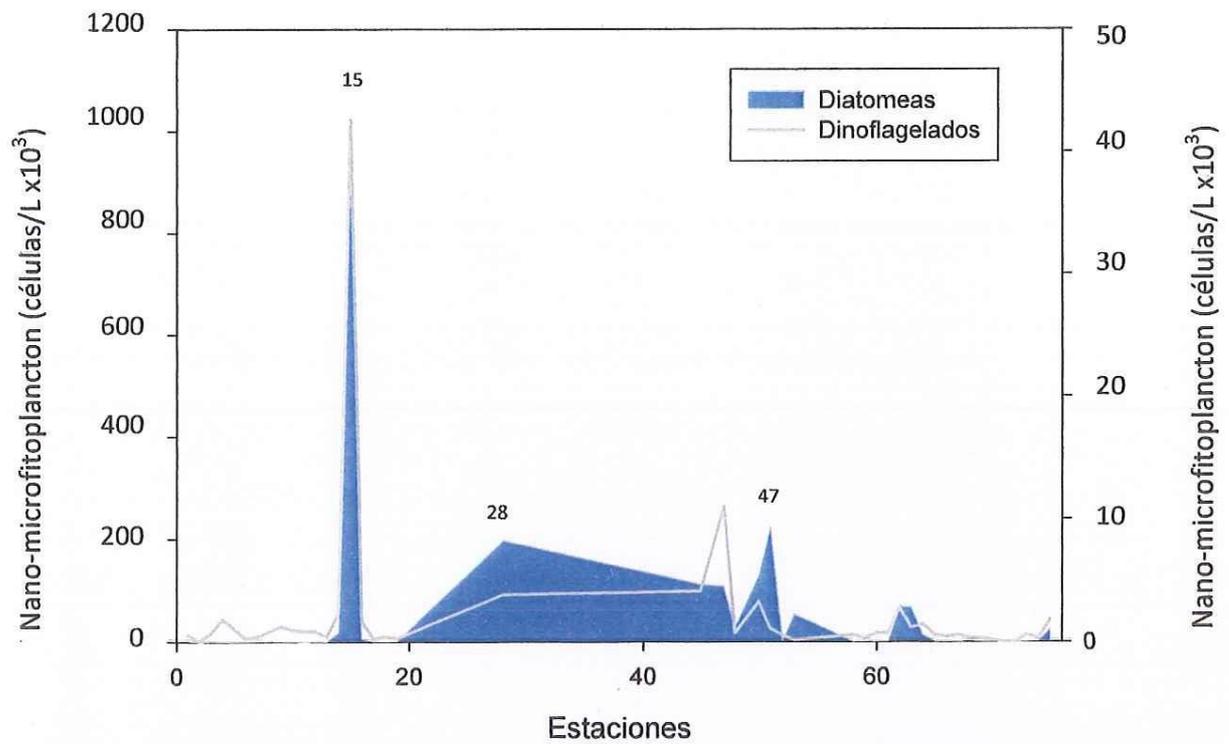


Figura 7.- Abundância de nano-microfitoplancton por grandes grupos taxonômicos (diatomeas y dinoflagelados) durante abril de 2008.

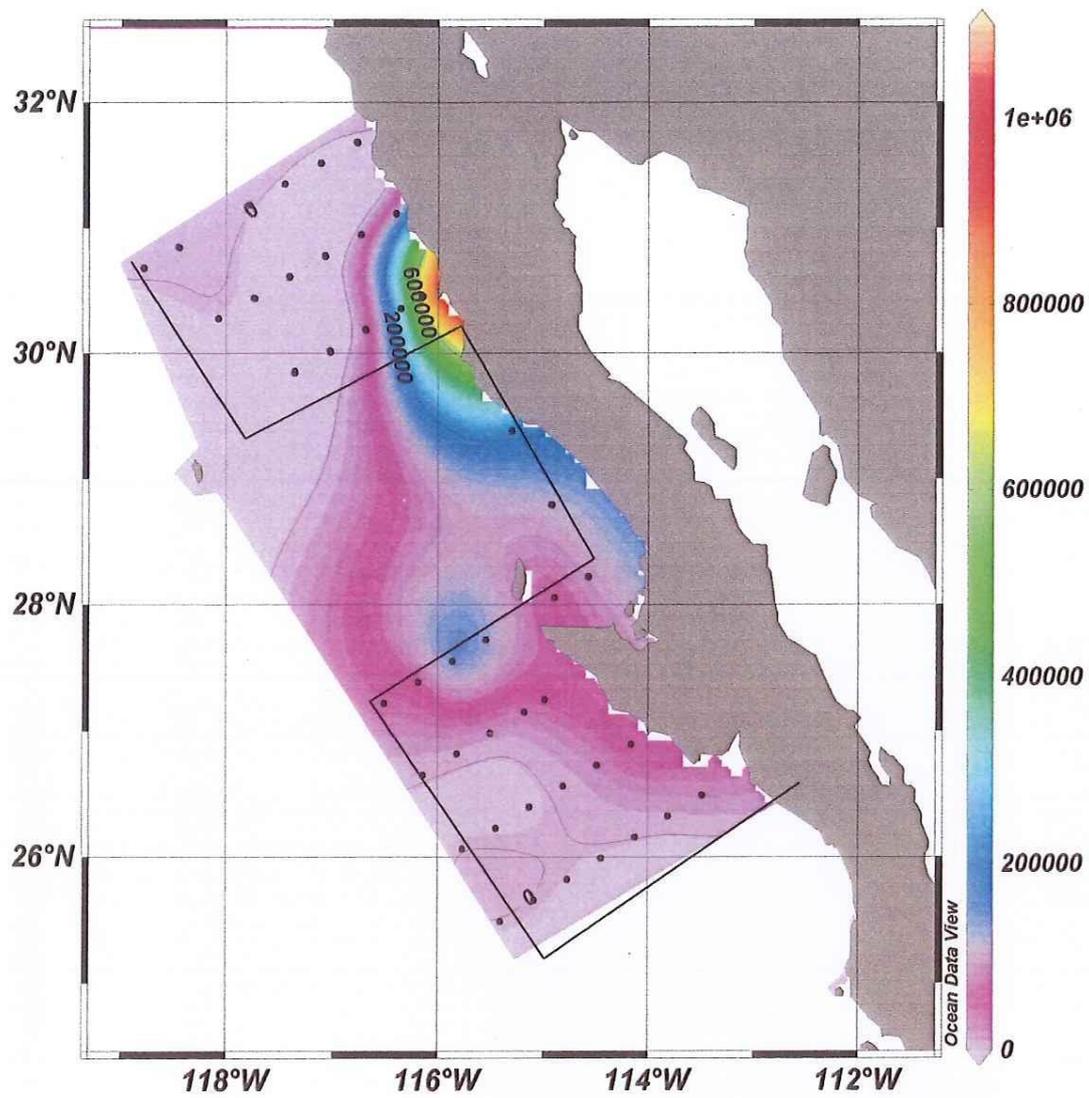
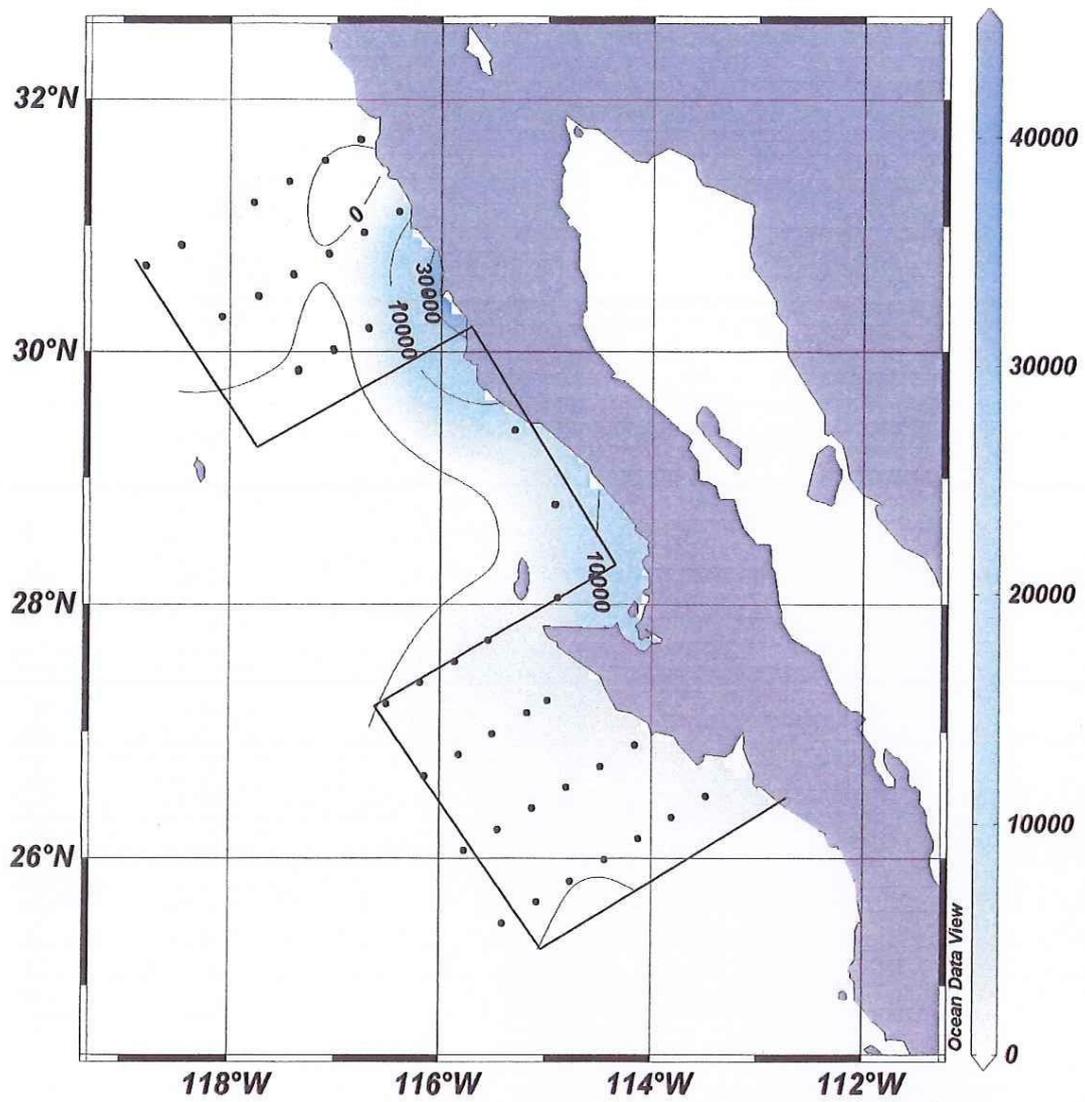


Figura 8.- Distribución espacial de las diatomeas (células/L) durante abril de 2008.



Fi

gura 9.- Distribución espacial de dinoflagelados (células/L) durante abril de 2008.

La abundancia relativa de la comunidad fitoplanctónica a partir del índice de amplitud de nicho (β_i) se muestra en la tabla II, de esta manera se detectaron un total de 20 géneros de diatomeas, 11 género de dinoflagelados y 2 géneros de silicoflagelados. Con éste índice se obtuvieron las abundancias relativas de los géneros, así como su amplitud de nicho, lo cual nos indica la importancia de los taxas analizados, es decir, entre mayor sea el número, mayor distribución espacial tendrá durante el período de muestreo. En lo que corresponde a las diatomeas, se encuentra el género *Nitzschia* spp., con un $\beta_i=916$, seguida de *Coscinodiscus* sp., con $\beta_i=42$; *Navicula* sp., con $\beta_i=40$; *Chaetoceros* sp., con $\beta_i=18$; *Thalassionema* sp., con $\beta_i=17$. En lo que respecta a dinoflagelados, el género más abundante es *Gymnodinium* sp., con $\beta_i=16,815$, seguido de *Ceratium* sp., con un $\beta_i=656$; *Gyrodinium* sp., con $\beta_i=401$; *Prorocentrum* sp., $\beta_i=43$; *Scrippsella* sp., $\beta_i=15$ y *Protoperidinium* sp., con un $\beta_i=12$. En este estudio, los silicoflagelados solamente tienen dos géneros, por lo que la abundancia es la misma para *Dictyocha* sp., y *Distephanus* sp.

El género dominante para el grupo de las diatomeas con relación a Tabla II es la diatomea pennada denominada *Nitzschia* y se detectan en este estudio con cinco especies: *Nitzschia closterium*, *N. seriata*, *N. signoide* y dos especies más que no se lograron identificar, pero se sabe que son diferentes debido a sus características morfológicas. En este caso en particular: la primera *Nitzschia* no identificada midió más de 20 μm de tamaño (microdiatomea) y la segunda es menor a 20 μm (nanodiatomea). Se caracterizó por ser una diatomea pennada y su localización se encontró en la estación 47 y con una abundancia de 65×10^3 células/L (Fig. 10). Por otro lado, en la parte norte del área de estudio encontramos como género dominante a la diatomea céntrica *Eucampia* sp., distribuyéndose solamente en la estación 15, con más de 700,000 células/L (Fig. 11).

