



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS QUE
DETERMINAN EL PERFIL VERTICAL DE CLOROFILA a
EN EL GOLFO DE CALIFORNIA**



**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
OCEANOGRAFIA COSTERA
PRESENTA:**

RAUL SAMUEL ULLOA HERRERA

Ensenada, Baja California, Octubre del 2000

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

*CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS QUE
DETERMINAN EL PERFIL VERTICAL DE CLOROFILA a EN EL
GOLFO DE CALIFORNIA*

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
OCEANOGRAFIA COSTERA


Aprobada por:



Dr. Eduardo Santamaría del Angel
Director de Tesis



Dr. Roberto Millán Núñez
Sinodal



M.C. Rafael Hernández Walls
Sinodal

A mi madre, por su amor y dedicación

INDICE

1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- Área de Estudio.....	6
1.2.- Características Hidrológicas.....	7
1.3.- Divisiones del Golfo.....	8
2.- PROBLEMÁTICA.....	9
2.1.- Hipótesis.....	9
2.2.- Objetivo.....	10
2.3.- Objetivos Específicos.....	10
3.- MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1.- Distribución Horizontal de la Ch_s , Z_{MPC} y Ch_{MPC}	19
3.2.- Ajuste de un Modelo de Variograma.....	20
3.3.- Estimador Kriging.....	20
4.- RESULTADOS.....	22
4.1.- Modelos de Regresión.....	23
4.1.1.- Período Frío.....	23
4.1.2.- Período Cálido.....	28
4.2.- Distribución de Horizontal de la Ch_s , Z_{MPC} y Ch_{MPC} al Interior del GC.....	30
4.3.- Modelo Gaussiano.....	40
4.3.1.- Período Frío.....	40
4.3.1.1.- Modelos de Regresión.....	53
4.3.2.- Período Cálido.....	56
4.3.2.1.- Modelos de Regresión.....	65
4.4.- Validación Del Modelo.....	68
5.- DISCUSION.....	71
5.1.- Parámetros Gaussianos.....	73
6.- CONCLUSIONES.....	76
7.- REFERENCIAS.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posición de estaciones oceanográficas de diversos cruceros realizados al interior del Golfo de California, entre 1973 y 1999.....	13
Figura 2. Regiones biogeográficas al interior del Golfo de California. Esquema según Santamaría-del Ángel <i>et al.</i> , (1994).....	15
Figura 3. Variación de Chl_s , Chl_{MPC} y la razón de Chl_{MPC}/Chl_s , para cada una de las regiones en el período frío y cálido.....	25
Figura 4. Regresión entre la Z_m contra Chl_s , para cada región en período frío.....	26
Figura 5. Regresión entre la Chl_{MPC} contra Chl_s , para cada región en período frío.....	27
Figura 6. Regresión entre el Chl_{MPC} y el Z_m contra Chl_s , para cada región en período cálido.....	29
Figura 7. Semivarianzas calculadas y ajustadas, para la Chl_s (a), Chl_{MPC} (b) y Z_m (c), para el período frío y cálido.....	31
Figura 8. Distribución espacial de la Chl_s , ($mg\ m^{-3}$) al interior del Golfo de California para el período frío.....	34
Figura 9. Distribución espacial de la Chl_s , ($mg\ m^{-3}$) al interior del Golfo de California para el período cálido.....	35
Figura 10. Distribución espacial del Z_m (m) al interior del Golfo de California para el período frío.....	36
Figura 11. Distribución espacial del Z_m (m) al interior del Golfo de California para el período cálido.....	37
Figura 12. Distribución espacial del Chl_{MPC} , ($mg\ m^{-3}$) al interior del Golfo de California para el período frío.....	38
Figura 13. Distribución espacial del Chl_{MPC} , ($mg\ m^{-3}$) al interior del Golfo de California para el período cálido.....	39
Figura 14. Variación promedio de los parámetros gaussianos, para cada región en el período frío.....	42
Figura 15. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos, para cada región en el período frío. Los números indican la región. Por magnitud de los perfiles, las regiones I y XIII, están a distinta escala	43
Figura 16. Regresión entre el parámetro gaussiano B_0 contra la Chl_s , para cada región en el período frío.....	44

Figura 17. Regresión entre el parámetro gaussiano h contra la Chl_s , para cada región en el período frío.....	45
Figura 18. Regresión entre el parámetro gaussiano Z_m contra la Chl_s , para cada región en el período frío.....	46
Figura 19. Regresión entre el parámetro gaussiano sigma contra la Chl_s , para cada región en el período frío.....	47
Figura 20. Perfiles de Clorofila, para el período frío utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categorías. Los números indican la categoría.....	51
Figura 21. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categoría. Los números indican la categoría.....	52
Figura 22. Perfiles de Clorofila estimados, para cada región utilizando los modelos de la Tabla X. Con distintos valores de clorofila superficial. Los números romanos indican la región.....	55
Figura 23. Variación promedio de los parámetros gaussianos, para cada región en el período cálido.....	57
Figura 24. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos, para cada región en el período cálido. Los números indican la región. Por magnitud del perfil la región X, esta en otra escala.....	59
Figura 25. Regresión entre el parámetro gaussiano h y sigma contra la Chl_s , para cada región en el período cálido.....	62
Figura 19. Regresión entre el parámetro gaussiano B_0 y Z_m contra la Chl_s , para cada región en el período cálido.....	63
Figura 27. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categorías. Los números indican la categoría.....	64
Figura 28. Perfiles de Clorofila estimados, para cada región utilizando los modelos de la Tabla XIII.....	67
Figura 29. Perfiles de Clorofila estimados y observados, para el período frío, como ejemplos de validación en distintas categorías y regiones. Además se presenta la grafica de regresión entre los estimados y observados adjunto a cada perfil.....	69
Figura 30. Perfiles de Clorofila estimados y observados, para el período frío, como ejemplos de validación en distintas categorías y regiones. Además se presenta la grafica de regresión entre los estimados y observados adjunto a cada perfil.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Base de datos utilizado para el presente estudio.....	14
Tabla II. Número de Perfiles de Clorofila usados para cada año mes y épocas para cada región.	16
Tabla III. Base de datos para cada perfil de clorofila.....	17
Tabla IV. Intervalos de Concentración de Clorofila para cada una de las Categorías.....	18
Tabla V. Ecuaciones de regresión para estimar el promedio por categoría de Chl_{MPC} y Z_m a partir del promedio de la Chl_s por categoría, para cada región en la época fría.....	24
Tabla VI. Ecuaciones de regresión para estimar el promedio por categoría de Chl_{MPC} y Z_m a partir del promedio de la Chl_s por categoría, para cada región en la época cálida.	28
Tabla VII. Parámetros y Modelos obtenidos del ajuste de los variogramas de las variables utilizadas.	32
Tabla VIII. Valores promedios de los parámetros en las diferentes regiones para el período frío.....	41
Tabla IX. Valores promedios de los parámetros de los perfiles, para cada región y categoría, para el período frío	48
Tabla X. Ecuaciones de regresión de los promedios de los parámetros de la curva gaussiana en función del promedio de clorofila superficial por categorías, para el período frío. *=usar los valores promedios, según la categoría y región.....	54
Tabla XI . Valores promedios de los parámetros en las diferentes regiones, para el período cálido.....	58
Tabla XII. Valores promedios de los parámetros de los perfiles, para cada región y categoría, para el período cálido. n = número de perfiles.	60
Tabla XIII. Ecuaciones de regresión para estimar los promedios de los parámetros de la curva gaussiana en función del promedio de clorofila superficial por categorías, para el período cálido. *=usar los valores promedios, según la categoría y región.	66

