



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"EVALUACION DE LAS COMUNIDADES FITOPLANCTICAS DEL PACIFICO MEXICANO DURANTE EL EVENTO ENSO 1997/1998"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A :
ANA ELISA PEÑA DEL VALLE ISLA



DIRECTOR DE TESIS: DRA. AMPARO MARTINEZ ARROYO

FACULTAD DE CIENCIAS

2200779



MEXICO, D. F.

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



LIBERTAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO



M. en C. Virginia Abrín Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: " Evaluación de las comunidades fitoplanctónicas del Pacífico Mexicano durante el evento ENSO 1997/1998 "

realizado por Ana Elisa Peña del Valle Isla

con número de cuenta 9350451-7 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

Dra. Amparo Martínez Arroyo

Propietario

Dr. Daniel León Alvarez

Propietario

M. en C. Cecilia Conde Álvarez

Suplente

Ing. Agustín Fernández Eguiarte

Suplente

Dr. Adolfo Andrade Cetto

*[Firmas manuscritas]*  
FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M.

*[Firma manuscrita]*  
Consejo Departamental de Biología  
Dra. Edna María Suárez Díaz

DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

para ti..... Papá

.....porque el mundo ya no importa si uno no tiene fuerzas para seguir eligiendo algo verdadero, si uno se ordena como un cajón de la cómoda y te pone a ti de un lado, el domingo del otro, el amor de madre, el juguete nuevo.....

Le agradezco mucho a la Doctora Amparo Martínez Arroyo por haber tenido la suficiente paciencia como para aguantar todos los destrozos que hice en el laboratorio de Ecofisiología del Centro de Ciencias de la Atmósfera, pero sobre todo por haberme enseñado la relevancia del estudio interdisciplinario y la importancia de trabajar vinculado a la sociedad, además del apoyo que siempre me brindó mientras yo ponía en orden mis ideas.....Agradezco también a mis sinodales por sus muy útiles observaciones y por estar siempre dispuestos a ayudarme: al Dr. Daniel León, al Ing. Agustín Fernández, a la M. en C. Cecilia Conde y al Dr. Adolfo Andrade, a éste último gracias por los buenos momentos pasados .....Agradezco al Dr. Raúl Aguirre y al Ing. Agustín Fernández del Instituto de Geografía por su valiosa ayuda en el momento de obtener los datos de las imágenes satelitales.....Agradezco a la Dra. Irma Rosas por ayudarme con la estadística.....Agradezco al Dr. Victor Manuel Mendoza y al Ing. Agustín Fernández por enseñarme el uso del programa Surfer..... Agradezco al Dr. Carranza y al Dr. Robinson del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología por haberme integrado al equipo de trabajo en sus campañas oceanográficas.....Agradezco a la tripulación del B/O El Puma por toda la buena onda y por las comidas.....Gracias a mi familia que me tuvo confianza y sobre todo paciencia en mi larga carrera.....Agradezco a la Fundación Peña del Valle por el financiamiento recibido durante estos largos años.....Gracias a mis muy queridas amigas que me alegraron la vida durante la carrera y aún lo hacen.....Gracias a mis amigos de la universidad que no los nombro porque ya saben.....Gracias a mis compañeros y amigos del CCA: Victor y Dago.....Gracias en especial a Rafa por haber sido "la piedrita y el zapato" que yo necesitaba.....a todos DE VERDAD GRACIAS.

# Índice

<b>PRÓLOGO</b>	
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
I.1 Características generales de las comunidades fitopláncticas marinas	2
I.2 Relación fitoplancton-clorofila en los estudios bioceanográficos	3
I.3 Características de los pigmentos fotosintéticos y pigmentos accesorios	3
I.4 Cuantificación de clorofilas	4
I.5 Fitoplancton, Pesquerías y Ambiente	5
<b>II EL FENÓMENO DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR</b>	<b>7</b>
II.1 Condiciones normales	7
II.2 Condiciones durante El Niño y la Oscilación del Sur	9
II.3 Fenómeno ENSO en México	12
<b>III PACÍFICO MEXICANO</b>	<b>14</b>
III. 1 Pacífico tropical mexicano	14
III 2 Costa occidental de la Península de Baja California	17
<b>IV OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
<b>V AREA DE ESTUDIO</b>	<b>20</b>
<b>VI METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
VI.1 Trabajo de barco	27
VI.2 Trabajo de laboratorio	28
VI.3 Trabajo de gabinete	29
VI.4 Manejo de datos	30
<b>VII RESULTADOS</b>	<b>32</b>
VII.1 Pacífico Sur 1	32
VII.2 Pacífico Sur 2	43
VII.3 Pacífico Norte 1	54
VII 4 Pacífico Norte 2	66
<b>VIII CONCENTRACION Y DISTRIBUCIÓN DE LA CLOROFILA a</b>	<b>78</b>
<b>IX DISCUSIÓN</b>	<b>88</b>
<b>X CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
<b>XI PERSPECTIVAS</b>	<b>96</b>
<b>XII APENDICE ESTADISTICO</b>	<b>97</b>
<b>XII BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>I</b>

## PRÓLOGO

En la literatura es común encontrar los términos: comunidad fitoplántonica o poblaciones de fitoplancton ( Jeffrey, 1996) haciendo referencia a estudios de tipo oceanográfico relacionados con pigmentos, como serían: determinación de patrones, cuantificación determinación de biomasa entre otras.

En el presente trabajo, también se recurrió al término comunidad fitoplántica para referirse a la cantidad y tipos de clorofilas encontradas, bajo el supuesto de que el fitoplancton engloba sólo a organismos fotosintetizadores, por lo tanto la clorofila cuantificada es un parámetro ideal para inferir su densidad y distribución, elementos que entre otros caracterizan a una comunidad.

La evaluación de una comunidad fitoplántica requieren de un gran número de factores tanto bióticos como abióticos que permitan combinar los resultados de análisis de las muestras para tener una imagen de zona, que no sólo sirva como una mera descripción sino que permita asentar sobre ella una teoría coherente en la comunidad.

## Resumen

Desde abril de 1997 hasta junio de 1998, el Pacífico Ecuatorial experimentó el evento de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), consistente en la aparición y persistencia de aguas anormalmente calientes, acompañadas de grandes cambios en las poblaciones de plancton, peces y aves marinas.

A bordo del Buque oceanográfico EL PUMA, se realizaron 4 campañas oceanográficas a lo largo del Pacífico mexicano; 2 en la zona norte (30°-22° lat N y 115°-108° long O) y 2 en la zona sur (22°-17° lat N y 106°-102° long O) desde noviembre de 1997 hasta marzo de 1998, con el objetivo de recabar información sobre el estado de las comunidades fitopláncticas a partir de la concentración y caracterización de los pigmentos fotosintéticos y de las variables fisicoquímicas. La profundidad de la termoclina y la temperatura superficial del agua fueron mayores en los muestreos de 1997 a los realizados en 1998. De acuerdo al método espectrofotométrico el rango de las concentraciones de clorofila a registrado para la zona sur fue de 2.08mg/m<sup>3</sup> a 4.45mg/m<sup>3</sup> y para la zona norte de 1.55mg/m<sup>3</sup> a 2.19mg/m<sup>3</sup>, en ambas zonas, el máximo se presentó entre los 5 y 30 metros de profundidad.

Utilizando imágenes satelitales de los programas Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), se realizaron comparaciones de las 4 zonas en diferentes años con o sin evento ENSO.

Los análisis revelaron que en años con Niño tanto las concentraciones de pigmentos como la temperatura del mar fueron mayores a las de los años considerados como normales y que tanto en la zona norte como en la sur no fue posible observar claramente un cambio atribuible al evento ENSO. Al comparar los valores satelitales de ambos programas con los valores *in situ* no se obtuvieron correlaciones significativas para la clorofila pero si para la temperatura. Con las imágenes SeaWiFS se observaron tendencias similares en las concentraciones de clorofila.

Las condiciones hidrográficas poco homogéneas que prevalecen en el Pacífico mexicano dificultaron la identificación clara de un patrón de comportamiento de los pigmentos fotosintéticos relacionados con el evento ENSO, por lo que es necesario complementar este tipo de estudios con otros de carácter físico, químico o biológico.

# **I. Introducción**

## **I. Características generales de las comunidades fitoplanctónicas marinas.**

El fitoplancton marino, compuesto por una gran variedad de microorganismos marinos fotosintetizadores, presenta una amplia distribución por todos los mares del planeta, contribuyendo aproximadamente con el 25% de la vegetación global total (Jeffrey y Hallegraeff, 1990).

Aunque la distribución geográfica de la mayoría de las especies fitoplanctónicas es muy amplia, ésta no es en ningún sentido uniforme ni en densidad de organismos ni en el tipo de especies que conforman a la comunidad (Harris, 1986), ya que según las características del medio, el plancton puede aparecer dominado por pocas especies o por muchas encontrándose a veces entre ellas organismos cuyo desarrollo principal se da entre la vegetación litoral o sobre el fondo.

Según Morris (1980), las comunidades del plancton marino se ordenan principalmente a lo largo de la que puede llamarse secuencia principal, que va de las aguas fértiles y turbulentas, con muchas diatomeas, hasta las aguas más pobres y estratificadas en las que predominan dinoflagelados de células muy aplanadas.

De manera general, el control del fitoplancton en el ecosistema se ejerce por las condiciones de luz, nutrimentos, temperatura y movimiento de masas de agua; las reacciones a este medio físico varían notablemente de una especie a otra y parecen ser resultado de un largo proceso evolutivo. (Margalef, 1983).

Su diversidad también es inmensa, encontrándose dividido en 3 clases diferentes de acuerdo a su tamaño: microplancton (20-200 $\mu\text{m}$ ), nanoplancton (2-20 $\mu\text{m}$ ) y picoplancton (0.2-2 $\mu\text{m}$ ). Según Jeffrey y Hallegraeff (1990), el nanoplancton llega en ocasiones a conformar el 90% del total del fitoplancton encontrado en aguas marinas, tanto costeras como oceánicas.

Taxonómicamente el fitoplancton se agrupa en 10 divisiones diferentes, siendo tres grupos especialmente abundantes en el medio marino: las diatomeas (división Bacillariophyta), los dinoflagelados (división Dinophyta) y los cocolitofóridos (división Haptophyta, clase Prymnesiophyceae) (Jeffrey, 1996).

## **I. 2 Relación fitoplancton-clorofila en los estudios bioceanográficos**

Una manera de registrar los cambios en la distribución, biomasa y hasta composición de las comunidades fitopláncticas es a través de las mediciones de pigmentos, en especial de la clorofila *a*.

La clorofila *a* es el principal pigmento fotosintético presente tanto en el ambiente terrestre como en el acuático y ha sido usada frecuentemente para calcular la biomasa vegetal (Cullen, 1982), ya que se ha estimado que la clorofila *a*, único pigmento presente en todas las plantas verdes, contribuye con el 1% al 5% del peso seco de las microalgas pláncticas (Kirk, 1983). De aquí, que la función fotosintética de la clorofila *a* sea el único indicador de la productividad y de la biomasa vegetal marina, siendo probablemente el parámetro bioquímico más utilizado para estudios oceanográficos (Jeffrey, 1996; Harris, 1986).

## **I. 3 Características de los pigmentos fotosintéticos y pigmentos accesorios**

Además de la clorofila *a* existen otros tipos de pigmentos que se pueden encontrar en las distintas clases de fitoplancton, en ocasiones de manera muy apreciable, éstos compuestos accesorios son la clorofila *b*, la clorofila *c*, xantofilas, ficobilinas y carotenos. Estos pigmentos se encuentran en distintas proporciones en las diferentes clases de fitoplancton, por ejemplo: según Meeks (1974) y Jeffrey (1976) las algas verdes (Chlorophyta) contienen clorofila *a* y *b* en proporción de 2:1, más carecen de clorofila *c*; las diatomeas y otros miembros de la división Chrysophyta contienen clorofila *a* y *c* pero no clorofila *b*; las algas verde-azules o cianobacterias (Cyanophyta) carecen de clorofila *b* y *c*.

Esta característica ha sido usada para elaborar mapeos quimiotaxonómicos sobre la composición del fitoplancton en los océanos (Ondrusek et al, 1991; Jeffrey and Hallegraeff, 1987).

## I. 4 Cuantificación de clorofila

Los pigmentos son comúnmente identificados por su espectro de absorción (Geider y Osborne, 1992).

Las clorofilas absorben la luz en las regiones rojo y azul del espectro visible, lo cual es responsable de su color verde. Generalmente, al realizar mediciones de éstos pigmentos se utiliza el pico de absorción rojo.

Vernon (1960) y Jeffrey y Humphrey (1975) revisaron la bibliografía referente a los picos de absorción máximos para las clorofilas *a*, *b* y *c*. Cuando se usa como solvente acetona al 90%, estos picos ocurren a 664nm, 647nm y 630nm para la clorofila *a*, *b* y *c* respectivamente.

En este principio se basa el uso del espectrofotómetro para identificar y/o cuantificar pigmentos fotosintéticos utilizando las ecuaciones tricromáticas de Jeffrey y Humphrey (1975), las cuales proporcionan resultados exactos de las concentraciones de clorofila *a*, *b* y *c* en ausencia de feopigmentos. Los feopigmentos causan interferencia en las lecturas, ocasionando una sobreestimación de la clorofila *a* de hasta el 48% (Murray et al, 1986). por lo que se recomienda el uso de la ecuación tricromática para cultivos puros y para zonas eufóticas superficiales (Lorenzen and Jeffrey, 1980).

El uso del fluorómetro tiene algunas ventajas sobre el espectrofotómetro como sería una mayor sensibilidad ante pequeñas muestras de clorofila *a*, además de que no es costoso. Sin embargo, no ha sido completamente adoptado en los estudios oceanográficos por el hecho de presentar lecturas erróneas en presencia de feopigmentos y de otras clorofilas como la *b* que ocasiona subestimación de la clorofila *a*, además de necesitar calibración utilizando muestras puras; su utilización se recomienda en muestras superficiales o de mares abiertos (Holm-Hansen, 1965).

### **1. 4.1 Imágenes satelitales**

El propósito de estas imágenes es proporcionar datos globales tanto físicos como biológicos a partir de las propiedades ópticas del océano.

El "color" del océano se determina por las interacciones de la luz incidente con las partículas presentes en el agua; uno de los componentes más significativos a este respecto lo constituyen los organismos fotosintéticos que viven flotando en el mar.

Como ya se mencionó, la clorofila que contiene el fitoplancton absorbe las longitudes de onda roja y azul y transmite la verde, ésto resulta en una serie de interacciones ópticas entre la luz que incide en el mar y la que éste refleja.

Los radiómetros son instrumentos que miden la irradiancia del mar (la luz reflejada) en longitudes de onda previamente determinadas, así, éstas pueden ser cuantificadas y relacionadas con los diversos constituyentes de la columna de agua que interaccionan con la luz.

De la misma manera la concentración del fitoplancton puede ser cuantificada con base en el color que se registre con el satélite, ya que el color variará según la concentración de clorofila; entre más fitoplancton esté presente en una determinada área, mayor será la concentración de pigmentos y más verde será el agua (Acker, 1997; Feldman, 1994).

## **1. 5 Fitoplancton, Pesquerías y Ambiente**

Desde hace tiempo, el fitoplancton ha sido reconocido como la base de la producción animal en el mar debido a que es el soporte de la red alimenticia sobre la cual está basada la industria pesquera; a ésto se debe la gran importancia de realizar registros de poblaciones de fitoplancton (Jeffrey, 1996), ya que alguna falla en la estimación de la abundancia y/o agrupamiento puede provocar grandes colapsos en cualquier tipo de pesquerías; Arenas (1998) y Llunch-Cota, et al (1998) reportan un impacto negativo en la industria pesquera de México 1997-1998, relacionándola entre otros aspectos con una baja en la productividad oceánica y con la concentración de pigmentos fotosintéticos.

Por otro lado, con las evaluaciones sobre la composición de pigmentos se obtiene valiosa información cualitativa sobre las condiciones fisiológicas de las muestras naturales (Geider y Osborne,1992). Así, el estado de la productividad primaria se ha convertido en interés primordial en el ámbito mundial.

Aunado a lo anterior, en la interacción océano-atmósfera el fitoplancton es el componente biótico que tiene influencia sobre el clima global debido fundamentalmente al intercambio fotosintético de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. También repercute en el clima global gracias a la producción de compuestos sulfurados que actúan en la atmósfera como núcleos condensadores de nubes. Finalmente se puede mencionar que el fitoplancton modifica las propiedades ópticas del agua relacionadas con la absorción de luz, teniendo con esto último incidencia directa sobre el grado de calentamiento de las aguas superficiales oceánicas (Holligan, 1992).

## II. El Fenómeno El Niño- Oscilación del Sur

### II. 1 Condiciones Normales

#### II. 1.1 Bases Meteorológicas

El movimiento atmosférico a gran escala de las masas de aire es conocido como circulación planetaria. Esta es resultado de las diferencias térmicas y barométricas de la columna de aire (Wolf y Fahrbach, 1996).

A consecuencia del ángulo de incidencia de la radiación solar (causado por la inclinación de 23.5° del planeta con respecto a la órbita) y por lo tanto de la cantidad de calor por unidad de superficie geográfica, la tierra *experimenta una ganancia de calor en los trópicos y subtrópicos, así como una pérdida de calor en latitudes mayores.*

El desnivel de temperatura resultante provoca una transferencia de calor del excedente del ecuador al déficit de los polos a través de celdas de convección.

En el Ecuador el calentamiento del aire provoca su ascensión, al mismo tiempo que se expande y se origina un aumento de presión. El gradiente de presión obliga al aire a desplazarse hacia mayores latitudes al mismo tiempo que desciende de altura en su trayectoria hacia los polos. Durante el desplazamiento inverso hacia el Ecuador que se realiza a baja altura, las masas de aire a escala superficial absorben calor y humedad del océano. Al elevarse en el Ecuador se produce la condensación del vapor de agua y el consiguiente enfriamiento de la atmósfera ecuatorial. Por tal razón ésta parte del planeta es la que registra una mayor precipitación. Este sistema de circulación se realiza independientemente en los dos hemisferios (Hansen, 1989)

Debido al movimiento rotacional de la tierra, estos regímenes de vientos se alteran de manera que en lugar de una sola celda, se forman tres por cada hemisferio. La celda de latitud media presenta un sistema de circulación opuesto al de las otras dos; las masas de aire provenientes de Ecuador descienden a los 30° de latitud para volver a subir a los 60°, lo cual crea un segundo máximo de lluvias en esta latitud.

Otro de los efectos de rotación de la Tierra es el establecimiento de sistemas circulatorios predominantemente en dirección oeste-este a latitudes medias y en sentido contrario a latitudes bajas (Peñuelas, 1993).

## II. 1.2 Bases Oceanográficas

La temperatura de las capas superiores de agua del océano junto con la velocidad del viento determina el intercambio térmico entre océano y atmósfera.

Adicional al intercambio de calor con la atmósfera y a la mezcla turbulenta vertical debida a las diferencias de densidad y temperatura entre el agua fría y caliente, el balance calórico del océano está influenciado por la advección a través de las corrientes marinas.

Así, el empuje directo del viento no es la única causa para la formación de corrientes marinas. Tal como en la atmósfera, en el océano también pueden surgir *gradientes de presión que inician un movimiento de agua*. Los gradientes de presión en el océano son producidos por el declive de la superficie del mar o por diferencias horizontales de densidad.

Debido al transporte de Ekman\* hacia el mar abierto, se genera un gradiente de presión hacia la costa, dado que predomina en el mismo nivel de profundidad una mayor presión debajo de la columna de agua de mayor nivel (Wolf y Fahrbach, 1996). Este gradiente de presión ocasiona que debajo de la capa empujada directamente por el viento, se conduzca una corriente de compensación hacia la costa la cual provoca las llamadas zonas de afloramiento, en las cuales el agua profunda rica en nutrientes *emerge hacia la superficie iluminada, en donde se encuentran los organismos fotosintéticos*. La convergencia de estos factores físicos, químicos y biológicos (luz, nutrientes, biomasa fotosintetizadora) tiene como resultado una gran productividad. Esto sucede por ejemplo en las costas de Perú y Ecuador, países que gozan de una gran industria pesquera (Barber y Kogelschatz, 1989).

La formación de la termoclina en el Ecuador se debe a que el agua es transportada al oeste a través de los océanos por intermedio de las Corrientes ecuatoriales norte y sur propulsadas por los vientos alisios. Durante su recorrido es calentada progresivamente por la radiación solar; *la temperatura del agua superficial aumenta entonces de este a oeste. También la profundidad de la capa superficial aumenta en dirección oeste*

El transporte de agua hacia el oeste produce ahí una elevación del nivel del mar de cerca de 40cm. Este declive produce un gradiente de presión que empuja una corriente en dirección al este

\* transporte Ekman- la corriente marina propulsada por el viento es desviada en la superficie en un 45% hacia la izquierda en los 2 hemisferios. Hacia abajo la desviación aumenta y la velocidad disminuye. "La integral de los valores a lo largo de la espiral resulta en un transporte de masas perpendiculares al viento" (Ekman, 1905)

## II. 1.3 Bases Biológicas

El transporte Ekman y los vientos alisios producen una circulación transversal que desplaza las aguas superficiales hacia afuera de la costa, permitiendo que las aguas profundas más frías emerjan continuamente. Estas regiones se convierten así en las más productivas del océano.

La vida vegetal necesita luz y nutrientes para su funcionamiento; en el océano la luz está disponible solamente en la parte superior de la columna de agua, en la llamada "zona eufótica", ahí el fitoplancton utiliza y almacena los nutrientes disueltos en el agua. El plancton se sedimenta después de morir porque solamente puede flotar vivo y con él los nutrientes acumulados desaparecen de las zonas luminosas cerca de la capa superficial. Durante la sedimentación las partículas son descompuestas por bacterias y los nutrientes se disuelven de nuevo en el agua

Por esta razón, las aguas frías contienen generalmente más nutrientes que las capas calientes de la parte superficial. La surgencia devuelve las aguas profundas a la capa iluminada y posibilita así la producción vegetal del fitoplancton como fuente alimenticia para el zooplancton y para la vida animal superior.

Puesto que los vientos alisios soplan en mayor o menor intensidad durante todo el año, el afloramiento en la costa oeste (principalmente Sudamérica) también se da durante todo el año.

## II. 2 Condiciones durante El Niño - Oscilación del Sur

El Niño, fue llamado así por los pescadores peruanos que observaron que en ciertos años, alrededor de las fiestas navideñas, se calentaban las aguas frías de la Corriente de Humboldt al mismo tiempo que la composición y el volumen de sus capturas se modificaba

Actualmente, el concepto de El Niño abarca un conjunto de interacciones y efectos tanto climáticos como biológicos a escala global, que modifican el entorno natural y el antropológico, éste último con consecuencias sociales y económicas serias.

El Fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur puede empezar a definirse como una alteración del sistema océano-atmósfera causado por un debilitamiento de los vientos alisios, lo cual produce un calentamiento fuera de lo normal en las capas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial extendiéndose su influencia hacia las zonas subtropicales y aún a latitudes mayores.

## II. 2.1 Consecuencias meteorológicas y oceanográficas

Wyrki (1975) observó que el incremento en la temperatura superficial del mar, está asociado a la disminución en la magnitud del sistema de vientos alisios tropicales. Como se vio anteriormente, la circulación atmosférica normal produce vientos fuertes los cuales generan surgencias de aguas frías, ricas en nutrimentos y altamente productivas a lo largo de las costas tropicales de América del sur y sobre la banda ecuatorial. El debilitamiento de los alisios produce un descenso en las surgencias, elevándose la temperatura superficial del mar aproximadamente 5°C; Bjerknes (1969) observó que este ascenso en la temperatura es ocasionado por el movimiento hacia el este de aguas ecuatoriales cálidas y con alta radiación solar en la superficie provenientes de la costa occidental del Pacífico

En el Pacífico oriental, el aumento en la temperatura superficial del mar ocasiona cambios en la distribución de las fuentes y sumideros de calor atmosférico, los cuales a su vez producen cambio en la circulación de los vientos alisios. Dichos vientos transportan vapor de agua oceánico hacia áreas tropicales de convergencia atmosférica donde se precipitan las lluvias (Cane et al, 1994).

Estas zonas de convergencia se localizan alrededor de regiones de máxima temperatura superficial, como son el norte del Ecuador y el Pacífico tropical suroccidental. En periodos de El Niño dichas zonas de convergencia tienden a moverse hacia el este a través del Ecuador. (figura 1)

Simultáneamente la presión atmosférica superficial sobre Indonesia y Australia tiende a elevarse con la consecuente reducción de lluvias, y a disminuir en el Pacífico sudoriental.

Este movimiento de vaivén se origina por un desplazamiento de las masas de aire entre este y oeste y es conocido como Oscilación del Sur. El índice de Oscilación del Sur (SOL, siglas en inglés) describe la situación correspondiente a cambios en la presión atmosférica entre ambas regiones; cuando la presión es alta sobre el Océano Pacífico a la vez se reduce sobre el Océano Índico y viceversa. La presencia de lluvias varía en dirección contraria a la presión del aire. La conexión entre El Niño y la Oscilación del Sur es una manifestación a gran escala del mismo proceso de interacción océano-atmósfera (Bjerknes, 1969).

Ambos eventos acoplados son conocidos con las siglas de ENSO (en inglés) o (ENOS, en español) y son considerados como el proceso natural más importante causante de variabilidad biótica y de la reducción de productividad en el medio marino.

## II. 2.2 Consecuencias Biológicas

Glynn (1990) expone que para entender las consecuencias biológicas del fenómeno El Niño, es necesario comprender que éste es un proceso dinámico que redistribuye calor, de tal manera que reduce en gran medida el gradiente de temperatura a ambos lados del Océano Pacífico, es decir, regula la cantidad de calor almacenado en la capa de mezcla, tanto de la parte oriental del Pacífico como de la ecuatorial. Esto sería lo mismo a decir que El Niño regula la profundidad de la termoclina.

El grosor de la capa de mezcla determina el carácter ecológico de una región oceánica debido a que el mayor reservorio de nutrientes inorgánicos del océano es la capa de agua que está por debajo de la termoclina, por lo tanto, el grosor de esta capa regula la velocidad a la cual los nutrientes pueden ser mezclados o llevados hacia aguas superficiales donde hay la cantidad de luz adecuada para la fotosíntesis. Barber y Kogelschatz (1989) comentan que cualquier proceso que hunda la termoclina, es decir, que engrose la capa de mezcla o incremente el reservorio de calor, disminuirá el índice de abastecimiento de nuevos nutrientes y necesariamente reducirá la productividad en esa región

En el Pacífico oriental tropical, la termoclina se encuentra a sólo 40 m o menos, por lo que un afloramiento débil o una mezcla debida a vientos moderados puede transportar a la superficie cantidades significativas de nutrientes.

Durante El Niño, como consecuencia de la llegada de aguas tibias provenientes de la costa occidental del Pacífico, la termoclina se hunde entre 40 m y 80 m de profundidad, esto ocasiona que sólo ascienda agua caliente, baja en nutrientes que ya no puede mantener una producción primaria alta (Wolf y Fahrbach, 1996)

Por otro lado, la luz disponible para la fotosíntesis disminuye exponencialmente en función a la profundidad de la columna de agua debido a que las moléculas de agua absorben mucha de la luz disponible. Barber y Chávez (1983) concluyeron que el resultado es una región estratificada con una profunda capa de mezcla, donde la energía radiante y los nutrientes se encuentran separados espacialmente, lo cual contribuye a reducir aún más la productividad primaria.

## II. 3 Fenómeno ENSO en México

El calentamiento del Pacífico Ecuatorial puede propagarse hacia latitudes mayores a través del transporte que efectúan las corrientes y llegar hasta los litorales nacionales con la posibilidad de presentarse algunos efectos locales que son de interés para comprender los procesos regionales.

Al igual que en las latitudes bajas del Pacífico, en las costas mexicanas el aumento en la temperatura superficial del mar trae consigo impactos tanto de tipo climático (ya que se alteran los patrones de circulación atmosférica) como biológico y esto a su vez tiene consecuencias sociales y económicas.

A nivel climático algunos de los efectos del ENSO son: 1) modificación de los flujos de masa y calor a través de la boca del Golfo de México. 2) variación en el número e intensidad de los huracanes. 3) modificación en la intensidad y número de frentes atmosféricos de otoño-invierno en el Golfo de México (nortes). 4) alteración del patrón de lluvias en todo el territorio nacional (Monreal, 1997; Magaña, 1997; Sheinbaum, 1997).

A nivel biológico se sabe que el ENSO. 1) debilita las surgencias en el Golfo de Tehuantepec y en la costa occidental de Baja California. 2) altera la composición, distribución y biomasa de las comunidades fitopláncticas. 3) induce el blanqueamiento de corales en el Caribe. 4) trae impactos tanto negativos como positivos en los diferentes tipos de pesquerías (Monreal, 1997; Iglesias, 1997; Arenas y Robinson, 1997).

A partir de 1982 y 1983, los estudios realizados sobre los impactos del ENSO en México aumentaron considerablemente, aunque de manera aislada y/o fraccionada, existiendo poca relación en los distintos tipos de trabajos, lo cual dificulta realizar un seguimiento de los impactos del ENSO en territorio nacional.