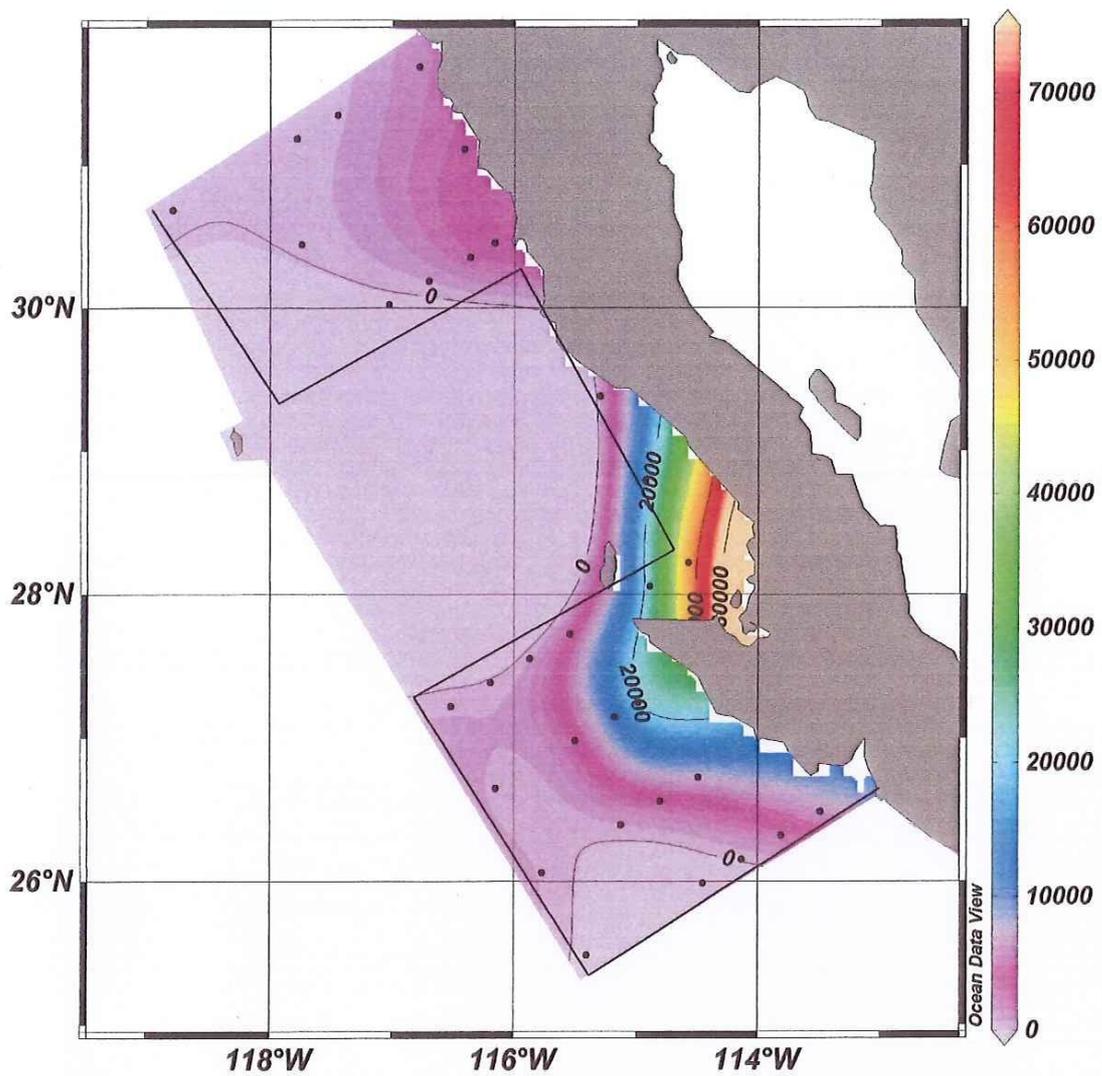


Figura 10.- Distribución espacial del género *Nitzschia* spp., (células/L) durante abril de 2008.

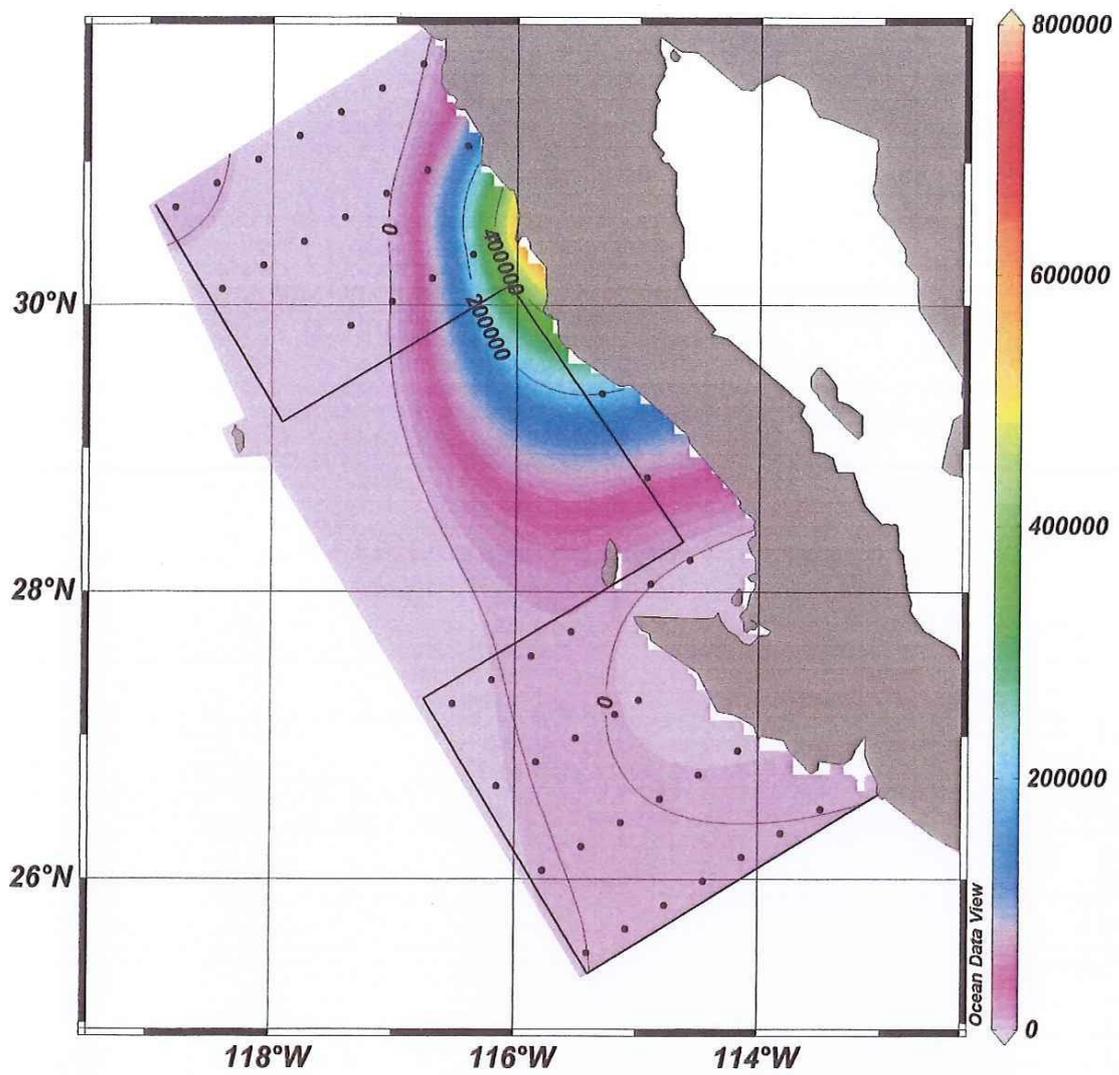


Figura 11.- Distribución espacial del género *Eucampia* sp., (células/L) durante abril de 2008.

C) Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton

Otra manera para caracterizar la comunidad del fitoplancton es por medio de la técnica espectrofotométrica, que se encuentra descrita en la sección de metodología ecuación 1 y consiste en cuantificar el coeficiente de absorción de luz por las partículas que contienen pigmentos y material no pigmentado. Tomando esto en cuenta, se puede observar en la Tabla III, la absorción del material particulado (a_p) y la absorción del material detrítico (a_d); en donde este último presenta una disminución exponencial negativa que va de los 440nm a los 750 nm. En la zona espectral azul (440 nm) es en donde se absorben la mayoría de los pigmentos accesorios, incluyendo la clorofila *a*; y en la zona roja (674 nm) es donde se absorben específicamente la clorofila *a*.

Tabla III.- Coeficiente de absorción del material particulado (a_p) y detrítico (a_d), para abril de 2008.

Punto	Estación	440 _p	440 _d	674 _p	674 _d
1	100.30	0.2802	0.0167	0.1142	0.0020
2	100.35	0.0554	0.0096	0.0170	0.0004
4	100.45	0.0253	0.0049	0.0070	0.0001
6	100.55	0.0121	0.0036	0.0030	0.0002
7	100.60	0.0040	0.0003	0.0008	0.0003
8	103.60	0.0154	0.0069	0.0037	0.0006
10	103.50	0.0155	0.0053	0.0034	0.0006
14	103.30	0.0194	0.0065	0.0095	0.0015
15	107.32	0.4066	0.0434	0.2084	0.0052
17	107.40	0.0228	0.0031	0.0076	0.0011
18	107.45	0.0206	0.0036	0.0066	0.0004
19	107.50	0.0160	0.0030	0.0038	0.0004
28	113.30	0.1287	0.0154	0.0638	0.0019
45	117.30	0.0066	0.0006	0.0026	0.0010
47	120.30	0.5248	0.0352	0.2641	0.0055
48	120.35	0.0764	0.0184	0.0321	0.0013
50	120.45	0.2769	0.0168	0.1561	0.0025
51	120.50	0.1321	0.0094	0.0714	0.0003
52	120.55	0.0597	0.0069	0.0224	0.0010
53	120.60	0.0674	0.0039	0.0258	0.0001
59	123.55	0.0105	0.0021	0.0028	0.0011
61	123.45	0.0492	0.0085	0.0149	0.0003
62	123.42	0.2276	0.0197	0.1099	0.0026
63	127.35	0.2332	0.0158	0.1034	0.0019
64	127.40	0.0464	0.0075	0.0171	0.0001
65	127.45	0.0224	0.0021	0.0061	0.0011
66	127.50	0.0165	0.0022	0.0043	0.0005
68	127.60	0.0053	0.0015	0.0014	0.0008
70	130.55	0.0119	0.0020	0.0027	0.0010
72	130.45	0.0107	0.0007	0.0026	0.0008
73	130.40	0.0172	0.0023	0.0034	0.0008
74	130.35	0.0854	0.0064	0.0289	0.0006

D) La distribución espacial del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph} 440nm) a 10 metros de profundidad.

La absorción de luz por fitoplancton muestra un intervalo de 0.01 a 0.5 /m¹ frente a Baja California. Asimismo, se observan áreas altamente productivas que se pueden clasificar en zonas con valores de absorción mayores a 0.2 /m¹ en las estaciones 15 y 47 (Fig. 12).

Observamos los máximos de absorción y corresponden a la mayor abundancia de diatomeas, específicamente el género *Eucampia* sp., y *Nitzschia* spp., respectivamente. La determinación de áreas productivas a partir del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) la podemos realizar por la magnitud de las curvas espectrales, utilizando valores mayores a 0.035 /m¹ (Fig. 13a). En el área de estudio detectamos un total de 16 estaciones que cumplen con éstas características, mientras que las estaciones oceánicas se identificaron con las curvas espectrales menores a 0.030 /m¹ (Fig. 13b)

En la zona frente a Baja California las curvas espectrales tienden a tener mayor magnitud que en la zona oceánica, de ésta manera las curvas nos permiten clasificar zonas con características oligotróficas ó con ambientes eutróficos.