RESUMEN

Las estimaciones de productividad primaria en el océano a gran escala son posibles mediante el uso de datos de color del océano obtenidos mediante sensores remotos y modelos fotosíntesis-luz. Desafortunadamente, los satélites presentan información de la concentración de clorofila de la primera profundidad óptica, que típicamente cubre la quinta parte de la zona productiva en la columna de agua. Generalmente el máximo profundo de clorofila se encuentra por debajo de esta profundidad. Por lo que es importante el predecir el perfil vertical de clorofila cuándo se requiere estimar la productividad integrada en la columna de agua. Se utilizó una base de datos de diferentes cruceros oceanográficos realizados al interior del golfo de California que abarcó desde 1973 a 1999. La caracterización de los perfiles verticales de clorofila fueron realizados ajustando una curva gaussiana para cada perfil y se calcularon los parámetros de: biomasa por debajo de la curva (B_0); la profundidad del máximo de clorofila (Z_M); la amplitud de la curva (σ) y la biomasa bajo la curva (h). La región de estudio se dividió en 14 regiones espacialmente, siguiendo el criterio de Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994), también se separó temporalmente, en dos períodos: cálido y frío. Todos los perfiles verticales fueron agrupados en siete categorías, considerando los intervalos de concentración superficial de clorofila. Se construyeron modelos de regresión lineal para predecir los cuatro parámetros en función de la clorofila superficial. Estos generalmente tuvieron una $r > 0.90$, excepto para σ , en cuyo caso se usó el promedio. Con estos modelos, los perfiles verticales de clorofila son reproducidos de una manera apropiada con R^2 sobre el 0.80. Además, se desarrollaron modelos de regresión para estimar la concentración del máximo profundo de clorofila en función de la concentración superficial de clorofila. La mayoría de estos modelos tuvieron una $r > 0.90$. El Z_M es una característica permanente al interior del golfo de California, con una tendencia general de incrementar su Z_M de norte a sur y con una disminución, producto de la presencia de zonas someras. Durante el periodo cálido, las profundidades del máximo fueron mayores y las concentraciones de clorofila fueron menores que durante el periodo frío.

1.-INTRODUCCION

Los mares marginales son considerados como zonas de gran importancia económica y comercial, desde un punto de vista humano. Esto se debe a los beneficios que se obtienen de ellos, por ejemplo su utilización como: vías de transporte, fuentes de alimento, fuentes de recursos no renovables y fuentes de energía, entre otros (Jickells, 1998). No obstante, la importancia de estos ecosistemas va más allá del punto de vista humano.

A pesar de que cubren un área pequeña ($7\% \approx 26 \times 10^6 \text{ km}^2$) en relación con el océano mundial, los mares marginales representan el 90% de las pesquerías mundiales (Pauly y Christensen, 1995), estos contribuyen con: el 14-30 % de la producción primaria oceánica (Gattuso *et al.*, 1998), el 50 % de la desnitrificación global oceánica y el 80 % del enterramiento de materia orgánica (Pernetta y Milliam, 1994). Los mares marginales constituyen una de las zonas más activas geoquímica y biológicamente con relación al resto de la biosfera. Esto es porque reciben cantidades considerables de materia orgánica y nutrientes de los continentes e intercambian energía y materia con el océano abierto, los sedimentos y la atmósfera (Gattuso *et al.*, 1998). Lo anterior sugiere que el papel que juegan los mares costeros en los ciclos biogeoquímicos es trascendental (*e.g.* Walsh, 1991).

La importancia de los mares costeros en los ciclos biogeoquímicos se refleja en el interés que se ha puesto en ellos. Incluso económicamente se les ha otorgado un valor alto con relación al reciclaje y almacenamiento de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) (Constanza *et al.*, 1997).

Se sabe que además de la luz, la disponibilidad de nutrientes mantiene y controla la productividad primaria marina (*e.g.* Nixon *et al.*, 1986; Falkowski *et al.*, 1998; Mullíneaux, 1999). El comportamiento, distribución y por lo tanto la disponibilidad de los nutrientes en los mares marginales, son el resultado de la interacción de diversos procesos físicos y biológicos que operan en diferentes escalas de tiempo y espacio. Como ejemplo se pueden citar los siguientes: procesos de advección, surgencias, mezcla de la columna de agua, aporte por ríos, fotosíntesis y remineralización (*e.g.* Demers *et al.*, 1986; Fonselius, 1996; Radenac y Rodier, 1996; Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 1997; Chávez *et al.*, 1998; Verity *et al.*, 1998; Williams y Follows, 1998).

El Golfo de California (GC) es un mar marginal altamente productivo. Puede compararse con algunas de las zonas más productivas del planeta, como Bahía de Bengala, las zonas de surgencias en la Costa del Pacífico de Baja California o las del Norte de África. La productividad en el Golfo es dos o tres veces mayor que la del Atlántico y la del Pacífico, a latitudes similares (Zeitzchel, 1969). Los valores de productividad primaria en el GC comúnmente son $>1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($> 80 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y pueden llegar a ser $>4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($>330 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Se piensa que la productividad en este mar marginal se debe en gran medida al aporte continuo de nutrientes (Álvarez-Borrogo y Lara-Lara, 1991).

En la actualidad una de las metas en la oceanografía es determinar y entender a escala global los procesos que controlan la variación de los flujos de carbono asociados con elementos biogénicos en el océano. La determinación de la productividad primaria es requerida para la aplicación en estudios de la trama trófica marina, sino también en cálculos concernientes a los ciclos biogeoquímicos del carbón y oxígeno (Malone y Roederer, 1985).

El cálculo de la productividad orgánica basándose en la concentración de clorofila a y la irradiancia no es nueva y tiene su desarrollo en las ideas de Ryther (1956) y Ryther y Yentsch (1957) quienes relacionaron la fotosíntesis relativa, la concentración de clorofila y el número de asimilación.

La abundancia y distribución de la biomasa fitoplanctónica pueden variar en un amplio intervalo de tiempo y espacio (Steele, 1978; Esaias, 1981). Smith *et al.*, (1988) mencionan que esta variabilidad a escalas mayores de 100 km está controlada por las corrientes oceánicas. A escalas intermedias, entre 10-100 km, los fenómenos físicos de mesoescala, como la surgencias, juegan un papel importante, mientras que a escalas pequeñas menores a 10 km, los fenómenos biológicos, como el crecimiento y el pastoreo, son dominantes.