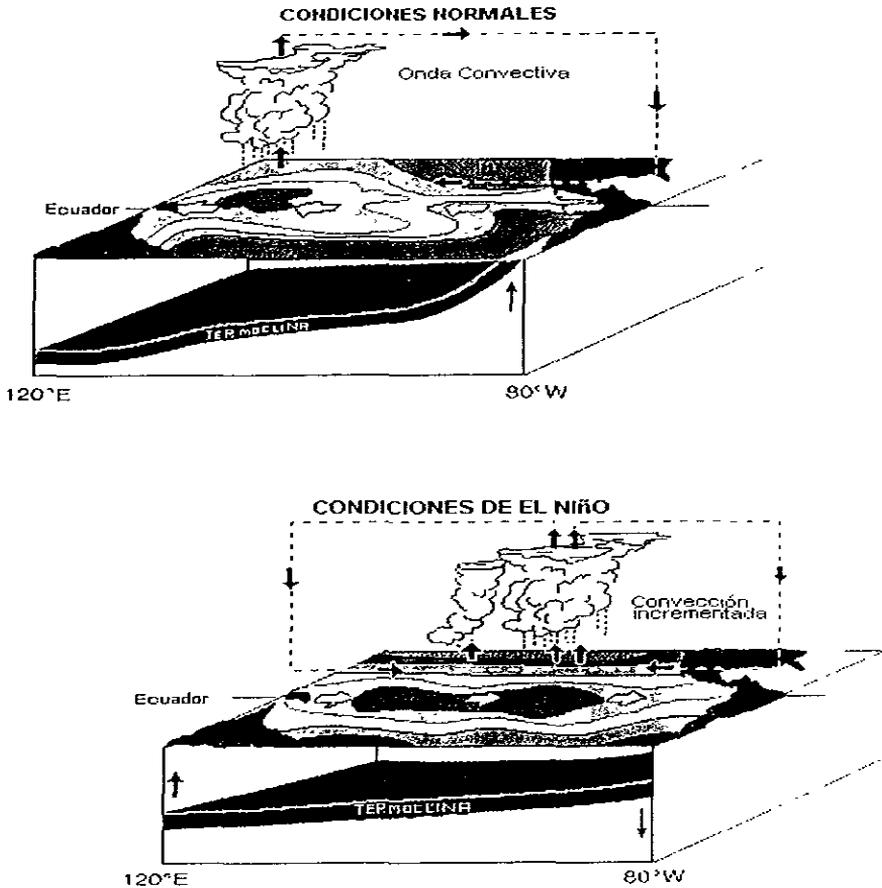


Figura 1: Condiciones de la temperatura superficial del agua y de la profundidad de la termoclina en el Pacífico durante años normales y años con El Niño

(Tomado de NOAA/PMEL/TAO)

### III. El Pacífico mexicano

#### III. 1 Pacífico tropical mexicano ( 23° - 14° latitud norte)

El Pacífico Mexicano es el más grande y profundo de los océanos, cubre más de 166 millones de Km<sup>2</sup> y tiene una profundidad promedio de 4 188 m (Menard y Smith, 1966); el litoral mexicano en el Océano Pacífico mide 4 054 Km. de longitud, dentro de los cuales aproximadamente el 42% corresponde al Pacífico Tropical Mexicano, comprendido entre Cabo Corrientes y la frontera con Guatemala; tiene tres rasgos topográficos sobresalientes: la Dorsal del Pacífico este, la zona de Fracturas y la Trinchera Mesoamericana (Flamand, 1991).

La estructura térmica del Pacífico tropical este se caracteriza por una capa de mezcla donde la temperatura es casi constante; una termoclina con un cambio térmico muy fuerte y una capa subsuperficial donde decrece la temperatura pero con intervalos mucho menores que en la termoclina (Tchernia, 1980).

Weare et al (1981) menciona que la variación anual de la temperatura superficial del mar fluctúa entre 26 y 28°C. Por su parte Wyrtky (1956b) menciona que la intrusión de agua superficial subtropical propicia cambios anuales de 5°C o más en el área cercana a Cabo Corrientes, mientras que en el Golfo de Tehuantepec las diferencias oscilan entre 3 y 4°C. Las aguas cálidas del Pacífico Tropical están sujetas a un calentamiento superficial que tiende a incrementar la densidad del agua superficial y promover la convección, con un consecuente proceso de mezcla de 20 a 50 m. En relación a esta capa se encuentra la termoclina que se caracteriza por ser somera y permanente.

*La densidad presenta variaciones tanto horizontales como verticales, ya que la salinidad decrece conforme aumenta la profundidad. Debido a la poca profundidad de la zona costera, la relación temperatura-salinidad (T-S) se ve afectada por procesos particulares, tales como los vientos locales, descargas de ríos, lluvias y evaporación, entre otras (Pacheco, 1991).*

En el Pacífico tropical del este se distinguen varios tipos de masas de agua superficiales: 1) agua superficial tropical, 2) agua superficial subtropical, 3) agua superficial de la Corriente de California, y dos subsuperficiales 4) agua de la Corriente norecuatorial y 5) agua subsuperficial subtropical (Garfield, *et al.*, 1983)

Las masas de agua profunda se forman fuera de la región mexicana y penetran en el área por flujo horizontal y mezcla a gran escala (Knauss, 1962).

El contenido de oxígeno disuelto del Océano Pacífico Tropical, verticalmente se subdivide en tres capas: a) la superior bien oxigenada por su contacto con la atmósfera, b) la del fondo que puede tener un alto contenido de oxígeno debido al efecto de circulación, lo que implica que el consumo de gas en esta capa profunda es relativamente pequeño, o bien, la circulación es lo suficientemente fuerte para mantener un alto contenido de oxígeno, y c) la capa central o intermedia con poco movimiento y bajo contenido de oxígeno propicia condiciones anóxicas; a través de los procesos de mezcla y advección, ésta recibe aporte tanto de la capa superior como de la inferior (Pacheco, 1991).

De acuerdo con la circulación general de la atmósfera, México queda comprendido entre la Zona Anticiclónica Sur y la de Calmas Ecuatoriales. Los vientos que se generan en la Zona Anticiclónica Sur por efecto de la rotación de la Tierra toman dirección SO y se manifiestan en la baja atmósfera denominada Alisios y al llegar a la zona de Calmas Ecuatoriales experimentan una inversión y se dirigen hacia el norte por la alta atmósfera hasta llegar a la zona anticiclónica (Tamayo, 1984).

Existe cierto paralelismo entre los vientos y las corrientes marinas, sin embargo, según Pacheco (1991) la distribución de éstas no es idéntica a la de los vientos debido a varias causas como: diferencia en profundidad y forma de las cuencas marinas, barreras submarinas y dirección de las costas, que necesariamente desvían a aquéllas. Además hace mención que tanto los vientos del NE como los del SE están separados por una zona de vientos débiles la cual, debido a las altas temperaturas y humedades de la superficie del mar, constituyen una zona propicia para la formación de ciclones y huracanes que cobran importancia en la costa del Pacífico.

En su estudio Wirky (1965) indica que la circulación de la superficie del Océano Pacífico oriental tropical está sometida a una considerable variación en respuesta al cambio del sistema de los vientos principales.

El patrón de circulación está dominado por la parte oriental y ecuatorial de los movimientos giratorios anticiclónicos del Océano Pacífico norte, que están constituidos por la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial.

Los principales factores que inducen la variación del nivel medio del mar son: los cambios en la presión atmosférica y la velocidad e intensidad del viento, el efecto combinado de éstos tiene una mayor influencia debido al empuje del viento sobre la superficie del mismo. Las anomalías en la circulación atmosférica se reflejan en el nivel medio del mar, ya sea por acumular agua en la costa, abatirla o al propagar ondas de largo período a través de los océanos (como ocurre durante el Fenómeno de "El Niño"). Las variaciones estacionales del nivel durante el transcurso de un año, son producto del cambio en la circulación general de los vientos. Hay una estrecha relación en cuanto a dirección del viento y la respuesta del nivel del mar a elevarse o abatirse (Edit. Inst. Geofísica, 1977).

El Pacífico Tropical Mexicano es una zona pobre en elementos nutritivos, se aprecia que los nitratos generalmente son indetectables en los primeros 10 m de profundidad, mientras que los fosfatos y silicatos siempre están presentes en concentraciones de 0.1 a 0.4  $\mu\text{g-at/l}$  y de 0.5 a 3.0  $\mu\text{g-at/l}$ , respectivamente. A partir de este hecho se ha considerado el nitrógeno como el nutrimento limitante de las aguas oligotróficas de la costa Occidental Tropical del país (Thomas, 1969, 1970a; Thomas y Owen, 1971; Thomas y Dodson, 1972). Además, en estas latitudes es muy común que la comunidad microalgal presente fotoinhibición debido a la alta incidencia solar.

En el área comprendida entre los 13°-23°N y los 105°-111°O (Costa Tropical del Pacífico Mexicano) existe una relación entre los parámetros físicos y químicos. La profundidad a la que se presenta la termoclina es similar a la de la piconclina y oxiclina (aproximadamente 50 m); asimismo, se denota que por arriba de la termoclina los nitratos son casi nulos, por debajo de ésta el patrón se invierte, aumentan los nitratos y disminuye la concentración de oxígeno disuelto (Goering *et al.*, 1970).

King y Devol (1979) han visto el contenido de nitratos en el Pacífico Tropical Mexicano puede ser bajo, hasta el límite de su detección en la capa de mezcla (cerca a los 50 m de profundidad) e incrementarse inmediatamente por debajo de ésta; la concentración de nitratos en la capa de mezcla es controlada por un balance dinámico entre la captación de éstos por el fitoplancton y su resuspensión, difusión y advección, aún cuando su consumo sea mayor que la difusión.

### III. 2 Costa Occidental de la Península de Baja California (31°- 22° latitud norte)

La costa oeste de Baja California tiene una longitud aproximada de 1 250 Km y se encuentra limitada al este por el Sistema Californiano dentro de la provincia fisiográfica de la llanura costera de Baja California. En esta zona predominan costas y montañas de clima árido con precipitaciones invernales en la parte norte y estivales en la sur. Las costas expuestas son erosionadas constantemente por olas y mareas de alta energía (Zárate 1991).

La costa oeste de Baja California presenta morfoestructuras principales reconocidas para el océano mundial, como son: Plataformas y Taludes continentales, bordes continentales, trincheras, cuencas de mar marginal, montañas aisladas, crestas montañosas diversas, arco insular, planicie abisal, borde, dorsal y fosa. Frente a la costa oeste de Baja California, las características de la Corriente de California (de baja salinidad y baja temperatura) predominan en toda la zona; sin embargo, cerca de la costa pueden alterarse debido a surgencias y contraflujos (Wooster y Reid, 1963; Gómez y Vélez, 1982) Existe dentro de la región de la Corriente de California agua cálida de alta salinidad ubicada hacia el oeste (Pacífico norte central) y al sur en las cercanías con el Golfo de California (Torres y Zárate, 1991).

En un estudio realizado por Gómez Valdéz (1984), frente a la costa de Ensenada, se encontró que el principal factor que afecta a la densidad es la temperatura ya que presenta una mayor variación que la salinidad. Observó que la distribución de la densidad está relacionada con las corrientes presentes en la zona en donde las isopícnas ascienden conforme se acercan a la costa.

Esta inclinación es más intensa durante primavera y verano, época en la que el flujo sur de la corriente es mayor (Gómez Valdéz, 1984). También durante estas épocas prevalecen vientos del norte y noroeste que provocan surgencias, las cuales son mostradas por la inclinación de las isopícnas. En todas las épocas se observa una picnoclina permanente que está determinada principalmente por la temperatura, debido a que su patrón es muy similar al de la termoclina permanente (Torres y Zárate, 1991)

En su libro Sverdrup et al. (1942) menciona dos masas de agua, una norteña (Corriente de California) y una sureña, en el área frente a la costa comprendida entre Punta Concepción y Ensenada, abajo de los 200 m de profundidad, hasta una distancia aproximada a los 123° oeste.

*El fenómeno de surgencias en la costa occidental de Baja California es ocasionado por vientos dominantes del noroeste (Chávez de Ochoa, 1975).*

En las aguas superficiales a lo largo de toda la costa oeste de Baja California, desde Rosarito hasta Cabo San Lucas, en una franja de 20 Km de ancho, el patrón de distribución del oxígeno muestra una clara relación inversa con la temperatura; la concentración de oxígeno disminuye de norte a sur conforme aumenta la temperatura. Asimismo, en los meses más cálidos se observa una disminución en el contenido de este gas (PEMEX, 1986).

Los nutrimentos en general, se presentan en altas concentraciones en las aguas de fondo y cercanas a la costa, y las más bajas en las aguas superficiales alejadas de la costa. Su comportamiento está determinado principalmente por la intensidad de las corrientes presentes a lo largo de la costa occidental de Baja California y por el fenómeno particular de las surgencias que en su temporada de mayor intensidad, elevan considerablemente su contenido (Cid de León, 1991).

## **IV. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la concentración y distribución de pigmentos fotosintéticos, así como las condiciones físico-químicas presentes durante la ocurrencia del episodio 1997-1998 de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en el Pacífico mexicano. Al mismo tiempo comparar mediante imágenes de satélite la concentración de clorofila *a* en años con evento ENSO y años sin evento.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

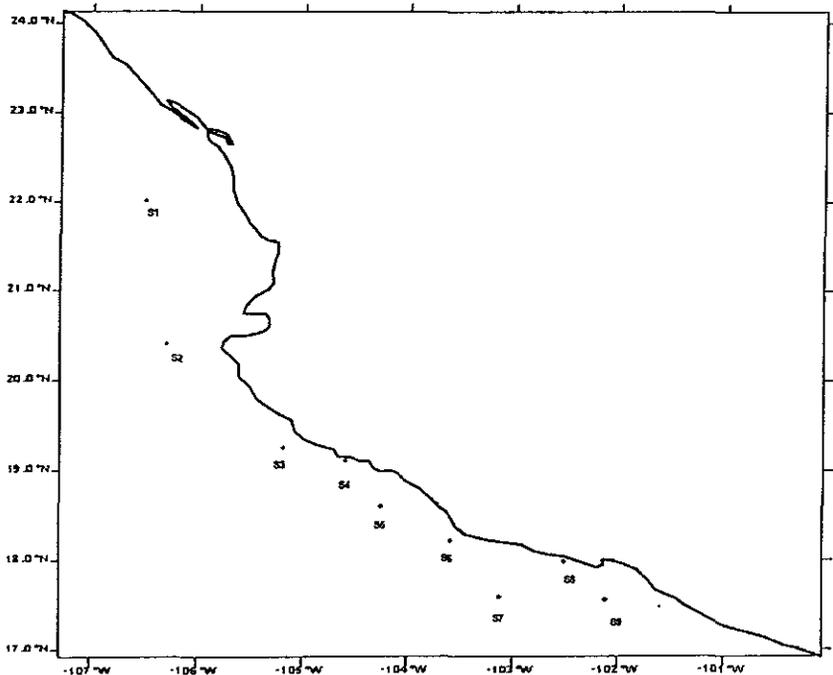
- Elaborar un registro de las concentraciones de la clorofila tipos *a*, *b* y *c* e índices de diversidad pigmentaria a distintas profundidades y en distintos puntos del Pacífico mexicano.
- Seguir el comportamiento de parámetros ambientales físicos y químicos, como temperatura y luz en la columna de agua, profundidad de la termoclina y de la capa de mezcla, salinidad y oxígeno
- Cotejar los datos obtenidos en campo con las imágenes de satélite que reporten temperatura y concentración de clorofila en la región estudiada.
- Integrar la información biológica, meteorológica e imágenes de satélite previos y posteriores al evento ENSO y compararlos con los resultados obtenidos *in situ*.

## V. Area de estudio

El área total de estudio abarca gran parte de la costa este del Pacífico mexicano; ésta se dividió en 4 zonas según el lugar y la temporada de muestreo.

### V. 1 Pacífico Sur 1

Se realizó el muestreo durante la campaña que llevaba el nombre Sedimentos II, que se llevó a cabo del 5 al 16 de noviembre de 1997 y se recorrió desde las costas de Guerrero hasta las costas de Colima (de los 17°55' lat N y 102°20' long O, hasta las 22°01' lat N y 106°49' long O).



A las estaciones se les denominó de la siguiente manera:

**S1** (22°01' y 106°49')

**S2** (20°40' y 106°28')

**S3** (19°25' y 105°18')

**S4** (19°12' y 104°54')

**S5** (18°59' y 104°24')

**S6** (18°21' y 103°58')

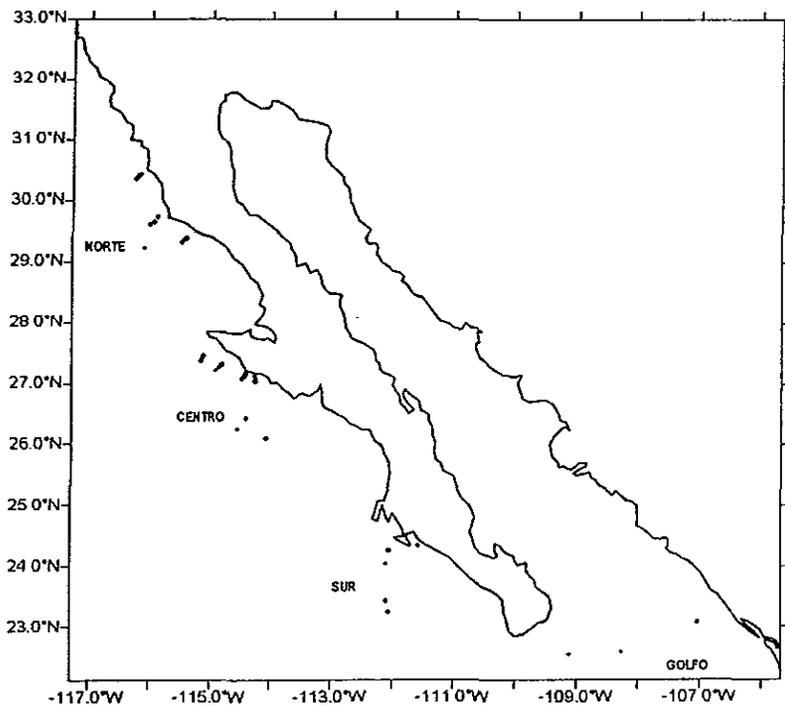
**S7** (17°58' y 103°11')

**S8** (18°01' y 102°34')

**S9** (17°55' y 102°20')

## V. 2 Pacífico Norte 1

Efectuada en la segunda campaña que se llamó SIMSUP XIII (Sistemas Marinos de Surgencias y su relación con Pelágicos menores); se realizó desde las costas de Mazatlán hasta Baja California Norte ( 22°54' lat N y 108° 05' long O hasta los 29°31' lat N y 115° 48' long O) del 5 al 23 de diciembre de 1997.



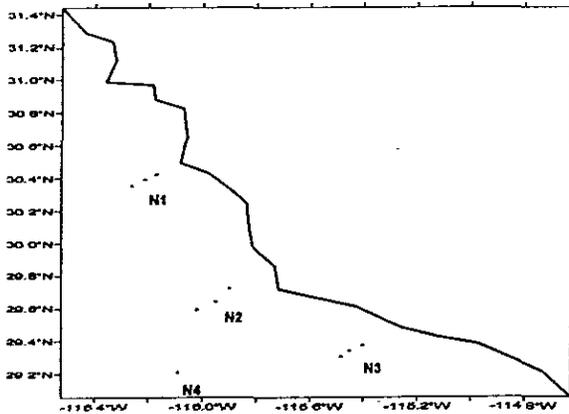
Esta zona se dividió principalmente en 3 regiones:

**Norte:** (29°31' y 115°48')

**Centro:** (27°02' y 114°40')

**Sur:** (24°30' y 112°13')

**Golfo:** (22°54' y 108°05')



## Región Norte

A los transectos que aparecen en el mapa se les denominó:

**N1** (30°39' y 116°21')

**N2** (29°52' y 116°55')

**N3** (29°34' y 115°45')

**N4** (29°21' y 116°08')

## Región Centro

A los transectos de esta región se les denominó:

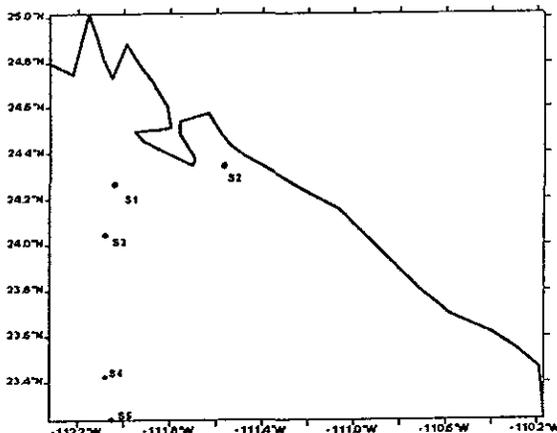
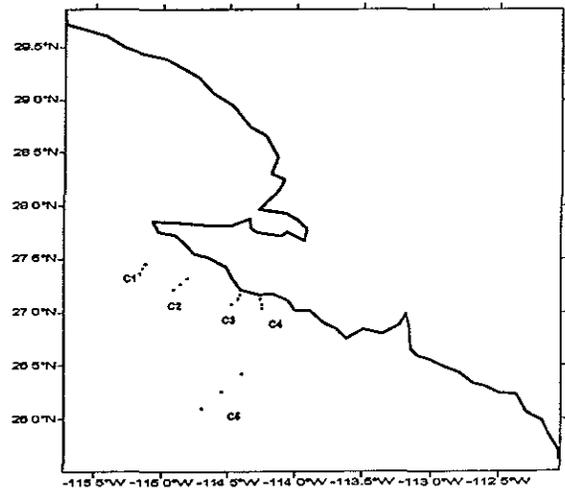
**C1** (27°41' y 115°14')

**C2** (27°34' y 114°57')

**C3** (27°12' y 114°48')

**C4** (27°03' y 114°25')

**C5** (26°25' y 114°68')



## Región Sur

A las estaciones se les denominó de igual manera:

**S1** (24°26' y 112°04')

**S2** (24°34' y 111°57')

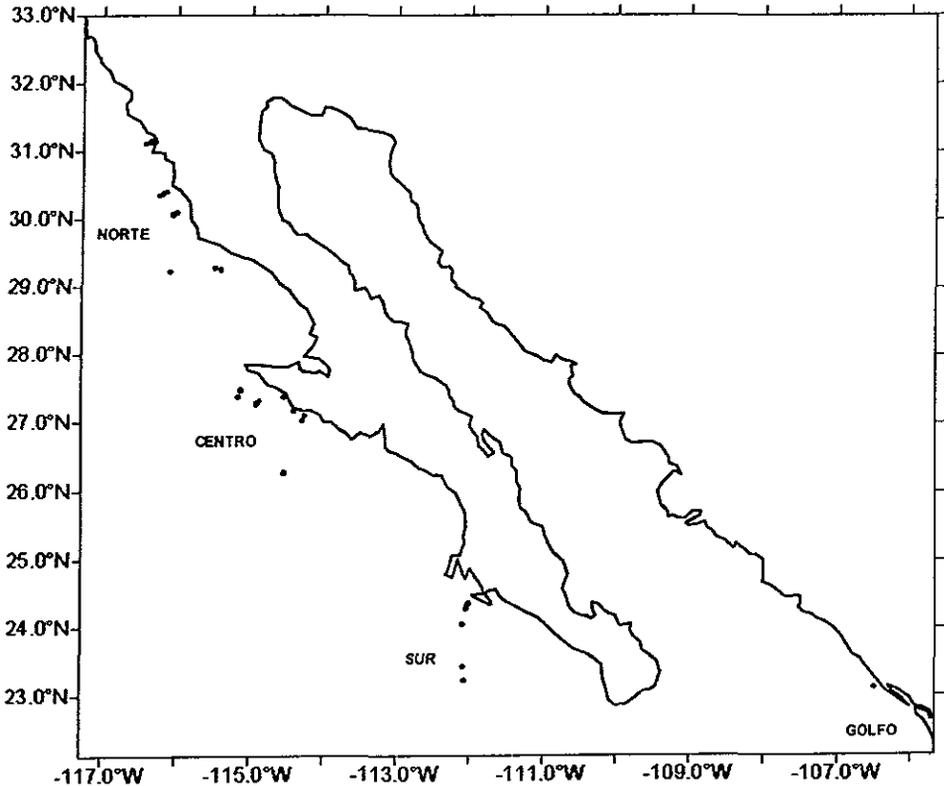
**S3** (24°04' y 112°08')

**S4** (23°42' y 112°08')

**S5** (23°23' y 112°05')

### V. 3 Pacífico Norte 2

La tercer campaña se llamó SIMSUP XIV, tuvo el mismo recorrido que la anterior, partiendo desde las costas de Mazatlán hasta Baja California Norte (de los 22°53' lat N y 108°25' long O hasta los 30°15' lat N y 116°09' long O) del 17 de marzo al 5 de abril de 1998.



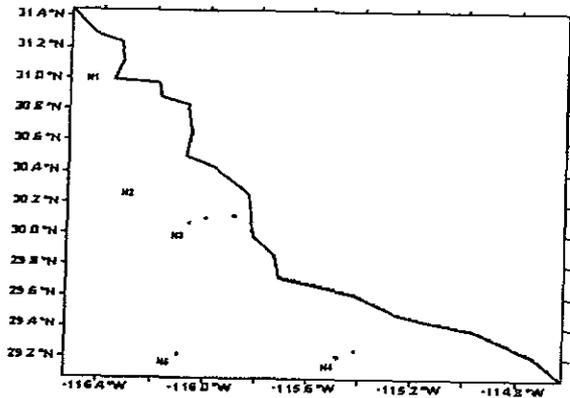
Esta zona se dividió principalmente en 3 regiones:

**Norte:** (30°15' y 116°09')

**Centro:** (27°02' y 114°40')

**Sur:** (24°30' y 112°02')

**Golfo:** (22°53' y 108°25')



## Región Norte

A los transectos que aparecen en el mapa se les denominó:

**N1** (31°13' y 116°35')

**N2** (30°37' y 116°15')

**N3** (30°09' y 116°00')

**N4** (29°20' y 115°34')

**N5** (29°21' y 116°09')

## Región Centro

A los transectos de esta región se les denominó:

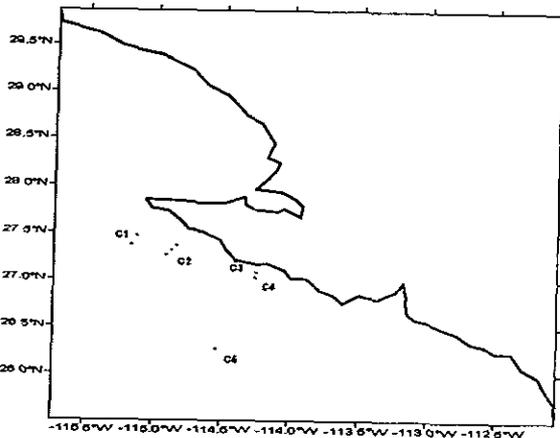
**C1** (27°40' y 115°16')

**C2** (27°34' y 115°00')

**C3** (27°16' y 114°43')

**C4** (27°03' y 114°25')

**C5** (26°26' y 114°53')



## Región Sur

A las estaciones se les denominó de igual manera:

**S1** (24°27' y 112°04')

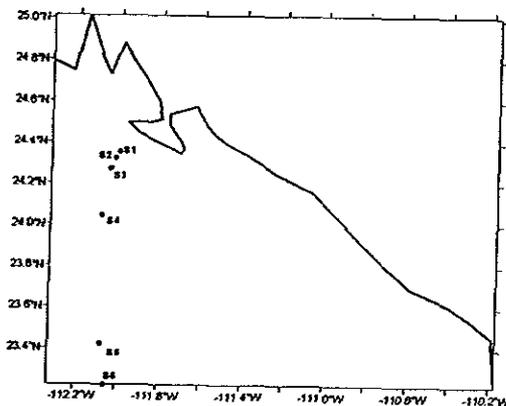
**S2** (24°35' y 112°)

**S3** (24°32' y 112°02')

**S4** (24°04' y 112°08')

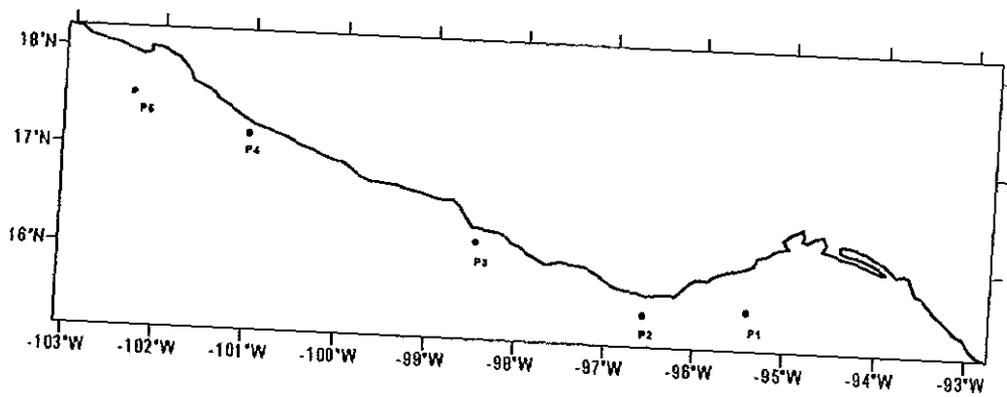
**S5** (23°42' y 112°07')

**S6** (23°22' y 112°05')



## V.4 Pacífico Sur 2

Último muestreo realizado durante la campaña PROPEZ IV que se realizó en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán ( $15^{\circ}45'$  lat N y  $102^{\circ}30'$  hasta  $18^{\circ}54'$  lat N y  $95^{\circ}40'$  long O).



A las estaciones se les denominó de la siguiente manera:

P1 ( $95^{\circ}40'$  y  $18^{\circ}54'$ )

P2 ( $96^{\circ}56'$  y  $15^{\circ}45'$ )

P3 ( $98^{\circ}48'$  y  $16^{\circ}14'$ )

P4 ( $101^{\circ}02'$  y  $17^{\circ}14'$ )

P5 ( $102^{\circ}30'$  y  $17^{\circ}53'$ )

## VI. Metodología

Las muestras de agua fueron colectadas durante cuatro campañas oceanográficas a bordo del B/O El Puma del ICMYL, UNAM; aprovechando la realización de estudios programados con anterioridad para el área pero que no tenían como objetivo el seguimiento del ENSO, de esta manera los muestreos que se realizaron fueron *prácticamente al azar y no siguiendo una señal predeterminada* específicamente para observar El Niño.

*Dos de las campañas se llevaron a cabo en la época de invierno:*

- *Sedimentos II* - del 5 al 16 de noviembre de 1997 a cargo del Dr. Arturo Carranza Edwards
- *SIMSUP XIII* - del 6 al 22 de diciembre de 1997 a cargo del Dr. Carlos Robinson Mendoza

*Y otras dos en la época de verano:*

- *SIMSUP XIV* - del 15 de marzo al 5 de abril de 1998 a cargo del Dr. Carlos Robinson Mendoza
- *PROPEZ IV* - del 15 al 25 de abril de 1998 a cargo del Dr. Felipe Amezcua Linares

*La dinámica de trabajo en cada campaña fue diferente:*

**Sedimentos II** - no se tomaron muestras de agua de manera intensiva ya que los objetivos de la campaña no lo requerían, así que se buscó tener por lo menos una muestra diaria de agua a tres profundidades, éstas fueron 2,15 y 30 metros.

**SIMSUP XIII y SIMSUP XIV** – aunque llevados a cabo en distintos meses, la dinámica fue la misma: muestreos de 24 horas en transectos ya establecidos, 4 por cada zona norte, centro, sur y golfo, y cada uno de estos con tres puntos según la región nerítica, talúd y oceánica.

**PROPEZ IV** – al igual que en la campaña sedimentos II, los objetivos de este crucero sólo requerían bajar una vez al día el CTD y la roseta para la toma de muestras de agua y datos fisicoquímicos.

Por las diferencias en la dinámica de trabajo de las 4 campañas, el número de muestras de agua obtenidas fue variable, desde 11 en la campaña PROPEZ IV hasta 146 en la campaña SIMSUP XIII.

A fin de evitar confusiones y facilitar la ubicación de la zona referida, se decidió poner un nombre diferente a las zonas muestreadas en cada campaña.