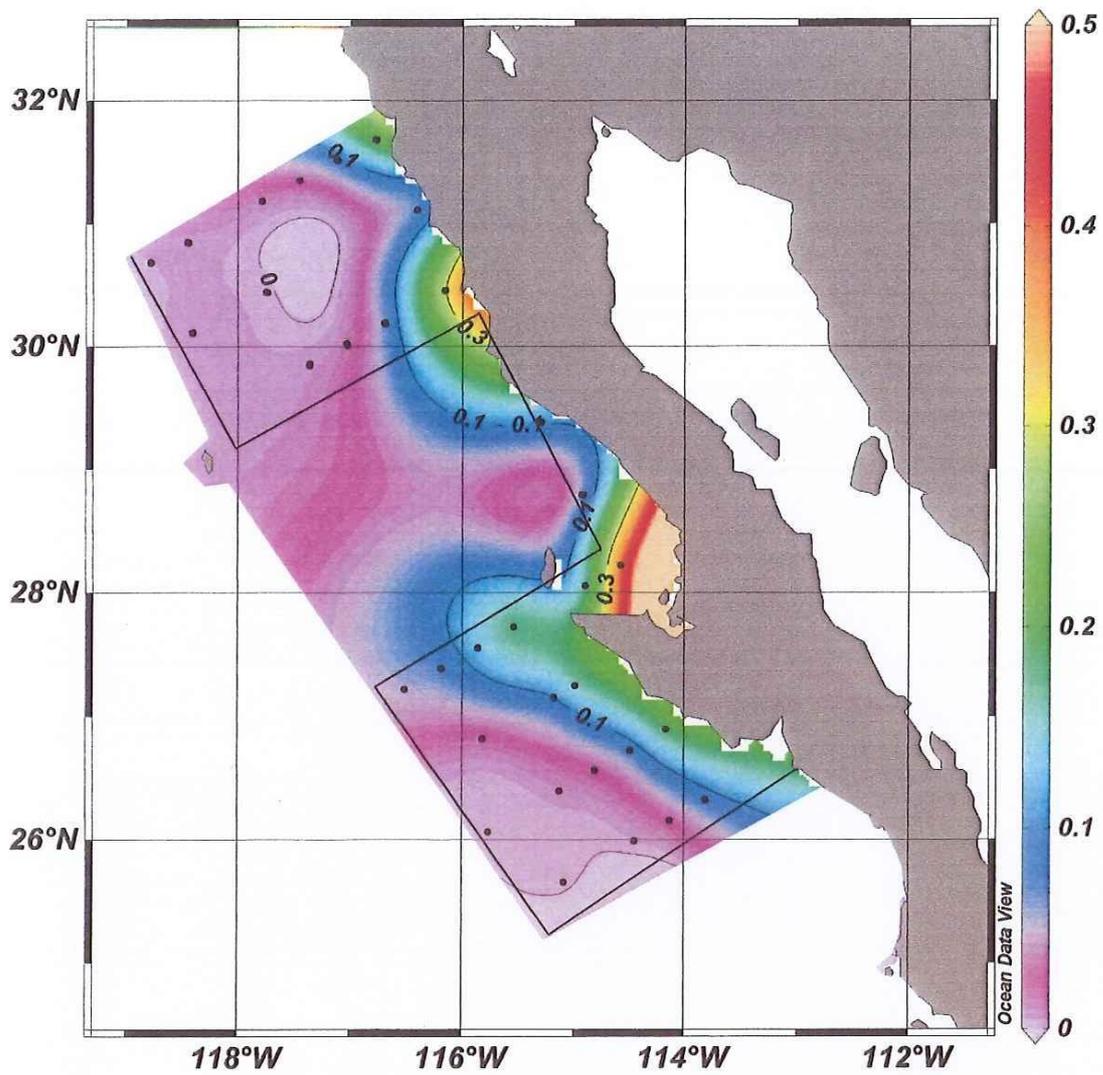


Figura 12.- Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton a 440 nm ($/m^1$) durante abril de 2008.

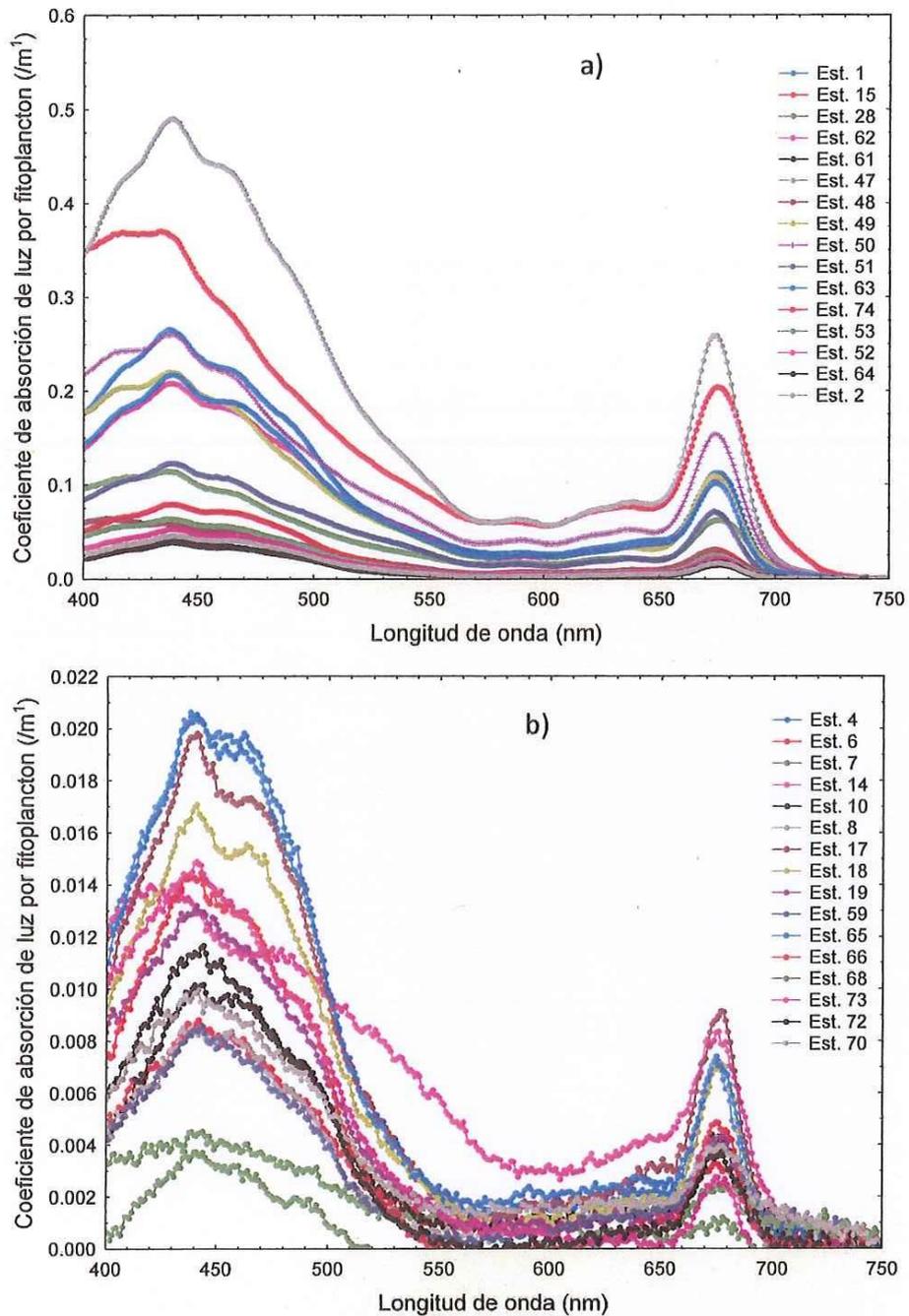


Figura 13.- Magnitud de las curvas espectrales del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) durante abril de 2008.

E) Clasificación océano-costa a partir del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton.

Las magnitudes de las curvas espectrales obtenidas en éste estudio, permiten hacer una clasificación de la zona costera de la zona oceánica (Fig. 13a), en la cual se pueden observar que corresponden a estaciones muy cercanas a la costa; sin embargo hay estaciones que sobresalen por alejarse de la costa, en donde el conjunto de estaciones comprendidas de la 47 a la 53 se encuentra abarcando un poco más hacia la zona oceánica. En un caso particular, se tiene la estación 74 en donde la magnitud es mayor que la que se encuentra cercana a la costa (Fig. 14).

F) Forma de curvas espectrales normalizadas ($a_{ph}n$)

Para poder realizar la forma espectral del coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton, es necesario primero realizar una normalización por la suma total del área por debajo de la curva ($a_{ph}n$), el cual se lleva a cabo utilizando la ecuación número dos descrita en la metodología (Fig. 15). Una vez obtenidas las curvas anteriores, es necesario determinar si son diferentes por lo que a partir de la forma espectral se realizó una separación de los grupos de curvas similares aplicando una estadística descriptiva a priori de los grupos similares ó idénticas con relación a la forma espectral.

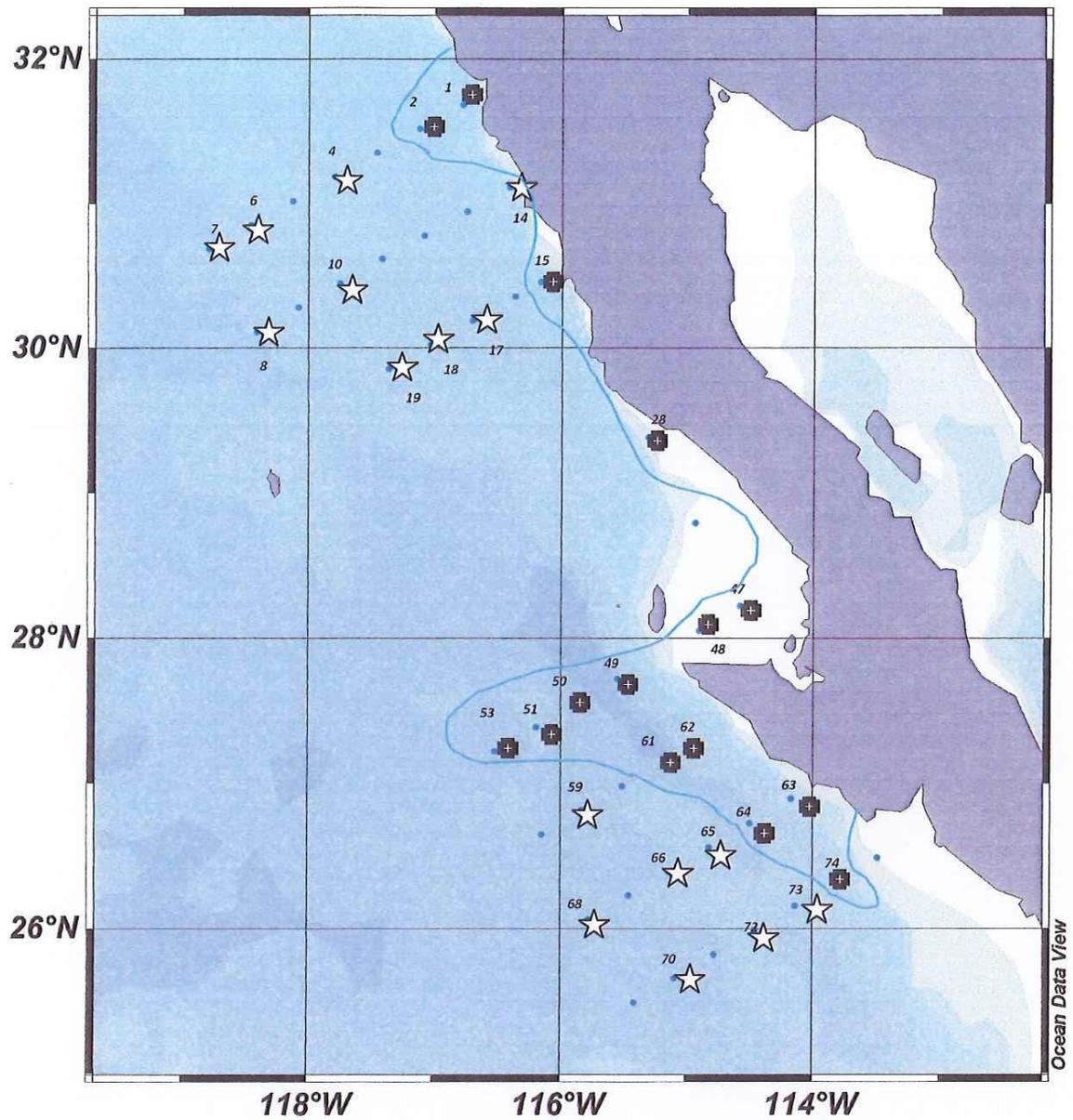


Figura 14.- Caracterización océano-costa a partir de la magnitud del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph}) durante abril de 2008. La línea azul divide la zona costera con la oceánica. Las estrellas indican las estaciones oceánicas y las cruces negras indican las estaciones costeras.

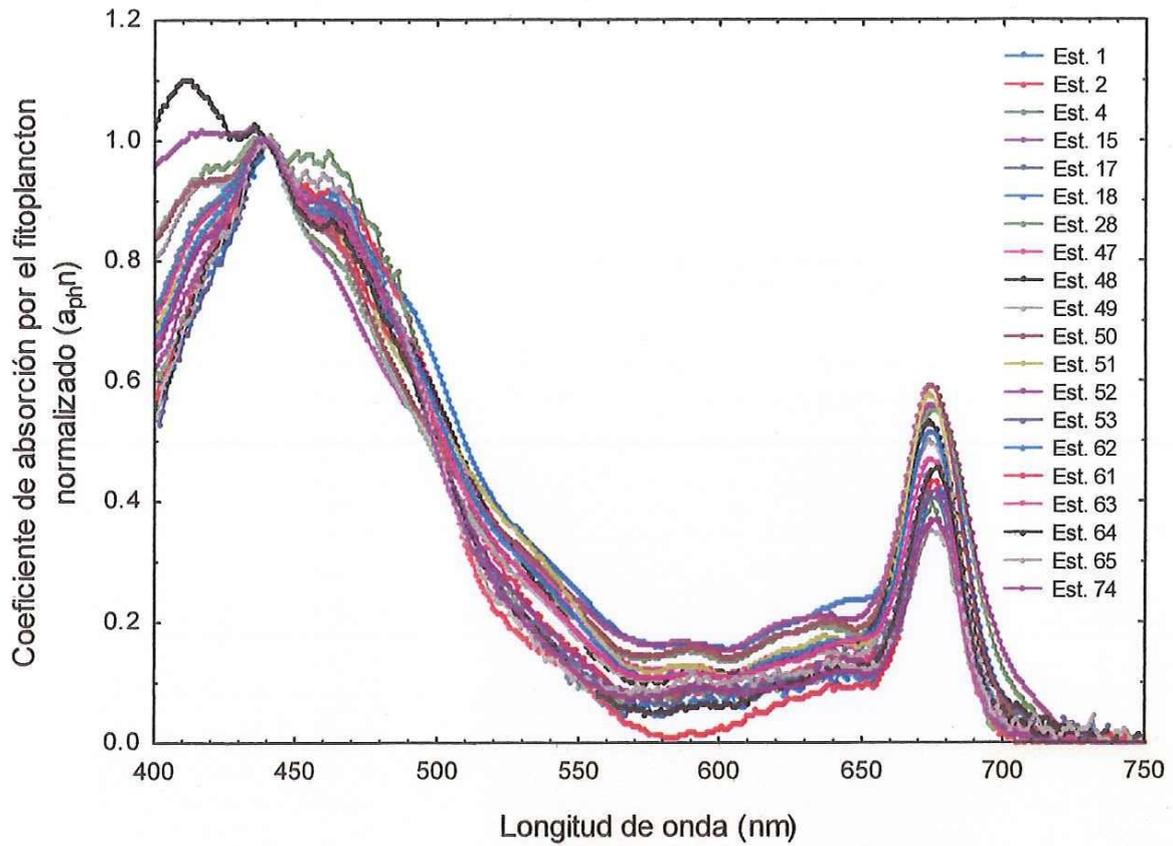


Figura 15.- Espectros de absorción normalizados (a_{ph}/n) por la suma del área debajo de la curva espectral del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton ($a_{ph}, /m^1$).