Estudiar una distribución a macroescala de tiempo y espacio, por métodos clásicos de muestreo desde embarcaciones es difícil de resolver. Las escalas temporales han sido relativamente cortas (segundos a días) y también se encuentra restringidas a las escalas de espacio (metros a decenas de kilómetros). Debido a esto hay poca certeza en cuanto a las características de la variabilidad del fitoplancton a grandes escalas (Smith *et al.*, 1988).

El mapeo sinóptico de los pigmentos del fitoplancton en la capa superior del océano es posible mediante mediciones por sensores remotos como el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) que orbitó a bordo del satélite Nimbus 7, el CZSC proveyó información durante el período de octubre de 1978 a junio de 1986. Esta información permite calcular la concentración de pigmentos fotosintéticos, en la primera profundidad óptica. La zona eufótica tiene 4.6 profundidades ópticas, si se considera el fondo de la zona eufótica como la profundidad donde la irradiancia es 1% de la luz incidente justo por debajo de la superficie del mar.

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) puso en órbita el sensor Sea-viewing Wide Field of View Sensor (SeaWiFS) a bordo del satélite Seastar, en septiembre de 1997. De esto se deduce que hay una gran necesidad de obtener mayor información *in situ* para realizar una calibración y modelación mas adecuada.

Las observaciones por medio de satélite son el único medio para medir concentraciones de fitoplancton a escalas globales, permitiendo revisar grandes áreas del océano. Con estas imágenes se puede observar una distribución irregular en forma de manchas, lengüetas y meandros, generalmente con altas concentraciones cercanas a la costa y decreciendo hacia mar abierto, con máximas concentraciones en zonas de surgencia (Platt y Sathyendranath, 1988; Lewis, 1992).

Además la variabilidad espacial de la clorofila a en sentido horizontal, la distribución vertical en la zona eufótica no es homogénea, por lo tanto la concentración de clorofila a en superficie no puede ser representativa de la columna de agua (Cullen, 1982; Hayward y Venrick, 1982). La variabilidad de los perfiles de clorofila en una zona están influenciados por distintos factores tales como: Físicos (*i.e.* turbulencia causada por el viento en la capa de mezcla, incremento de la velocidad de corrientes horizontales, etc.); químicos (*i.e.* nutrientes, metales como el hierro) y biológicos (*i.e.* estado fisiológico del fitoplancton, pastoreo) (Lorenzen, 1967; Morel y Berthon, 1989; Cullen y Eppley, 1981).

Se han descrito diferentes formas de distribución vertical de la clorofila a en la zona eufótica: una columna homogénea; un máximo superficial decreciendo a medida que aumenta la profundidad, un máximo subsuperficial con valores bajos en superficie y en el

fondo de la zona eufótica; un Máximo Profundo de Clorofila y algunas ocasiones con un doble máximo subsuperficial y profundo, entre otros perfiles (Cullen, 1982; Morel y Berthon, 1989). El perfil de clorofila con un máximo subsuperficial o profundo en la zona eufótica es la forma típica que se ha reportado en la mayoría de los mares (Lorenzen, 1967; Venrick *et al.*, 1973; Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1986; Millán-Núñez *et al.*, 1993; Lara-Lara *et al.*, 1993; Varela *et al.*, 1992; Estrada *et al.*, 1993; Millán-Núñez *et al.*, 1997). Dado la importancia de conocer la distribución de la clorofila en la columna de agua para el cálculo de la productividad primaria integrada, Platt *et al.*, (1988) propusieron una manera analítica de representar el perfil vertical de clorofila mediante la siguiente ecuación:

$$B(z) = B_0 + \frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(Z - Z_m)^2}{\sigma^2}\right]$$

Donde B_0 es una constante y el segundo término del lado derecho de la ecuación es una curva gaussiana que representa el máximo de clorofila. Los tres parámetros gaussianos pueden variar para representar el intervalo de formas del MPC que se encuentre en la naturaleza: h es la biomasa total sobre la línea de base B_0 , Z_m es la profundidad del máximo y σ controla el ancho de la capa MPC. Esta ecuación se aplica si el perfil de la concentración de clorofila tiene un solo máximo.

Platt y Sathyendranath (1993) mencionaron seis pasos a seguir para estimar la producción primaria integrada en la columna de agua, utilizando datos de sensores remotos y modelos de luz-fotosíntesis.

- 1.- Calcular la luz disponible en la superficie del mar, tomando en cuenta la pérdida por las interfaces aire-mar.
- 2.- Estimar la biomasa del fitoplancton en la superficie como concentración de clorofila.
- 3.- Definir el perfil de biomasa desde la superficie a la base de la zona eufótica (~1.0% de la irradiancia en la superficie).
- 4.- Conocer los parámetros del modelo fotosíntesis-luz.
- 5.- Calcular los parámetros de transmisión de luz bajo el agua.
- 6.- Calcular la productividad primaria en la columna de agua mediante el modelo de fotosíntesis-luz.

De los seis pasos anteriores, los sensores remotos, solo proveen información apropiada en los puntos 1, 2 y 5. El punto 4 se sigue estudiando por otros investigadores y sobre el punto 6 existen algunos modelos como el propuesto por Platt *et al.*, (1991).

Para abordar el punto 3, se requiere de la construcción de modelos analíticos de producción primaria, estos modelos necesitan de valores clorofila en cada profundidad, en lugar de la concentración de clorofila integrada. Esta es una razón por lo que se intenta predecir los parámetros que definen al perfil, dado que una de las limitaciones fundamentales de los datos de satélite es que no generan información sobre la estructura vertical de la biomasa del fitoplancton. El uso de los valores obtenidos por satélite para el cálculo de la productividad primaria en la zona eufótica, implica una incertidumbre debido a que los datos de satélite solamente nos da información de la primera profundidad óptica (Kirk, 1983). De ahí la necesidad de conocer los perfiles verticales de clorofila *a* en la zona de estudio.

Platt y Sathyendranath (1988) estimaron la productividad primaria en el Atlántico Norte, por lo cual lo dividieron en regiones, limitadas por la batimetría (plataforma < 200 m, pendiente y profunda > 200 m) y tres zonas latitudinales (ecuatorial, subtropical y transicional) con un total de nueve regiones y obtuvieron los valores promedios de los perfiles para épocas del año. Posteriormente Platt *et al.*, (1991) dividieron el Atlántico Norte en 12 regiones incluyendo una región latitudinal más (Subártico). Estos autores concluyeron que se debe reducir el área en regiones, para poder obtener mejores resultados, tomando como región el área geográfica en que las características fisicoquímicas del agua se mantienen de una manera casi constante o sin cambios bruscos en un período dado. Sathyendranath *et al.*, (1995) dividieron el océano Atlántico en cuatro dominios biogeográficos, con características físicas únicas que dominan la ecología del fitoplancton. Cada dominio se subdividió en varias regiones geográficas, como una componente del sistema global.