Crucero	Fecha	Zona
SedimentosII	5 a 16 de noviembre 1997	Pacífico sur 1
SIMSUP XIII	5 a 23 de diciembre 1997	Pacífico norte1
SIMSUP XIV	17 de marzo a 5 de abril 1998	Pacífico norte 2
PROPEZ IV	12 a 24 de abril 1998	Pacífico sur 2

Tabla 1: ubicación temporal y espacial de las 4 campañas oceanográficas

De manera general, durante las cuatros campañas se colectaron muestras de agua de tres profundidades dentro de la capa fótica (desde 5 m hasta 100 m) de por lo menos una estación diaria.

La manera en que se obtuvieron las muestras de agua fue con botellas Niskin (1-5 lts) de cierre automático, fijas a una roseta; al mismo tiempo se bajó el sistema CTD para la toma de datos físicoquímicos de las zonas muestreadas.

## VI. I Trabajo en el barco

A bordo del B/O El Puma se realizó la primera parte de la metodología

### VI.I.1 Muestreos de pigmentos

#### VI.1.1.1 Extracción de pigmentos

En cada estación se filtraron de 1.5 a 2 lts de agua por cada profundidad, utilizando filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F y un sistema de filtración Millipore conectado a una bomba de vacío; posteriormente el filtro se dobló con pinzas y se guardó en tubos de plástico para centrifuga agregando 10 ml de acetona al 90% a cada uno; los tubos se mantuvieron protegidos de la luz y refrigerados a una temperatura de 4°C.

## **VI.1.2 Variables fisicoquímicas**

### **VI.1.2.1 Temperatura, Oxígeno y Salinidad**

*Estas variables fisicoquímicas se midieron de una a dos veces por día, en estaciones elegidas al azar. Se utilizó un oxímetro (Orion 860) con capacidad para medir tanto oxígeno como temperatura.*

### **VI.1.2.2 luz fotosintéticamente disponible (PAR)**

*Para cuantificar la cantidad de luz fotosintéticamente disponible que penetraba en la columna de agua, se utilizó un cuantómetro (LI-COR), el cual se bajó con una cuerda marcada cada 5 metros hasta obtener resultados muy bajos o negativos. Los sensores utilizados fueron del tipo SA (LI-192SA underwater sensor y LI-193SA spherical quantum sensor). Su utilización no fue constante a lo largo de los 4 cruceros debido a fallas con el cable coaxial.*

## **VI. II Trabajo de Laboratorio**

*Después de un período de extracción, las muestras se centrifugaron durante 10 min a 1500 rpm. Del sobrenadante se tomaron 3ml de extracto cuidando de no resuspender el concentrado y se colocaron en una cubeta de cristal para su posterior lectura.*

*La estimación de pigmentos se realizó de 2 maneras:*

*La primera mediante la lectura con espectrofotómetro (Perkin-Elmer 552A), a longitudes de onda específicas (750, 665, 664, 647, 630 y 430) para determinar con precisión los diferentes tipos de clorofila a, b y c.*

*La segunda, realizada al mismo tiempo, fue la determinación fluorométrica de la clorofila a, con un fluorómetro (Sequoia-Turner 450) utilizando 2 filtros de excitación y de absorción de 630nm y 445nm.*

Para la obtención de imágenes satelitales Coastal Zone Color Scanner (CZCS), de los años 1982-1986, se recurrió al CD-room editado por la NASA (Surface Temperature and Pigment Concentration Data); dichas imágenes contienen información de tomas mensuales con AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo del satélite Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner.

Estas imágenes fueron analizadas en el Instituto de Geografía a través del programa TERASCAN.

Para la obtención de datos más recientes se recurrió a las imágenes Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), también analizadas en el Instituto de Geografía, utilizando computadoras Silicon Graphics con el programa SEADAS especializado en la determinación de pigmentos marinos.

En ambos tipos de imágenes, los datos perdidos por nubosidad, se extrapolaron de puntos anexos a la zona.

## VI. III Trabajo de gabinete

Para transformar las lecturas obtenidas en longitud de onda y en fluorescencia a concentración de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) se utilizaron en el caso del espectrofotómetro las ecuaciones de Jeffrey-Humphrey (\*1) y a los datos obtenidos con el fluorómetro se aplicó la ecuación de Holm-Hansen (\*2).

\*1 ecuaciones de Jeffrey-Humphrey (1975) para extractos en acetona al 90%

$$cl\ a = 11.85D_{664} - 1.54D_{647} - 0.08D_{630}$$

$$cl\ b = -5.43D_{664} + 21.03D_{647} - 2.66D_{630}$$

$$cl\ c = -1.67D_{664} - 7.60D_{647} + 24.52D_{630}$$

$D_x$  = lectura de la longitud de onda del espectrofotómetro

\*2 ecuaciones de Holm-Hansen (1965) para extractos en acetona al 90%

$$cl\ a\ (\text{mg/l}) = KF_m v (F_o - F_a) / V_f (F_m - 1)$$

K = coeficiente de sensibilidad en la extracción del solvente

Fm = radio de fluorescencia antes y después de la acidificación usando un extracto libre de feopigmentos.

Fo = lectura del fluorómetro del extracto antes de acidificar.

Fa = lectura del fluorómetro del extracto después de acidificar.

Para obtener el Índice de diversidad pigmentaria, se utilizó el Índice de Margalef basado en las mediciones espectrofotométricas:

$$\text{Índice de diversidad pigmentaria} = D_{430} / D_{665}$$

D430- longitud de onda en la cual se captan una amplia gama de pigmentos.

D665- longitud de onda en la cual se lee la clorofila a.

Asimismo, los datos obtenidos en las imágenes CZCS, se aplicaron a las siguientes fórmulas (contenidas en el compacto de la NASA):

$$Cl a = \text{Exp} [ (DN * 0.012 - 1.4) * LN ]$$

$$T ^\circ C = 0.15 * DN - 2.1$$

DN (digital number), magnitud en la que son expresados los valores pigmentarios en las imágenes satelitales, y equivale al número de bits registrados por el satélite, lo cual va directamente relacionado con la concentración de pigmentos.

## VI. IV Manejo de datos

Para el manejo estadístico de datos y la observación clara de las tendencias de las concentraciones de pigmentos así como su relación con las variables fisicoquímicas, se crearon promedios con los valores de diciembre y marzo de las zonas Pacífico Norte 1 y 2, ya que por cada estación el número de muestreos se repitió varias veces. Lo mismo se hizo con las imágenes satelitales CZCS, con el índice de diversidad pigmentaria y con las variables fisicoquímicas correspondientes a cada estación en ambas zonas.

## VI.IV.1 Análisis estadístico

Los datos de clorofila se trabajaron con medianas por considerarlas más representativas de la situación real de la concentración y distribución de pigmentos, muy alto en unas áreas y muy bajo en otras.

### VI.4.1.1 Datos obtenidos *in situ*

- **Matriz de correlaciones de Pearson**

A través de una matriz de correlaciones de Pearson, se obtuvo un acercamiento a la situación de los factores biológicos y fisicoquímicos de cada zona en la temporada en la que se llevaron a cabo las campañas.

### VI.4.1.2 Datos obtenidos de las imágenes satelitales

Ya que el evento ENSO afecta la temperatura del mar, la profundidad de la termoclina y otros parámetros fisicoquímicos. Las hipótesis fueron las siguientes.

$H_0$  = no se observarán cambios en la concentración de clorofila *a* entre años Niño y años noNiño

$$\mu_1 - \mu_2 = 0$$

$H_a$  = si se observarán cambios entre años Niño y años noNiño

$$\mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

- **Wilcoxon**

Para contrastar de manera directa a los años con evento Niño de los años normales, se recurrió al uso de la prueba de Wilcoxon que compara dos grupos de datos no paramétricos.

- **Prueba de Tukey**

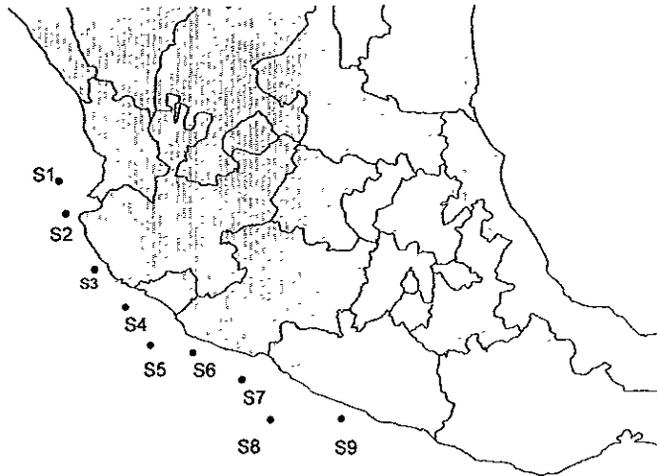
Aplicando el modelo estadístico de Tukey a los resultados obtenidos de las muestras satelitales tanto CZCS como SeaWiFS, se confrontaron los años Niño con los años noNiño.

## VII. RESULTADOS

De noviembre de 1997 a abril de 1998, se realizaron 4 campañas oceanográficas a bordo del B/O El Puma, a lo largo de las costas del Pacífico mexicano. Se analizaron un total de 291 muestras. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

### VII. 1 Pacífico Sur 1

Zona muestreada en noviembre de 1997. Se analizaron un total de 22 muestras de agua a 3 profundidades: 2, 15 y 30m.

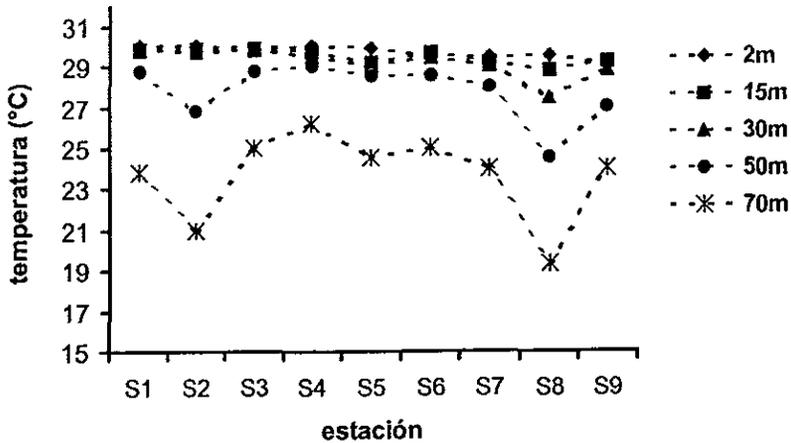


Ubicación de las estaciones de la zona PACÍFICO SUR 1

## I Variables fisicoquímicas

### 1.1 Temperatura

La distribución de la temperatura en los diferentes estratos de la columna de agua tuvo un promedio de  $27.94 \pm 2.53^{\circ}\text{C}$ . Los valores extremos se registraron desde  $30^{\circ}\text{C}$  a los 2 metros hasta  $19.3^{\circ}\text{C}$  a los 70 metros.

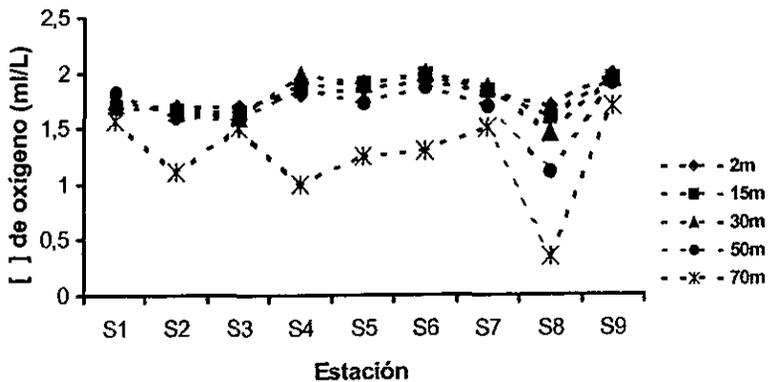


Gráfica 1: valores promedio de temperatura (°C) por estación desde los 2m hasta los 70m de profundidad. Noviembre 1997.

En la gráfica 1 se puede observar que en las temperaturas superficiales, hasta 30m, los valores promedio ascendieron por encima de los 29°C, mientras que a 50m y 70m se registraron valores de 27.76°C y 23.64°C respectivamente.

## 1.2 Oxígeno

La concentración de oxígeno presentó un valor medio en superficie de 1.79 ml/L, el cual se mantuvo mas o menos constante hasta los 30 metros.

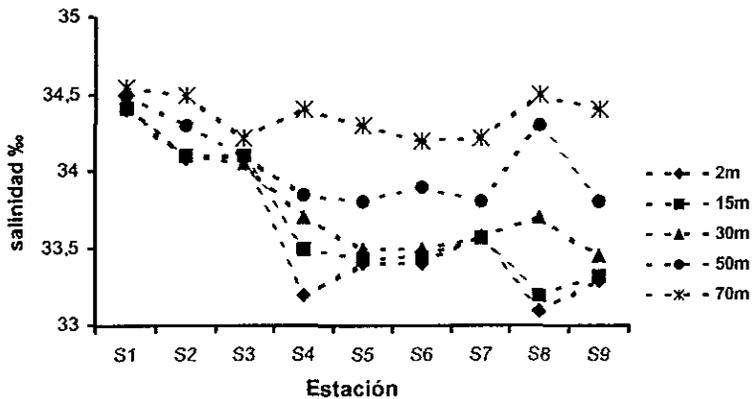


Gráfica 2 concentración promedio de oxígeno (ml/L) por zona, desde la superficie hasta 70 metros de profundidad. Noviembre 1997.

A los 50 metros la concentración media fue de 1.68 ml/L y a los 70 metros ésta disminuyó hasta 1.29 ml/L (gráfica 2). De acuerdo a la profundidad los valores se diferenciaron desde un máximo de 2ml/L a los 30 metros hasta un mínimo de 0.7 ml/L a los 70 metros.

### 1.3 Salinidad

La salinidad aumenta a menores temperaturas; así, mientras que en la superficie la concentración se mantuvo en la extensión de 33.61‰ a 33.77‰. A partir de los 50 metros las concentraciones se elevaron hasta a 34.36‰.



Gráfica 3: promedio de salinidad (%) por estación desde la superficie hasta los 70 metros de profundidad. Noviembre 1997.

La excepción estuvo en las estaciones S1 a S3 (22° a 19° lat N) en donde la salinidad se mantuvo constante desde la superficie hasta los 70 metros, con valores superiores a 34‰, variando sólo algunas décimas.

## 1.4 Capa fótica y Termoclina

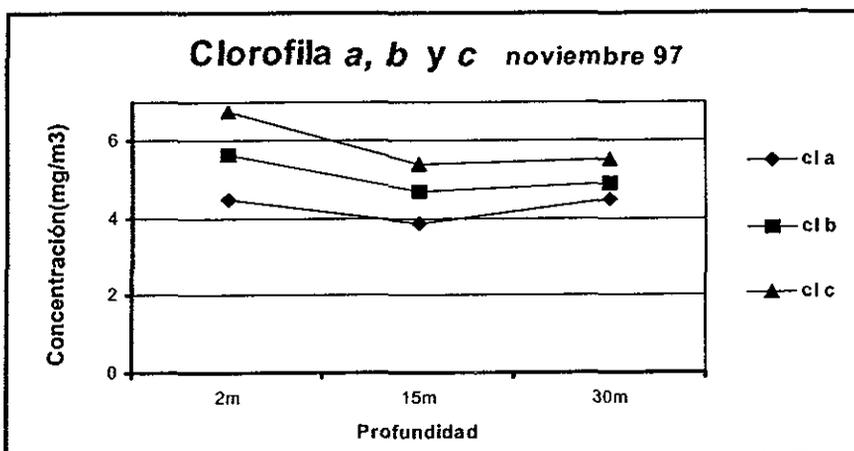
La gran cantidad de sedimento disuelto en la columna de agua provocó que ésta presentara gran turbidez, misma que obstaculizó el paso de luz mas allá de los 5 metros, registrándose a esta profundidad aproximadamente el 10% de la luz incidente en superficie.

La profundidad promedio a la cual se inició la termoclina en la zona fue a los 55 metros; más profunda frente a la costa de Sinaloa (22° lat N) que en la costa de Guerrero (17° lat N), existiendo entre ambas una diferencia de hasta 10 metros.

## II Identificación y concentración de pigmentos

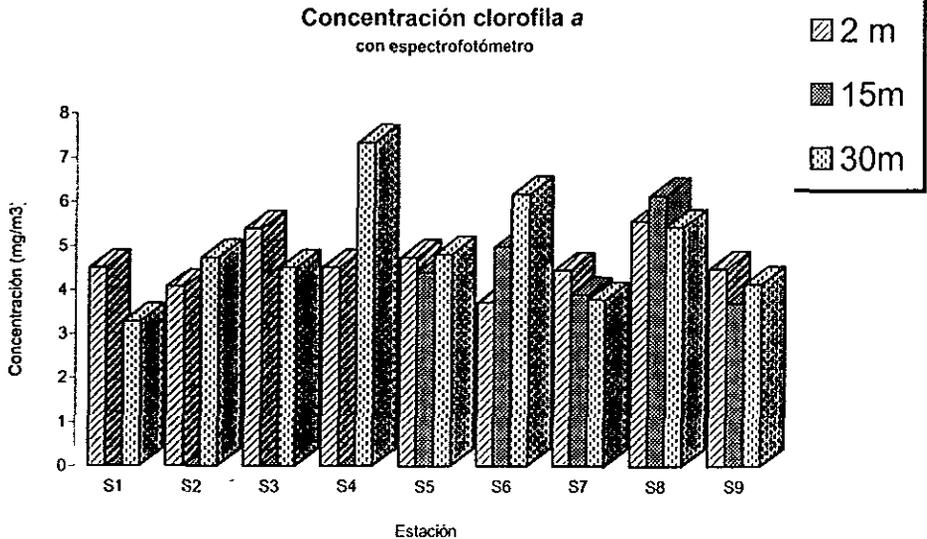
### 2.1 medición de clorofila a, b y c con espectrofotómetro

Los datos obtenidos por este método dejan ver que las concentraciones más elevadas son las de la clorofila tipo c con un valor de  $6.4 \text{ mg/m}^3$ ; las clorofilas tipo a y b se presentaron en concentraciones semejantes con una mediana de  $4.45 \text{ mg/m}^3$  para la primera y  $5.17 \text{ mg/m}^3$  para la segunda; así mismo, los valores más bajos para los tres tipos de clorofila se registraron a la profundidad de 15 metros.



Gráfica 4: concentración promedio de clorofila a, b y c ( $\text{mg/m}^3$ ) desde los 2m hasta los 30 metros de profundidad.

Específicamente, la clorofila tipo a presentó un valor máximo de  $7.32\text{mg/m}^3$  y un mínimo de  $3.27\text{mg/m}^3$  ambos a los 30 m de profundidad. De los 2 a los 15 metros la clorofila a se encontró en una mediana de  $4.48\text{mg/m}^3$ , muy similar a los  $4.5\text{mg/m}^3$  registrados a los 30 m (gráfica 5a).

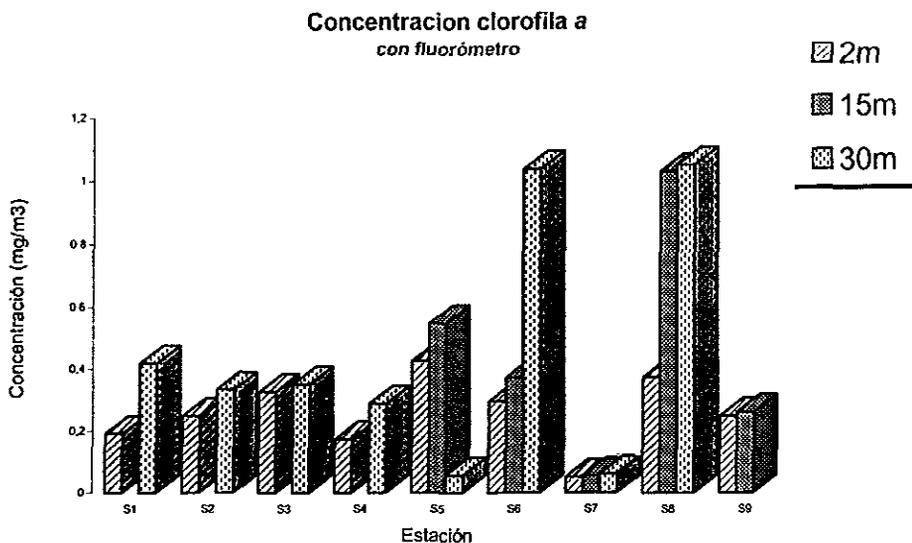


Gráfica 5ª: promedios de concentración de clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) por estación; obtenida con espectrofotómetro.

## 2.2 Medición de la clorofila a con fluorómetro

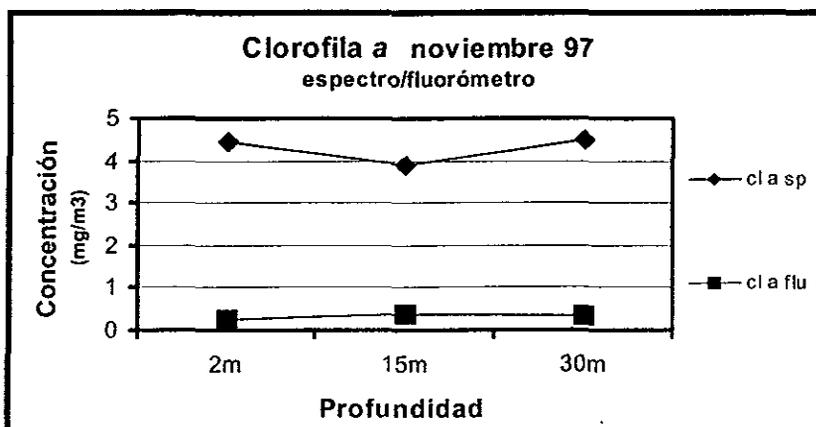
El total de valores obtenidos tuvo un valor máximo de  $1.05\text{mg/m}^3$  a los 30 metros y uno mínimo de  $0.05\text{mg/m}^3$  a los 2 metros.

Con los resultados del fluorómetro, se observó variación de acuerdo a la profundidad, entre la superficie (2m a 15 m) con una mediana de  $0.27\text{mg/m}^3$ , y la profundidad máxima analizada (30m) con valores cercanos a  $0.34\text{mg/m}^3$ . A los 15 metros se registraron  $0.37\text{mg/m}^3$ . (gráfica 5b).



Gráfica 5b: promedio de concentración de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) por estación obtenida con fluorómetro.

Las concentraciones obtenidas por este método difieren en gran medida de las obtenidas con el espectrofotómetro (gráfica 6), siendo los valores de este último aproximadamente 13 veces mayores a las del fluorómetro; con una  $r$  entre ambas de 0.495.

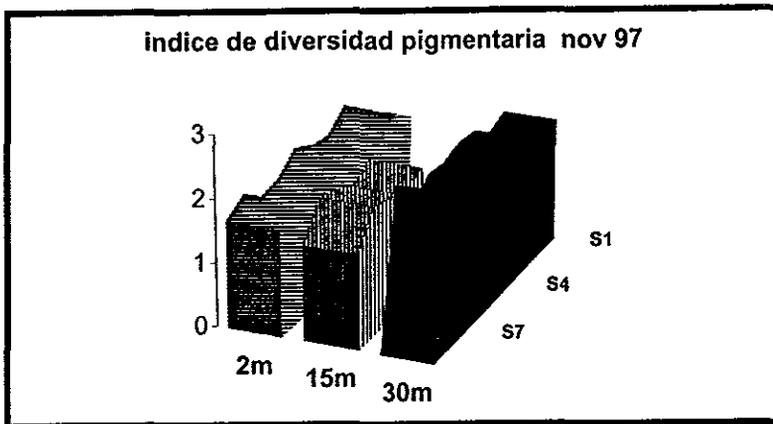


Gráfica 6: comparación de las medianas de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) obtenidas con espectrofotómetro y con fluorómetro.

### III Índice de Diversidad Pigmentaria

En este mes de noviembre se obtuvieron los registros más altos, con valores de 2.4 en el máximo y 1.47 en el mínimo a 30m y 15m respectivamente; en cambio, en las aguas superficiales (2 m) la media fue de 1.73.

La zona con mayor índice pigmentario fué S8 (18.01° lat N) con 2.08 valor que quedó entre 0.9 y 0.5 décimas por encima de todas las demás zonas.



Gráfica 7: índices de diversidad pigmentaria por región y por profundidad, desde 5m hasta 75m. Noviembre 1997.

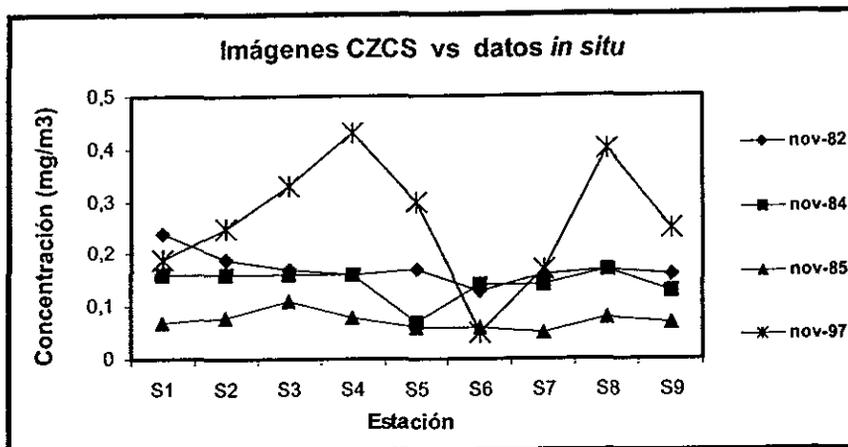
### IV Datos satelitales

Con las imágenes CZCS se obtuvieron valores tanto de clorofila *a* como de temperatura, y con las imágenes SeaWiFS únicamente de clorofila *a*, ambas integradas sólo en superficie (hasta 15m).

#### 3.1 Clorofila *a* CZCS

Los valores obtenidos por este método son promedios mensuales de las concentraciones registradas diariamente. Se analizaron imágenes para el mes de noviembre de los años 1982, 1984, 1985 (gráfica 8), comparándolas con los datos *in situ* de noviembre de 1997.

Las concentraciones de clorofila *a* obtenidas con las imágenes satelitales se presentaron entre  $0.24\text{mg/m}^3$  y  $0.05\text{mg/m}^3$  siendo 1982, año de evento ENSO, el que tuvo las mayores concentraciones, con una mediana de  $0.17\text{mg/m}^3$ ; 1984 y 1985 presentaron valores menores de  $0.16\text{mg/m}^3$  y  $0.07\text{mg/m}^3$  respectivamente; los datos de 1997 presentaron la mediana más alta, con  $0.25\text{mg/m}^3$ . Dos elevaciones



importantes se registraron en las zonas S4 y S8 ( $18.21^{\circ}$ -  $18.01^{\circ}$  lat N) por arriba de los  $0.35\text{mg/m}^3$ .

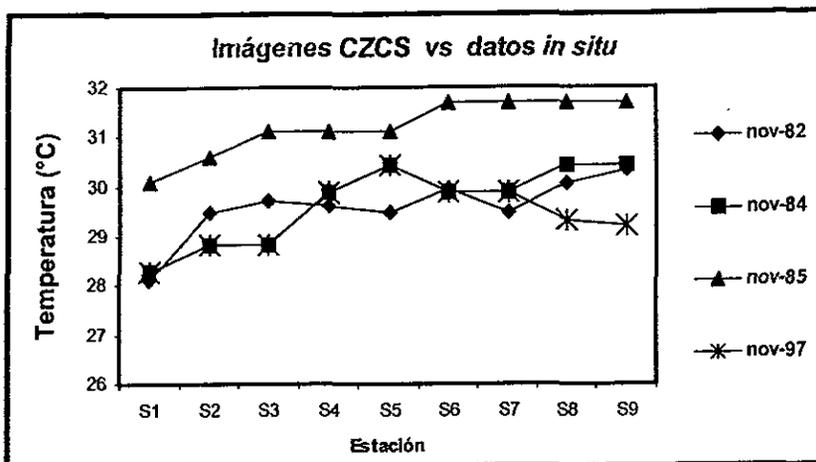
Gráfica 8: comparación de la concentración de clorofila *a* obtenida con imágenes CZCS e *in situ*. Noviembre 1997.

### 3.2 Temperatura CZCS

Para los mismos años, los valores de temperatura se presentaron en el rango de  $28^{\circ}\text{C}$  a  $31^{\circ}\text{C}$ , mostrando una alta correlación entre los diferentes años ( $r = 0.79$ ).

El año con datos de mayor temperatura fue 1985, con un promedio de  $31.13 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , en comparación con los demás años, incluyendo 1997 en que se registraron valores cercanos a  $29.3^{\circ}\text{C}$ .

La correlación existente entre los datos satelitales y los datos de barco fue negativa ( $r = -0.67$ ).

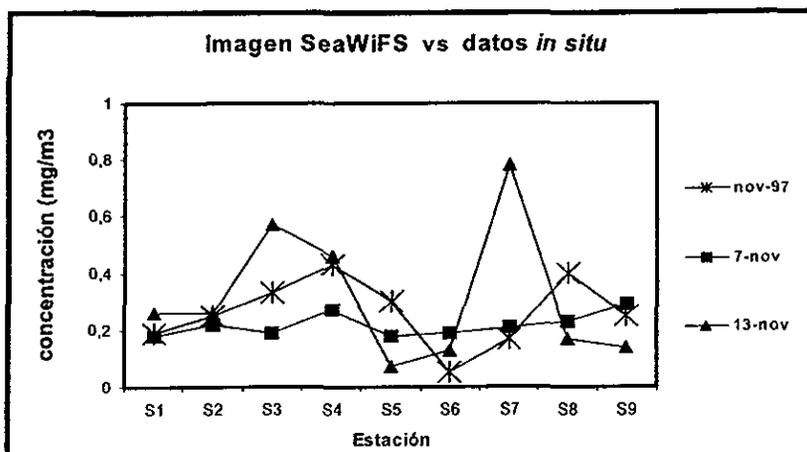


Gráfica 9: comparación de temperatura con imágenes CZCS y datos *in situ*. Noviembre 1997.

### 3.3 Clorofila a SeaWiFS

Los datos de estas imágenes corresponden a días en los cuales se llevó a cabo la campaña oceanográfica por la misma región. Las imágenes analizadas corresponden a los días 7 y 13 de noviembre de 1997.

La correlación de estos datos con los obtenidos *in situ* es poco significativa, habiendo más concordancia con el día 7 ( $r = 0.41$ ) que tuvo  $0.21\text{mg/m}^3$  que con el día 13 ( $r = 0.07$ ) cuya mediana fue de  $0.26\text{mg/m}^3$ .



Gráfica 10: comparación de la concentración de clorofila a con imágenes SeaWiFS y datos *in situ*.