G) Curvas características para abril de 2008 frente a Baja California.

Las curvas normalizadas que caracterizan a la comunidad del fitoplancton para éste estudio corresponden a 4, en donde se puede hacer la comparación con respecto al género dominante que son las diatomeas, ya que son características por la pendiente que se genera entre los 550 a 440 nm. Es importante mencionar que estas cuatro curvas representativas, tienen diferente magnitud debido a la composición de la comunidad del fitoplancton que varía espacialmente. El valor mínimo del coeficiente de absorción del fitoplancton normalizado corresponde a una zona oligotrófica con $0.008 /m^1$ (Fig. 16b), mientras que para zonas productivas su coeficiente de absorción de luz por fitoplancton normalizado corresponde a $0.01 /m^1$ (Figs. 16 a y c) y por último a la última curva le corresponde un valor mayor de $0.016 /m^1$ (Fig. 16d).

H) Relación de la forma de la curva espectral con la comunidad del fitoplancton

La comunidad del fitoplancton es caracterizada por la forma de la curva espectral, por lo que para el período de muestreo se puede observar que la comunidad del fitoplancton presenta una marcada diferencia. Cuando se encuentra una zona donde hay una dominancia de diatomeas en un 97% (Fig. 17 d') se puede observar una pendiente de la curva espectral presenta una inclinación que es propia del grupo de las diatomeas (Fig. 17 d). Al variar la composición de la comunidad del fitoplancton en un 88 y 84% (Fig. 17 b y c) respectivamente, las curvas espectrales presentan una cierta

variación en la inclinación en el intervalo de los 550 a 440 nm (Fig. 17 b' y c'). Por otra parte, cuando el grupo de la composición del fitoplancton se encuentra dominado por los dinoflagelados la pendiente de la curva espectral tiende a ser como una línea recta (Fig. 18 a) comparándola con la comunidad del fitoplancton se encuentra que tiene un 52% (Fig. 18 a').

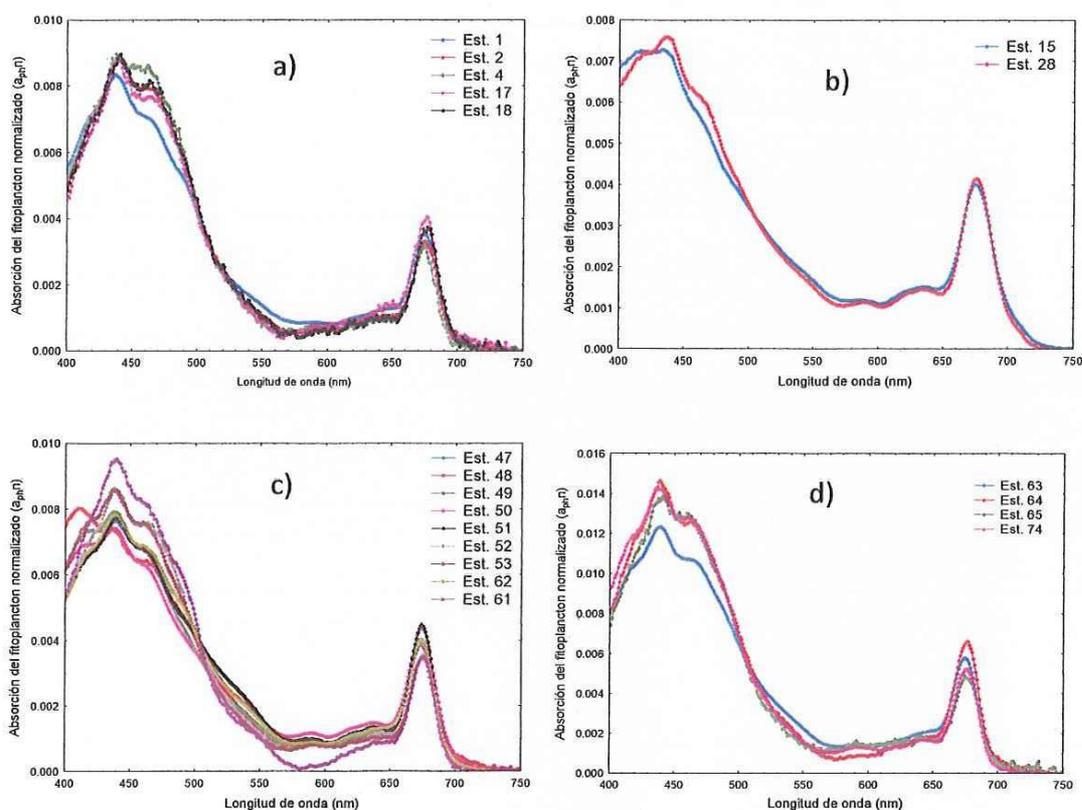


Figura 16.- Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton para abril de 2008.

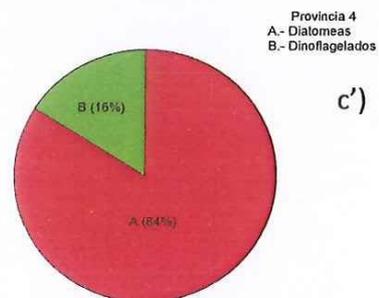
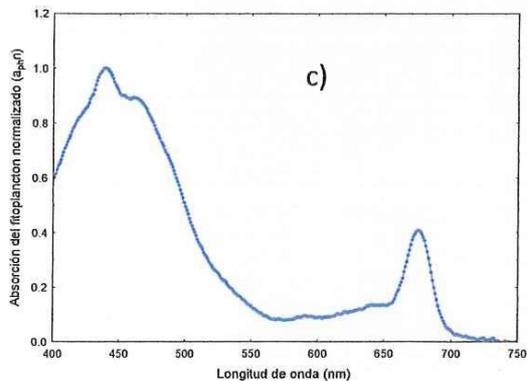
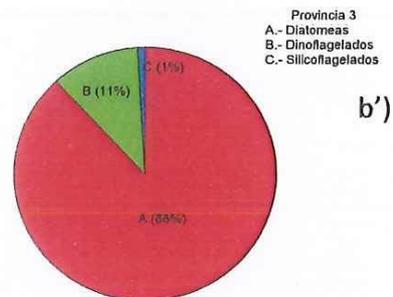
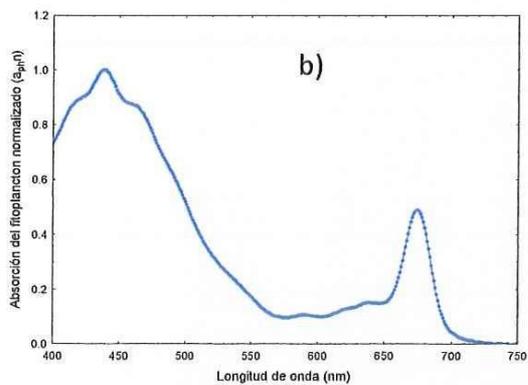
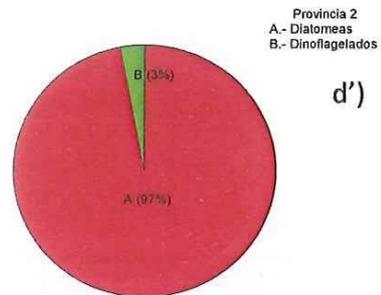
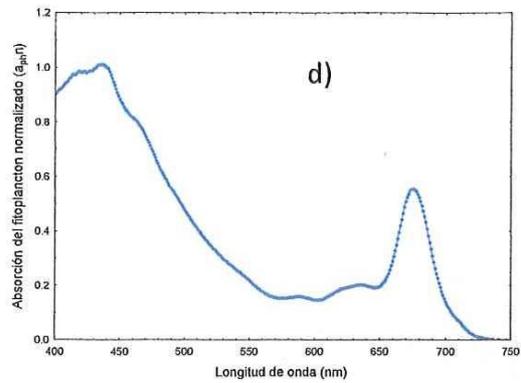


Figura 17.- Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton con la composición de la comunidad del fitoplancton para abril de 2008, mayor composición por diatomeas.

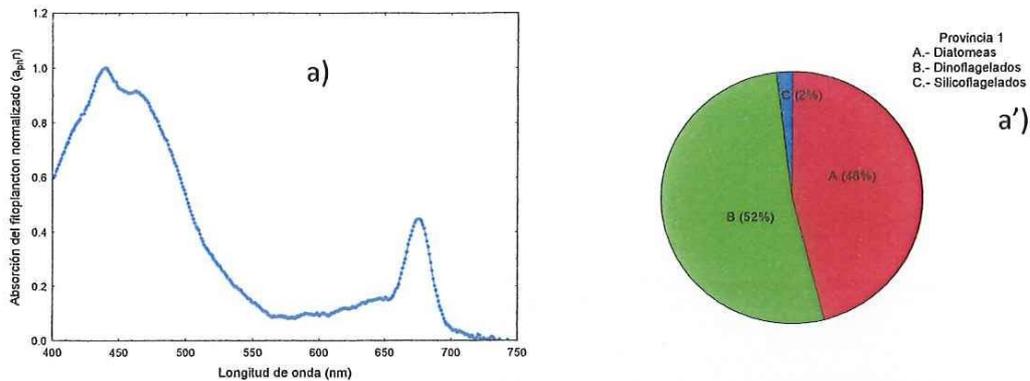


Figura 18.- Curvas representativas para el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton con la composición de la comunidad del fitoplancton para abril de 2008, mayor composición por dinoflagelados.

1) Índices ecológicos aplicados a la comunidad del fitoplancton para abril de 2008.

Los índices de Shannon-Weaver (1949), indica una heterogeneidad de la comunidad fitoplanctónica, en donde se catalogaron en 5 provincias fitogeográficas; obtenidas mediante una tabla de frecuencias para obtener una asociación de la comunidad fitoplanctónica (Tabla V), en donde se puede observar que el valor máximo corresponde a 1.9 bits/individuo siendo en promedio 0.8949 (Fig. 19).

Especialmente éste índice indica que la mayor heterogeneidad frente a Baja California se ubica en las primeras estaciones (Tabla IV), cabe mencionar que la estación número 9 es a la que le corresponde el mayor valor 1.9062 y a partir de esto, tiende a disminuir el valor del índice hacia el sur, mientras que frente a Bahía Todos Santos se encuentra una diversidad nula (estación 2) (Fig. 20).

El índice de Simpson indica la dominancia de la comunidad fitoplanctónica, encontrando que es inverso al índice de Shannon-Weaver, encontrando que la estación 2 le corresponde un valor de 1 y a la estación 9 un valor <0.2 (Fig. 21). Especialmente el índice de Simpson tiende a disminuir hacia el norte encontrando la mayor diversidad en la parte sur de la península (Tabla VI).

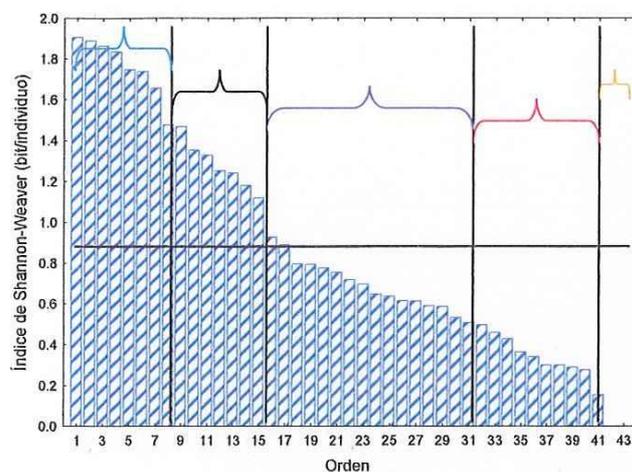


Figura 19.- Relación del Índice de diversidad de Shannon-Weaver (1949) para abril de 2008.

Tabla V.- Tabla de frecuencias acumulativas del índice de Shannon-Weaver (1949).

Categoría	Datos	Acumulativos
-0.5 a 0.0	1	1
0.0 a 0.5	10	11
0.5 a 1.0	16	27
1.0 a 1.5	8	35
1.5 a 2.0	7	42

Tabla IV.- Provincias en base al índice de Shannon-Weaver (1949).