Mediante el uso de sensores remotos y modelos analíticos de fotosíntesis-luz, Longhurst *et al.*, (1995) estimaron la producción primaria global de los océanos entre 45-50 GtC año⁻¹, dividiendo el océano en 57 regiones biogeográficas. Uno de los estudios más regionalizados fue el realizado por Millán-Núñez *et al.*, (1997) en la Corriente de California, estudio en el cual el autor dividió la zona en regiones cercanas y alejadas de la costa, como también en forma latitudinal, obteniendo un modelo analítico para esta Corriente. Con esta técnica este

autor logró generar modelos analíticos, para perfiles de clorofila por región y época del año, con una menor incertidumbre, si considerara como un todo la zona.

1.1.- Área de Estudio

El GC (Fig. 1) es un mar marginal que se encuentra entre la península de Baja California y la parte continental de México. Tiene aproximadamente 1400 km de largo y 150 km de ancho promedio, con una superficie aproximada de 210,000 km² (Roden y Groves, 1959). El sistema montañoso de la península de Baja California, con una altitud de 700 a 1000 m sobre el nivel del mar funciona como una barrera de vientos minimizando la influencia marina del océano Pacífico, lo cual ocasiona que el clima dentro del Golfo sea más continental que oceánico (Roden, 1964). El clima es más bien cálido y árido, que es más típico de las regiones desérticas en la porción continental que el de la costa de Baja California (Torres-Orozco, 1993).

Topográficamente está dividido en una serie de cuencas y trincheras profundas las cuales están separadas unas de otras por cordilleras transversales (Shepard, 1950). La región norte es relativamente somera (menos de 200 m) con excepción de la cuenca Delfín. La región sur entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes, es abierta al Océano Pacífico con una profundidad de 3000 m en la entrada (Van Andel, 1964). El GC constituye una gran cuenca de evaporación que gana calor a través de su superficie (Lavín y Organista, 1988; Paden *et al.*, 1991). Ripa y Marinone (1989) mencionan que este flujo de calor tiene una importante modulación estacional. Por lo anterior, las aguas del GC presentan amplios intervalos anuales de temperatura, con altas salinidades (Roden y Groves, 1959; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

Los vientos dentro del GC son variables. Vientos del noroeste prevalecen de noviembre a mayo (condiciones de invierno) y del sureste durante el resto del año (condiciones de verano). Los vientos que prevalecen en las condiciones de verano introducen aire húmedo del sur, ocasionando condiciones climáticas más tropicales (Merrifield y Winant, 1989). En la región del Alto Golfo, entre diciembre y febrero es muy común la ocurrencia de eventos de vientos fuertes provenientes del noroeste con duración de dos a tres días. Estos vientos son particularmente fuertes en el Canal de Ballenas, que se encuentra entre la costa montañosa de

Baja California y la igualmente costa alta de la isla Ángel de la Guarda, siendo en ocasiones tan fuertes que hacen imposible la navegación (Roden, 1964).

El Canal de Ballenas, entre la isla Ángel de la Guarda y la península, está aislado de la región central del Golfo por una cordillera submarina, cuyo umbral cuenta con una profundidad aproximada de 450 m, donde el intercambio entre la parte norte y sur del Golfo es limitado a aguas relativamente someras. Las masas de agua de la región norte, son de origen local, formadas por el enfriamiento y evaporación excesivas en invierno y por el calentamiento y evaporación en verano, mientras que las masas en la parte sur son aproximadamente las mismas del océano adyacente, modificadas por evaporación. Las masas de aguas superficiales en la región sur son de tres tipos: agua fría de baja salinidad, de la Corriente de California, agua del GC templada y muy salina, y agua cálida de salinidad intermedia del Pacífico Tropical Oriental (Roden y Groves, 1959).

1.2.- Características Hidrológicas

Las características hidrológicas del GC varían a lo largo de este. La región norte se caracteriza por tener altas salinidades superficiales y temperaturas que oscilan de 10°C a 32°C de invierno a verano (Sverdrup, 1941). Algunos autores han sugerido que la distribución de salinidad y temperatura están determinados por flujos estacionales de calor y humedad, de presencia de fuertes mezclas por marea y mezcla conectivas (en invierno) (Lavin y Organista, 1988; Paden *et al.*, 1991). Sin embargo, Ripa (1997), Beier (1997) y Beier y Ripa (1998) indican que la termodinámica y la circulación estacional en el Golfo de California y de la parte norte en particular están dominados por el forzamiento del Océano Pacífico y por el régimen de vientos. Carrillo-Briebiezca (1996) muestra que aparecen giros baroclínicos en la topografía dinámica en la región norte, cóncavo en verano y un domo en invierno. La región de las islas, delimitada al sur por un umbral, constituye una de las características topográficas más sobresalientes del Golfo, donde se encuentran las temperaturas superficiales más bajas debido a la intensa mezcla por marea (Roden y Groves, 1959; Argote *et al.*, 1985; Paden *et al.*, 1991).

En la región central, la temperatura superficial muestra una marcada diferencia entre el invierno y el verano, alcanzando valores de 16°C y 31°C, respectivamente (Robles y Marione, 1987). En esta región ocurren mínimos de salinidad en la época superficial, cuyo origen

origen probable es una corriente que fluye a lo largo de la costa este hacia el noroeste (Roden, 1964). Bray (1988), Ripa y Marione (1989) y Ripa (1997) muestran que la circulación geostrófica superficial en una sección de Guaymas y Santa Rosalía se revierte estacionalmente.

Finalmente, la región sur esta en comunicación abierta con el océano Pacífico tropical a través de la boca, tiene una estructura hidrográfica complicada debido a la confluencia de distintas masas de agua. Esencialmente, su estructura termohalina, corresponde a la del Pacífico Tropical Oriental, modifica en la superficie por evaporación (Roden y Groves, 1959; Roden, 1964, 1972; Wyrki, 1966; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Bray y Robles, 1991).

La circulación superficial en el GC es predominante estacional. En promedio, el agua entra durante la época cálida y sale durante la época fría; esto fue observado por primera vez en deriva de barco (Roden, 1958), cálculos geostróficos a partir de datos históricos (Rosas-Cota, 1976; Bray, 1988; Marione y Ripa, 1988) y diferencias de nivel del mar entre una costa y otra del Golfo (Roden y Groves, 1959; Ripa, 1990, 1997; Beier, 1997). Una descripción más detallada de la estructura superficial de la circulación estacional horizontal y de su variación en el tiempo fue realizada por Beier (1997), la cual muestra que la circulación superficial es ciclónica en el período cálido y anticiclónica durante el período frío. En términos generales, el GC presenta una señal estacional fuerte en la circulación y temperatura superficial. En cambio, en la salinidad se ha encontrado que no tiene un patrón estacional muy definido; aparentemente esta más influenciada por una señal semianual (Roden, 1958; Roden y Groves, 1959; Ripa y Marione, 1989).