## Análisis Estadístico

### NOVIEMBRE 1997 Zona Pacífico Sur 1

#### **Matriz de correlaciones de Pearson**

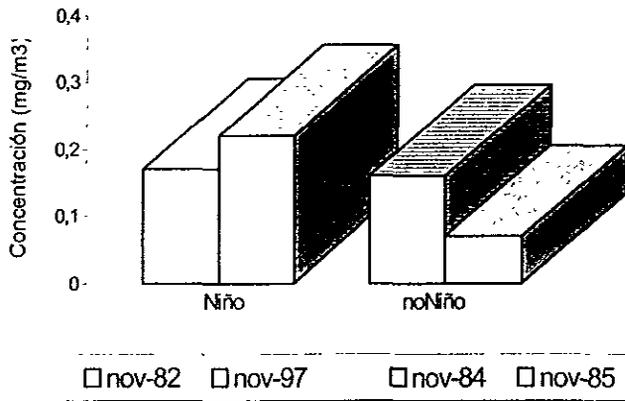
La temperatura a lo largo de la zona se relacionó positivamente con el aumento en latitud y en longitud. Ésta misma en la columna de agua disminuyó sus valores conforme al aumento de profundidad, sin embargo ambos valores no tuvieron una relación estadísticamente significativa. Los valores de clorofila obtenidos tanto con espectrofotómetro como con fluorómetro se relacionan entre si de manera positiva; la clorofila medida con fluorómetro mostró una ligera tendencia a concentrarse en agua de mayor temperatura; la diversidad pigmentaria se relacionó con las aguas más profundas de menor temperatura en donde la concentración de clorofila fue mayor.

#### **Wilcoxon**

Las concentraciones de clorofila *a* fueron distintas entre unos años y otros, por lo que no fue posible diferenciar estadísticamente entre años Niño y noNiño; es decir, en todos los años la variación en los rangos de concentración fue tal que no se pudo asociar sus diferencias con años Niño y años noNiño.

## Prueba de Tukey

En esta zona no fue posible observar algún patrón de variación entre los años Niño y los años normales, ya que las probabilidades obtenidas en todas las combinaciones apuntaron a que las concentraciones de clorofila fueron diferentes en todos los años.

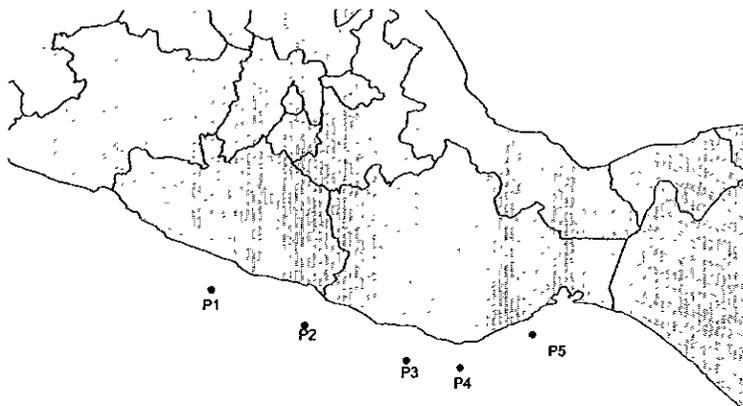


Gráfica A: Diferencias en la concentración de clorofila a en el mes de noviembre

entre años Niño (1982 y 1997) y años noNiño (1984 y 1985).

## VII. 2 Pacífico sur 2

El muestreo de esta región se realizó en abril de 1998. Se analizaron un total de 12 muestras de agua de 4 profundidades comprendidas entre 5 y 75 metros de profundidad.

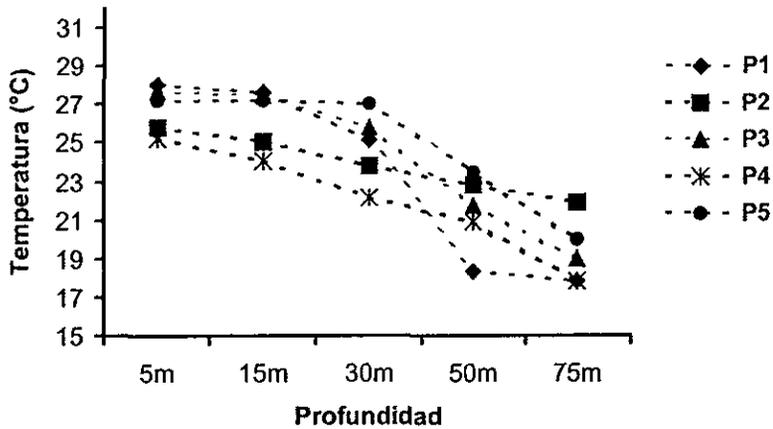


Ubicación de las regiones muestreadas en la zona PACÍFICO SUR 2

### I Variables Fisicoquímicas

#### 1.1 Temperatura

En esta región se registraron variaciones de 3° a 7°C por zona, tanto en sentido vertical (profundidad) como horizontal (lat/long). En general, las disminuciones en la temperatura fueron proporcionales al aumento de profundidad; así, aunque el promedio general fue  $25.93 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ , de los 5 metros a los 30 metros se registraron valores promedio a  $25.9 \pm 0.84^{\circ}\text{C}$ , y de los 50 a los 75 metros valores de  $20.3 \pm 1.07^{\circ}\text{C}$ .



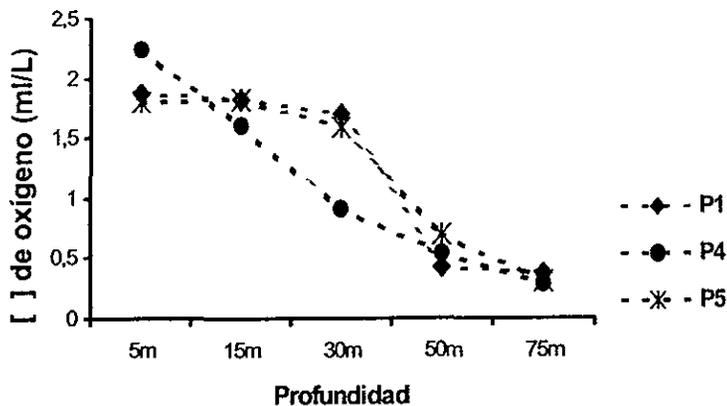
Grafica 1: valores promedio de temperatura (°C) por estación registrados desde los 5m hasta los 75m. Abril 1998.

Las regiones con mayor temperatura fueron las zonas: P3 y P5 cuyos valores oscilaron alrededor de los 27°C, a diferencia de las zonas P1, P2 y P4 con valores de 25°C a 23°C.

## 1.2 Oxígeno

Debido a un desperfecto en el equipo CTD, sólo se obtuvieron datos de las zonas P1, P4 y P5, las cuales tuvieron un promedio de  $1.2 \pm 0.06$  ml/L; al igual que con la temperatura, la mayor concentración de oxígeno se presentó en los primeros 30 metros de profundidad, cuya media fue de 1.68ml/L, contrastando con los 0.41ml/L que se registraron desde 50 metros hasta 75 metros.

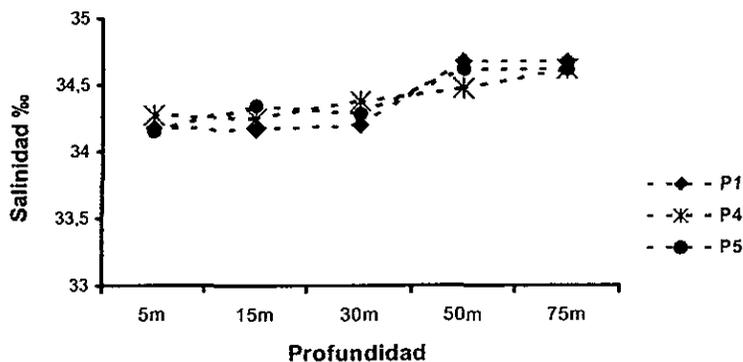
Las zonas P1 y P5 ( $18.54^\circ$  y  $17.53^\circ$  lat N) presentaron los valores más altos con 1.24ml/L, seguida muy de cerca por la zona P4 ( $17.14^\circ$  lat N), con 1.12ml/L.



Grafica 2: concentración promedio de oxígeno (ml/L) por estación desde los 5m hasta los 75m. Abril 1998.

### 1.3 Salinidad

La salinidad de esta región se mantuvo en el rango de 34.2‰ a 34.64‰ con un valor medio de 34.39‰. Los valores de las aguas más profundas (50-75m) fueron los que tuvieron los valores más altos, con 34.61‰, aún así la diferencia con los datos de superficie fue mínima, ya que el valor medio de los 5 a los 30 metros fue 34.25‰.



Grafica 3: salinidad (‰) promedio registrada por estación desde los 5m hasta los 75m. Abril 1998.

En las estaciones más oceánicas P4 y P5 (101°- 102°30' long O), se registró el promedio más elevado:  $34.4 \pm 0\%$ , valor sólo 2 décimas más alto que el registrado en la zona P1.

#### 1.4 Capa fótica y Termoclina

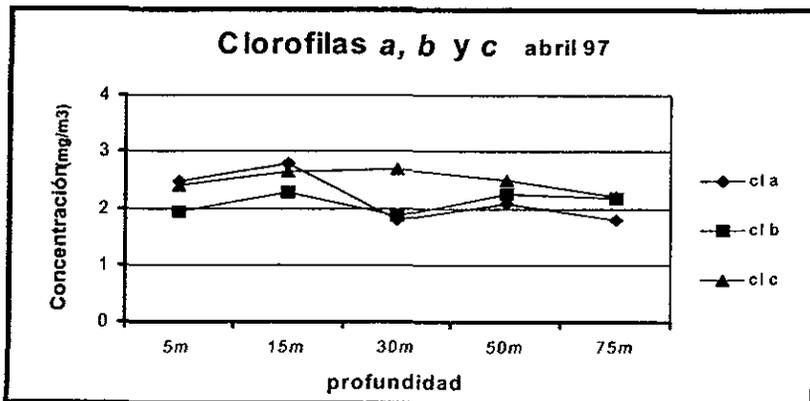
En esta zona, los registros de luz presentaron variación a los 20 metros, desde un 10% hasta un 40% de la luz incidente, después de esta profundidad no se tienen registros de luz.

La termoclina comenzó aproximadamente a los 32 metros, profundizándose ligeramente hacia la zona oceánica, alcanzando los 39 metros; el cambio de temperatura fue más marcado en esta zona que en la estudiada en noviembre de 1997 pero a menor profundidad.

## II Identificación y concentración de pigmentos

### 2.1 Medición de clorofila tipo a, b y c

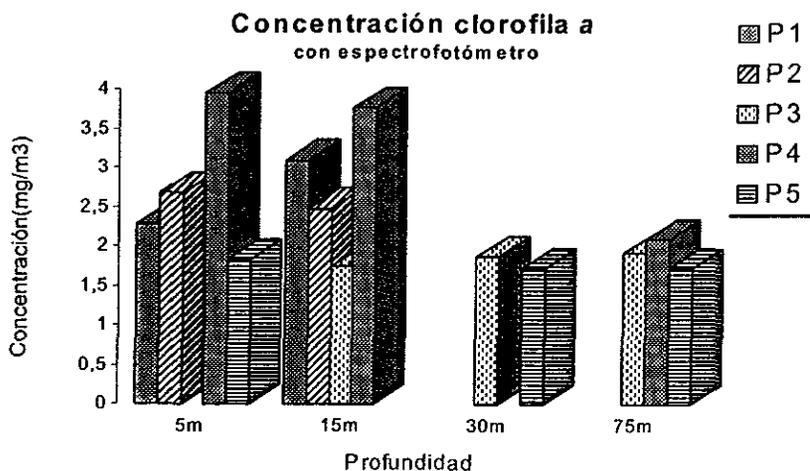
Las concentraciones obtenidas para los tres tipos de clorofila, conservaron la misma tendencia entre sí, con una diferencia de décimas en sus promedios, mas la correlación entre ellas es muy poco significativa, siendo menor con el tipo c ( $r = 0.29$ ) que entre el tipo a y b ( $r = 0.6$ ).



Gráfica 4: concentración promedio de clorofila tipo a, b y c; registrados desde los 5 m hasta los 75 m de profundidad Abril 1998.

El tipo de clorofila *c* presentó mayores concentraciones en casi toda la región, con una mediana de  $2.50\text{mg/m}^3$ , seguida por el tipo *a* con  $2.08\text{ mg/m}^3$  y el tipo *b*, 10 décimas mayor que la clorofila *a* . Los valores medios más altos se registraron alrededor de los 20 metros.

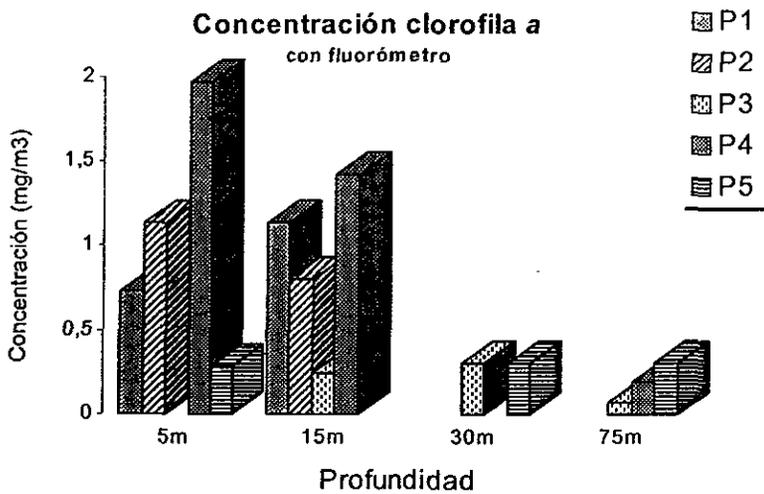
La clorofila *a* tuvo un máximo de  $2.78\text{mg/m}^3$  a los 5 m y un mínimo de  $1.79\text{mg/m}^3$  encontrado a los 30 m y a los 75 m. Entre los 5 y los 20m se obtuvo una mediana  $2.69\text{mg/m}^3$ ; de los 30 a los 50m una de  $1.86\text{mg/m}^3$  y de los 70 a los 100 m una mediana de  $1.81\text{mg/m}^3$ . (gráfica 5a).



Gráfica 5ª: concentración de clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) obtenida con espectrofotómetro. Abril 1998

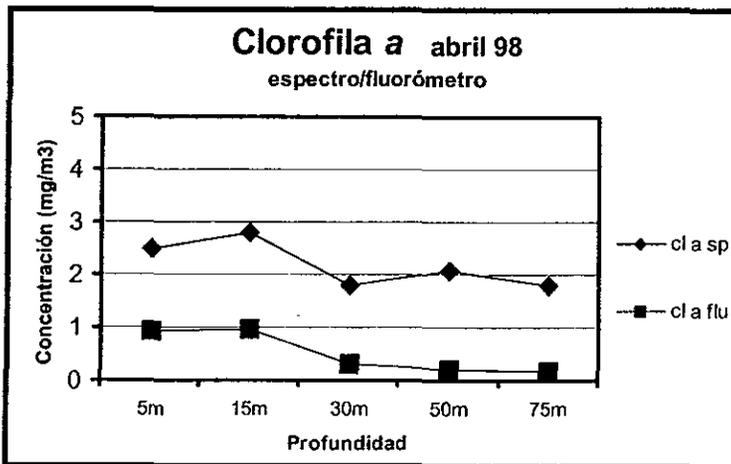
## 2.2 Medición de clorofila a con fluorómetro

Con el fluorómetro, los valores obtenidos para la clorofila *a* tuvieron un valor máximo de  $1.97\text{mg/m}^3$  a los 15 m, y un mínimo de  $0.07\text{mg/m}^3$  a los 75 metros. Las concentraciones entre los 5 y 20 m tuvieron una mediana  $1.13\text{ mg/m}^3$  ; entre los 30 y 50 m de  $0.30\text{ mg/m}^3$  y entre los 70 y 100 m de  $0.18\text{ mg/m}^3$ .



Gráfica 5b: concentración promedio de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) obtenida con fluorómetro. Abril 1998.

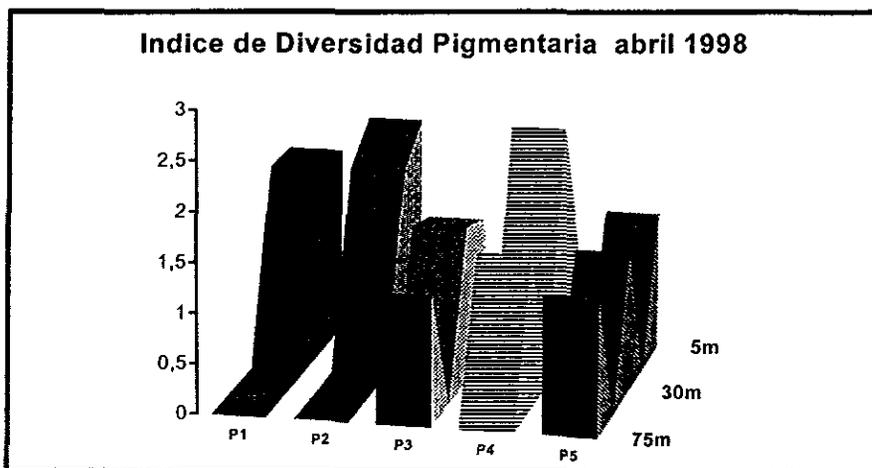
Aunque éstos valores son menores que los obtenidos con espectrofotómetro presentan una alta correlación entre sí ( $r = 0.95$ ).



Gráfica 6: comparación de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) obtenida con espectrofotómetro y con fluorómetro. Abril 1998.

### III Índice de Diversidad Pigmentaria

En abril, el mayor valor registrado fue 2.37 a los 15 metros de profundidad y el menor 0.93 a los 5 metros. En promedio los valores registrados tanto por zona como por profundidad, oscilaron de 2.04 en la zona P2 a 1.38 en la zona P5, y de 1.88 a los 15 metros a 1.34 a los 75 metros



Gráfica 7. índices de diversidad pigmentaria desde los 5m hasta los 75m de profundidad. Abril 1998.

### IV Datos satelitales

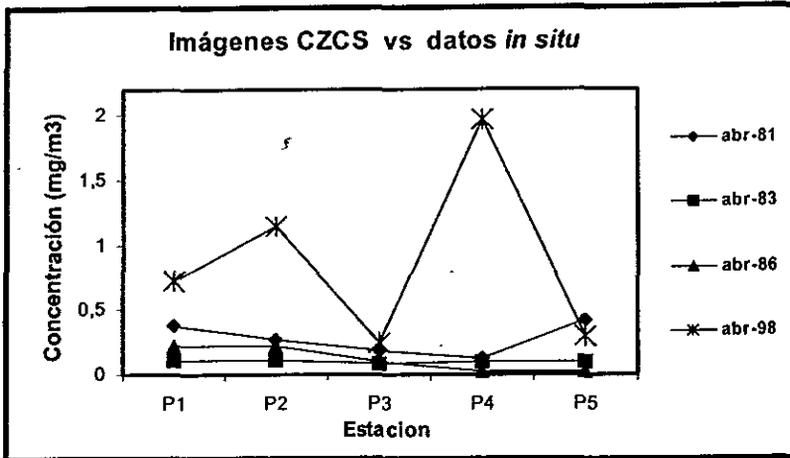
#### 5.1 Clorofila a CZCS

Para el mes de abril se analizaron imágenes de los años 1981, 1983 y 1986; estas imágenes se compararon con las concentraciones obtenidas en superficie (5-15 m) tomadas *in situ* durante el mismo mes pero del año 1998.

Las 3 imágenes satelitales mostraron una baja correlación entre sí ( $r = 0.25$ ) cuando se comparó entre años normales y mediana correlación entre años Niño y noNiño ( $r = 0.46$ ). Los valores van desde  $0.27\text{mg/m}^3$  para 1981 hasta  $0.09\text{mg/m}^3$  en 1983 y  $0.10\text{mg/m}^3$  para el año de 1986, estos dos últimos años, ambos con evento ENSO, presentaron los valores más bajos; no fue así con los datos tomados en el

barco en 1998 cuya mediana fue  $0.73\text{mg/m}^3$ , con 2 elevaciones importantes en las zonas P2 ( $15.45^\circ\text{ lat N}$ ) y P4 ( $17.14^\circ\text{ lat N}$ ), las cuales estuvieron por encima de la unidad.

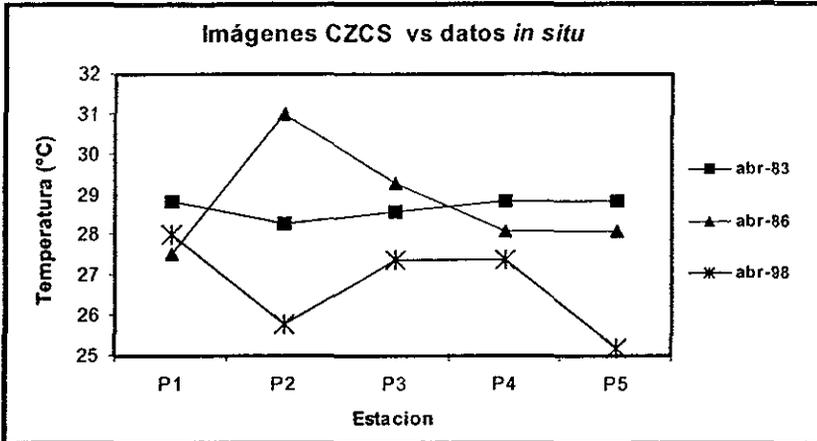
La correlación de los datos obtenidos en las imágenes satelitales y los obtenidos *in situ* fue baja tanto para años con evento ENSO como noENSO.



Gráfica 8: comparación de la concentración de clorofila *a* entre imágenes CZCS en diferentes años y datos *in situ*. Abril 1998.

## 5.2 Temperatura CZCS

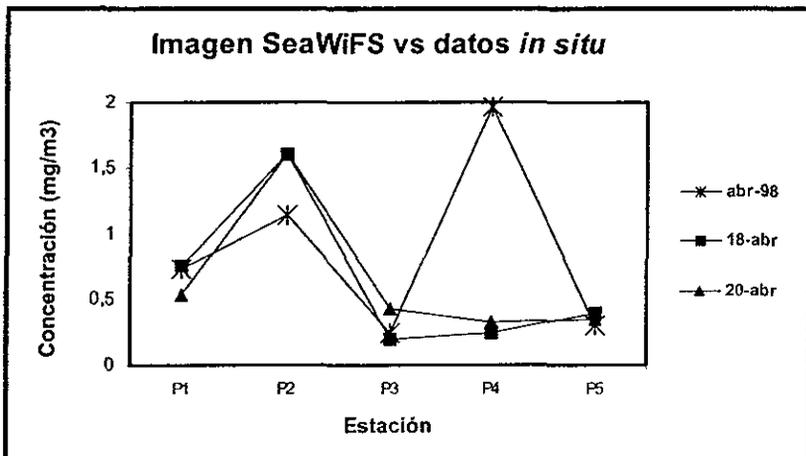
Los registros de temperatura superficial obtenidos en las 2 imágenes muestran una alta correlación entre sí ( $r = 0.98$ ), teniendo promedios muy similares,  $28.7 \pm 0.2^\circ\text{C}$  para 1983 y  $28.8 \pm 1.2^\circ\text{C}$  para 1986, contrastando con el año 1998 cuyo valor promedio fue  $26.7 \pm 1.1^\circ\text{C}$ , debido a las zonas P2 y P5 con una temperatura aproximada de  $25^\circ\text{C}$ , estos dos valores ocasionan que la correlación entre ambos tipos de datos sea baja ( $r = 0.35$ ).



Gráfica 9. comparación de la temperatura entre los datos obtenidos con imágenes CZCS en diferentes años y los obtenidos *in situ*. Abril 1998.

### 5.3 Clorofila a SeaWiFS

Las imágenes analizadas corresponden a los días 18 y 20 del mes de abril de 1998; de éstas se obtuvieron medianas de todas las zonas, las cuales resultaron muy próximas:  $0.39\text{mg}/\text{m}^3$  para el día 18 y  $0.43\text{mg}/\text{m}^3$  para el día 20, relacionándose entre ellas en gran medida ( $r = 0.95$ ); los datos de barco presentaron la mediana más alta:  $0.73\text{ mg}/\text{m}^3$ , con concordando en todos los puntos a excepción de la zona P4 ( $17^\circ$  lat N) que presentó  $1.97\text{mg}/\text{m}^3$ , el dato más elevado tanto de los datos de barco como de los satelitales.



Gráfica 10: comparación en la concentración de clorofila a entre imágenes SeaWiFS y datos *in situ*. Abril 1998.

## **Análisis Estadístico**

### **ABRIL 1998 Zona Pacífico Sur 2**

#### **Matriz de correlaciones de Pearson**

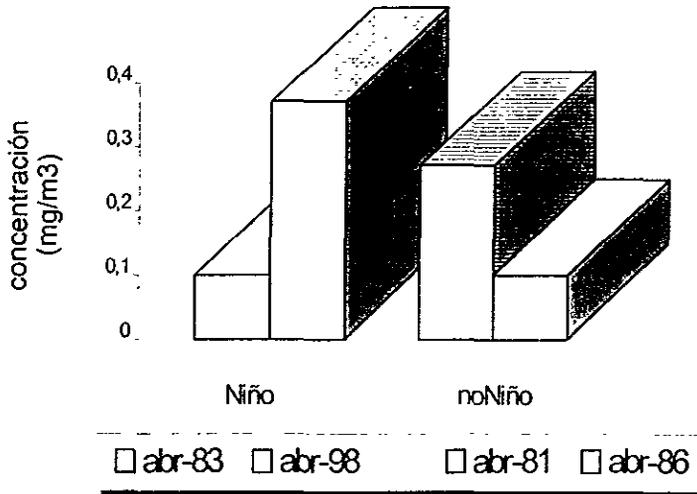
Esta zona incluye parte de la estudiada en noviembre de 1997 en el Pacífico central tropical. A diferencia de entonces en esta primavera la temperatura no se relacionó de ningún modo con la latitud y la longitud y sí positivamente con la profundidad, sin embargo esta estratificación no influyó aparentemente en la distribución y/o concentración de organismos, pues aunque la mayor concentración de pigmentos se registró en agua superficial, puede haberse debido a la cantidad de luz y no a una preferencia térmica. La diversidad de organismos fue menor en relación al mes de noviembre.

#### **Wilcoxon**

Las concentraciones de clorofila *a* fueron en su mayoría significativamente diferentes. Todas las comparaciones excepto (1986 vs 1983 y 1981 vs 1998), mostraron diferencias significativas entre sus respectivas concentraciones, ya sea que hubiesen sido años Niño o años normales.

## Prueba de Tukey

La concentración de clorofila a no presentó variaciones significativas en ninguno de los años estudiados en la zona PS2, esto indicaría que en esa zona no es posible observar diferencias evidentes entre años normales y años con evento ENSO.

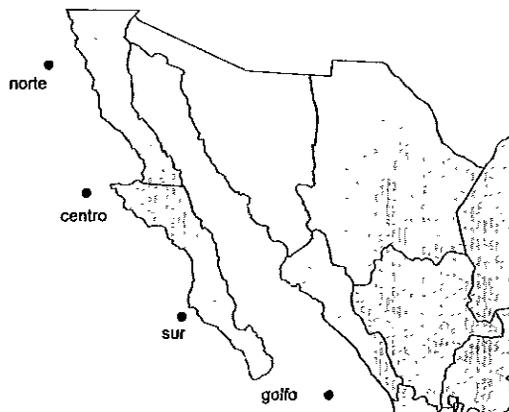


Gráfica B: Diferencias en la concentración de clorofila a en el mes de abril

entre años Niño (1983 y 1998) y años noNiño (1981 y 1986)

## VII. 3 Pacífico Norte 1

El primer muestreo de esta zona se realizó en diciembre de 1997. Se analizaron un total de 146 muestras comprendidas entre los 5 y 100m.

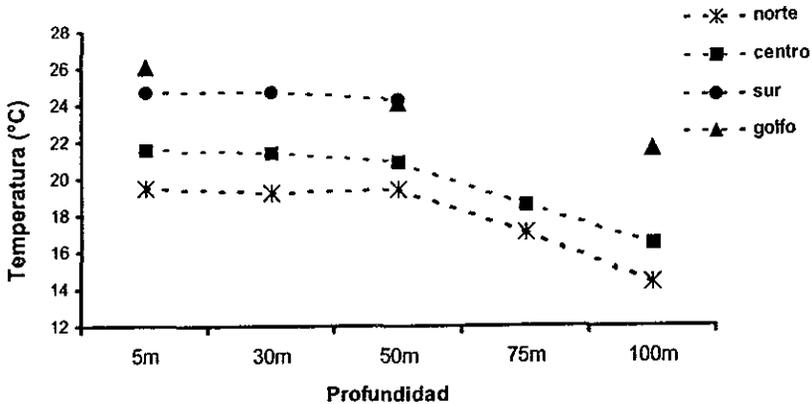


Ubicación de las estaciones de la zona PACIFICO NORTE 1

### I Variables Físicoquímicas

#### 1.1 Temperatura

Siendo ésta región muy amplia, se encontró gran variación de la temperatura tanto en sentido horizontal (lat / long) como vertical (profundidad). El promedio obtenido en toda la zona fue  $21.22 \pm 1.73^{\circ}\text{C}$ , encontrándose valores máximos de  $27.4^{\circ}\text{C}$  en la superficie y de  $13.77^{\circ}\text{C}$  a 100 metros .

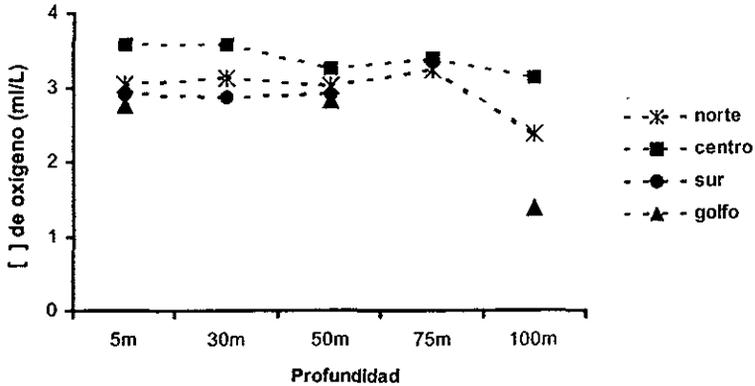


Gráfica 1: valores promedio de temperatura (°C) por región, desde 5 metros hasta 100 metros. Diciembre 1997.

Las dos regiones más calientes se presentaron hacia las latitudes más bajas (22°-24° lat N) de la región estudiada: la zona sur y la boca del golfo con valores entre 23.91°C y 24.52°C, aproximadamente 5°C más calientes que las zonas norte y centro (27°-29° lat N). Así mismo, la temperatura disminuyó de 3°C a 5°C desde la superficie hasta los 100 metros de profundidad.