Orden	Estación	Orden	Estación
1	9	22	45
2	11	23	67
3	3	24	71
4	4	25	47
5	12	26	50
6	14	27	65
7	19	28	66
8	17	29	60
9	15	30	68
10	28	31	59
11	16	32	58
12	6	33	48
13	10	34	61
14	13	35	70
15	7	36	18
16	1	37	74
17	64	38	75
18	52	39	53
19	69	40	73
20	62	41	51
21	63	42	2

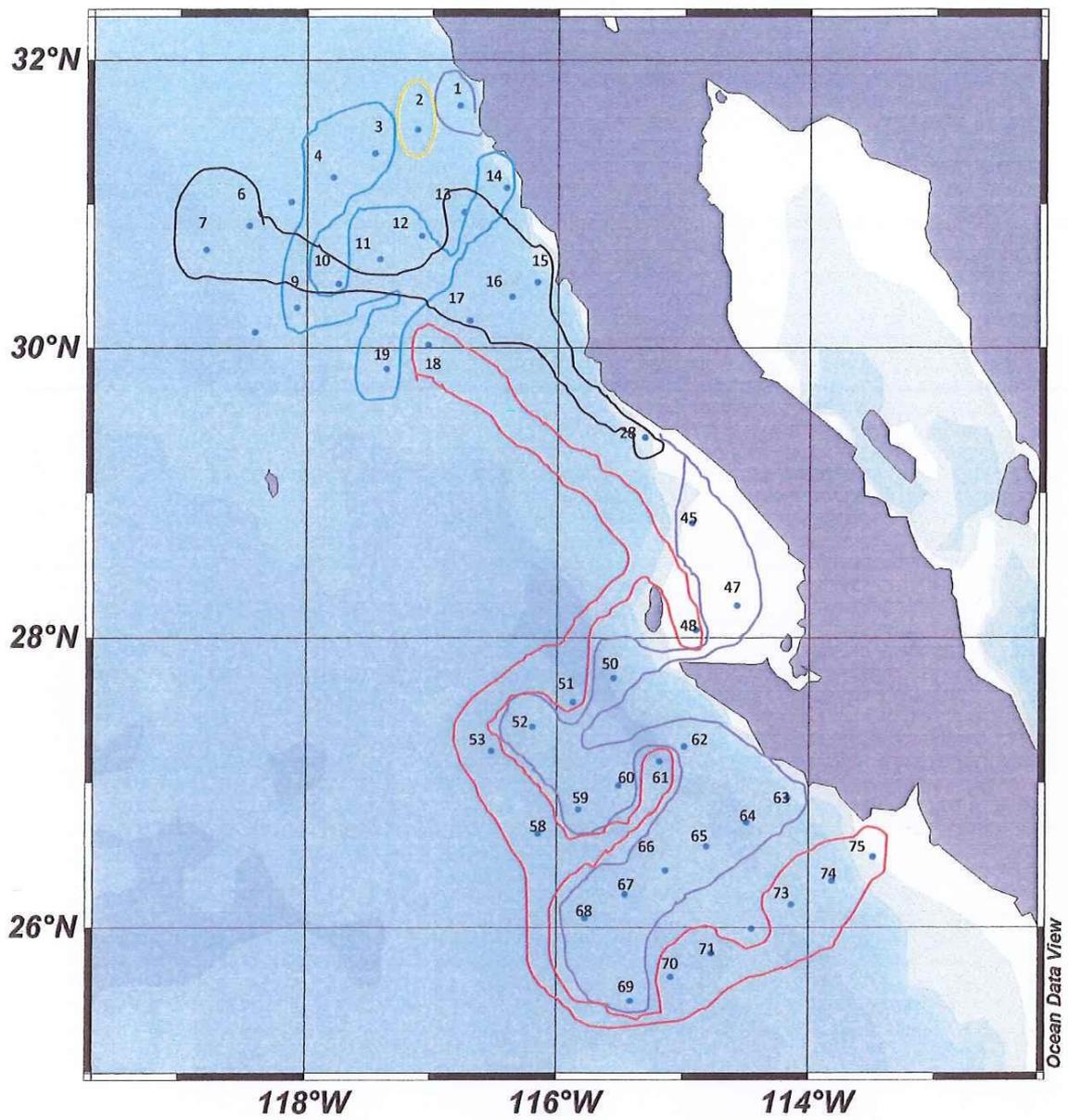


Figura 20.- Distribución espacial del índice de Shannon-Weaver(1949), indicando provincias fitogeográficas para abril de 2008, fueron determinadas con el histograma del índice de Shannon-Weaver (1949).

Tabla VI.- Orden de estaciones correspondientes al índice de Simpson.

Orden	Estación	Orden	Estación
1	2	22	60
2	18	23	16
3	51	24	65
4	53	25	14
5	70	26	17
6	1	27	66
7	73	28	15
8	7	29	71
9	74	30	63
10	75	31	19
11	13	32	45
12	48	33	4
13	50	34	52
14	58	35	67
15	61	36	69
16	6	37	12
17	47	38	64
18	68	39	62
19	59	40	3
20	10	41	11
21	28	42	9

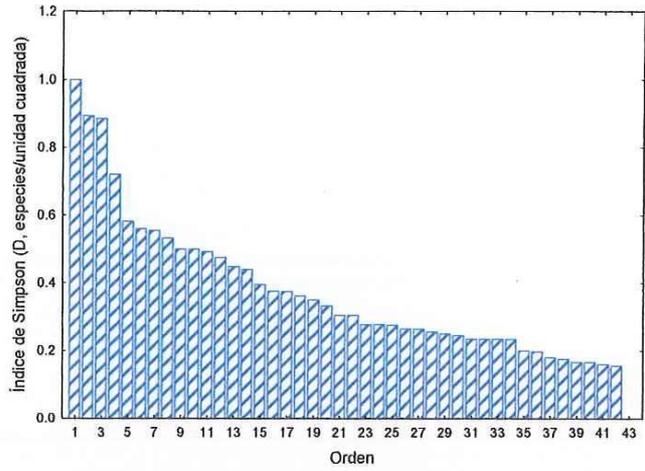


Figura 21.- Relación del Índice de dominancia de Simpson para abril de 2008.

J) Análisis estadístico para la comunidad fitoplanctónica para abril de 2008.

El análisis de conglomerados da un conjunto de jerarquías en base a los géneros encontrados durante abril de 2008, encontrando que las diatomeas en particular *Eucampia* sp., no se encuentra asociada con ninguna otro género. Un conjunto muy claro se presenta con *Rhizosolenia* sp., *Ditylum* sp., *Skeletonema* sp., *Pseudoeunotia* sp., *Thalassiosira* sp., *Nitzschia* sp., *Chaetoceros* sp., *Pseudonitzschia* sp.; cabe mencionar que en el grupo de las diatomeas, una asociación muy fuerte es la de *Coscinodiscus* sp., con *Thalassionema* sp. (Fig. 22). Al tomar en cuenta la Tabla II en la que se encuentra la amplitud de nicho; en el grupo de las primeras 8 diatomeas se encuentra una asociación estrecha entre *Coscinodiscus* sp., *Thalassionema* sp., *Navicula* sp., estarán siempre presente; seguida de la asociación de *Rhizosolenia* sp., *Nitzschia* sp., *Chaetoceros* sp., y el género que se encuentra menos asociado es *Eucampia* sp., (Fig. 23). Al tratar de identificar los géneros en cada uno de los dendrogramas se utilizó una clave (Tabla VII).

Al determinar las provincias fitogeográficas para abril de 2008 se encontraron 6 principales que son en asociación a los primeros 8 géneros de diatomeas, en donde sobresale que la estación 13 no se encuentra asociada con ninguna otra estación con una distancia Euclidiana de 7.3623 (Fig. 24).

La razón cofenética de cada uno de los dendrogramas obtenidos corresponde a 0.9988, 0.9948 y 0.9986, respectivamente, lo que indica que los análisis indican que fueron eficientes y las asociaciones son correctas.

Tabla VII.- Clave para los dendrogramas utilizando los géneros tal como aparecen en la tabla de amplitud de nicho.

Género	Clave
<i>Nitzschia</i>	Nit
<i>Coscinodiscus</i>	Cos
<i>Navicula</i>	Nav
<i>Chaetoceros</i>	Cha
<i>Thalassionema</i>	Tha
<i>Pseudonitzschia</i>	Psn
<i>Rhizosolenia</i>	Rhi
<i>Eucampia</i>	Euc
<i>Thalassiosira</i>	Thl
<i>Actinopterychus</i>	Act
<i>Guinardia</i>	Gui
<i>Pseudoeunotia</i>	Pse
<i>Hemialus</i>	Hem
<i>Ditylum</i>	Dit
<i>Leptocylindrus</i>	Lep
<i>Asterionella</i>	Ast
<i>Gramatophora</i>	Gra
<i>Corethron</i>	Cor
<i>Planktoniella</i>	Pla
<i>Skeletonema</i>	Ske
<i>Gymnodinium</i>	Gym
<i>Ceratium</i>	Cer
<i>Gyrodinium</i>	Gyr
<i>Prorocentrum</i>	Pro
<i>Scropsiella</i>	Scr
<i>Protoperidinium</i>	Prt
<i>Gongalax</i>	Gon
<i>Dinophysis</i>	Din
<i>Oxytoxym</i>	Oxy
<i>Peridinium</i>	Per
<i>Pyrocystis</i>	Pyr
<i>Distephanus</i>	Dis
<i>Dictyocha</i>	Dic

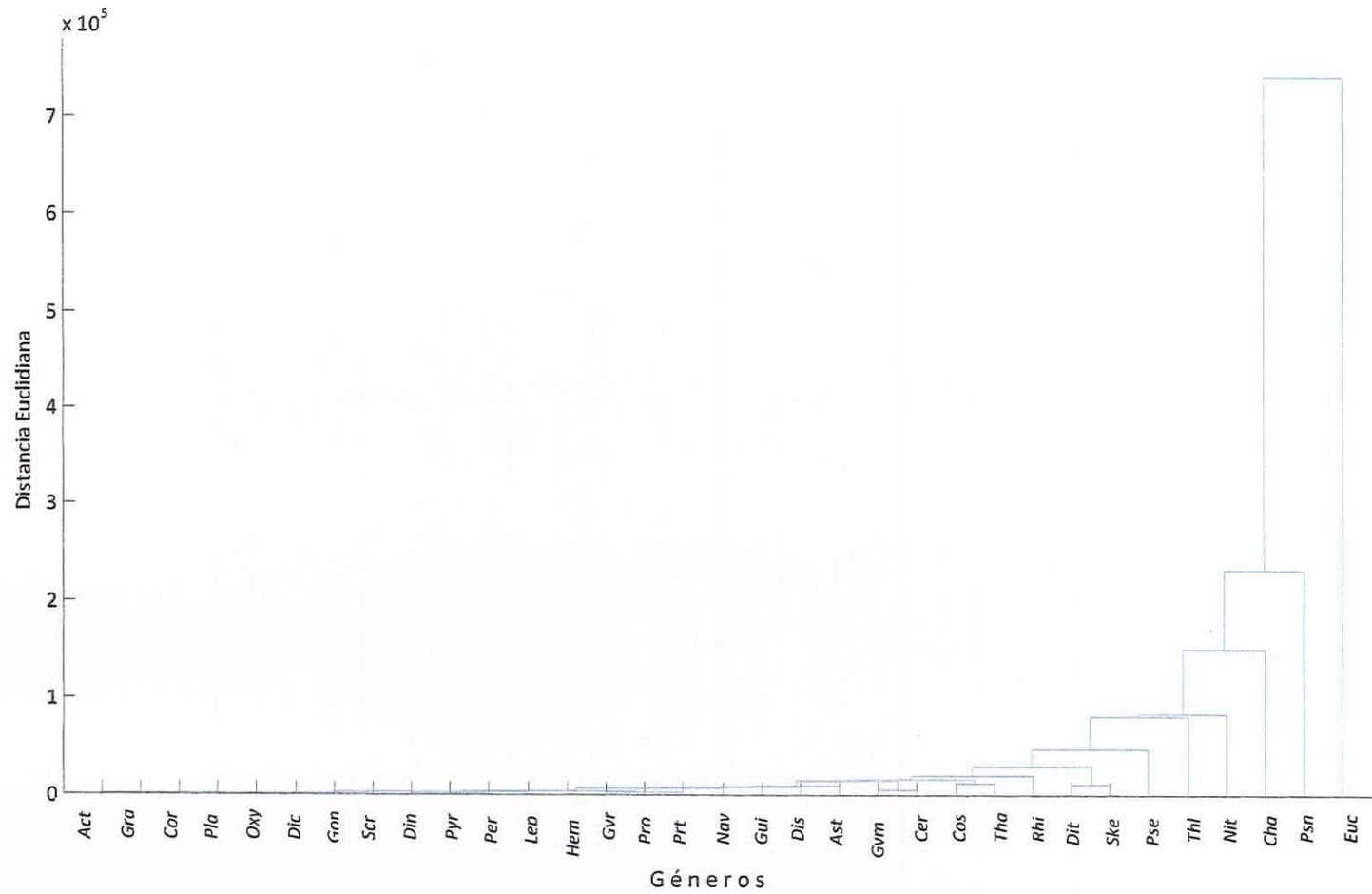
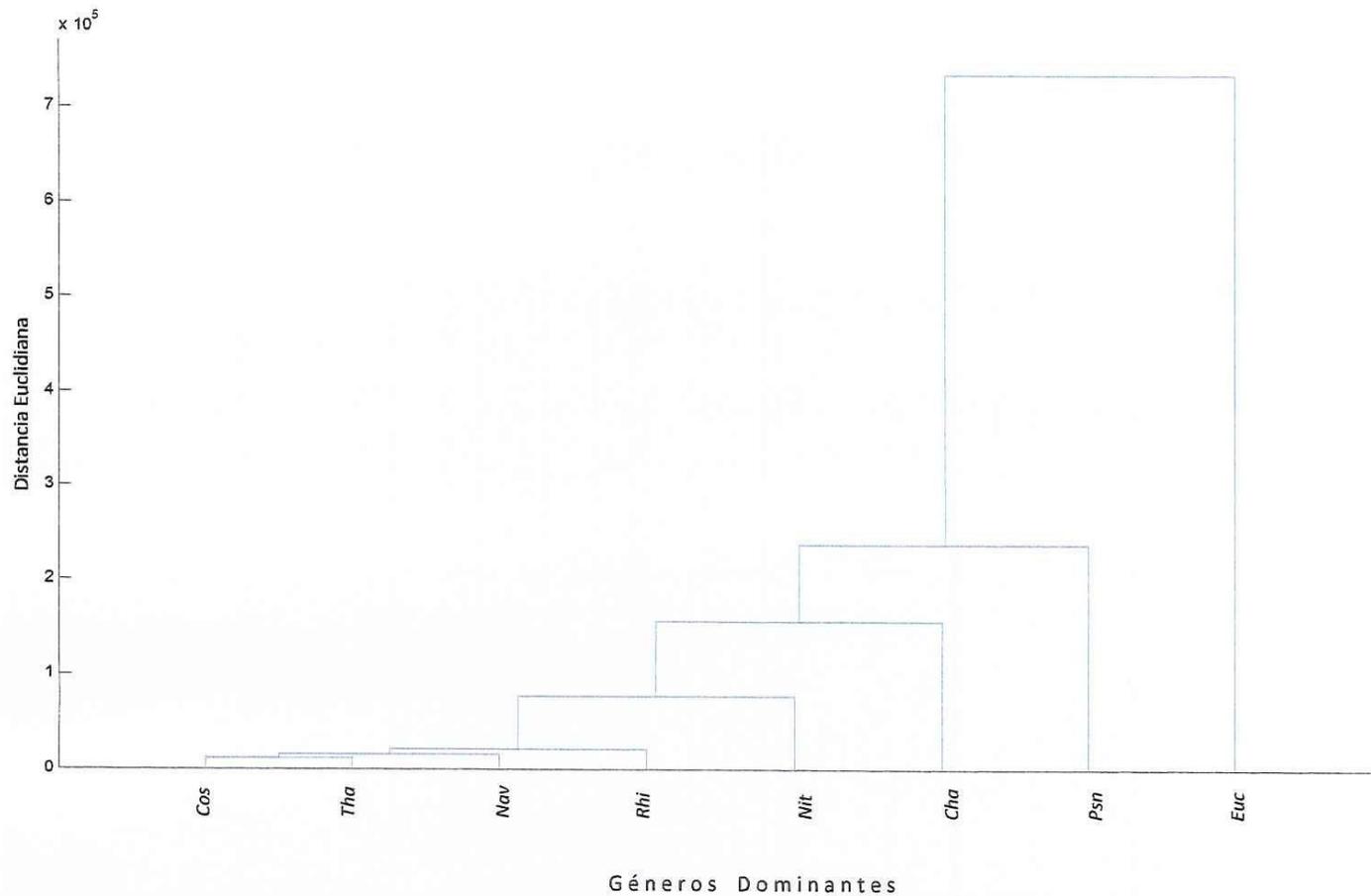