1.3.- Divisiones del Golfo

Basados en muestreos discretos de fitoplancton, el GC ha sido dividido en cuatro regiones geográficas tomando en cuenta solo la distribución espacial, la composición taxonómica y la abundancia del micro fitoplancton. Sin embargo, con la disponibilidad de imágenes satelitales de color del océano se ha podido incluir la variabilidad en el tiempo, con lo se han generado series de tiempo que muestran una clara variación estacional, con máximos valores de clorofila a en invierno y primavera y mínimos valores en verano (Santamaría-del-Ángel *et*

al., 1994), de tal manera se ha propuesto dividir el Golfo hasta en 14 regiones y en donde se han encontrado valores de clorofila a de 5 y 29 mg cl a m⁻³ en la región norte hasta valores de 0.5 y 0.65 mg cl a m⁻³ en la región sur del Golfo.

2.- PROBLEMÁTICA

Es evidente que, para estimar la concentración de pigmentos promedio en la zona eufótica a partir de imágenes de color, se debe tener en cuenta que la zona norte del área presenta máximos superficiales durante el período frío, esto ha sido observado por algunos autores para aguas al interior del GC, como Millán-Núñez *et al.*, (1993) y Cervantes-Duarte *et al.*, (1993). En la denominada zona sur (anterior a la zona de las islas), muy a menudo se presentan máximo subsuperficiales. No tomar en consideración podría traer como resultado la subestimación o sobreestimación de la concentración de clorofila en la zona productiva.

A nivel mundial diversos autores han tratado de obtener perfiles verticales de pigmentos representativos de diferentes áreas geográficas, con el propósito de tener un perfil típico de clorofila que pueda emplearse para estimar la productividad primaria a nivel global (Platt *et al.*, 1988; Balch *et al.*, 1989; Morel y Berthon, 1989, Millán-Núñez *et al.*, 1997).

Si consideramos que en el GC es un mar marginal, en donde se presentan una gran cantidad de condiciones bióticas y abióticas, sería impropio tratar a este, como una sola área al momento de proponer modelos globales que relacionan parámetros biológicos, en nuestro caso particular los perfiles de clorofila a, por lo cual se debe considerar una regionalización a menor escala y observar las variaciones espaciales y temporales que presente esta variable al interior del Golfo.

2.1.- Hipótesis

Si el GC es un mar marginal que presenta una alta variabilidad espacial y una marcada estacionalidad, entonces se pueden diferenciar diversos tipos de perfiles verticales de clorofila a dependiendo de la zona y época del año en que se encuentren.

2.2.- Objetivo

Caracterizar los parámetros que determinan, el perfil vertical de la clorofila a y la variabilidad del Máximo Profundo de Clorofila al interior del GC. El fin es que se pueda inferir el perfil vertical de clorofila a en una cierta área y época mediante la concentración de clorofila superficial y este perfil pueda complementar a la estimación superficial obtenida mediante sensores remotos, para la productividad primaria a gran escala.

2.3.- Objetivos Específicos

- Estimar la relación entre el Máximo Profundo de Clorofila (Chl_{MPC}) y la concentración de Clorofila Superficial (Chl_s) en el GC.
- Caracterizar los parámetros que determinan el perfil clorofila a en el GC.
- Construir un modelo o modelos, que nos permitan inferir la distribución vertical de la concentración de clorofila a, a partir de datos satelitales de color del océano, para el GC.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se generó una base de datos obtenida de diversos cruceros realizados al interior de las aguas del GC (Fig. 1 y tabla I), con la intención de tener una amplia cobertura espacial y temporal de perfiles verticales de clorofila a . Obteniéndose un total de 510 perfiles de clorofila a hasta los 150 m de profundidad. Se tomó esta profundidad, dado que el fondo de la zona eufótica raramente pasa esta profundidad. Todos los perfiles que presentaron más de un máximo subsuperficial de clorofila a fueron eliminados, además aquellos que tenían menos de cuatro profundidades muestreadas.

De cada uno de los perfiles se obtuvo el valor de la concentración y la profundidad del máximo profundo de clorofila. Además a cada uno de los perfiles se le ajustó la ecuación del Modelo Gaussiano. Este ajuste se lleva a cabo mediante los algoritmos propuestos en Platt *et al.*, (1988). Posteriormente se graficaron los perfiles reales con los ajustados para verificar si el ajuste era aceptable y que representara en forma similar al real.

El GC fue dividido siguiendo el esquema propuesto por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994) (Fig. 2) como parte del análisis espacial. En tanto, para definir el carácter temporal del estudio, es decir, entre época Fría y Cálida, se utilizó la información reportada por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994), que obtuvo valores de Temperatura Superficial del Mar al interior del Golfo, desde imágenes de NOAA-AVHRR. De esto se define como época Fría, desde noviembre a mayo y época Cálida de junio a octubre.

Los perfiles verticales de clorofila distribuidos por mes y época para cada una de las regiones se muestran en la tabla II. Se construyó una base de datos de cada uno de los perfiles con los parámetros obtenidos, concentración y profundidad del Máximo Profundo de Clorofila (Chl_{MPC} y Z_m respectivamente) y las variables superficiales tales como Concentración Superficial de Clorofila (Chl_s), posición en latitud y longitud, mes y año (Tabla III).

Los perfiles de clorofila se agruparon en categorías, dependiendo de la concentración superficial de clorofila. Para esto se utilizó la escala propuesta por Millán-Núñez *et al.*, (1997) la cual fue modificada para fines prácticos en el presente estudio. Los intervalos de concentración para cada categoría se muestran en la Tabla IV.

Con el objetivo de probar los modelos para la estimación de los parámetros de los perfiles de clorofila, se utilizaron los datos de los cruceros oceanográficos realizados en el B/O Francisco de Ulloa (CICESE) en los períodos de septiembre y marzo de 1996 y 1997 respectivamente, datos corresponde a mediciones de HPLC, el derrotoreo del crucero y las correspondientes mediciones se reportan en Macias-Carranza (1999).