## 1.2 Oxígeno

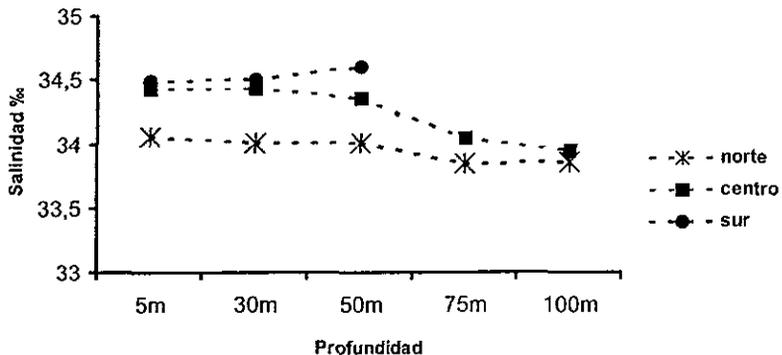
Las concentraciones de oxígeno en la región se mantuvieron en un promedio de  $2.95 \pm 0.5\text{ml/L}$ ; el valor máximo fue  $3.56\text{ml/L}$  en 5 y 30m y el mínimo  $1.37\text{ml/L}$  a 50m; independientemente a éstos valores aislados, fue a la profundidad de 75m en donde se encontró el promedio más alto:  $3.29\text{ml/L}$ , el cual estuvo 10 a 30 décimas más alto que los valores en superficie (5-30m); más hay que tomar en cuenta que la zona sur y la boca del golfo (24° y 22° lat N), regiones con valores por debajo de los  $3\text{ml/L}$  no tuvieron análisis a los 75 m, afectando sus promedios generales; por otra parte, la región que presentó los valores más elevados fue la zona centro (27° lat N).



Gráfica 2: concentración promedio de oxígeno (ml/L) por región desde 5 hasta 100 metros de profundidad Diciembre 1997

### 1.3 Salinidad

La salinidad de la región se mantuvo en el rango de 33.53‰ a 34.68‰, con un valor medio de 34.18‰. Los valores en aguas superficiales (5-50m) se mantuvieron en 34.32‰, descendiendo a 33.91‰ a partir de los 60 metros. La región de aguas más calientes, la región sur, tuvo los valores más elevados en salinidad.



Gráfica 3: salinidad (‰) promedio por región y por profundidad. Diciembre 1997

## 1.4 Capa Fóptica y Termoclina

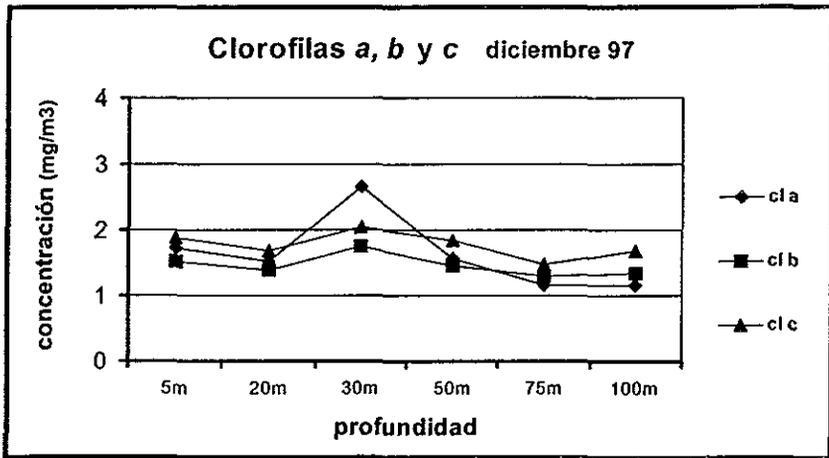
En esta zona la luz incidente penetró un 76% a los 30 metros de profundidad; en la zona norte a los 10 metros se registró solamente un 10%. Después de los 30 metros no se obtuvo registro de luz.

El valor promedio de la termoclina fue de 60 metros. En la zona norte (30° a 29° lat N), la termoclina se abatió hasta la profundidad de 58 metros, aumentando hasta 70 metros en la zona oceánica; en la zona centro (27° a 26° lat N) la profundidad media de la termoclina fue 68 metros, profundizándose de 10 a 30 metros hacia la zona oceánica; la zona sur (24° lat N) por ser una bahía y haberse muestreado en tres puntos diferentes, presentó la termoclina desde 15 metros en la parte interna a la bahía hasta 83 metros de profundidad en la parte oceánica.

## II Identificación y Concentración de Pigmentos

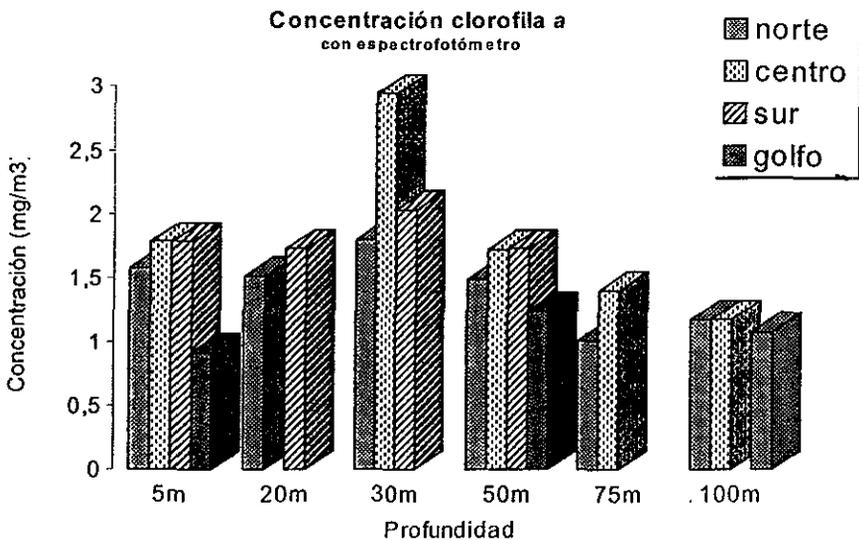
### 2.1 Medición de clorofila *a*, *b* y *c* con espectrofotómetro

Las concentraciones de los 3 tipos de clorofila frecuentemente se encontraron mucho más elevadas a la profundidad de 30 metros, en donde los valores oscilaron desde 1.75mg/m<sup>3</sup> para la clorofila *b*, hasta 2.66mg/m<sup>3</sup> para la clorofila *a*; estos valores contrastan con los obtenidos a 75 y 100 m, cuyas medianas estuvieron cercanas 1.31mg/m<sup>3</sup> para los 3 tipos. En general, el tipo de clorofila *c* obtuvo la mediana más alta con 1.76mg/m<sup>3</sup>, el cual fue seguido por el tipo *a* con 1.55mg/m<sup>3</sup> y por el tipo *b* con 1.42mg/m<sup>3</sup>. En la gráfica 4, se puede observar que los 3 tipos de pigmentos se encontraron casi de manera proporcional en toda la zona; existiendo una mayor correlación entre la clorofila tipo *c* y los tipos *a* y *b* ( $r = 0.7$  y  $0.9$  respectivamente), que entre estos últimos entre sí ( $r = 0.6$ ).



Gráfica 4: concentraciones promedio de clorofila a, b y c (mg/m<sup>3</sup>) en diferentes profundidades, desde 5 hasta 100 metros. Diciembre 1997.

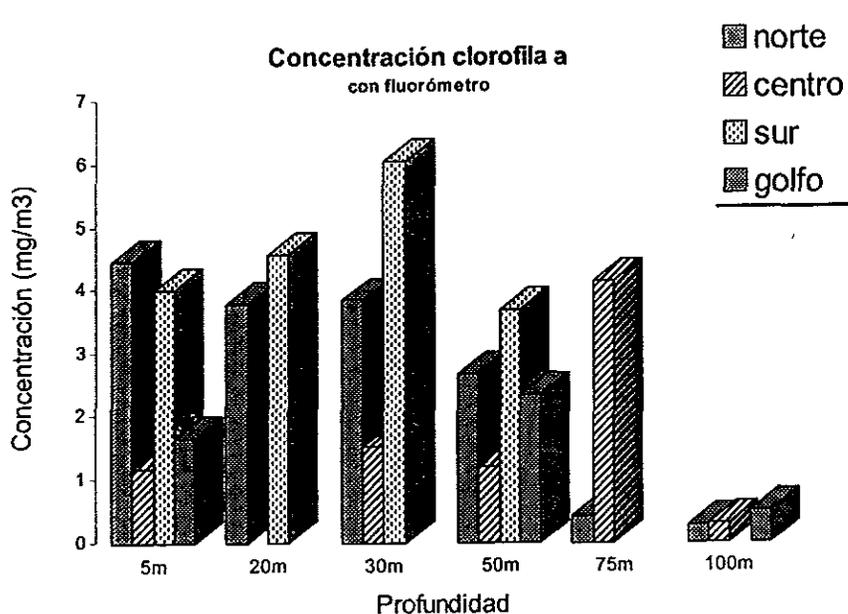
Para la clorofila a la mediana entre los 5 y los 20 m fue 1.70mg/m<sup>3</sup>, entre los 30 y 50 m fue de 1.60mg/m<sup>3</sup> y de 1.14 gm/m<sup>3</sup> entre los 70 y 100 m. El rango de los valores estuvo entre 3.31mg/m<sup>3</sup> a 30 m y 0.72 mg/m<sup>3</sup> a 100 m.



Gráfica 5ª: concentración promedio de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) obtenida con espectrofotómetro; indicándose la profundidad de las muestras analizadas. (5-100m)

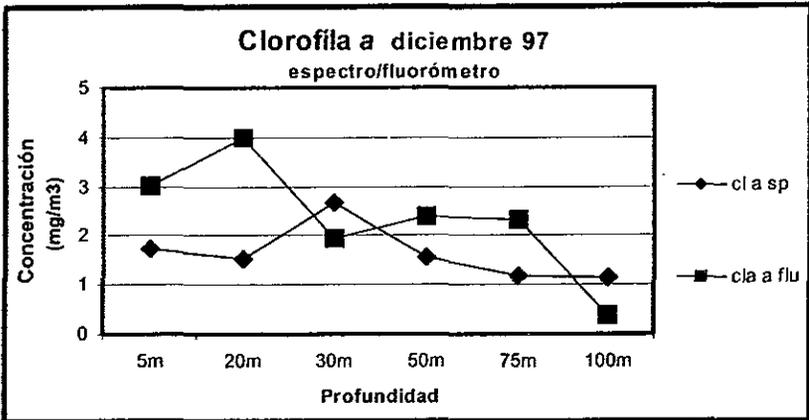
## 2.2 Medición de clorofila a con fluorómetro

Las cantidades obtenidas para la clorofila a con el fluorómetro tuvieron una mediana de  $3.10\text{mg/m}^3$  entre los 5 y los 20 m, entre los 30 y 50 m de  $2.49\text{ mg/m}^3$  y entre los 70 y 100 m de  $0.46\text{ mg/m}^3$ . También se presentaron valores extremos como  $9.82\text{mg/m}^3$  a los 5 y 50 m de profundidad y  $0.07\text{mg/m}^3$  a los 100 m. (gráfica 5b)



Gráfica 5b: concentración promedio de clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) obtenida con fluorómetro. Se indica la profundidad de las muestras analizadas. Diciembre 1997.

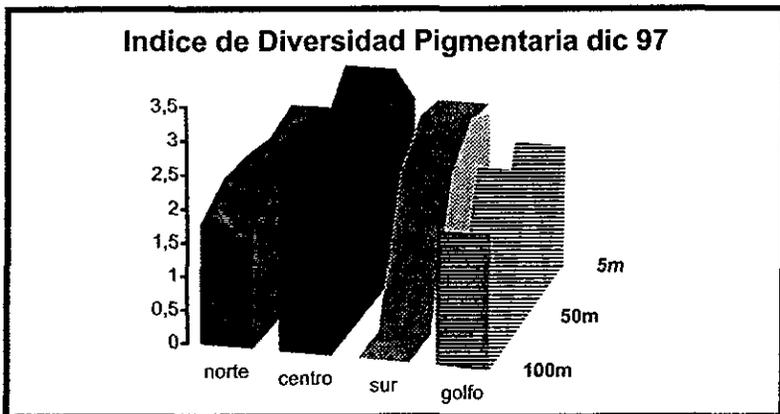
A diferencia de lo observado en las muestras de las regiones del Pacífico Sur y Pacífico Norte 2, en esta zona las concentraciones fluorométricas fueron de 1 a 2 veces más elevadas a las obtenidas con espectrofotómetro (gráfica 6) y su correlación fue  $r = 0.80$ .



Gráfica 6: comparación de las medianas de clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) obtenida con espectrofotómetro y con fluorómetro, desde los 5m hasta los 100m. Diciembre 1997.

#### IV Índice de Diversidad Pigmentaria

En pleno diciembre, los valores encontrados oscilaron entre 4.8 a 5 metros y 1.14 a 100 metros como máximo y mínimo respectivamente, aunque valores aproximados a 4.6 se registraron también a 100 metros. (gráfica 7)



Gráfica 7: índices de diversidad pigmentaria por región y por profundidad. Diciembre 1997.

La región que tuvo el mayor índice de diversidad pigmentaria fue la zona centro con una media de 2.69, mientras que las regiones con menor índice fueron la zona norte y la boca del golfo, ambas con valores de 2.03.

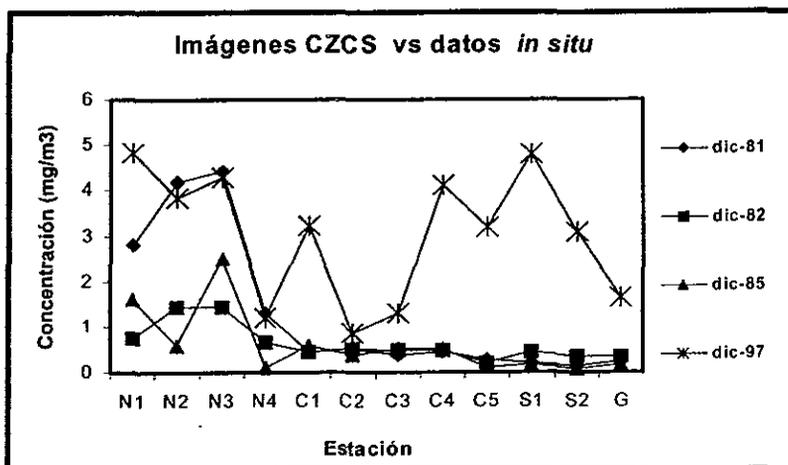
Tomando en cuenta sólo la columna de agua, la diversidad de pigmentos se mantuvo muy similar en todas las profundidades, oscilando los valores desde 2.14 hasta 2.53.

## V Datos Satelitales

### 5.1 Clorofila a CZCS

Las imágenes analizadas corresponden a los años 1981, 1982 y 1985 del mes de diciembre, los promedios mensuales de estas imágenes comparados con los datos *in situ* del año 1997 mostraron poca correlación entre sí ( $r = 0.275$ ), mientras los valores obtenidos por imagen satelital estuvieron en el rango de  $0.44\text{mg/m}^3$  para el año 1981 hasta  $0.48\text{mg/m}^3$  para 1982, los datos *in situ* de 1997 presentaron una mediana de  $3.2\text{mg/m}^3$ .

Como se puede observar en la gráfica 8, los valores obtenidos de las tres imágenes siguen una tendencia semejante en cuanto a la proporción de sus concentraciones y al lugar en donde éstas se presentaron ( $r = 0.85$ ).



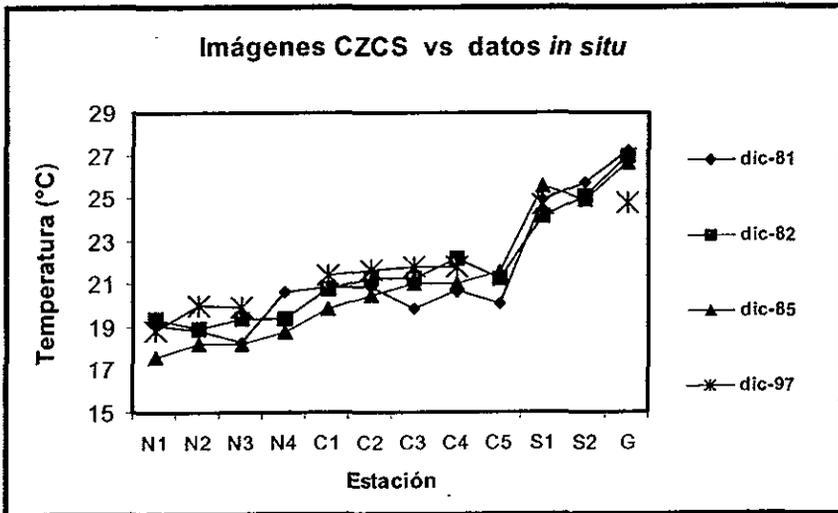
Gráfica 8: comparación de la concentración de clorofila a entre imágenes CZCS en diferentes años y datos *in situ* en diciembre de 1997

Para todos los conjuntos de datos se observó un alza generalizada en la zona norte (29°-30°), en donde el rango de concentración osciló de 1.09 mg/m<sup>3</sup> a 3.06 mg/m<sup>3</sup>. En años donde no hubo evento ENSO (1981 y 1985) estos valores fueron mayores que los del año 1982 cuyos valores se aproximaron a 1.03 mg/m<sup>3</sup>.

Las siguientes regiones mostraron casi la misma baja en la concentración, de 0.47 a 0.32mg/m<sup>3</sup>, sin haber diferencia aparente según el año; a diferencia los datos *in situ* del 1997 tuvieron otra alza aún mayor que la de la zona norte, con una concentración de 3.8mg/m<sup>3</sup>.

## 5.2 Temperatura CZCS

De los mismos años se obtuvieron los valores para temperatura en superficie (hasta 15 metros); éstos a diferencia de la concentración de pigmentos, mostraron gran concordancia entre sí ( $r = 0.98$ ); los años con mayor temperatura fueron 1982 y los datos *in situ* de 1997 con un valor de 21.66°C, seguido por el año de 1981 con 21.42°C y 1985 con 21.14°C. Los años con evento ENSO sólo estuvieron unas décimas de grado por encima de 1985 y 1981.

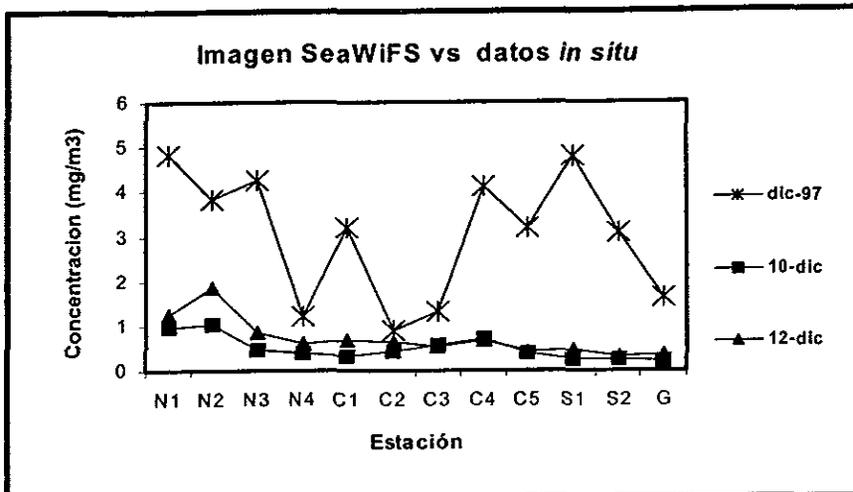


Gráfica 9. comparación de temperatura entre imágenes CZCS en diferentes años y datos *in situ* para diciembre de 1997.

### 5.3 Clorofila a SeaWiFS

Las imágenes analizadas corresponden a los días 10 y 12 de diciembre.

La correlación existente entre las imágenes satelitales fue muy alta ( $r = 0.91$ ), existiendo diferencias muy pequeñas entre los promedios generales, de  $0.41\text{mg}/\text{m}^3$  el día 10 a  $0.62\text{mg}/\text{m}^3$  el día 12, además de haber presentado elevaciones y/o disminuciones semejantes en las mismas regiones. En contraste, los datos *in situ* con su valor de  $3.2\text{mg}/\text{m}^3$  se relacionan ligeramente en la zona norte ( $r = 0.375$ ).



Gráfica 10: comparación en la concentración de clorofila a con imágenes SeaWiFS y datos *in situ*

## Análisis Estadístico

DICIEMBRE 1997 Zona Pacífico Norte 1

### **Matriz de correlaciones de Pearson**

Durante este mes, la temperatura, la concentración de clorofila a y la profundidad tuvieron una correlación positiva. Así mismo la distribución de pigmentos fue mayor en las aguas costeras de latitudes bajas. Relacionando diversidad pigmentaria y concentración de pigmentos, el resultado fue estadísticamente poco significativo en toda la zona, por lo que los valores de clorofila registrados, se debieron posiblemente a grandes brotes o booms de unas pocas especies.

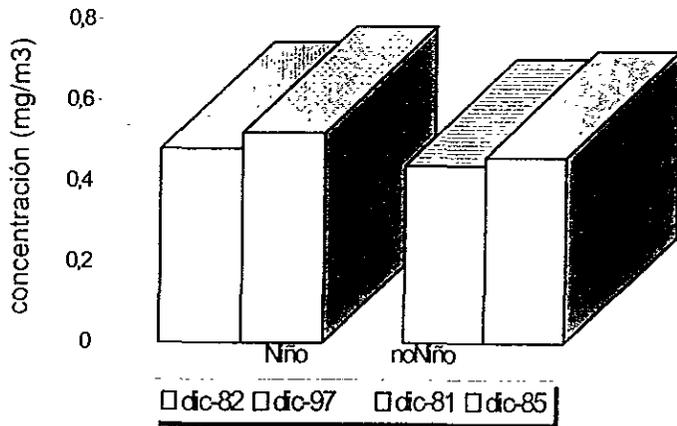
Las demás variables fisicoquímicas como oxígeno y salinidad, no registraron correlaciones significativas entre sí.

### **Wilcoxon**

Con los resultados obtenidos de esta prueba se observa que en esta época no se presentó ninguna diferencia significativa en la concentración de clorofila.

## Prueba de Tukey

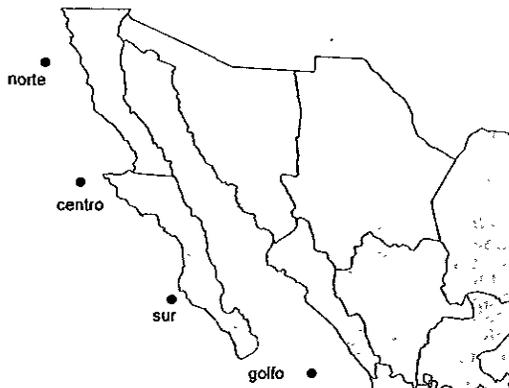
Los resultados indican que la concentración de clorofila no varió de forma significativa en ninguno de los años estudiados en la zona PN1. Estadísticamente no hay evidencia de que esta zona en temporada invernal sea afectada por el evento ENSO



Gráfica C: Diferencias en la concentración de clorofila a en el mas de diciembre entre los años Niño (1982 y 1997) y años noniño (1981 y 1985)

## VII.4 Pacífico Norte 2

Esta zona fue muestreada en marzo de 1998. Se analizaron un total de 11 muestras de agua, desde los 5m hasta los 75m.

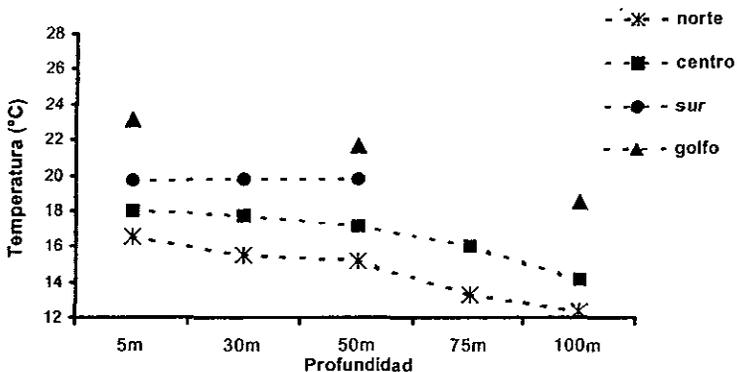


Ubicación de las estaciones de la zona PACIFICO NORTE 2

## I Variables Fisicoquímicas

### 1.1 Temperatura

Las temperaturas registradas en esta región tuvieron un promedio de  $17.69 \pm 1.54^{\circ}\text{C}$ . La máxima fue de  $26.60^{\circ}\text{C}$  a los 5 m y la mínima  $11.77^{\circ}\text{C}$  a los 100 m.



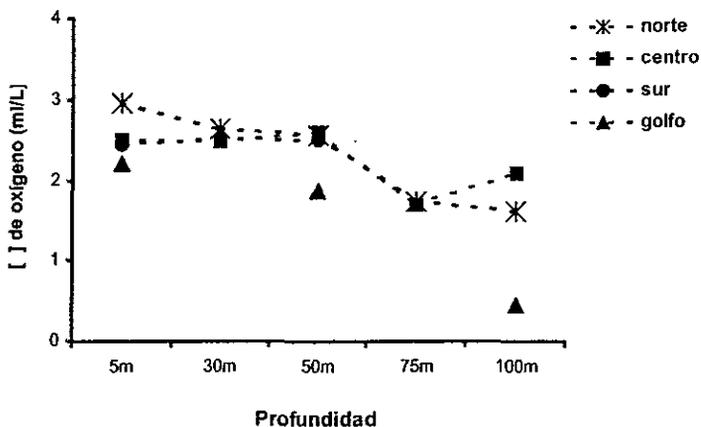
Gráfica 1: valores promedio de temperatura (°C) por región y profundidad. Marzo 1998

Así también, como se observa en la gráfica 1, las aguas más calientes se encontraron desde los 24° lat N hasta los 22° lat N (zona centro y boca del golfo) cuyos valores oscilaron entre 21.08°C y 19.73°C, mientras que las más frías con 15°C estuvieron en la zona norte (30° lat N). Además de los cambios por región, también se analizaron las temperaturas según la profundidad, encontrándose más elevadas en los primeros 50 metros con valores frecuentes de 17°C a 20°C, en comparación con los 13 y 14°C de aguas más profundas (hasta 100m).

## 1.2 Oxígeno

Las concentraciones de oxígeno se presentaron en un rango de 1.4ml/L a 2.5ml/L desde los 5m hasta los 100 metros; al igual que la temperatura, los primeros 50 metros tuvieron las mayores concentraciones, todas éstas superiores a 2ml/L, mientras que las aguas comprendidas entre los 60m y 100m estuvieron cerca de 1.5ml/L.

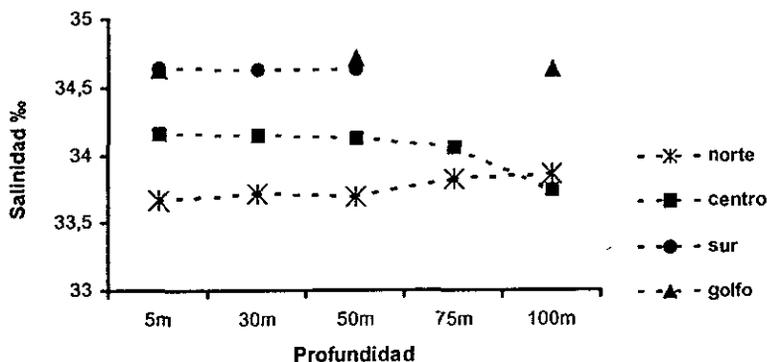
Regionalmente las diferencias se redujeron notablemente, de la zona norte a la sur (30°a 24° lat N), los valores estuvieron entre 2.27ml/L y 2.48ml/L, con la única variante de la boca del golfo (22° lat N) en donde el promedio fue  $1.51 \pm 0.75$ ml/L.



Gráfica 2: concentración promedio de oxígeno (ml/L) por región desde los 5m hasta los 100m. Marzo 1998.

### 1.3 Salinidad

Las concentraciones más elevadas se registraron en las zonas sur y golfo (24°- 22° lat N) con un promedio de 34.62‰ y 34.67‰, para la primera y segunda respectivamente; a los 100 m, 33.85‰ fue el valor predominante, mientras que a los 5 m y 50 m se presentaron las salinidades más altas, cercanas a 34.38‰.



Gráfica 3 concentración promedio de salinidad (‰) por región y por profundidad. Marzo 1998.

### 1.4 Capa fótica y Termoclina

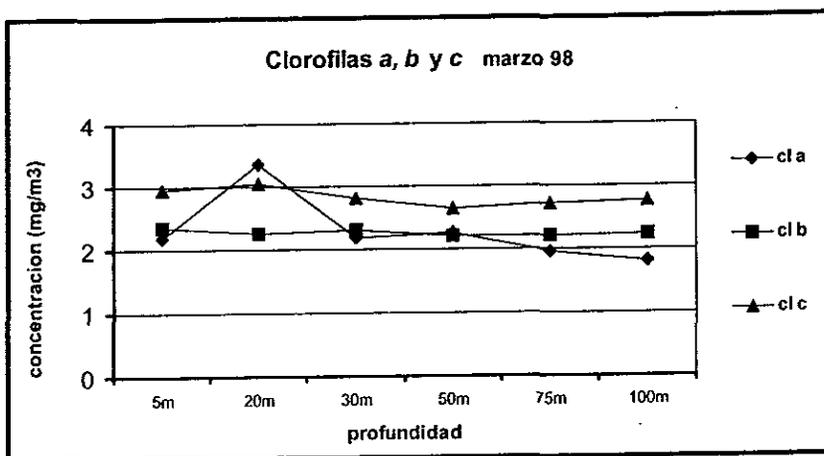
De la luz incidente en superficie, se registró del 7 al 20% a la profundidad de 15 metros, encontrándose un 12% a los 60 metros en sólo una estación de la región centro (27°34'-115°57').

La termoclina se presentó a una profundidad promedio de 47 metros; en la zona norte, ésta se inició a los 40 metros, aumentando en la zona centro, en donde la termoclina se hizo más profunda conforme se avanzó hacia la región oceánica, con valores desde 45 metros en la región nerítica hasta 73 metros en la región oceánica; la zona sur por ser una región somera, presentó la termoclina a 18 metros de profundidad.