Figura 22.- Dendrograma de los géneros encontrados a partir del índice de amplitud de nicho (tabla II), utilizando la distancia Euclidiana y el método de conglomerado UPGMA.



Géneros Dominantes
 Figura 23.- Dendrograma de los primeros 8 géneros a partir del índice de amplitud de nicho, utilizando la distancia Euclidiana y el método de conglomerados UPGMA.

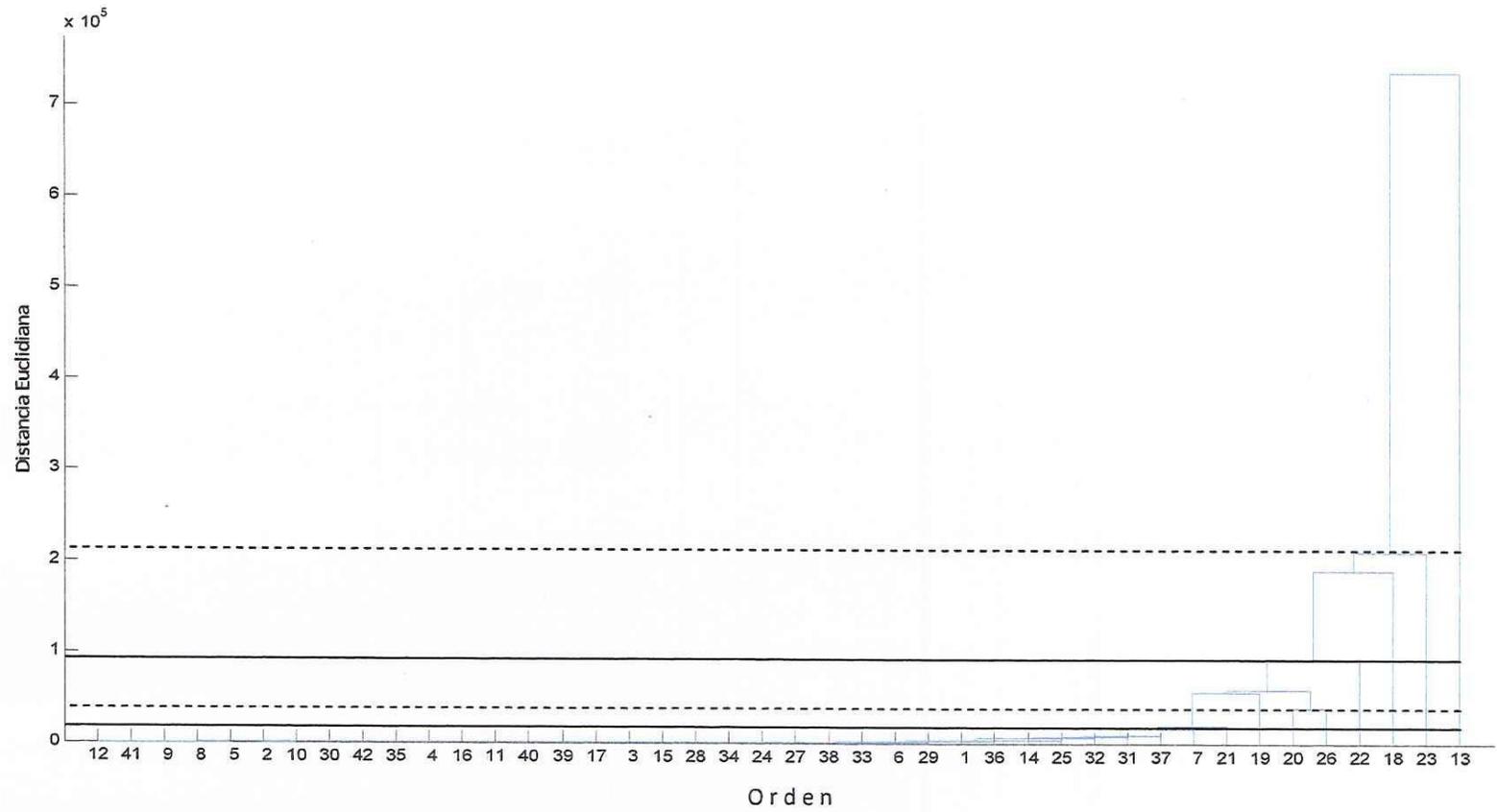


Figura 24.- Dendrograma de las provincias fitogeográficas para el área de estudio, utilizando la distancia Euclidiana y el método de conglomerados UPGMA para abril de 2008. Las líneas representan las diferentes provincias encontradas.

El análisis de conglomerados permite ver el conjunto de estaciones están asociados con respecto a los primeros 8 géneros de diatomeas, por lo que se hace una separación jerárquica con respecto a ellas, por lo que se muestran las 5 provincias (Tabla XI), esta categorización se realizó en base a una tabla de frecuencias usando las distancias Euclidianas, calculadas en matlab (Tabla VIII), y donde además permite hacer una separación de zonas (norte, centro y sur).

Las provincias fitogeográficas encontradas frente a Baja California, en donde se pueden observar las provincias las cuales están compuestas de la siguiente manera: Frente a San Quintín, se encuentra solamente *Eucampia* sp., (estación 15), *Pseudonitzschia* sp., se encuentra separada latitudinalmente en donde comprende un conjunto de estaciones (9, 45 y 48), la provincia fitogeográfica donde se encuentra *Nitzschia* sp., se encontrará también *Thalassiosira* sp., ésta no aparece dentro de los 8 primeros géneros debido a que no se encuentra con un índice grande de la amplitud de nicho; a este par de diatomeas le corresponde otro conjunto de estaciones de la zona centro (28, 47, 50, 51 y 58). Otra provincia que solamente tiene un género es la que contiene *Chaetoceros* sp., que se encuentra distribuido en las siguientes estaciones, 1, 7, 16, 53,61, 63-64, 68-69. Finalmente la provincia que contiene la mayor parte de los primeros géneros es la que cuenta con *Coscinodiscus* sp., *Thalalassionema* sp., *Navicula* sp., y *Rhizosolenia* sp., encontrándolos en el conjunto restantes de estaciones (Fig. 25).

Tabla VIII.- Tabla de frecuencias de las Distancias Euclidianas de la figura 24.

Categoría	Datos
-1 a 0	3
0 a 1	36
1 a 2	1
2 a 3	1
3 a 4	0
4 a 5	0
5 a 6	0
6 a 7	0
7 a 8	1

Tabla IX.- Estaciones correspondientes a las provincias fitogeográficas.

Orden	Estación	Orden	Estación
1	1	22	50
2	2	23	51
3	3	24	52
4	4	25	53
5	6	26	58
6	7	27	59
7	9	28	60
8	10	29	61
9	11	30	62
10	12	31	63
11	13	32	64
12	14	33	65
13	15	34	66
14	16	35	67
15	17	36	68
16	18	37	69
17	19	38	70
18	28	39	71
19	45	40	73
20	47	41	74
21	48	42	75

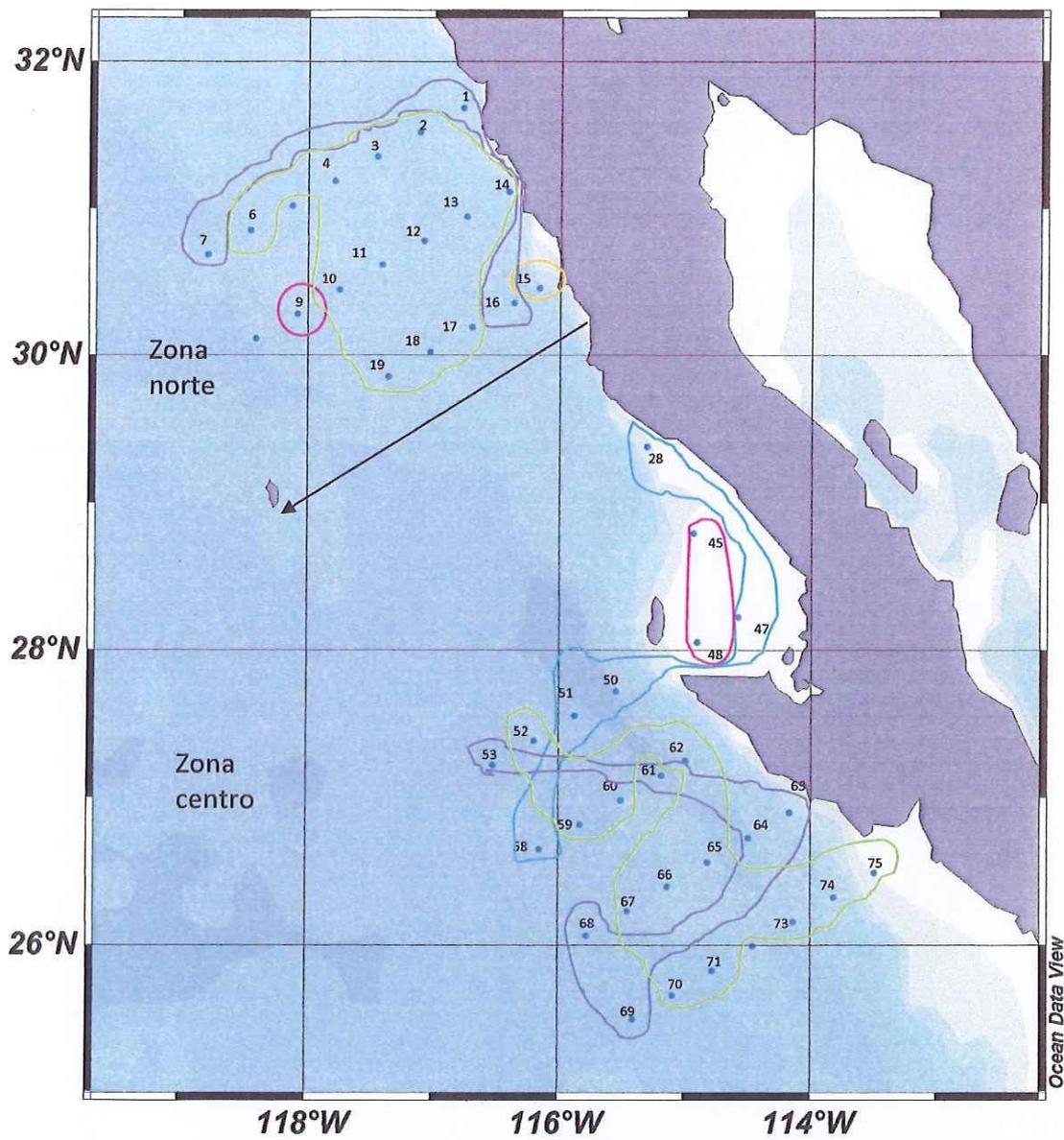


Figura 25.- Provincias fitogeográficas para abril de 2008, utilizando el dendrograma de las provincias, usando los primeros 8 géneros en relación con los demás.