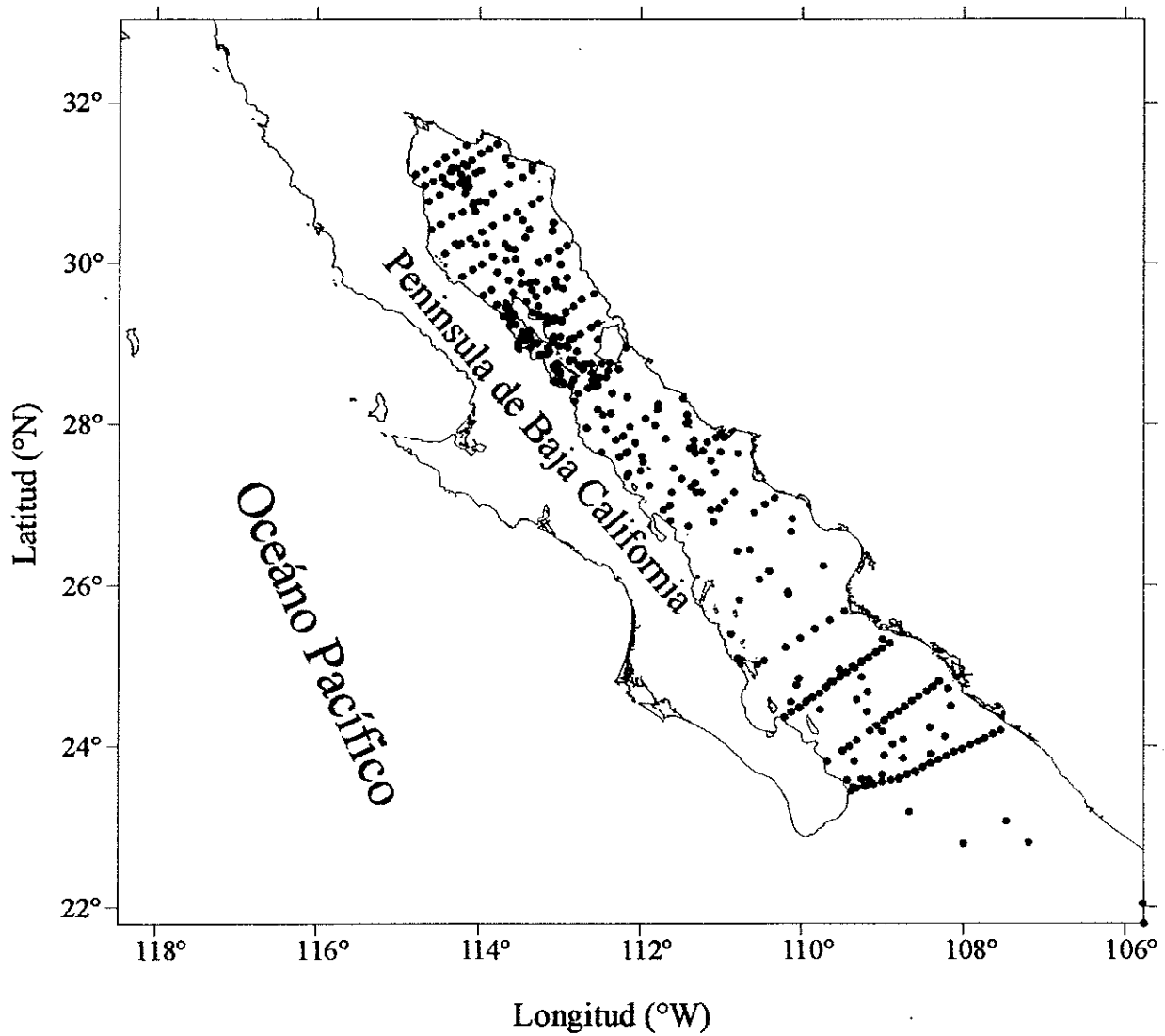


Figura 1. Posición de estaciones oceanográficas de diversos cruceros realizados al interior del Golfo de California entre 1973 y 1999.

Tabla I. Base de datos utilizado para el presente estudio

Año	Mes	Nº Est	Tipo de Análisis
1973	3	95	Espectrofotometría
1981	10	10	Espectrofotometría
1981	12	5	Espectrofotometría
1982	6	11	Espectrofotometría
1983	3	4	Espectrofotometría
1985	4	5	Espectrofotometría
1985	11	13	Espectrofotometría
1987	10	73	Espectrofotometría
1990	2	57	Espectrofotometría
1990	7	52	Espectrofotometría
1993	4	7	Espectrofotometría
1994	9	5	Espectrofotometría
1995	8	45	Espectrofotometría
1997	11	24	Espectrofotometría
1998	5	50	Espectrofotometría
1998	8	27	Espectrofotometría
1999	2	22	Espectrofotometría
1999	9	14	Fluorimetría

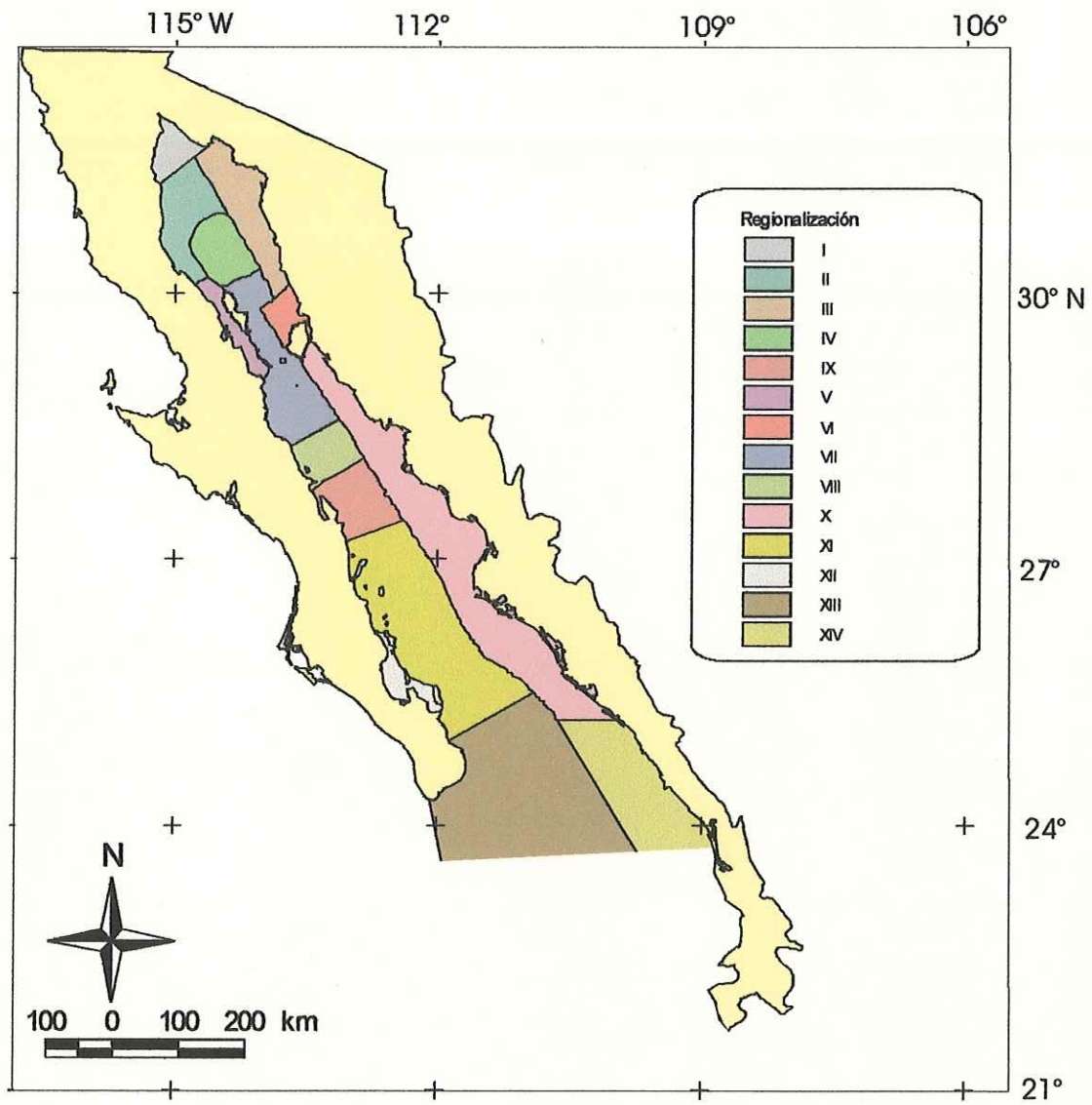


Figura 2. Regiones biogeográficas al interior del Golfo de California. Esquema según Santamaría del Angel *et al.*, (1994).