## II Identificación y Concentración de Pigmentos

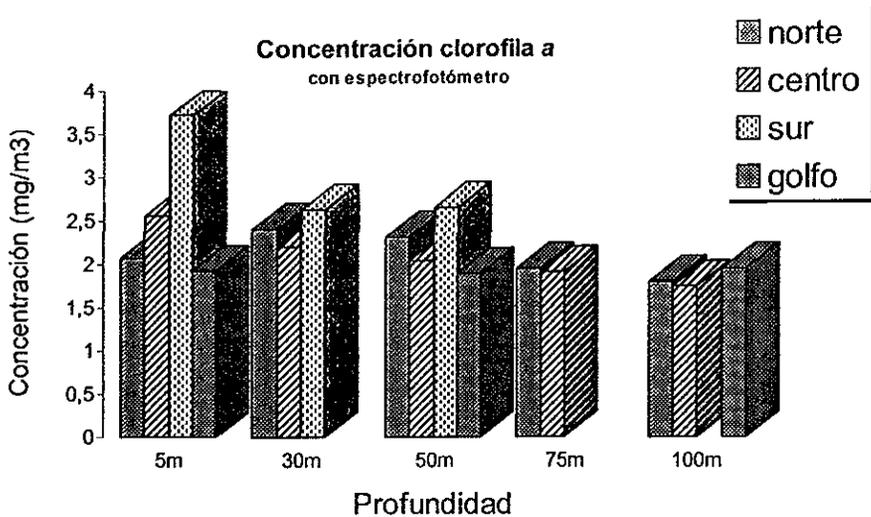
### 2.1 Medición de clorofilas tipo a, b y c con espectrofotómetro

Los valores obtenidos dejan ver que la distribución de pigmentos estuvo muy homogénea, ya que las concentraciones para los 3 tipos de clorofila variaron pocas décimas desde los 5m hasta 100m; las concentraciones se registraron en valores cercanos a  $2.79\text{mg}/\text{m}^3$  para la clorofila c, seguido por el tipo a con  $2.19\text{mg}/\text{m}^3$  y el tipo b con  $2.25\text{mg}/\text{m}^3$  (gráfica 4). Tanto el tipo a como el c, tuvieron un aumento significativo a los 20 metros, estando entre 1 y 2 veces por arriba de sus medianas respectivas.



Gráfica 4: concentraciones promedio de clorofila a, b y c a diferentes profundidades. Marzo 1998.

Por otro lado, la clorofila a tuvo una mediana de  $2.18\text{mg}/\text{m}^3$  entre los 5 y los 20 m y entre los 30 y 50m, y una de  $1.81$  de los 70 a los 100 m. Con un máximo de  $7.2\text{mg}/\text{m}^3$  a los 15 metros y un mínimo de  $1.45\text{mg}/\text{m}^3$  a los 75 metros.

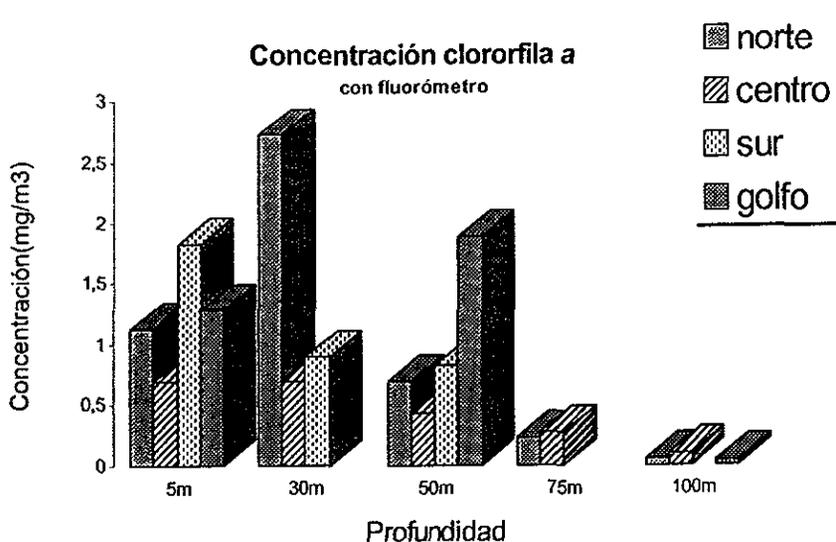


Gráfica 5ª: concentración de clorofila *a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) obtenida con espectrofotómetro; indicándose la profundidad de las muestras analizadas (5m-100m). Marzo 1998.

Las mayores concentraciones se encontraron en la zona sur ( $24^\circ$  lat N) y las menores en la boca del golfo ( $22^\circ$  lat N). En esta última, los valores oscilaron alrededor de  $1.92 \text{ mg}/\text{m}^3$ , 3 veces menos que en la parte sur.

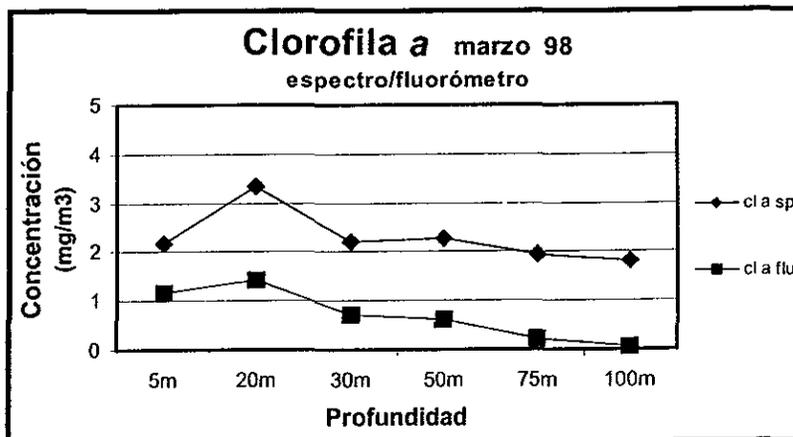
## 2.2 Medición de clorofila *a* con fluorómetro

De acuerdo a la gráfica 5<sup>b</sup>, las mayores concentraciones se registraron en la zona norte y sur ( $30^\circ$  y  $24^\circ$  lat N) con una media general de  $1.4 \text{ mg}/\text{m}^3$ , a sí mismo, fue a los 5 y 20 metros donde se concentró la mayor cantidad de pigmentos con  $0.96 \text{ mg}/\text{m}^3$  a diferencia de los 70 y 100m en donde se registraron valores de  $0.09 \text{ mg}/\text{m}^3$ . La zona con los menores valores fue la centro ( $27^\circ$  lat N), cuyo promedio quedó en  $0.546 \pm 0.31 \text{ mg}/\text{m}^3$ .



Gráfica 5b: concentración promedio de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) obtenida con fluorómetro. Marzo 1998

La concentración de clorofila *a* obtenida con el fluorómetro, fue 2.5 veces más reducida a la obtenida con espectrofotómetro, sin embargo, se encontraron valores individuales altos como el máximo que fue de  $7.2 \text{ mg}/\text{m}^3$  a los 30 metros, y muy bajos como  $0.02 \text{ mg}/\text{m}^3$ , este mismo valor fue registrado tanto a 5 metros como a 100 metros.



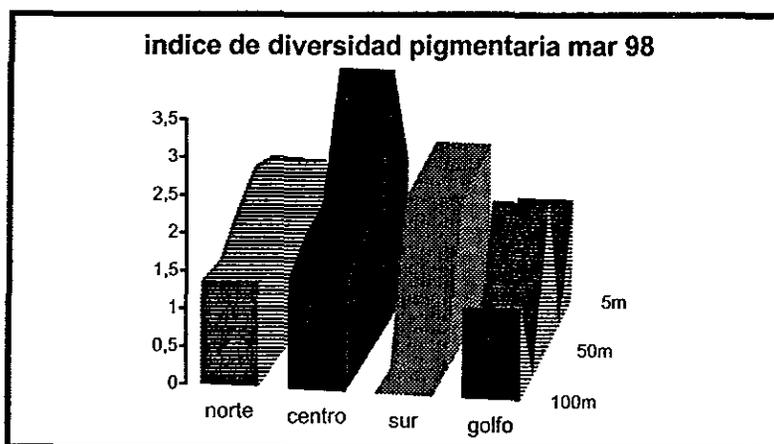
Gráfica 6: comparación de clorofila a obtenida con espectrofotómetro y fluorómetro. Marzo 1998.

### III Índice de Diversidad Pigmentaria

En marzo el valor más elevado se registró a los 5 metros con 5.7, y el menor fué de 0.79 a los 30 metros.

Las zonas centro y sur presentaron una media 1.98 y 2.08 respectivamente, siendo las dos áreas con mayor índice de diversidad pigmentaria. La zona norte y la boca del golfo tuvieron valores muy semejantes entre sí, con 1.6 y 1.5 respectivamente.

Por otra parte, los valores disminuyeron muy poco con el aumento en la profundidad, encontrándose una media de 1.82 a 5m y 1.35 a 100m, la excepción estuvo a los 30m en donde el índice subió hasta 2.42.

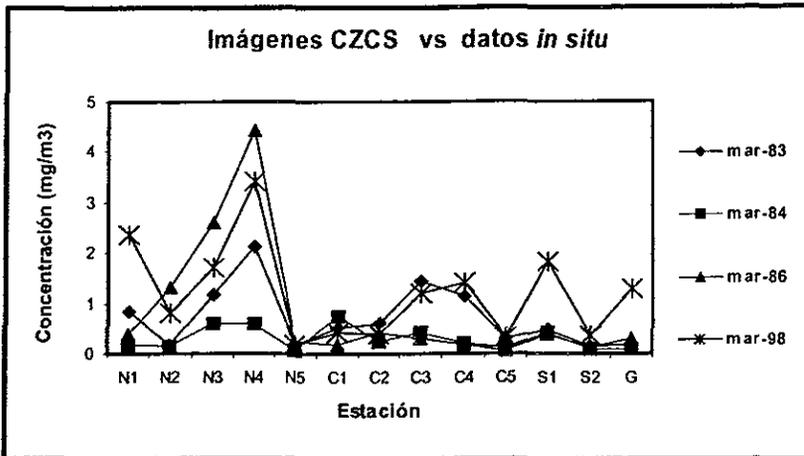


Gráfica7: índices de diversidad pigmentaria por profundidad de 5 a 100m. Marzo 1998.

### IV Datos Satelitales

#### 4.1 Clorofila a CZCS

Las imágenes analizadas corresponden a los años 1983, 1984 y 1986 del mes de marzo, los promedios mensuales de éstas comparados con los datos *in situ* del año 1998 mostraron tendencias similares en sus concentraciones ( $r = 0.68$ ).



Gráfica 8: comparación de las concentraciones de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) entre imágenes CZCS en diferentes años y los datos obtenidos *in situ* para marzo de 1998.

El año que presentó de manera general los datos más bajos fue 1984 con una mediana de  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ , a diferencia de 1983 en donde la mediana fue  $0.51\text{mg}/\text{m}^3$ , los datos *in situ* de 1998 mostraron una mediana de  $1.21\text{mg}/\text{m}^3$ .

La región con mayor concentración fue la zona norte, en donde la máxima fue  $4.43\text{mg}/\text{m}^3$  para 1986, sin este valor extremo, el rango de las concentraciones se encontró desde  $0.31\text{mg}/\text{m}^3$  en el año 84 hasta  $1.7\text{mg}/\text{m}^3$  para 1998. Las zonas centro y sur presentaron valores más pequeños pero más homogéneos entre sí. En la primera, el valor general fue  $0.41\text{mg}/\text{m}^3$  a excepción de 1984 con  $0.24\text{mg}/\text{m}^3$  y en la segunda el valor general estuvo en  $0.38\text{mg}/\text{m}^3$  con la excepción de 1998 con  $1.09\text{mg}/\text{m}^3$ .

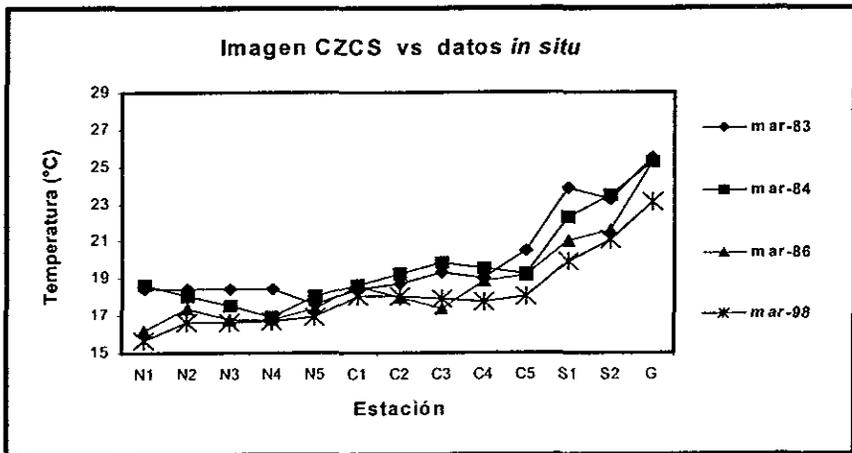
Los datos tomados *in situ* se relacionaron en mayor grado con los años 1983 y 1986, en los cuales el evento ENSO estaba finalizando en el primer caso e iniciando en el segundo ( $r = 0.78$ ) y en menor medida con 1984, año normal.

## 4.2 Temperatura CZCS

De los mismos años se obtuvieron los valores para temperatura en superficie; en las tres imágenes satelitales éstos tuvieron un rango promedio de  $20.01 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$  para 1983,  $19.75 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$  en 1984 y  $18.79 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$  en 1986, siendo los datos *in situ* los que presentaron el menor promedio:  $18.20 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ .

Como se observa en la gráfica 9, los valores aumentaron en las zonas de bajas latitudes, la zona sur tuvo una media de  $22.27^{\circ}\text{C}$ , seguida por la zona centro con  $18.71^{\circ}\text{C}$  y al final la zona norte con  $17.37^{\circ}\text{C}$ .

Los datos de 1983 y 1984 muestran las temperatura más altas, destacándose 1983 en varias estaciones del norte con varios grados de diferencia.



Gráfica 9. comparación de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) registradas en las zonas norte, centro y sur; entre imágenes CZCS en diferentes años y datos obtenidos *in situ* en marzo de 1998.

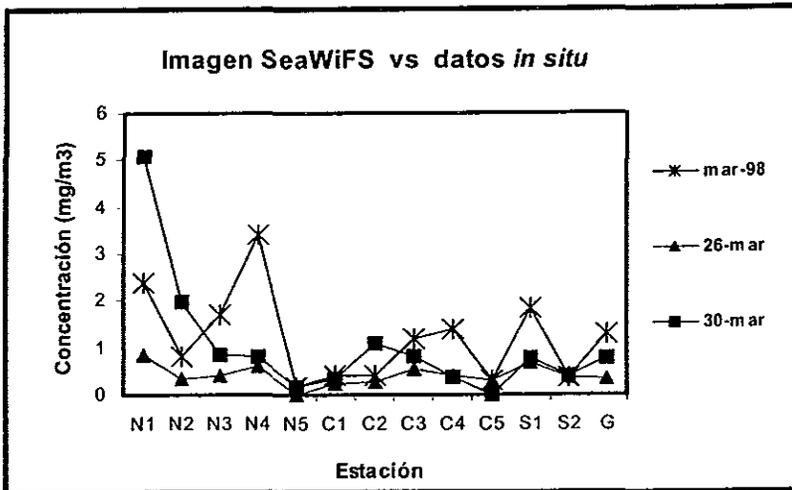
Los años más correlacionados entre sí y con los datos *in situ* fueron 1984 y 1986 ( $r = 0.958$ ) y aunque 1983 fue año con evento ENSO, su relación no fue tan directa ( $r = 0.45$ ); la diferencia más grande estuvo en la boca del golfo, en donde las temperaturas se presentaron alrededor de los  $24^{\circ}\text{C}$  en los años 1984, 1986 y 1998 en contraste con los  $18.5^{\circ}\text{C}$  registrados ahí para 1983, sin este dato la correlación aumenta a 0.87.

### 4.3 Clorofila a SeaWiFS

Las imágenes analizadas corresponden a los días 26 y 30 de marzo, misma fecha en que fueron realizados los muestreos en el barco.

Los datos *in situ* presentaron valores más altos que las imágenes satelitales, en los primeros, el valor de  $1.21\text{mg/m}^3$  contrasta con el día 30:  $0.78\text{mg/m}^3$  y con el del día 26:  $0.39\text{mg/m}^3$ .

Los dos conjuntos de concentraciones obtenidos con imágenes satelitales mostraron correlación entre sí ( $r = 0.65$ ) y muy poca con los datos *in situ* ( $r = 0.34$ ).



Gráfica 10: comparación en la concentración de clorofila con imágenes SeaWiFS y datos *in situ*. Marzo 1998.

## Análisis Estadístico

### MARZO 1998 Zona Pacífico Norte 2

#### **Matriz de correlaciones de Pearson**

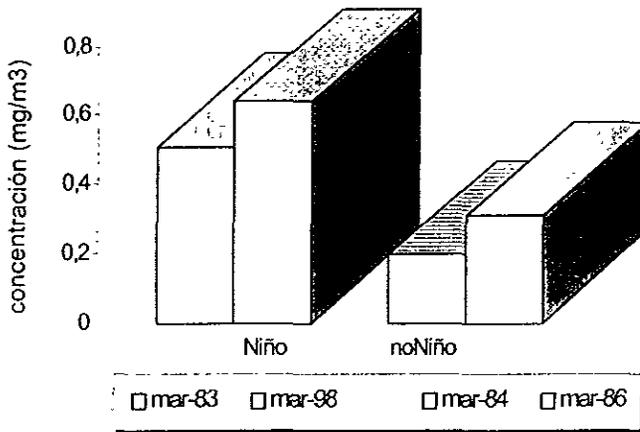
La temperatura y el oxígeno presentaron una relación positiva con la longitud, la latitud y la profundidad, la salinidad tuvo la misma relación con las dos primeras a excepción de la profundidad. La concentración de pigmentos se registró mayormente en la parte superficial de la columna de agua donde las temperaturas fueron altas, sin embargo, no siguió ninguna relación estadísticamente significativa con la variación de temperatura como en el mes de diciembre, aunque sí con el aumento en la profundidad. La presencia de oxígeno puede sugerir alguna relación con los organismos fotosintéticos; del mismo modo, la diversidad de organismos siguió un comportamiento similar al de la concentración de pigmentos presentando una relación negativa en cuanto a la profundidad y sin relación con la temperatura.

#### **Wilcoxon**

La comparación de los datos obtenidos de clorofila *a* de las diferentes imágenes satelitales presenta diferencias significativas en 2 análisis (1983 vs 1984 y 1984 vs 1998), sin embargo no se deduce algún patrón de concentración

## Prueba de Tukey

Aunque 1984 mostró diferencias estadísticas con 2 años, ambos con evento ENSO, por medio de esta prueba se encontró que la concentración de clorofila a no presentó diferencias significativas para ninguno de los años estudiados en la zona PN2.



Gráfica D: Diferencias en la concentración de clorofila a en el mes de marzo entre años Niño (1983 y 1998) y años noNiño (1984 y 1986)

\* Ver apéndice "pruebas estadísticas"

## VIII. Concentración y Distribución de la Clorofila a en las 4 Zonas Estudiadas

Las mayores concentraciones de clorofila a se presentaron entre los 5 m y los 30 m de profundidad formando grandes parches; en estas regiones de mayor densidad de clorofila, las medianas se mantuvieron similares entre sí, disminuyendo por debajo de los 50 m. En la tabla 1 se muestran las medianas de clorofila a en 3 regiones principalmente.

<i>Pacífico Sur 1 noviembre 1997</i>			<i>Pacífico Sur 2 abril 1998</i>		
	espectrofotómetro	fluorómetro		espectrofotómetro	fluorómetro
5m - 15m	4.48 mg/m <sup>3</sup>	0.27 mg/m <sup>3</sup>	5m - 20m	2.69 mg/m <sup>3</sup>	1.13 mg/m <sup>3</sup>
30m	4.5 mg/m <sup>3</sup>	0.34 mg/m <sup>3</sup>	30m - 50m	1.86 mg/m <sup>3</sup>	0.30 mg/m <sup>3</sup>
			70m - 100m	1.81 mg/m <sup>3</sup>	0.18 mg/m <sup>3</sup>
<i>Pacífico Norte 1 diciembre 1997</i>			<i>Pacífico Norte 2 marzo 1998</i>		
	espectrofotómetro	fluorómetro		espectrofotómetro	fluorómetro
5m - 20m	1.70 mg/m <sup>3</sup>	3.10 mg/m <sup>3</sup>	5m - 20m	2.18 mg/m <sup>3</sup>	0.96 mg/m <sup>3</sup>
30m - 50m	1.60 mg/m <sup>3</sup>	2.49 mg/m <sup>3</sup>	30m - 50m	2.18 mg/m <sup>3</sup>	0.62 mg/m <sup>3</sup>
70m - 100m	1.14 mg/m <sup>3</sup>	0.46 mg/m <sup>3</sup>	70m - 100m	1.81 mg/m <sup>3</sup>	0.09 mg/m <sup>3</sup>

Tabla 1: se muestran las medias de clorofila a obtenidas en los principales rangos de profundidad, en las 4 zonas muestreadas

Los datos de clorofila a obtenidos de las imágenes satelitales, sólo comprenden la región superficial (5 m – 15 m). En ellas se observa que en la zona Norte la concentración de clorofila a fue mayor que en la zona Sur. En general, las medianas obtenidas fueron más pequeñas que las obtenidas con los datos *in situ*. Tampoco se observó ninguna diferencia significativa entre años con evento ENSO y años sin evento.

<b><i>Pacífico Sur 1</i></b>				
	Nov-82	Nov-84	Nov-85	Nov-97
medias	0.17 mg/m <sup>3</sup>	0.16 mg/m <sup>3</sup>	0.07 mg/m <sup>3</sup>	0.235 mg/m <sup>3</sup>
<b><i>Pacífico Sur 2</i></b>				
	Abr-81	Abr-83	Abr-86	Abr-98
medias	0.27 mg/m <sup>3</sup>	0.09 mg/m <sup>3</sup>	0.1 mg/m <sup>3</sup>	0.41 mg/m <sup>3</sup>
<b><i>Pacífico Norte 1</i></b>				
	Dic-81	Dic-82	Dic-85	Dic-97
medias	0.44 mg/m <sup>3</sup>	0.48 mg/m <sup>3</sup>	0.46 mg/m <sup>3</sup>	0.515 mg/m <sup>3</sup>
<b><i>Pacífico Norte 2</i></b>				
	Mar-83	Mar-84	Mar-86	Mar-98
medias	0.51 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.31 mg/m <sup>3</sup>	0.585 mg/m <sup>3</sup>

Tabla 2: se muestran las medianas de clorofila en superficie (5m) obtenidas de las imágenes satelitales de diversos años, con o sin evento ENSO, en las 4 zonas estudiadas

Integrando los datos de clorofila tipo *a* con mapas de coordenadas, se obtuvieron los sitios de máxima concentración de clorofila, así como la distribución de la misma a escala superficial (5m), tanto en las zonas Norte y Sur del Pacífico mexicano.

En los mapas de isolíneas se observó el comportamiento horizontal de la clorofila a escala superficial con un marcado gradiente paralelo al litoral.

La densidad de clorofila fue mayor junto a la región nerítica, formándose a menudo "nudillos" o puntos de gran concentración a partir de los cuales los valores de clorofila disminuyeron hacia la región oceánica.

Comparando cualitativamente estos mapas con imágenes de satélites CZCS y SeaWiFS, análogas a las imágenes *a* y *b* que aquí se muestran, se identificó un patrón similar de distribución de pigmentos paralelo a la costa.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

fig 1a

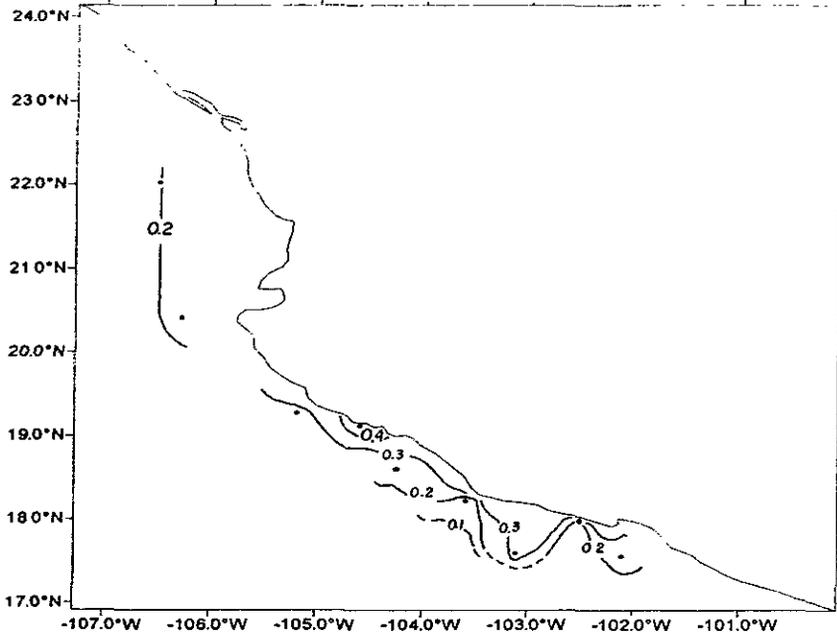
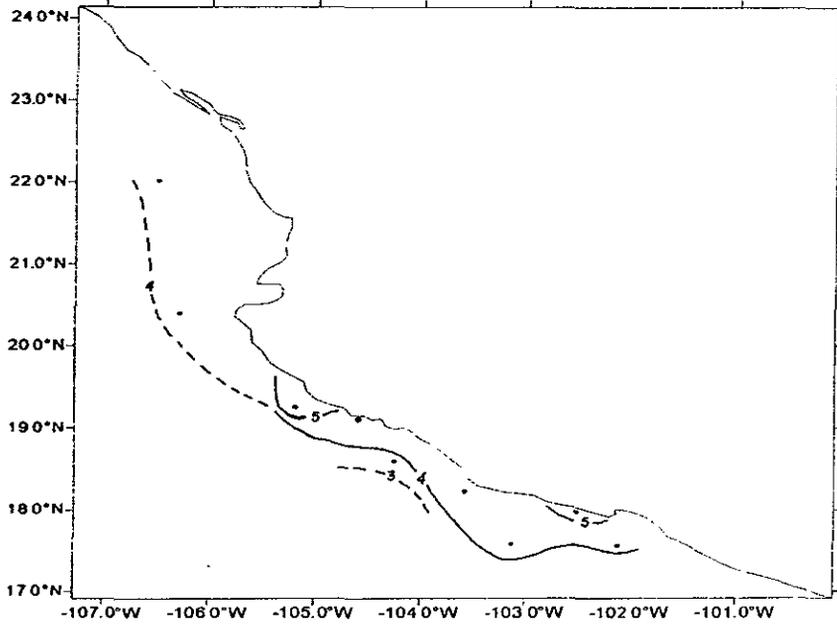


fig 1b



Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 1a) y con fluorómetro (fig 1b) en la zona Pacífico Sur 1. Noviembre 1997.

fig 2a

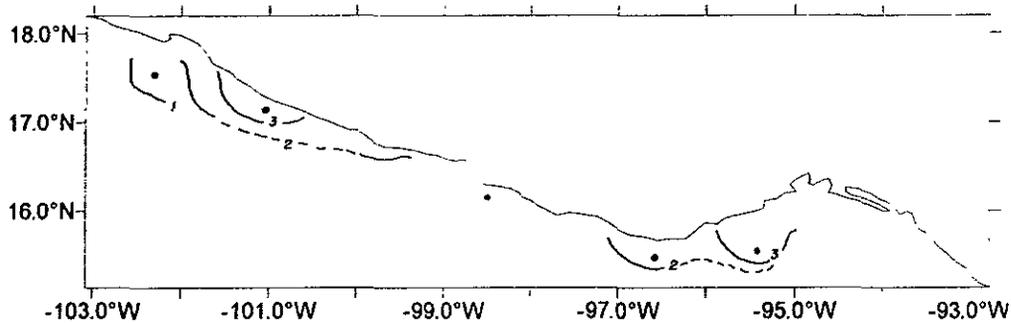
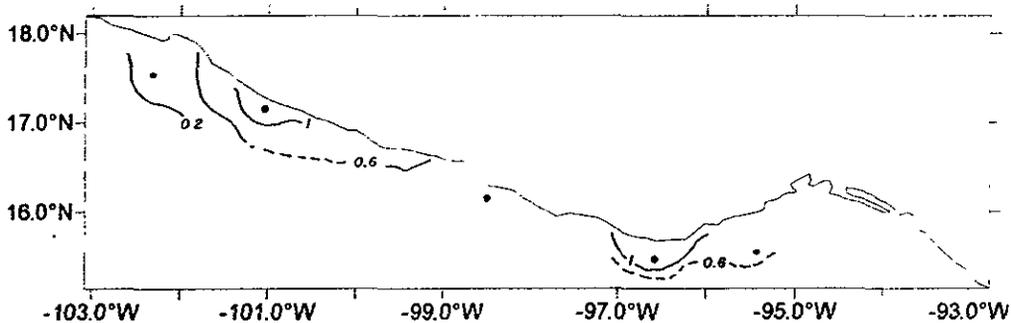
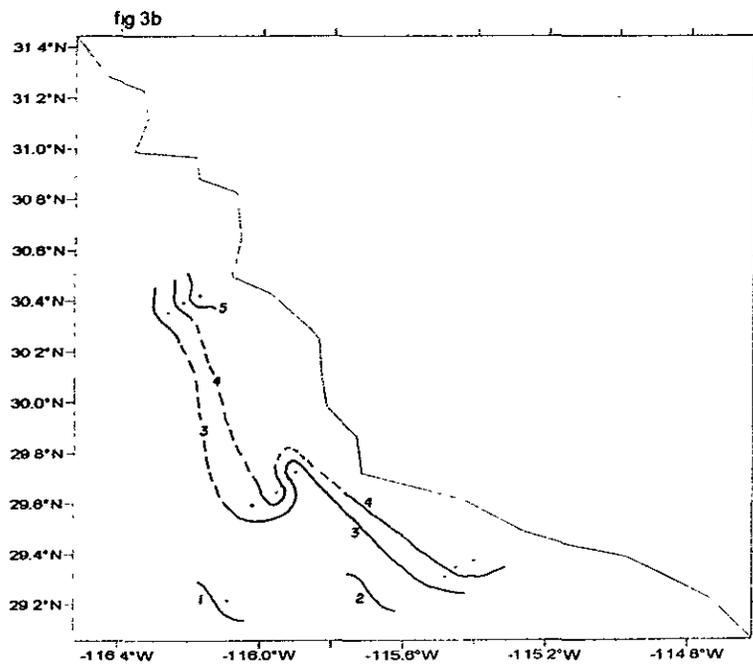
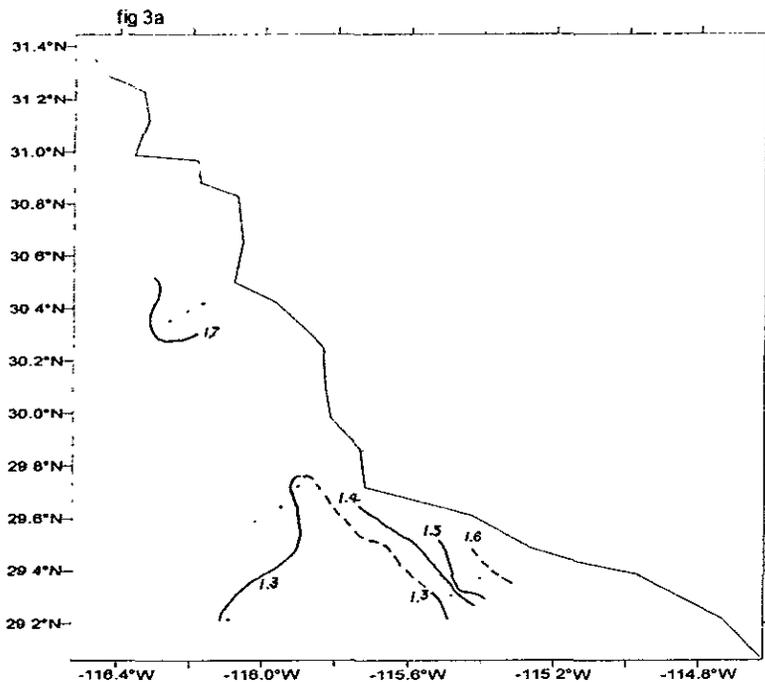