DISCUSIÓN

A inicios del 2008, los indicadores del fenómeno de La Niña, presentaron un fortalecimiento solamente a los previos observados durante un fenómeno de la Niña fuerte de pocas décadas atrás, en donde la capa de mezcla presentaba temperaturas altas hacia el centro y el sur de California, que son respuesta de este fenómeno. Hacia la península de Baja California, también se presentaron estos indicadores fuertemente, usualmente en donde la capa de mezcla presentó altas temperaturas.

Las condiciones encontradas en la región de IMECOCAL para enero 2008 fueron similares a las condiciones de Abril 2007, en donde el mal tiempo durante este muestreo no permitió la toma de muestra en algunas estaciones fuera de la costa, y la sección era similar a la observada durante Abril en la sección sur del 2007. La región sureste fue caracterizada por medio de flujos. En donde la corriente ascendente costera disminuyó en Ensenada y hacia el sur del paralelo 29.5 °N, donde el agua a 10 metros de profundidad presentaba temperaturas menores de 15°C, y las concentraciones de clorofila mayores a 2 mg/m³. La corriente ascendente en esta época es anormal para esta región, reflejándose en la altura dinámica del océano (McClathie *et al.*, 2008). Sin embargo a partir del mismo paralelo se registraron temperaturas mayores de 15°C (Fig. 3) a partir del paralelo 28 °N incrementando hacia la zona sur; cabe mencionar que al sur de Punta Baja se encuentra una zona de

surgencia, identificándose por medio de la temperatura, ya que se tiene registro menor a 10 °C a 10 metros de profundidad (Fig. 3).

Venrick *et al.*, (2003) menciona que para el sistema de la Corriente de California, se presentó una intrusión anómala de aguas del subártico el cual fue muy claro; presentándose desde el Golfo de Alaska hasta la parte sur de California mientras que para la región de IMECOCAL no fue muy evidente. Para abril de 2008 se presentó una intrusión de aguas de la Corriente del Subártico en la parte norte del área de estudio (Fig. 6).

La intrusión del agua que se presentó en el 2003 fue caracterizada por una concentración elevada de nutrientes y de surgencias intensas, reflejándose en los enriquecimientos de las concentraciones de clorofila (Venrick, 2003).

La asociación de las condiciones oceanográficas con la comunidad del fitoplancton no se puede separar ya que cabe mencionar que el fitoplancton no tiene capacidad natatoria, por lo que se pueden utilizar como indicadores de masas de agua, conociendo las propiedades físico-químicas que presentan y que además tienen influencias sobre los cambios fisiológicos del fitoplancton.

Los altos niveles de la cadena trófica no presentaron respuesta sistemática a las condiciones del fenómeno de La Niña en el sistema de la Corriente de California McClatchie *et al.*, (2009); mientras que para este estudio se muestran que la población de dinoflagelados es menor 40×10^3 células/L (Fig. 9), a comparación de las diatomeas

en la que su abundancia presentó un máximo de 1×10^6 células/L, frente a Bahía San Quintín (estación 15) (Fig. 8), que se encuentra representado por la diatomea *Eucampia* sp., es importante mencionar otro parche de diatomeas con una gran abundancia es el género *Nitzschia* sp., con 70×10^3 células/L (Fig. 10) frente a Bahía Vizcaíno.

Las características ecológicas de la comunidad del fitoplancton en la región están directamente influenciadas por las condiciones que imperan en la zona (Ortíz-Rosales, 1997), para el sistema de la Corriente de California son importantes las zonas dinámicas, tales como meandros, giros anticiclónicos y ciclónicos, el comportamiento de la capa de mezcla y la intensidad de las surgencias y menos importantes las corrientes que rigen sobre la península de Baja California y que se presentan en el período de muestreo.

Las condiciones oligotróficas reportadas por Millán *et al.*, (2004), de la Corriente de California, corresponden a la zona eufótica de la corriente de California, corresponde a dos capas, mientras que la adaptación del fitoplancton a los gradientes de luz y a los nutrientes (Vendrick, 2000), también reporta que para Punta Eugenia se da el mayor aporte de diatomeas, que para este estudio se encontró *Nitzschia* sp., (Fig. 10), mientras que la otra especie de diatomea que se encuentra aportando gran biomasa es *Eucampia* sp., que debido al comportamiento que presenta, entra en una categoría de especie sucesiva, ya que se encuentra compartiendo espacio con dinoflagelados, pero no se encuentra estrechamente relacionada con ningún otro

género de diatomea. Mientras Millán *et al.*, (2004), menciona que *Nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp., y *Thalassionema* spp., en donde menciona que las altas concentraciones de clorofila a corresponde a este grupo. En particular para abril de 2008 se encuentra una asociación un tanto más alejada entre los dos primeros géneros mientras que *Thalassionema* sp., se encuentra compartiendo espacio con *Coscinodiscus* sp., (Fig. 23).

Tomando esto en cuenta, se puede observar que la distribución de estas dos diatomeas es muy diferente ya que depende su distribución de la disponibilidad de luz y de nutrientes, por lo que, en las zonas en donde se encuentran distribuidas tienen condiciones oceanográficas diferentes, en tanto a las propiedades físicas y químicas. Esto no se encuentra reflejado en la Tabla II, ya que *Nitzschia* sp., ocupa el primer lugar en abundancia relativa, mientras que *Eucampia* sp., en el octavo lugar, pero sin embargo, tiene presencia en San Quintín, mientras que *Nitzschia* sp., tiene presencia en Bahía Vizcaíno; dos zonas con condiciones oceanográficas totalmente diferentes.

En la tabla II, se puede observar que los dinoflagelados dominan la estructura de la comunidad fitoplanctónica, ya que presentan un índice de abundancia de $\beta=16,815.213$ para dinoflagelados; mientras que las diatomeas solamente tienen $\beta=916.49$, esto para todo el área de estudio, por lo que el efecto que menciona McClatchie *et al.*, (2009), para la región noroccidental de la península de Baja California no es muy evidente; la intrusión de agua de la Corriente Subártica solamente es hasta

la frontera sur de la zona norte del área de estudio, que es en donde se encuentran mayor abundancia de células de las diatomeas, mientras que a partir de Bahía Vizcaíno (estación 47) hacia la zona centro del área de estudio, corresponde a aguas de la Corriente de California que es en donde se concentran la mayoría de los datos de temperatura y salinidad, además de que hay otras dos masas de agua que tienen influencia sobre la península de Baja California y una estación con agua de la Corriente Transicional (Fig. 5).

El grupo de las diatomeas es asociado con su pigmento característico que es la clorofila a y la fucoxantina (Ondrusek *et al.*, 1991; Millán-Núñez *et al.*, 2004), por lo que se ha hecho constancia de que las altas concentraciones de clorofila a que son reportados por Schwing *et al.*, (2002), coinciden con las altas concentraciones de clorofila y las altas abundancias de diatomeas.

Para julio del 2001, aparecen varios géneros dominantes en cuanto a las diatomeas, las cuales son *Nitzschia* sp., y *Rhizosolenia* sp., mientras que para los dinoflagelados fueron *Gymnodinium* sp., y *Gyrodinium* sp., (Sánchez-Pérez, 2005). Coincidiendo con lo encontrado en años anteriores, se puede observar que hay solamente un género que está presente tanto para el 2001 como para el 2008, los cuales son *Nitzschia* sp., y *Gymnodinium* sp., ambos encontrados en zonas diferentes y con abundancias relativas diferentes.

En la historia de IMECOCAL, se ha dividido esta zona en base a las características biológicas, biomasa de plancton, topografía y migración vertical de zooplancton, por lo que se hace la división de la península de Baja California de acuerdo al criterio tomado por Lavaniegos-Espejo (2009), en el cual se hace la división de zona norte y zona centro (Fig. 26).

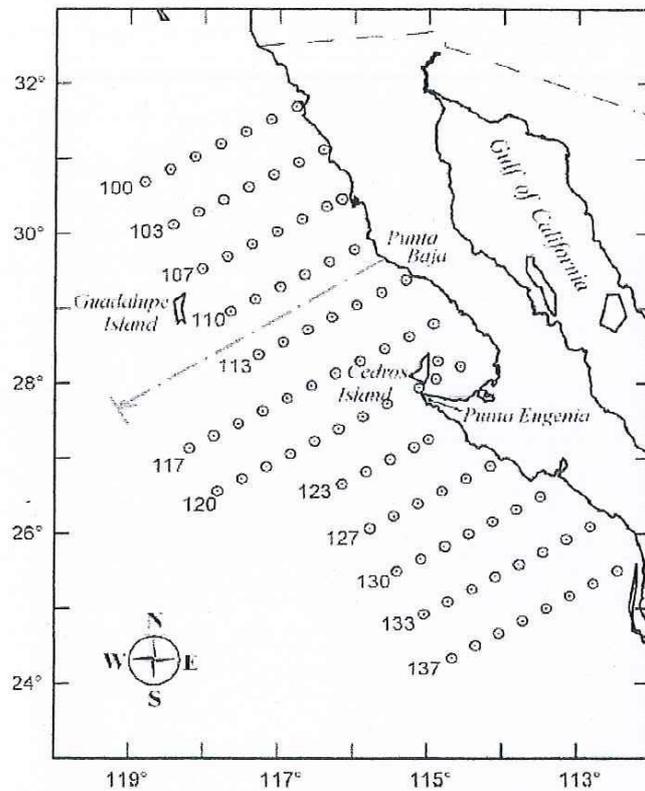


Figura 26.- Estaciones de la Corriente de California, sector muestreado durante los cruceros de IMECOCAL. La línea intermedia denota la región Norte y Centro de la península de Baja California (Lavaniegos-Espejo, 2009).

Para abril de 2008 se caracterizó una zona norte y una zona centro que aproximadamente se encuentra a la misma latitud a la que reporta (Lavaniegos-Espejo, 2009) (Fig. 25).

Los índices ecológicos indican dominancia (Simpson) y heterogeneidad (Shannon-Weaver, 1949) en el cual en éste último los valores son típicamente bajos entre 1 y 2.5 en aguas costeras y altas, entre 3.5 y 5 en aguas oceánicas (Margalef 1978). Los valores obtenidos para toda el área de estudio se encontraron en los valores de aguas costeras con un máximo de 1.9062 que se encuentra en la estación 9 (Fig. 19, Tabla IV).

La variabilidad del índice de dominancia puede ser afectada por la estabilidad y productividad del ambiente, variabilidad climática, depredación, competencia por espacio; también tienen influencia los factores humanos, que es la contaminación que provocan una disminución en la heterogeneidad y dominancia de las especies (Begon *et al.*, 1999), esta puede ser una causa de la disminución de la baja de los índices de Shannon-Weaver (1949) y de Simpson, aplicado a la zona oceánica; observando la caracterización océano-costa a partir de la magnitud del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton abarca solamente la estación 1 y 2 (Fig. 14) y al tomar en cuenta la distribución espacial del índice de Shannon-Weaver (1949) (Fig. 20), estas estaciones se encuentran por debajo del promedio (0.8949).

En magnitud los valores más altos de los espectros de absorción de luz por fitoplancton se observaron principalmente en las estaciones costeras, principalmente en donde se encuentra *Nitzschia sp.*, y *Eucampia sp.*, con absorciones mayores de $0.3 /m^1$ (Fig. 12), coincidiendo con la mayor composición taxonómica del fitoplancton, así como las reportaron Schwing *et al.*, (2002) para julio de 2001 y que para abril de 2008 también tiene una coincidencia con la composición de la comunidad.

Al relacionar todas las estaciones y el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton a 440 nm, se determinaron 5 áreas biogeográficas con una razón cofenética de 0.9986. Para julio de 2001 (Sánchez-Pérez, 2005) reportó entre Ensenada y San Quintín una zona biogeográfica relacionando el coeficiente de absorción de luz con la clorofila *a*, mientras que para abril de 2008 en esta misma zona se reportan 3 provincias fitogeográficas, éstas presentan características oceanográficas similares, tales como los reportados por Schwing *et al.*, (2002).

Al realizar una caracterización entre la zona costera y la zona oceánica se encontraron que tomando un rango intermedio de absorción de luz, mayores de $0.03/m^1$ son consideradas curvas que pertenecen a la zona costera, encontrando un total de 16 estaciones (Fig. 13a), mientras que las menores son consideradas de zonas oceánicas, encontrando un total de 16 estaciones (Fig. 13b). Encontrando que la mayor magnitud de los espectros corresponden a las estaciones costeras, lo cual esto indica que las células del fitoplancton en la zona costera fueron más eficientes en la absorción

de luz; mientras que las magnitudes de los espectros de absorción de luz fueron menores en las estaciones oceánicas. Estas magnitudes de menor absorción de luz coinciden con lo descrito por Yentsch y Phinney (1989) y Millán-Núñez *et al.*, (2004), donde estos autores concluye que la variabilidad del coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton está en función del tamaño de las células y en la concentración de los pigmentos fotosintéticos.