Tabla II. Número de Perfiles de Clorofila usados para cada año mes y épocas para cada región.

Región	Período		Total
	Frío	Cálido	
I	2	2	4
II	29	4	33
III	13	-	13
IV	19	7	26
V	38	-	38
VI	23	-	23
VII	24	16	40
VIII	14	9	23
IX	4	7	11
X	22	9	31
XI	9	11	20
XII	6	-	6
XIII	7	8	15
XIV	-	3	3
Total	210	76	286

Tabla III. Base de datos para cada perfil de clorofila.

Perfil	Crucero	Est.	Prof	Long	Lat	Mes	Año	n	Chl _s	Chl _{MP}	h	sigma	Z _m	B ₀
1	Agazzi	20	1	-114.53	31.23	2	73	6	8.48	9.55	443.8	18.52	9.03	6.6
2	Agazzi	21	1	-114.13	31.25	2	73	6	8.47	9.21	442	17.2	5.2	5.6
3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.
.
.
.
285	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabla IV. Intervalos de Concentración de Clorofila para cada una de las Categorías.

Categorías	Concentración (mg m^{-3})
1	$< 0.1 \text{ mg m}^{-3}$
2	$>0.1 - 0.5 \text{ mg m}^{-3}$
3	$0.5 - 1.0 \text{ mg m}^{-3}$
4	$1.0 - 2.0 \text{ mg m}^{-3}$
5	$2.0 - 3.0 \text{ mg m}^{-3}$
6	$3.0 - 5.0 \text{ mg m}^{-3}$
7	$> 5.0 \text{ mg m}^{-3}$

3.1.- Distribución Horizontal de la ChI_S , Z_m y ChI_{MPC}

Se realizó un análisis espacial y se ajustó un modelo de interpolación (Kriging) a los datos con intención de observar si estos presentan una variabilidad a gran escala y si esta variabilidad se ajusta al esquema de regionalización propuesto por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994). El variograma es una de las herramientas más útiles para describir las propiedades estructurales de una variable, midiendo el nivel de disimilitud entre puntos como una función de la distancia entre ellos, siendo la unidad del variograma equivalente a la varianza (Petitgas, 1996).

El análisis estructural puede ser explicado de la siguiente manera: Los valores numéricos representando por los parámetros analizados (ChI_S , Z_m y ChI_{MPC}), $Z(x)$ y $Z(x+h)$ en dos puntos (x y $x+h$) separados por un vector h . donde la variabilidad entre estas dos posiciones es caracterizada por la función del variograma $2\gamma(x, h)$, la cual es definida (Journel y Huilbregts, 1978) como la esperanza de la variable al azar, $(Z(x) - Z(x+h))^2$

$$2\gamma(x, h) = E((Z(x) - z(x+h))^2)$$

En el presente análisis se supone estacionalidad de segundo orden, lo cual implica que la media de la variable estudiada es constante, la varianza es finita y constante, y que la covarianza depende sólo del intervalo muestral (González-Gurriarán *et al.*, 1993). La estacionalidad de la covarianza implica la estacionalidad del variograma.

Si, $Z(x) - Z(x+h)$, es una función de variograma que depende sólo del vector de separación (módulo y separación) y no de la localización, x . Entonces, es posible estimar el variograma $2\gamma(x, h)$ desde los datos muestrales: un estimador $2\gamma^*(x, h)$ es la media aritmética de la diferencia al cuadrado entre dos medidas experimentales $Z(x_i) - Z(x_i+h)$ para dos puntos cualquiera separados por el vector h .

$$2\gamma^*(x, h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i+h))^2$$

3.2.- Ajuste de un Modelo de Variograma

Para caracterizar la estructura espacial de la variable estudiada, la construcción de un modelo es esencial, ya que la modelación provee una interpretación de la realidad, describiendo las propiedades físicas de la distribución espacial. Los datos muestreados, sólo nos brindan una indicación fragmentada de la realidad. Los modelos de variograma básicos pueden ser divididos en dos tipos: Los que llegan a estabilizarse y los que no. Los modelos del primer tipo son denominados modelos de transición. El punto en que llegan a estabilizarse es el denominado umbral (sill) y la distancia a la cual se alcanza este, es el rango. Los modelos de variograma del segundo tipo no llegan a estabilizarse, incrementándose continuamente a medida que se incrementa la distancia (h).

Muchos variogramas muestrales poseen discontinuidades en el origen. Esto es que el valor del variograma a distancia 0 es un valor significativamente distinto de cero. Este efecto surge de la variabilidad entre replicas, presencia de estructuras espaciales a pequeña escalas indetectados debido al tamaño muestral (soporte), o la grilla de muestreo y errores en el muestreo. Los modelos de variogramas generalmente adicionan este valor como una constante. Los parámetros geoestadísticos fueron obtenidos por medio de ajustes no lineales de las semivarianzas experimentales. Este proceso permitió, además, estimar el tipo de modelo que mejor explica la distribución espacial de los parámetros en el mar.

3.3.- Estimador Kriging

El Kriging es el mejor estimador lineal insesgado, siendo un exacto interpolador. Es una herramienta lineal debido a que sus estimados son combinaciones lineales del peso o ponderación de los datos disponibles. Este es insesgado debido a que su residuo medio o error es igual a 0, siendo muy conveniente debido a que minimiza σ^2_r (la varianza del error) (Isaaks y Srivastava, 1989).

El objetivo del Kriging es primero ambicioso y en un sentido práctico inalcanzable, debido a que el error medio y la varianza del error no son conocidos, en otros términos, nunca se tendrá certeza del verdadero valor. De esta forma es casi inalcanzable conocer el error medio y por esto no es posible garantizar que sea exactamente 0. Entonces al no conocer la varianza del error, no es posible minimizarla. La solución conceptual consiste en construir un modelo

con los datos de nuestro estudio y trabajar con el error promedio y la varianza del error para el modelo. El Kriging usa una solución, que consiste en construir un modelo que asegure que el error promedio sea exactamente 0 y que la varianza del error sea mínima.