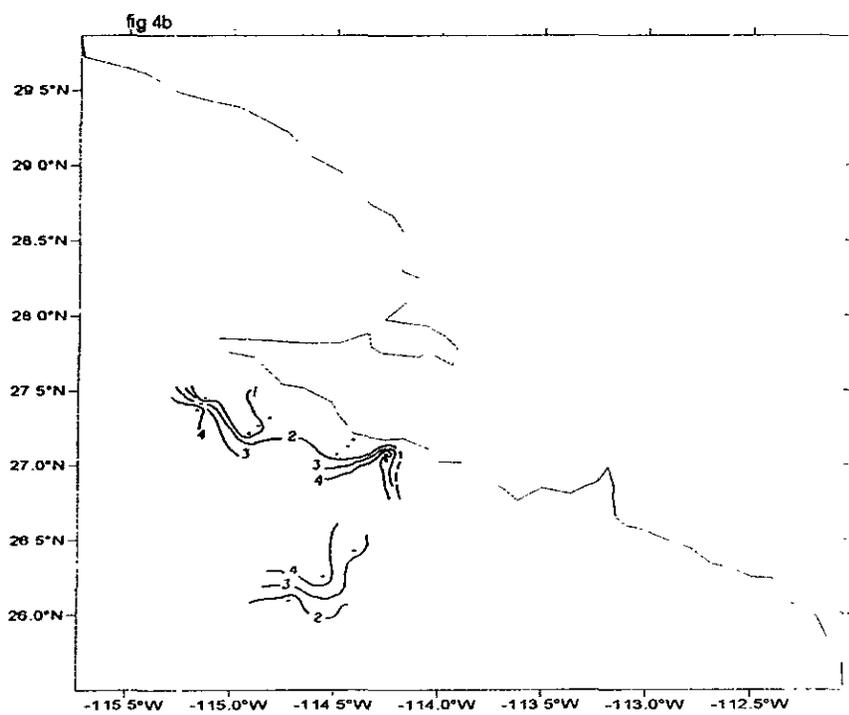
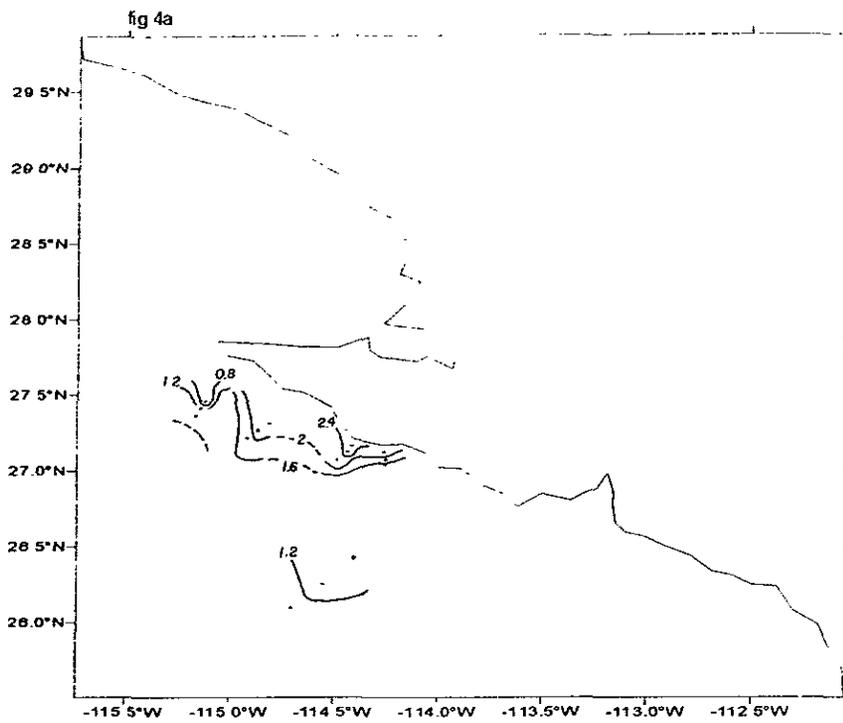
fig 2b



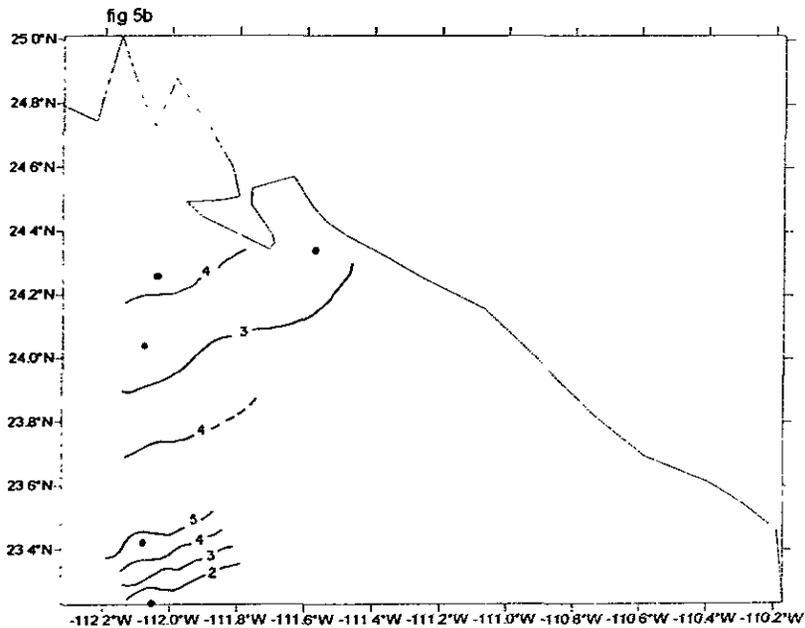
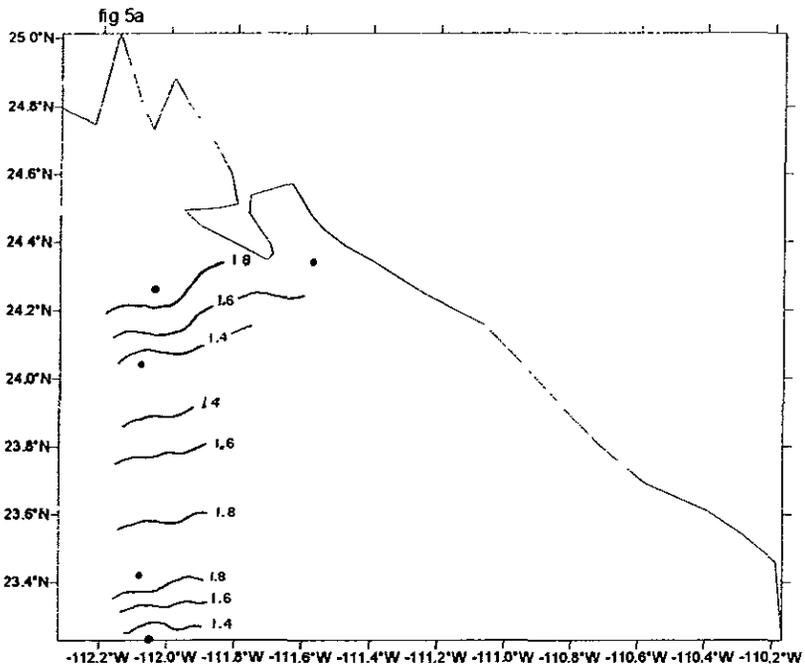
Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenido con espectrofotómetro (fig 2a) y con fluorómetro (fig 2b) en la zona Pacifico Sur 2. Abril 1998.



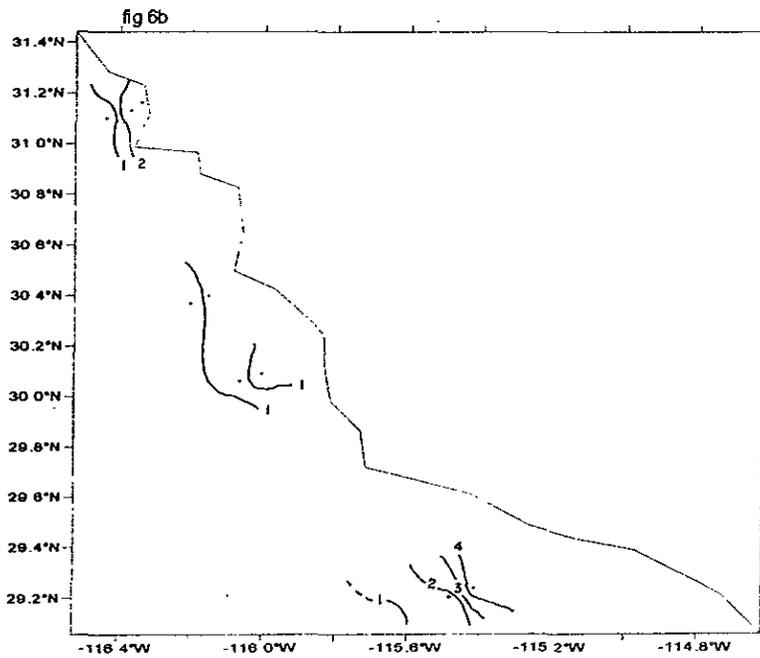
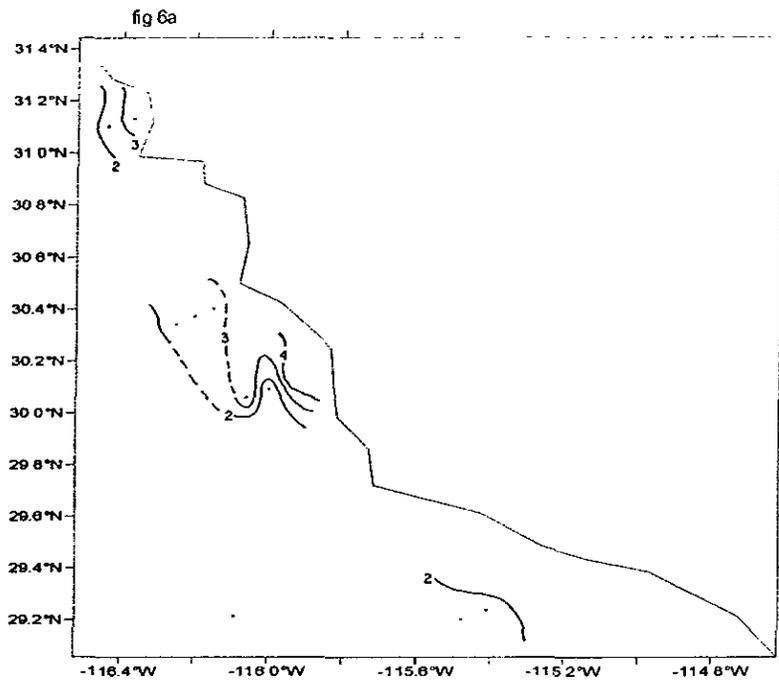
Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 3a) y fluorómetro (fig 3b) en la región norte de la zona Pacífico Norte 1. Diciembre 1997.



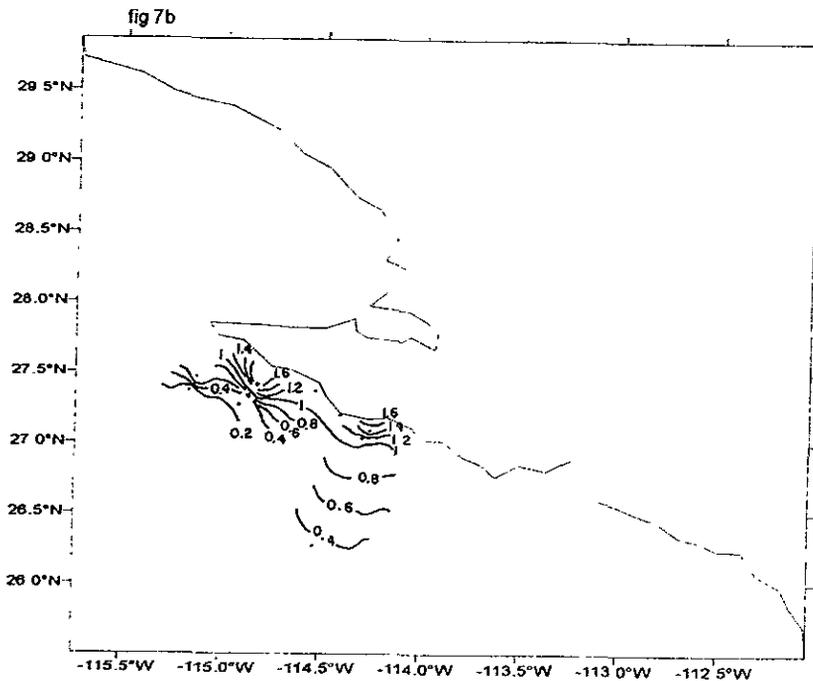
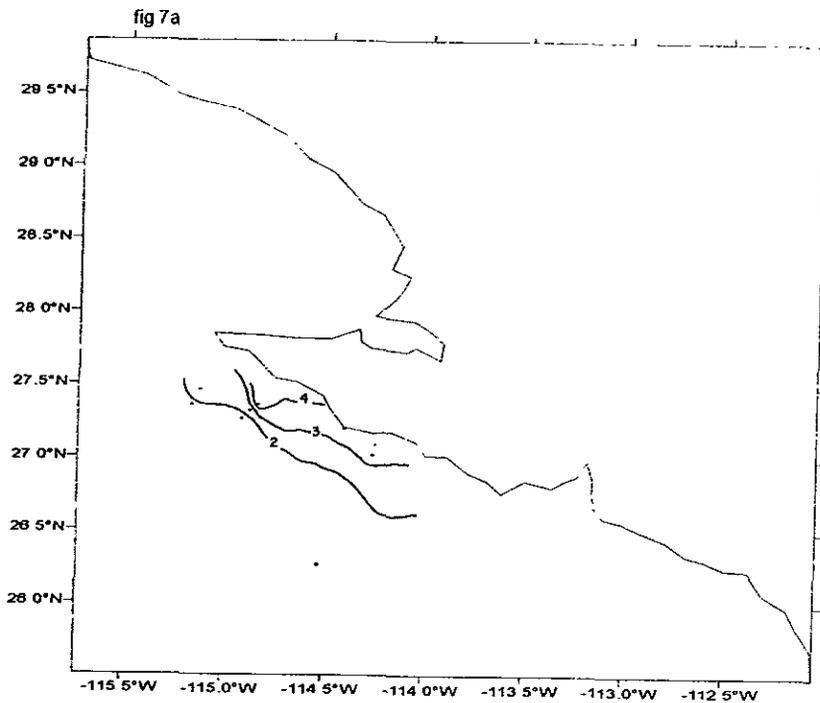
Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 4a) y fluorómetro (fig 4b) en la región centro de la zona Pacífico Norte 1. Diciembre 1997



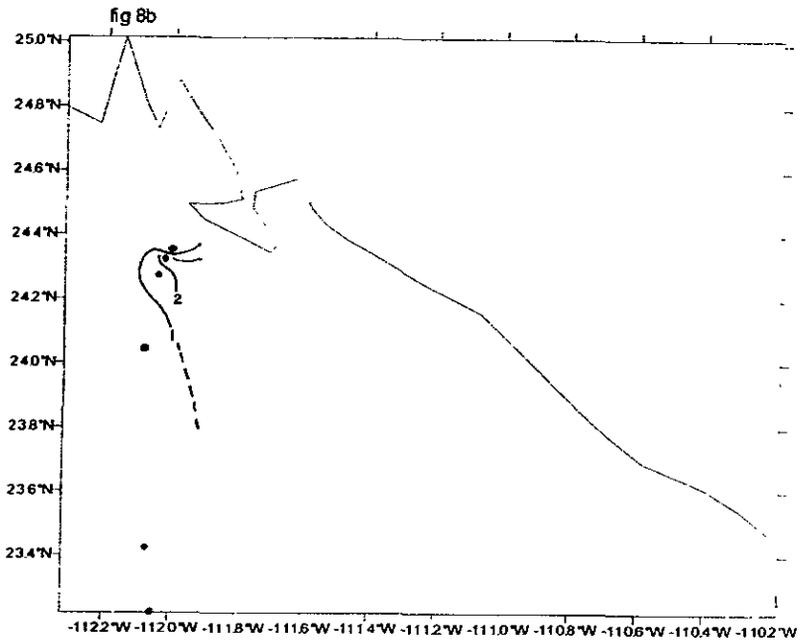
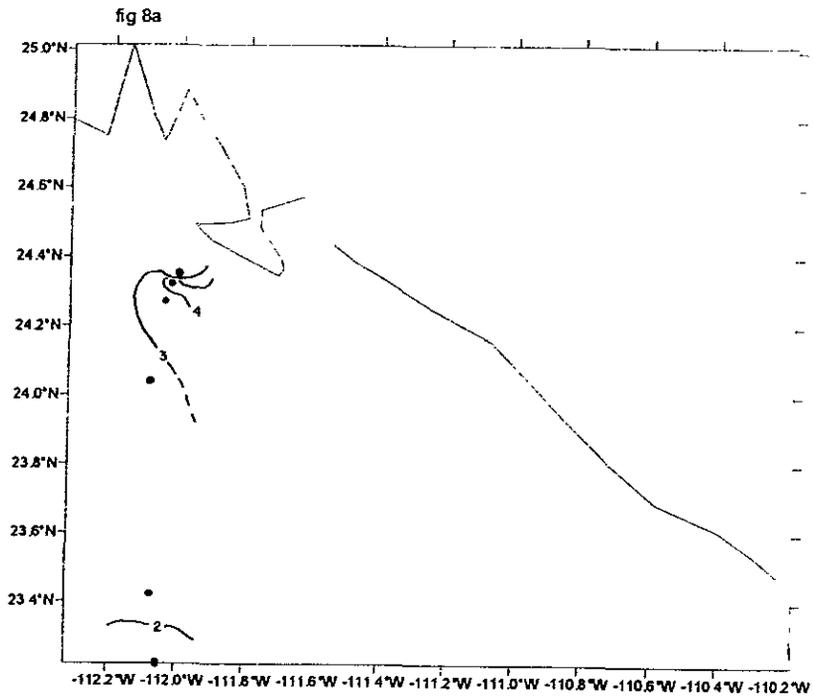
Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 5a) y fluorómetro (fig 5b) en la región sur de la zona Pacífico Norte 1. Diciembre de 1997.



Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 6a) y fluorómetro (fig 6b) en la región norte de la zona Pacífico Norte 2. Marzo de 1998.



Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 7a) y fluorómetro (fig 7b) en la región centro de la zona Pacífico Norte 2. Marzo 1998.



Distribución de la concentración de clorofila a en superficie (5-10m) obtenida con espectrofotómetro (fig 8a) y fluorómetro (fig 8b) en la región sur de la zona Pacífico Norte 2. Marzo 1998

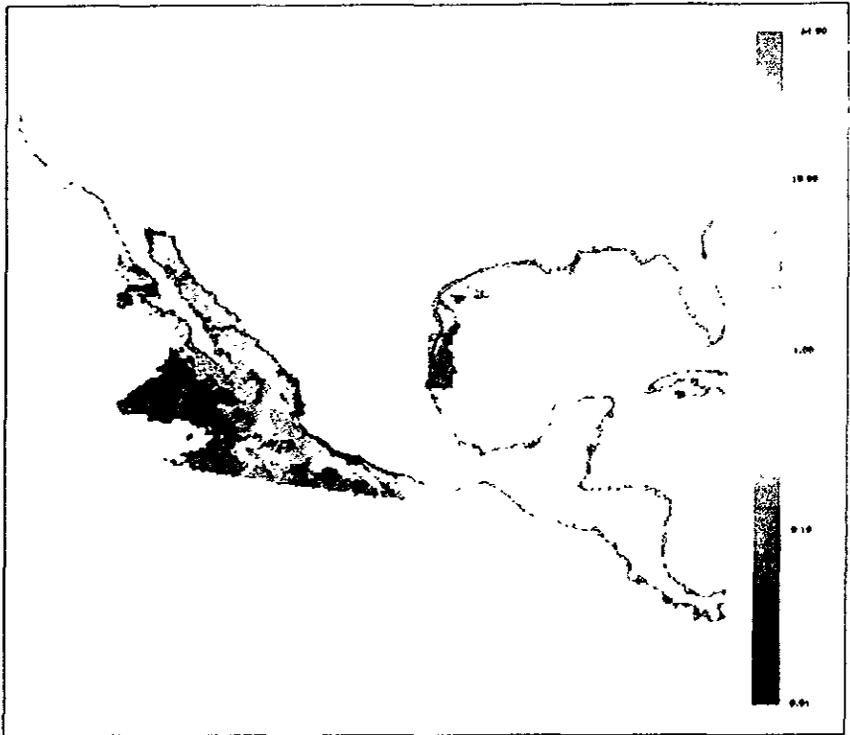


Imagen a:

## Región subtropical del Pacífico mexicano

Mapa de clorofila analizado con el programa TERASCAN.

Imagen Coastal Zone Color Scanner para pigmentos fotosintéticos  
Noviembre 1982.



*Imagen b:*

## Pacífico mexicano

Mapa de clorofila generado con el programa SEADAS.

Imagen SeaWiFS Abril 2000

## IX. Discusión

Durante el evento *El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)* en las zonas estudiadas del Pacífico mexicano, se registró tanto un aumento en la profundidad de la termoclina como anomalías en las variables hidrográficas durante la evolución normal de dicho evento.

El evento ENSO 1997-1998 fue comparable en magnitud y extensión con el evento similar ocurrido en 1982-1983, colocándose de esta manera en uno de los más intensos del siglo.

A partir de abril-mayo de 1997, el evento ENSO se desarrolló rápidamente alcanzando mayor intensidad desde junio hasta terminar el invierno para después descender rápidamente durante mayo-junio de 1998.

(Climate Prediction Center, 1997; Magaña et al, 1998)

Con relación a la metodología se tuvo muy en cuenta la importancia de un tratamiento uniforme para todas las muestras; sin embargo, se presentaron algunas variaciones como en la zona Pacífico Norte 1 (PN1) donde se utilizaron filtros de membrana para concentrar los pigmentos, a diferencia de las otras 3 zonas en donde el filtro utilizado fue de fibra de vidrio. Coincidentemente la zona PN1 fue la única que presentó concentraciones de clorofila *a* obtenidas con fluorómetro más elevadas que las obtenidas con espectrofotómetro, posiblemente debido a una alteración en la cantidad de clorofila filtrada por el tamaño de los organismos colectados (Jeffrey, 1996) o a una turbiedad provocada por el mismo filtro aún centrifugada la muestra. El promedio de almacenaje a  $-20^{\circ}\text{C}$  varió desde 1 mes hasta 2 meses en las muestras de abril y en una parte de las de marzo, debido a un desperfecto en el espectrofotómetro; revisando los datos de concentración de clorofila, no se encontraron irregularidades atribuibles a este hecho.

*Por otra parte, el análisis integral de los datos permite apreciar claramente un comportamiento diferenciado por región y por temporada de muestreo.*

En noviembre y diciembre de 1997 durante las campañas Sedimentos II y SIMSUP XIII en el sur y norte del Pacífico, las condiciones de temperatura se presentaron de  $3^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  más altas a las registradas en marzo y abril de 1998 durante la campaña SIMSUP XIV y PROPEZ en las mismas zonas de estudio; de la misma manera en concordancia con lo que sería la evolución normal del evento

ENSO, la termoclina se presentó más profunda en los muestreos de 1997 que en los de 1998, coincidiendo con lo registrado por Gómez (1998); quien predijo para otoño de 1997 temperaturas cercanas a 29°C o incluso superiores, con una natural disminución debida a la época de invierno, y con Filonov (1998) sólo en los valores de algunas zonas para el Pacífico mexicano en las épocas de Niño.

La estratificación térmica de la columna de agua fue similar entre la temporada de invierno y la de primavera.

La concentración de oxígeno fue mayor durante noviembre y diciembre de 1997 posteriormente su valor disminuyó en la primavera de 1998; la salinidad fue más elevada durante diciembre de 1997 en la zona norte y marzo de 1998 en la zona sur.

El comportamiento de los tres tipos de clorofila y del índice de diversidad pigmentaria, se analizará de acuerdo a la región y a las condiciones prevalecientes de cada una.

En las zonas Norte 1 y 2 del Pacífico mexicano, la estratificación de las variables físicas fue muy marcada, lo que ocasiona una gran variabilidad de ambientes y por lo tanto también de distribuciones posibles, influenciadas en gran medida por la profundidad de la termoclina; coincidiendo con Venrick (1998) en la distribución vertical de clorofila *a*, las mayores concentraciones de ésta se registraron de manera general a los 5 m, 20 m y 30 m de profundidad, formando manchones que se superpusieron en ciertas áreas; además de las situaciones anómalas de temperatura y salinidad en la capa de mezcla, la cantidad de luz que lograba incidir en esta zona seguramente fue un elemento importante para la distribución del plancton (Glynn, 1990), aunado a los fenómenos de surgencias que caracterizan esta región, mandando cierta cantidad de nutrientes a aguas más superficiales y determinando en gran medida el crecimiento y sobrevivencia de las comunidades fitoplancticas, al mismo tiempo que se da sustento a comunidades de herbívoros que pueden llegar a ser un factor limitante de las poblaciones de fitoplancton.

Ahora bien, ya que la distribución de las comunidades fitoplancticas obedece a múltiples factores tanto físicos como biológicos, entre ellos el viento, el zooplancton y las corrientes internas (Harris, 1986) y apoyándonos en las correlaciones de Pearson de los datos *in situ* entre las variables fisicoquímicas (temperatura, oxígeno, salinidad, cantidad de luz incidente y profundidad de la termoclina) y las variables biológicas (pigmentos e índice de diversidad pigmentaria) relacionadas con la profundidad en las zonas PN1 y PN2, suponemos que lo anterior en conjunto condujo a crear zonas

con condiciones favorables para la concentración de fitoplancton. Las correlaciones encontradas entre la concentración de pigmentos, el índice de diversidad pigmentaria con la temperatura y la termoclina en la zona PN2 nos indica un restablecimiento de las condiciones hidrográficas en la zona con el subsecuente aumento en la productividad primaria; corroborado ésto con el aumento de concentración de clorofila y la disminución del índice de diversidad pigmentaria desde diciembre en la zona PN1 hasta marzo en la zona PN2; acentuando esta situación, la profundidad de la termoclina y los valores integrados de temperatura en la columna de agua fueron más altos en diciembre de 1997 (PN1) que en marzo de 1998 (PN2) enfatizando las situaciones anómalas de la zona PN1.

En las zonas Sur 1 y 2 del Pacífico mexicano las distribuciones de la concentración de clorofila a cuantificada con ambos métodos tuvieron relaciones poco significativas con los parámetros fisicoquímicos; las variaciones tan marcadas en la distribución de pigmentos, reflejan las condiciones hidrográficas tan complicadas que prevalecen en la zona (Wirtky, 1975). Asimismo, el fitoplancton que es muy sensible a cambios en las condiciones superficiales, responde a las fluctuaciones de diferentes maneras. Si consideramos que la profundidad promedio a la cual se encontraron las mayores concentraciones de pigmentos fue de 30 m y 50 m, se puede suponer que a menos de que existan otros factores que favorezcan el crecimiento del fitoplancton en zonas más profundas, éste tenderá a reproducirse en zonas iluminadas en donde pueda realizar la fotosíntesis (Harris, 1986).

En el caso de la zona PS1, en donde las concentraciones de clorofila no presentaron ningún patrón y en particular las mediciones con espectrofotómetro fueron muy altas, se tomó en cuenta que durante la campaña se presentaron condiciones de mal tiempo que venían precedidas por una tormenta tropical en la zona, lo que pudo haber enturbiado las aguas más allá de lo normal provocando que en la columna de agua hubiese suspendida mucha materia orgánica y sedimentos, causando sobreestimación de la concentración de la clorofila a (Jeffrey, 1996).

La diversidad de pigmentos y su relación con la temperatura y la concentración de clorofila, nos sugiere que en noviembre las situaciones limitantes estaban presentes aún en la región superficial, mientras que en abril la falta de correlación entre el índice de diversidad y otras variables, puede sugerir la presencia de ondas o corrientes internas. Los fuertes vientos y el gran movimiento del mar causados por el mal tiempo presente durante la campaña realizada en noviembre de 1997, pudieron ser la causa principal del aumento de la concentración de oxígeno en esas aguas.

o también puede indicar una situación de apacentamiento por parte del zooplancton en zonas de concentración del fitoplancton.

La separación física en la columna de agua entre la zona de penetración de la irradiación y la profundidad de la termoclina se hizo palpable al medir la separación entre ambas, siendo mayor en la época de invierno que en la de primavera, tanto en la zona norte como en la sur del Pacífico mexicano.

El estrés que sufren las comunidades fitopláncticas y que fue comentado por Barber y Chávez en sus estudios (1983), coincide con los llevados a cabo en los mares del Pacífico mexicano, ya que el escenario se ajusta a sus descripciones; además los estudios realizados *in situ* sobre la concentración de clorofila a, b y c, dejaron ver que la biomasa no sólo no disminuyó sino que aumentó con relación a los años normales. El aumento de los pigmentos está ligado a la productividad pero no siempre de manera directa, ya que estos pueden estar constituidos por materia en descomposición, sedimentos marinos, pigmentos oxidados e incluso por zooplancton, que en conjunto pueden engrosar las concentraciones de pigmentos obtenidas de las lecturas de espectrofotómetro; ratificaron lo anterior las lecturas fluorométricas que fueron menores a las espectrofotométricas.