CONCLUSIONES

Las condiciones oceanográficas que tienen influencia sobre la Península de Baja California, así como el fenómeno que se presentó en el periodo de muestreo que fue período La Niña lo cual provocó un aumento considerable en la comunidad fitoplanctónica, reflejándose especialmente para las diatomeas.

Con la distribución espacial de la absorción del fitoplancton se puede observar que en valores mayores de $0.03 /m^1$, corresponden a la zona costera mientras que los valores menores a éste son de zona oceánica, encontrando 16 estaciones en cada una de las zonas.

La caracterización océano-costa a partir de la magnitud del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton tiende a parecerse a las zonas donde los eventos de surgencias es en donde abarca más estaciones hacia mar adentro.

La relación del espectro de absorción de luz con respecto a la comunidad fitoplanctónica permitió encontrar 4 curvas diferentes para el período de muestreo en donde más del 50% de la composición en general pertenece al grupo de las diatomeas, excepto en Ensenada que es un 46%.

Para abril de 2008 se encontraron 5 provincias fitogeográficas con una razón cofenética de 0.9986 lo cual indica que la asociación de la comunidad del fitoplancton con respecto al espectro de absorción de luz se relaciona de manera eficiente, ya que debido a la composición taxonómica, es la magnitud de la curva del espectro de absorción de luz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aguirre-Hernández, E., Gaxiola-Castro G., Nájera-Martínez S., Baumgartner T., Kahru M. y Mitchell B.G. (2004). Phytoplankton absorption, photosynthetic parameters, and primary production off Baja California: summer and autumn 1998. *Deep-Sea Research II*, 51: 799-816.
- Barocio-León O.A., Millán-Núñez R., Santamaría-Del-Ángel E., Gonzáles 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.
- Begon, M., Harper, J.L., y Townsend C.R. (1999). *Ecología: Individuos, Poblaciones y comunidades*. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Brinton, E., and A. Townsend. (2003). Decadal variability in abundances of the dominant euphausiid species in southern sectors of the California Current. *Deep-Sea Res. II*. 50:2449–2472.

- Bograd, S. J., DiGiacomo P. M., Durazo R., Hayward T. L., Hyrenbach K. D., Lynn R. J., Mantyla A. W., Schwing F. B., Sydeman W. J., Baumgartner T., Lavaniegos B., y Moore C. S. (2000). The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 41:26-52.
- Bograd, S., Chereskin K., y Roemmich D. (2001). Transport of mass, heat, salt, and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. J. Geophys. Res. 106: 9255-9275.
- Bricaud, A., Babin M., Morel A. y Claustre H. (1995). Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization. Journal of Geophysical Research 100: 13321-13332.
- Castro-Valdez, R. (2001). Variabilidad termohalina e intercambios de calor y agua en la entrada al Golfo de California. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California.
- Cupp, E. E. (1943). Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. Bulletin of the Scripps of Oceanogr. University of California. 5(1):1-237.
- Durazo, R. y Baumgartner T.R. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Durazo, R., Gaxiola-Castro G., Lavaniegos B., Castro-Valdez R., Gómez- J. y Mascarenhas A. (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.
- Gaxiola, C. G., Durazo-Arvizu-R., Lavaniegos-Espejo, B., De la Cruz-Orozco, ME., Millán-Núñez, E., Soto-Mardones, L., Cepeda-Morales, J. (2008). Respuesta del ecosistema pelágico a la variabilidad interanual del océano Pacífico frente a Baja California. Nota de Investigación. Ciencias Marinas. 34(2): 263-270.

- Goericke, R., Venrick E., Koslow T., Sydeman W. J., Schwing F. B., Bograd S. J., Peterson W. T., Emmett R., Lara-Lara J. R., Gaxiola-Castro G., Gómez-Valdez J., Hyrenbach K. D., Bradley R. W., Weise M. J., Harvey J. T., Collins C., y Lo N. C. H. (2007). The State of the California Current, 2006-2007: Regional and Local Processes Dominate, Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 48:33–66.
- Gómez-Valdés, J., y Vélez-Muñoz H. S. (1982). Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas*, 8:167-176.
- Gómez-Valdés, J. (1983). Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California Norte. *Cienc. Mar.* 9: 75-86.
- Hasle, G. R. (1978). Using the inverted microscope, p. 191-196. In *Phytoplankton Manual*. A. Sournia, (Ed.). UNESCO; Paris. Pp. 335.
- Hasle, G. R., y Syvertsen E. E. (1996). Marine diatoms. In *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. R. C. Tomas (eds). Academic Press, Inc New York 5-385.
- Hickey, M. (1979). The California Current System-hypothesis and facts. *Progress in Oceanography*, 8: 191-279.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W. y Strickland, J.D.H. (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 30: 3–15.
- Jerónimo G., Gómez-Valdés, J. (2003). Seasonal mixed layer depth changes in the southern region part of the California Current. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 84(52): OS151.
- Johnson, R. A. y D.W. Wichern. (2008). *Applied statistical analysis*. Preson Publisher. 800 pp.
- Kahru, M., y Mitchell B. G. (2000). Influence of the 1997–98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current. *Geophys. Res. Lett.* 27:2937–2940.
- Kahru, M., y Mitchell B. G. (2002). Influence of the El Niño–La Niña cycle on satellite-derived primary production in the California Current. *Geophys. Res. Lett.* 29(17), doi: 10.1029/2002GL014963.

- Kiefer, D.A., y Soo Hoo, J.B. (1982). Spectral absorption by marine particles of coastal waters of Baja California. *Limnology-Oceanography*. **27**(3): 492-499.
- 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.
- Lavaniegos, E. B., y Ohman M. D. (2003). Long term changes in pelagic tunicates of the California Current. *Deep-Sea Res. II*. **50**:2493–2518.
- Levins, R. (1978). *Evolution in changing environments*. Princenton University. Press Princenton. 39-65 pp.
- Licea, S., J. L. Moreno, Santoyo H., y Figueroa G. (1996). Dinoflageladas del Golfo de California, Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Lynn, R.S y Simpson J.J. (1987). California Current System. The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal Geophysical. Res.*, **92**: 12947-12966.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unestable environment. *Oceanologica Acta* **1**. pp. 493-509.
- McClatchie, S., Goericke, R., Koskow, J. A., Schwing, F. Bograd, S., Charter, R., Watson, W., Lo, N., Hill, K., Gottschalck, J. L'Heureux, M., Xue, Y., Peterson, W., Emmet, R., Collins, C., Gaxiola-Castro, G., Durazo, R., Kahru, M., Mitchell, B.G., Hyrenbach, K. D., Sydeman, W.J., Bradley, R.W., Warzybok, P., Bjorkstedt, E. (2009). The State of de California Current, 2007-2008: La Niña conditions and their effects on the ecosystem. *Cal. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, **49**: 39-76.
- 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**:154-168.
- Millán-Núñez, E., Sieracki M.E., Millán-Núñez R., Lara-Lara J.R., Gaxiola-Castro G., y 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.

- Mitchell, B.G., y Kiefer D.A. (1988). Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 1 35: 665-689.
- Montgomery, R. B. (1938). Circulation in upper layers of southern North Atlantic deduced with use of isentropic analysis. Cambridge and Woods, Hole. Massachusetts, 57 pp.
- Moreno, J. L., Licea S., y Santoyo H. (1997). Diatomeas del Golfo de California, Universidad Autónoma de Baja California sur.
- Nájera-Martínez, S. (1992). Manual de prácticas de laboratorio para el curso de Técnicas en Oceanografía Biológica. Productividad y Fitoplancton. Programa de Posgrado de Ecología Marina. Prácticas de Laboratorio. **Comunicaciones Académicas**, Serie Ecología, CICESE. CIECP9201., 28 pp.
- Ondrusekm, M.E., Bidigare, R.R., Sweet, S. T., Defreitas, D. A. y Brooks, J.M. (1991). Distribution of phytoplankton pigments in the North Pacific Ocean in relation to physical and optical variability. *Deep-Sea Res.*, **38**:243-266.
- Ortíz-Rosales, J. (1997). Dinámicas de las comunidades fitoplanctónicas en la laguna de Carpintero, Tampico, Tamaulipas, México. Tesis Doctoral con especialidad en Ecología Acuática y Pesca. Monterrey, Nuevo León, México. 103 pp.
- Platt, T., Sathyendranath, S., (1988). Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science* 241, 1613–1620.
- Peterson, W. T., y Schwing F. B. (2003). A new climate regime in northeast pacific ecosystems. *Geophys. Res. Lett.* 30: 2003GL017528.
- Petersen, W. T. y otros 23 autores. (2006). The State of the California Current, 2005–2006: warm in the north, cool in the south. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 47:30–74.
- Pickard, G. L. (1975). *Descriptive Physical Oceanography*. Second Edition. Pergamon Press. Oxford USA, 214 pp.
- Reid, J. L. (1973). Northeast Pacific Ocean waters in winter. *Johns Hopkins Oceanography Studies*. No. 5. 96 pp.

- Roesler, S.C., Perry, M.J. (1995). In situ phytoplankton absorption, fluorescence, emission, and particulate backscattering spectra determined from reflectance. *Journal of Geophysical Research* 100(7); 13279-13294.
- Sánchez-Pérez, E. D. (2005). Áreas biogeográficas a partir de curvas espectrales de absorción de luz por fitoplancton en aguas costeras de Baja California durante Julio de 2001. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, Baja California. 48 pp.
- Shannon, C.E., Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana Il: University of Illinois Press.
- Sathyendranath, S., Watts, L., Devred, E., Platt, T., Caverhill, C., y Maass, H. (2004). Discrimination of diatoms from other phytoplankton using ocean-color data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 272: 59-68.
- Strathmann, R. R. (1967). Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. and Oceanogr.*, 12:411-418.
- Schmitt, R. W. (1990). On the density ratio balance in the central water. *J. Phys. Oceanogr.* 20:900-906.
- Schwing, F. B., Bograd S.J., Collins C.A., Gaxiola-Castro G., García J, Goericke R., Gómez-Valdés J., Huyer A., Hyrenbach K.D., Kosro P.M., Lavaniegos B.E., Lynn R.J., Mantyla A.W., Ohman M.D., Peterson W.T., Smith R.L., Sydeman W.J., Venrick E. y Wheeler P.A. (2002). "The State of the California Current, 2001-2002: hill the California Current keep its cool, or is El Niño Looming?". *Cal. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 43: 31-73.
- Schwing, F. B., Bond N. A., Bograd S. J., Mitchell T., Alexander M. A., y Mantua N. (2006). Delayed coastal upwelling along the U.S. west coast in 2005: a historical perspective. *Geophys. Res. Lett.* 33: L22S01,doi:10.1029/2006GL026911.
- Sosik, H.M. y Mitchell B.G. (1995). Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System. *Deep-Sea Res. I.*, 42:1717-1748.

- Soto-Mardones, L., Parés-Sierra A., Garcia J., Durazo R. y Hormazabal S. (2004). Análisis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region off Baja California from hydrographic ADCP and altimetry data. *Deep-Sea Res. II.*, 51:785-798.
- Strub, P.T. y James C. (2003). Altimeter estimates of anomalous transports into the California Current during 2000–2002. *Geophys. Res. Lett.* 30 (15): 80-25.
- Sydeman, W. J., Bradley R. W., Warzybok P., Jahncke J., Hyrenbach K. D., Kousky V., Hipfner M. A., y Ohman M. D. (2006). Krill and Krill Predators: Responses of Planktivorous Auklets *Ptychoramphus aleuticus* to the Anomaly of 2005. *J. Geophys. Res.* 33, L22S09.
- Talley, L.D., (1985). Ventilation of the subtropical North Pacific: The shallow salinity minimum. *J. Phys. Oceanogr.* 15:785-798.
- Tomas, C. S. (1997). Identifying marine phytoplankton. Academic Press, Inc.
- Torres-Orozco, E. (1993). Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. México. 80 pp.
- UNESCO. (1978). Phytoplankton manual. A Sournia (Ed.) Paris. 337 pp.
- Utermöhl, H. (1958). Vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Verein Theor. Angew. Limnology.*, 9: 1-38.
- Venrick, E.L. y Hayward, T.L. (1984). Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys. *CalCOFI Rep.*, 25: 74–79.
- Venrick, E.L. (2000). Summer in the Ensenada front: the distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. *Journal of Plankton Research* 22 (5), 813-841.
- Venrick, E., Bograd S. J., Checkley D., 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., y Wheeler P. A. (2003). The state of the California Current, 2002-2003: Tropical and Subarctic influences vie for dominance. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 44:28–60.

Wolter, K., y Timlin M. S. (1998). Measuring the strength of ENSO events—how does 1997/98 rank? *Weather*. 53:315–324.

Yentsch, C.S. y Menzel, D.W. (1963). A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, 10: 221–231.

Yentsch C.S. y Phinney D.A. (1989). A bridge between ocean optics and microbial ecology. *Limnol. Oceanogr.*, 34(8): 1694-1705.

You, Y., Mc Dougall, T.J. (1990). Neutral surfaces and potential vorticity in the world's oceans. *J. Geophys. Res.* 95:13235-13261.