La composición de las comunidades fitopláncticas varía enormemente durante situaciones anómalas (Margalef, 1983; Harris, 1986; Glynn, 1990); un efecto directo del hundimiento de la termoclina ocasionado por el evento ENSO es el desplazamiento de grandes masas de agua, provocando un cambio en la distribución de las poblaciones fitopláncticas, en general hacia latitudes mayores obligando consecuentemente a otras poblaciones con dependencia alimenticia, a desplazarse hacia hábitats ajenos a los suyos. En los lugares de origen las situaciones hidrográficas anómalas originan aumento de poblaciones que comúnmente no llegarían a un tamaño significativo, compuestos de especies secundarias de baja preferencia entre los demás organismos consumidores o que secreten sustancias tóxicas como es el caso de ciertos dinoflagelados en las mareas rojas.

El impacto negativo del evento ENSO 97-98 en los recursos pesqueros de México (Arenas, 1998; Lluch-Cota, 1998) seguramente tuvo su origen en las diferentes tolerancias y requerimientos de las comunidades fitopláncticas ante las anomalías entre luz y nutrientes, con el subsecuente cambio en la disponibilidad de recursos y la baja en la abundancia en las pesquerías; sin contar los efectos puramente humanos como la sobreexplotación, contaminación y deterioro de los hábitats costeros.

En lo relativo a los pigmentos, las discrepancias encontradas en la magnitud de las concentraciones de clorofila *a* obtenidas mediante espectrofotómetro y las obtenidas con el fluorómetro, son consistentes con los principios de medición empleados para cada una, a excepción de la zona PN1; las diferencias entre ambos métodos han sido ampliamente estudiadas y reportadas (Humphrey y Wootton, 1966; Lorenzen y Jeffrey, 1980; Jeffrey, 1996).

A partir de la cantidad y tipos de clorofila encontrados con el espectrofotómetro sólo se puede inferir la presencia de grandes grupos de fitoplancton (a nivel División), poseedores de cualquiera de los tres tipos de clorofila. Basándonos en estudios taxonómicos realizados en las 4 zonas (Cortés, 1980; Millán-Nuñez, 1987; Chávez et al, 1990; Thunell, 1996) podemos señalar la posible dominancia de dinoflagelados, diatomeas y coccolitofóridos.

Los mapas de isolíneas mostraron la tendencia general del fitoplancton de distribuirse cerca de la costa, influenciado por la descarga de ríos, la presencia de material orgánico disuelto y factores físicos como la luz y la temperatura. Como no se encontró relación directa significativa de la distribución horizontal de clorofila con la temperatura superficial, se cree que además otros agentes físicos como los vientos, las corrientes internas o la turbulencia fueron posibles factores determinantes de la distribución (Peláez y McGowan, 1986; Dawes, 1991; Halpern y Feldman, 1994)

La interpretación biológica realizada a partir de los datos obtenidos *in situ*, es una herramienta más para la comparación de valores y métodos con las imágenes de satélite, ya que los mapas de isolíneas al igual que las imágenes satelitales permiten visualizar claramente las zonas de mayor y menor concentración, aspecto difícilmente evaluable con sólo los promedios numéricos de la zona.

Entre imágenes satelitales Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) también existen diferencias (Feldman, 1989; Acker, 1997) que pueden crear discrepancias en las concentraciones de pigmentos.

Las discordancias en la magnitud y la estimación entre las muestras *in situ* y las imágenes satelitales durante noviembre y diciembre de 1997 y marzo y abril de 1998, presentan en sí muchas dificultades metodológicas para relacionar directamente los dos tipos de datos ( Müller-Karger et al. 1990; Doerffer y Fischer, 1994). Aún así, es posible comparar medias o ver tendencias de comportamiento y concentración entre un lugar y otro.

Tomando en cuenta las 4 zonas estudiadas, las concentraciones de clorofila a no presentaron un patrón general de acuerdo a la temperatura registrada, por eso se buscó comparar por medio de las imágenes satelitales los años normales y los años con evento ENSO para observar así la respuesta de cada zona a las anomalías de temperatura. En las cuatro zonas los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas no fueron concluyentes, sin embargo fue posible realizar observaciones de interés en torno a la distribución y concentración de los pigmentos.

Las imágenes CZCS para las diferentes zonas estudiadas, mostraron que los pigmentos variaron año con año aumentando o disminuyendo. De estos resultados se obtuvieron dos planteamientos: 1° las concentraciones fueron ligeramente mayores en años Niño que en años noNiño, no encontrándose algún patrón de variación, concordando exactamente con Lynn et al (1998) quien expone: " los valores integrados de clorofila no muestran un patrón de disminución, al menos desde mediados de los 80s; ni el período 1992-93 (Hayward, 1994) ni el de 1997-98 sobresalen como anómalos en el contexto de mediciones de clorofila medidos desde 1984 hasta 1998". 2° las concentraciones entre los diferentes años fueron más semejantes en la zona Norte 1 y 2 que en la zona Sur 1 y 2, lo que de igual manera refleja en todas la zonas la carencia de un marcado ciclo estacional (Banse y English, 1994), pudiéndose explicar las diferencias de concentración mediante otras variables de tipo biológico como el ciclo reproductivo, el tamaño celular, el rango de crecimiento y el tiempo de vida (Thunell, 1996); además físicamente el viento y las corrientes internas pudieron ser un factor importante (Müller-Karger et al, 1990) que no se capta desde una imagen satelital.

Al construir series de tiempo para cada mes, se advirtió que los cambios fueron limitados en su magnitud. Concordando con lo reportado por Thomas et al (1994), las concentraciones de clorofila a descendieron a partir del evento ENSO 1982-1983 hasta llegar a un mínimo en 1984, con un ascenso importante a partir de 1985 hasta 1986. Esta semejanza otorga credibilidad a los datos obtenidos de las imágenes CZCS, mas no por ello establece comparaciones válidas con los datos de barco; las imágenes SeaWIFS presentan el mismo problema; los valores de las correlaciones hechas a partir de los dos tipos de datos fueron muy pequeños y más en las zonas PS1 y PS2 cuyas imágenes tuvieron gran cantidad de datos perdidos debidos a la alta nubosidad, teniéndose que extrapolar valores de regiones anexas a esos puntos.

El registro de la temperatura superficial en los satélites es más exacto que el de los pigmentos, pues aunque la cantidad de algoritmos para corregir los efectos atmosféricos sea básicamente la misma en ambos, el sensor de temperatura no

registra otro tipo de información que pueda introducir ruido al momento de medir la concentración de pigmentos como en el caso de la materia suspendida en la columna de agua; prueba de esto son los datos de temperatura en superficie obtenidos de las imágenes CZCS que mostraron una relación muy grande con los obtenidos *in situ*, tanto en los promedios generales como en la tendencia a elevarse en ciertas regiones y a disminuir en otras.

Muchos autores han utilizado la concentración de clorofila *a* como un medio confiable para el estudio de ciertos procesos de las comunidades fitopláncticas y como un monitor de las condiciones físicas prevalecientes en cierta zona; aún más, con el uso de satélites se han podido estudiar grandes zonas geográficas, establecer ciclos estacionales y cambios en la distribución y concentración de pigmentos.

## X. Conclusiones

- El evento ENSO se manifestó en el Pacífico mexicano a partir de los cambios ocurridos en la temperatura del mar y la profundidad de la termoclina. Dichos cambios se observaron tanto en la parte Norte como en la Sur del Pacífico mexicano.
- Las zonas con muestreo en otoño-invierno de 1997 presentaron mayor temperatura superficial que las muestreadas en la primavera de 1998, del mismo modo el hundimiento de la termoclina fue más evidente en 1997 que en 1998.
- El cambio experimentado en la concentración de oxígeno y en la salinidad fue más evidente en la parte Norte que en la Sur del Pacífico mexicano.
- La distribución de la clorofila dependió del ambiente que todas las variables fisicoquímicas formaron en conjunto propiciando zonas de concentración; es por esto que no se encontró un patrón que fuese común entre las 4 zonas estudiadas.
- La diferencia numérica de las concentraciones de clorofila *a* cuantificadas con espectrofotómetro y fluorómetro fue la esperada de acuerdo a los principios de cada aparato y a las variantes en la metodología aplicada; sin embargo las tendencias generales fueron consistentes en cada zona de acuerdo a la región y a la época del año.
- El índice de diversidad pigmentaria obtenido pudo ser reflejo de situaciones generalizadas de estrés físico y/o de eventos de sucesión.
- La comparación de diversas imágenes de satélite correspondientes a años Niño y años NoNiño mostró que las mayores concentraciones de clorofila *a* se presentaron en años con evento ENSO.
- Las imágenes de satélite utilizadas en este trabajo permitieron obtener información sobre los pigmentos marinos de años anteriores que de otra manera no hubiera sido posible obtener; la diferencia observada entre estos datos y los datos *in situ* se debe a las diferencias en los métodos utilizados.
- Las diferencias poco significativas obtenidas de la comparación de imágenes satelitales de años Niño y NoNiño reflejan la carencia de un marcado ciclo estacional en la zona.
- Las imágenes satelitales son una gran herramienta para el estudio de grandes zonas marinas en nuestro país, pero aún falta un mayor registro de datos *in situ* sobre estudios de pigmentos marinos, que permitan una adecuada interpretación y por lo tanto mejor utilización de este tipo de imágenes.

## **XI. Perspectivas**

El presente trabajo se enfocó en la identificación y cuantificación de los diferentes tipos de clorofila (a, b y c) bajo el juicio de que como principales pigmentos fotosintéticos presentes en el fitoplancton, son por tanto indicadores confiables de la biomasa y de ciertos procesos que el fitoplancton experimenta, tales como: la fotosíntesis, la tasa de sedimentación, la absorción y el reflejo de la luz en las capas superiores del mar y la producción de complejos volátiles como el DMS (Jeffrey, 1996).

Para evaluar el estado de las comunidades fitopláncticas, se requieren más datos o parámetros biológicos; como la identificación taxonómica de los géneros y/o especies presentes en el área; queda esa tarea para posteriores trabajos, utilizando las muestras fijadas en éste.

Gracias a los registros obtenidos en el Pacífico mexicano durante el evento ENSO 1997-1998, gran cantidad de estudios se pueden llevar a cabo en referencia a la concentración de pigmentos y a las comunidades fitopláncticas, en cuanto a biomasa, distribución y productividad primaria entre otras. Las condiciones hidrográficas de la parte del Pacífico en donde se realizaron los muestreos presentan una gran variedad de escenarios; el establecimiento de patrones pigmentarios de distribución tanto horizontales como verticales puede enriquecer el conocimiento que se tiene sobre la fisiología y adaptabilidad de los grupos fitopláncticos y su relación con las condiciones ambientales al realizar una comparación de los mismos parámetros en otras épocas, o más interesante aún, al observar diferencias de concentración y/o distribución de pigmentos y establecer relaciones entre la biomasa fitoplánctica y alguna anomalía en el ambiente, tanto marino como atmosférico. De aquí que el seguimiento de los cambios en la concentración de pigmentos aunada al conocimiento de la dinámica de la comunidad fitoplánctica nos lleve a la obtención de respuestas respecto a los cambios en las variables ambientales y sus efectos (Torres-Moye, 1987; Thunell, 1996; Liu, 1996). La integración de los valores de concentración de clorofila con estudios taxonómicos y multitróficos, permitirá entender e interpretar correctamente desde el punto de vista biológico, el o los procesos ocurridos en las comunidades fitopláncticas al llegar los efectos de El Niño al Pacífico mexicano, permitiendo predecir el comportamiento de la producción biológica, lo cual tendría como resultado práctico inmediato, un correcto manejo de las pesquerías en el país (Arenas, 1997; Lluch-Cota, 1999).

## **XII. Apéndice Estadístico**

### **MATRIZ DE CORRELACIONES DE PEARSON PARA LA ZONA PACIFICO SUR 1**

	longitud	latitud	cl(esp)	cl(flu)	temp	divers	oxig	salin	profund
longitud	1.000								
latitud	0.919	1.000							
clorofila(esp)	-0.321	-0.337	1.000						
clorofila(flu)	-0.118	-0.036	0.396	1.000					
temperatura	0.577	0.471	-0.211	-0.501	1.000				
diversidad	-0.107	-0.046	0.484	0.688	-0.640	1.000			
oxígeno	-0.226	-0.322	0.151	-0.248	0.375	-0.261	1.000		
salinidad	0.832	0.829	-0.224	0.003	0.239	0.023	-0.476	1.000	
profundidad	0.088	0.065	0.213	0.350	-0.401	0.671	-0.072	0.273	1.000

número de observaciones: 17

### **MATRIZ DE CORRELACIONES DE PEARSON PARA LA ZONA PACIFICO SUR 2**

	longitud	latitud	prof	cl(esp)	cl(flu)	temp	divers	oxig	sal
longitud	1.000								
latitud	-0.871	1.000							
profundidad	0.404	-0.271	1.000						
clorofila(esp)	-0.238	-0.149	-0.504	1.000					
clorofila(flu)	-0.257	-0.071	-0.545	0.968	1.000				
temperatura	-0.521	0.590	-0.844	0.108	0.189	1.000			
diversidad	-0.412	0.276	-0.146	0.226	0.071	0.104	1.000		
oxígeno	-0.363	0.273	-0.954	0.545	0.637	0.847	0.005	1.000	
salinidad	0.465	-0.428	0.953	-0.341	-0.370	-0.936	-0.253	-0.907	1.000

número de observaciones: 8

### MATRIZ DE CORRELACIONES DE PEARSON PARA LA ZONA PACIFICO NORTE 1

	longitud	latitud	cl(esp)	cl(flu)	temp	divers	oxig	sal	prof
longitud	1.000								
latitud	0.945	1.000							
clorofila(esp)	-0.555	-0.552	1.000						
clorofila(flu)	-0.539	-0.429	0.789	1.000					
temperatura	-0.825	-0.790	0.820	0.714	1.000				
diversidad	-0.172	-0.426	0.174	-0.044	0.269	1.000			
oxigeno	0.216	0.001	0.117	-0.039	0.147	0.612	1.000		
salinidad	-0.419	-0.488	0.206	0.008	0.295	0.261	-0.079	1.000	
profundidad	0.298	0.233	-0.731	-0.653	-0.708	-0.081	-0.324	0.037	1.000

número de observaciones: 15

### MATRIZ DE CORRELACIONES DE PEARSON PARA LA ZONA PACIFICO NORTE 2

	longitud	latitud	profud	cl(esp)	cl(flu)	temp	divers	oxig	sal
longitud	1.000								
latitud	0.910	1.000							
profundidad	0.082	0.153	1.000						
clorofila(esp)	-0.007	-0.182	-0.494	1.000					
clorofila(flu)	-0.046	0.025	-0.669	0.529	1.000				
temperatura	-0.648	-0.727	-0.687	0.268	0.389	1.000			
diversidad	0.132	-0.070	-0.537	0.494	0.406	0.369	1.000		
oxigeno	0.434	0.292	-0.715	0.309	0.519	0.344	0.527	1.000	
salinidad	-0.862	-0.948	-0.253	0.315	0.048	0.751	0.152	-0.230	1.000

número de observaciones: 17

Tablas con los resultados de los análisis estadísticos aplicados a la concentración de clorofila a en años con evento ENSO (N) vs años sin evento.

Tabla 1

Pacífico Sur 1	1982 (N) vs 1997(N) *	1984 vs 1985**	1982 (N) vs 1984*	1982 (N) vs 1985**	1984 vs 1997 (N) **	1985 vs 1997 (N) **
Pacífico Sur 2	1983 (N) vs 1998 *	1981 vs 1986 *	1981 vs 1983 (N) *	1983 (N) vs 1986	1981 vs 1998 (N)	1986 vs 1998 (N) *
Pacífico Norte 1	1982 (N) vs 1997(N)	1981 vs 1985	1981 vs 1982 (N)	1982 (N) vs 1985	1981 vs 1997 (N)	1985 vs 1997 (N)
Pacífico Norte 2	1983 (N) vs 1998	1984 vs 1986	1983 (N) vs 1984 **	1983 (N) vs 1986	1984 vs 1998 (N) *	1986 vs 1998 (N)

Resultados de la comparación del análisis de variancia por medio de la prueba de Wilcoxon

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

Tabla 2

PS1	PS2	PN1	PN2
1982 (N)a	1981a	1981a	1983 (N)a
1984ab	1983 (N)a	1982 (N)a	1984a
1985b	1986a	1985a	1986a
1997(N)c	1998 (N)a	1997 (N)a	1998 (N)a

Resultados de la comparación del análisis de variancia por medio de la prueba de honestidad de Tukey

la misma letra en la columna indica que no hay diferencia entre los tratamientos

P < 0.05

### XIII. Bibliografía

- Arenas, P. Y C. Robinson. 1997. Antecedentes para el estudio de las causas y efectos de la perturbación El Niño 1997-1998, en los cardúmenes de palácicos menores de importancia comercial en la costa oeste de Baja California. Laboratorio de ecología de pesquerías. ICMYL, UNAM.
- Arntz, W.E. and E. Fahrbach. 1996. *El Niño, experimento de la naturaleza*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Banse, K. and D.C. English. 1994. Seasonality of coastal zone color scanner phytoplankton pigment in the offshore oceans. *Journal of Geophysical Research*. (99) C4: 7323-7345.
- Barber, R.T. and F.P. Chavez. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science* 222: 1203-1210.
- Barber, R.T. and J.E. Kogelshatz. 1989. Nutrients and productivity during the 1982/1983 El Niño. In: *Global Ecological consequences of 1982-83 El Niño- Southern Oscillation*. Elsevier Oceanography, 21-53.
- Bjerknes, J. 1969. *Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific*. *Mon. Wea. Rev.*, 97: 163-172.
- Cane, M.A., G. Eshel and R.W. Buckland. 1994. Forecasting Zimbabwean maize yield using east equatorial sea surface temperatures. *Nature*. 370. 204-205
- Climate Prediction Center. 1998. *Climate Conditions Associated with the 1997-1998 El Niño: Impacts and Outlook*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). U.S.
- Chavez, F.P., K.R. Buck and R.T. Barber. 1990. Phytoplankton taxa in relation to primary production in the Equatorial Pacific. *Deep-Sea Research*. (37) 11. 1733-1752.
- Chavez de Ochoa, M. C. 1975. Algunas condiciones de Surgencias durante la primavera de 1974, para el área adyacente a Punta Banda, B. C. *Ciencias Marinas*. 2 (2): 111-124.
- Cortes, R. y S. Rojas. 1980. Variación estacional de comunidades fitoplanctónicas de la Bahía de Mazatlán, Sin; México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Cullen, J. J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing profiles of chlorophyll a. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 791-803.
- Dawes, C.J. 1991. *Botánica Marina*. Limusa. México. 673p.
- Doerfer, R. and J. Fischer. 1994. Inverse modeling of CZCS image. *Jour. of Geophys. Res*
- Feldman, G.C., N.A. Kuring, W.E. Esaias, C.R McClain, J.A. Elrod, N. Maynard, D. Endres, R. Evans, J. Brown, S. Walsh, M. Carle and G. Podesta. 1989. Ocean Color: Availability of the Global Data Set. *EOS* 70: 634-641.
- Garfield, P. C., T. T. Packard, O. E. Friederich y L. A. Codispoti. 1983. A subsurface particle maximum layer and enhanced microbial activity in the secondary nitrite maximum of North-Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal Marine Research*. 41: 747-768.
- Geider, R. J., B. A. Osborne. 1992. Algal photosynthesis. The Measurements of Algal Gas Exchange. Chapman and Hall. 256p.
- Glynn, P.W. 1994. *Global Ecological Consequences of 1982-1983 El Niño-Southern Oscillation* Elsevier Oceanography. 345p.

- Goering, J. J., O. D. Wallen y R. M. Nauman. 1970. Nitrogen uptake by phytoplankton in the discontinuity layer of the eastern subtropical Pacific Ocean. *Limnology Oceanography* 15: 789-796.
- Goldman, J.C., D.A. Hansell and M.R. Dennett. 1992. Chemical Characterization of three large oceanic diatoms: potential impact on water column chemistry. *Mar Ecol. Prog. Ser.*, 88, 257-270.
- Gómez, J. y H. Vélez. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8 (2): 167-176.
- Gómez-Valdez, J. 1984. Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*. 9 (2): 75-86.
- Gómez, M. 1998. Distribución promedio mensual de la temperatura superficial del agua de mar, en las costas de México, durante "El Niño" de marzo de 1997 a junio de 1998. *Memoria del VIII Congreso de la Organización Mexicana de meteorólogos, A.C. Ver.*, México. 117-119.
- González, F. C., 1991. En OCEANOGRAFÍA de mares mexicanos; Oceanografía química; contaminación de la Costa Occidental de Baja California. Comp. de la Lanza, E. G., AGT Editor, S. A México, D. F., pp. 569.
- Halpern, D. and G. Feldman. 1994. Annual and interannual variations of phytoplankton pigment concentration and upwelling along the Pacific equator. *Jour. of Geophys Res.* (99) C4: 7347-7354.
- Hansen, D.V. 1989. Physical Aspects of the El Niño event of 1982-1983. In: *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño- Southern Oscillation*. Elsevier oceanography. 1-20.
- Harris, G. P. 1986. *Phytoplankton Ecology. Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall. 384p.
- Hayward, T.L. 1994. The state of the California Current in 1994-1995: a period of transition. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 35: 19- 35
- Holligan, P. M. 1992. Do Marine Phytoplankton influence Global Climate? In: *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*. Edited by P. Falkowski and A.D. Woodhead. Plenum, N.Y. pp. 487-501
- Holm-Hansen, O. 1965. Fluorometric Determination of Chlorophyll. *Journal Council.* 301: 3-15.
- Humphrey, G.F. and Woolton, M. 1996. Comparison of the techniques used in the determination of phytoplankton pigments, In: *Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, no.1 UNESCO, Paris, pp. 37-63.
- Iglesias, R. 1997. Consecuencias biológicas del fenómeno de El Niño: Estrés térmico y blanqueamiento de corales. Estación "Puerto Morelos", Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Instituto de Geofísica. 1977. Datos geofísicos. Serie A, Oceanografía 2, UNAM. 197 p
- Jeffrey, S.W. 1996. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern Methods. SCOR UNESCO.
- Jeffrey, S.W. and Hallegraeff, G.M. 1987. Photosynthetic pigments, species and light climate in a warm core eddy of East Australian Current. *Deep Sea Res.* 34: 649-673.
- Jeffrey, S.W. and Hallegraeff, G.M. 1990. Phytoplankton ecology of Australian waters. In: Clayton, M.N. and King, R.J. (eds), *Biology of Marine Plants*. Logman Cheshire, Melbourne, pp.310-348.

- Jeffrey, S.W. and Humphrey, G.F. 1975 New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a,b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem Physiol. Pflanzen*, 167: 191-194.
- King, D. F. and A. H. Devol. 1979. Estimates of vertical eddy diffusion through the thermocline from phytoplankton nitrate uptake rate in the mixed layer of the eastern tropical Pacific. *Limnology. Oceanography*, 24 (4), 645-651.
- Kirk, J. T. O. 1983. *Light and Photosynthesis in Aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krause, D. C. 1965. Tectonic, bathymetry, and geomagnetism of the Southern continental Borderland West of Baja California, México. *Geological Society of American Bulletin* 76 (6). 617-650.
- Knauss, J. A. 1962. On some aspects of the deep circulation of the Pacific. *Journal Geophysical Research*. 67: 3943-3954.
- Liu, D.G. Fryxell and I. Kaczmarek. 1996. El Niño (1992) in the equatorial Pacific: low biomass with a few dominating species in the microphytoplankton. *Jour. of Plank. Res.* (18) 7: 1167-1184.
- Lluch-Cota, D.B., D. Lluch-Beda, S.E. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M.O. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C.A. Salinas-Zavala y A. Vega-Velazquez. 1999. Impactos en el Sector Pesquero, en: *Impactos de El Niño 1997-1998 en México*. S.G. México.
- Lorenzen, C. J. and Jeffrey, S. W. 1980. Determination of chlorophyll in seawater: report of intercalibration test. UNESCO Technical Papers in Marine Science 35, 21pp
- Lynn. 1998. The California Current, 1997-1998. *CalCOFI Rep.*, 39: 41-51.
- Magaña, V., J.L. Pérez y C. Conde. 1998. El fenómeno de El Niño y La Oscilación del Sur. Sus impactos en México. *Ciencias*. 51. 14-18.
- Magaña, V. 1997. Variaciones interanuales en precipitación durante períodos de El Niño Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Esp. 1010p.
- Meeks, J.C. 1974. Chlorophylls. In: Steward, W.D.D. (ed.), *Algal Physiology and Biochemistry*, *Bot. Monogr.* 10: 161-175. Univ. Calif. Press, Berkeley.
- Menard, H. W. and S. M. Smith. 1966. Hypsometry of ocean basin provinces. *Journal Geophysical Research*. 71 (18): 4305-4325.
- Millán Nuñez, R., E. Ripa, L.A. Aguirre. 1987. Estudio preliminar en la composición y abundancia del fitoplancton y clorofilas en la laguna Ojo de liebre, BCS. *Ciencias marinas* 13 (1): 30-38.
- Miller, F. R. 1984. Anomalías de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico Oriental Tropical y algunas consecuencias que se pueden presentar en la pesca del atún durante El Niño de 1982-83. *Revista Com. Perm. Pacífico Sur*. 15: 67-83
- Monreal, M.A. 1997. El Niño sus características físicas y sus efectos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Morris, I. 1980. *The physiological Ecology of Phytoplankton*. Blackwell. Oxford. 625pp.
- Murray, A. P., Gibbs, C. F., Lomgorne, A. R. 1986 Determination of chlorophyll in marine waters: intercomparisons of a rapid HPLC method with full HPLC, spectrophotometric and fluorometric methods. *Mar. Chem.* 19: 211-227.

- Müller-Karger, F.E., C.R. McClain, R.N. Sambrotto and G.C. Ray. 1990. A comparison of ship and coastal zone color scanner mapped distribution of Phytoplankton in the southeastern Bering Sea. *Jour. Geoph. Res.* (95) C7: 11483-11499.
- Ondrusek, M.E., Bidigare, R.R., Sweet, S.T., Defreitas, D.A., 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.
- Pacheco, S. P. 1991. En OCEANOGRAFÍA de mares mexicanos; Oceanografía física del Pacífico Tropical Mexicano, de Cabo Corrientes hasta la frontera con Guatemala. Comp. de la Lanza, E. G., AGT Editor, S. A. México, D. F., pp. 569.
- PEMEX. 1986. Evaluación de hidrocarburos y metales pesados en la costa Occidental de la Península de Baja California, 1983-1984.
- Santamaría, E., S. Alvarez-Borrego, F. Muller. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal Zone color scanner imagery. *Jour. of Plank. Res.* (99) C4, 7423-7431.
- Sheinbaum, J. 1997. Cómo se hacen y qué nos hacen los Niños. Departamento de Oceanografía Física. CICESE.
- Sverdrup, H. P. and R. H. Fleming. 1941. The waters off the coast of Southern California, march to july 1931. *Bulletin Scripps. Intitution of Oceanography. University of California.* 4: 267-378.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming. 1942. *The Oceans: Their Physics Chemistry and General Biology.* (Eds.). Prentice-Hall, Inc. New York. 1087 pp.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming. 1970. *The Oceans: Their physics, chemistry and general biology,* Prentice Hall, Inc. N. Y., pp. 78-152, 431-515.
- Tamayo, L. 1984. *Geografía Moderna de México,* De. Trillas, México. pp. 400.
- Tchernia, P. 1980. *Descriptive Regional Oceanography,* Pergamon Press, New York. p. 216-245.
- Thomas, W. H. 1966. On denitrification in the northeastern tropical Pacific Ocean. *Deep Sea Research.* 13: 1109-1114.
- -----, 1969. Phytoplankton nutrient enrichment expernents of Baja California and in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Journal Fisheries Research Board Canadian.* 26: 1133-1145.
- -----, 1970a. On nitrogen deficiency in tropical Pacific oceanic Phytoplankton: Photosinthetic parameters in poor and rich water. *Limnology Oceanography.* 15 (3): 380-385.
- -----, 1970b. Effect of nitrate and ammonia concentration on chlorophyll increases in natural tropical Pacific phytoplankton populations. *Limnology Oceanography.* 15: 386-394.
- Thomas, W. H. and R. W. Owen, Jr. 1971. Estimating phytoplankton production from ammonium and chlorophyll concentration in nutrient-poor water of the eastern tropical Pacific Ocean. *Fisheries Bulletin.* 69: 87-92
- Thomas, W. H. and A. N. Dodson. 1972. On the nitrogen deficiency in tropical Pacific ristics of a chemostat-grown diatom. *Limnology Oceanography.* 17 (4): 515-523.
- Thomas, F. G., F. Huang, P.T. Strub and C. James. 1994. Comparison of the seasonal and interannual variability of phytoplankton pigment concentrations in the Peru and California Current systems. *Journal of Geophysical Research.* (99) C4: 7355-7370.

- Thunell, R., C. Pride, P. Ziveri, F. Muller-Karger, C. Sancetta and D. Murray. 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*. **18** (11): 2017-2026.
- Torres, B. R., y S. E. Zárate Vidal, 1991. En OCEANOGRAFÍA de mares mexicanos; Oceanografía física; densidad de la Costa Occidental de Baja California. Comp. de la Lanza, E. G., AGT Editor, S. A. México, D. F., pp. 569.
- Torres-Moye, G and S. Alvarez-Borrego. 1987. Effects of the 1984 El Niño on the summer Phytoplankton of a Baja California Upwelling Zone. *Jour. of Geoph. Res.* (92) **C13**: 14,383-14,386.
- Vernon, L. P. 1960. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.* **32**: 1144-1150.
- Weare, B. C., P. T. Strub y M. D. Samuel. 1981. Annual mean surface heat fluxes in the Tropical Pacific Ocean. *Journal Physics Oceanography*. **11** (5): 705-717.
- Wegener, A. 1966. The Origin of Continents and Oceans. Translated by J. Biram, Ed. Dover Publications, Inc, New York; pp. 246.
- Wooster, W. S. y J. L. Reid Jr. 1963. Eastern Boundary Currents. *The Sea* Vol. II. 253-280.
- Wyrtki, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. *Deep Sea Research*. **9**: 11-23.
- -----, 1965a. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bulletin InterAmerican Tropical Tuna Commission*. Vol. IX. (5): 269-304.
- -----, 1965b. The annual and semi-annual variation of sea surface temperature in the North Pacific Ocean. *Limnology Oceanography*. **10** (3): 307-313.
- -----, 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanography Marine Biological Annual Rev.* p. 33-68.
- -----, 1975. El Niño-the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, **5**: 572-584.
- Zárate, V. S. E., 1991. En OCEANOGRAFÍA de mares mexicanos; topografía y batimetría de la Costa Occidental de Baja California. Comp. de la Lanza, E. G., AGT Editor, S. A. México, D. F., pp. 569.