En la construcción de los mapas de la distribución de las variables analizadas, el rango del modelo geoestadístico fue considerado como una aproximación al radio de búsqueda óptimo de los puntos vecinos. En general el uso de más puntos tendió a suavizar los contornos de los mapas construidos. Se determinó que el número de puntos óptimos considerados por el Kriging, era de 11. Por lo tanto, el número de puntos óptimos permitió suavizar los valores extremos tanto altos como bajos (Simard *et al.*, 1992). La diferencia en los mapas fue dada principalmente por un efecto de suavizado dado por el número de puntos utilizados en la construcción del Kriging.

Los análisis fueron realizados con los programas de Sistemas de Información Geográficos: ARCVIEW versión 3.2, para plataforma PC y ARC/INFO versión 7.2, para plataforma UNIX, ambas son marcas registradas de ESRI, de estos programas se usaron para desplegar y analizar la información. Esto se realizó con la intención de obtener una visión más clara a través de mapas conceptuales de la distribución de los diferentes parámetros al interior del GC.

4.- RESULTADOS

De todos los perfiles utilizados, el 55% se ajustaron satisfactoriamente al modelo Gaussiano, siendo en total 286, de estos, 210 perfiles correspondieron al período frío y 76 al cálido. Se debe señalar que, en este estudio no fue posible cubrir con información todas las regiones en ambos períodos. El análisis gráfico de los valores de Clorofila Superficial (Chl_S), Profundidad del Máximo Profundo de Clorofila (Z_m) y Concentración de Clorofila al Máximo Profundo (Chl_{MPC}) se entrega a continuación.

Las concentraciones promedio de Chl_S para el período frío fueron mayores para las regiones ubicadas en el sector norte del Golfo, estas presentaron valores promedios mayores a 4.55 mg m^{-3} y a medida que existía un desplazamiento hacia el sur, esta concentración fue decayendo a valores de 0.93 mg m^{-3} (Fig. 3). Excepto para la región XII presentó un valor promedio de 3.55 mg m^{-3} . Por su parte, las concentraciones promedio de Chl_S en el período cálido, se puede indicar que los valores superiores a 1 mg m^{-3} correspondieron a las regiones que se ubican en la costa de Baja California, en tanto que las de concentraciones menores se corresponden principalmente a las regiones ubicadas en el sector sur del Golfo abarcando las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa (Fig. 3).

El Z_m promedio en el período frío presentó un incremento de norte a sur, presentándose los máximos valores en la boca del Golfo. En tanto para el período cálido el Z_m promedio presentó igual tendencia que en el frío, incrementándose de norte a sur, presentándose los máximos valores en las regiones de la boca del Golfo (Fig. 3). Se debe destacar que en ambos períodos en las inmediaciones de Bahía La Paz se presentaron bajos valores de este parámetro.

Los valores promedios de Chl_{MPC} en el período frío fueron mayores en las regiones ubicadas en el norte del Golfo con valores que variaron entre 9.55 a 3.93 mg m^{-3} , comparadas las ubicadas en la boca del Golfo con valores de 6.48 a 0.69 mg m^{-3} . Los valores promedios de Chl_{MPC} en el período cálido en el sector norte del Golfo no fue posible de observar alguna tendencia, en cambio a partir de la región VIII, se observa un incremento lineal de esta variable hasta la región XIII (Fig. 3).

La razón Chl_{MPC}/Chl_s , representa cuantas veces es mayor la concentración de clorofila en el MPC con respecto a la concentración de clorofila superficial. Para el período frío, esta razón es diferente entre regiones y esta aumenta de norte a sur (desde la cabeza hacia la boca del Golfo), este índice vario entre 1.09 (región IX) y 4.06 (región XIII). En general, se observó que Chl_{MPC} tiene la misma tendencia de variación de la clorofila superficial para cada región en esta época. La razón Chl_{MPC}/Chl_s , se incrementa desde el alto Golfo hacia la boca. Esta razón presentó una tendencia a decrecer con el aumento de la clorofila superficial en cada una de las regiones (Fig. 3). La razón Chl_{MPC}/Chl_s , en el período cálido es diferente entre regiones, se observó en términos generales que los valores más altos siempre correspondieron a las regiones ubicadas en la costa de Baja California principalmente, excepto el valor de la región XIV que correspondió a las costas de Sinaloa (Fig. 3).

4.1.- Modelos de Regresión

4.1.1.- Período Frío

Se realizó un análisis de regresión lineal para estimar la Chl_{MPC} y la Z_m utilizando como variable independiente la concentración de Chl_s , se tomaron los promedios de cada categoría en cada región. Los datos de Z_m se transformaron a logaritmo natural, se tomaron las regresiones con el mayor coeficiente de correlación. La distribución de la Chl_{MPC} por categorías en todas las regiones tendió aumentar, en tanto en forma general Z_m se presentó una tendencia a disminuir con el aumento de la categoría, presentándose una relación inversa entre ambos parámetros en todas las regiones (Figs. 4 y 5).

En este frío, en todas las regresiones para estimar el Chl_{MPC} se obtuvo una $r > 0.90$, excepto en la región III donde se obtuvo una regresión negativa, $r = -0.74$ (tabla V). Para la estimación de Z_m se obtuvieron en general, $r > -0.90$, excepto para las regiones XII y XIII, con $r = -0.72$; y -0.38 respectivamente. Se debe destacar que aunque algunas regresiones presentaron una buena correlación, estas no necesariamente son con significancia estadística, por lo cual en la tabla V, se presentan con asterisco las que no fueron significantes estadísticamente.

Tabla V. Ecuaciones de regresión para estimar el promedio por categoría de Chl_{MPC} y Z_m a partir del promedio de la Chl_s por categoría, para cada región en el período frío. *=
no hay significancia estadística al 95%.

		Período Frío	
Reg.	n		r
I	-	Sin datos suficientes	-
II	4	$Chl_{MPC} = 1.5129 + 3.7618 \ln (Chl_s)$ $\ln (Z_m) = 3.5636 - 0.2270 (Chl_s)$	0.99 -0.99
III	3	$Chl_{MPC} = 14.200 - 5.504 \ln (Chl_s)$ $Z_m = 32.397 - 3.999 (Chl_s)$	-0.74* -0.95*
IV	4	$Chl_{MPC} = 1.0752 + 0.96152 (Chl_s)$ $\ln (Z_m) = 3.0520 - 0.1758 (Chl_s)$	0.98 -0.99
V	4	$Chl_{MPC} = 3.3570 + 1.9637 \ln (Chl_s)$ $\ln (Z_m) = 2.8765 - 0.1665 (Chl_s)$	0.92 -0.90
VI	4	$Chl_{MPC} = 3.6651 + 0.65379 (Chl_s)$ $Z_m = 28.044 - 3.033 (Chl_s)$	0.82* -0.99
VII	5	$\ln (Chl_{MPC}) = -.0499 + 0.43716 (Chl_s)$ $\ln (Z_m) = 2.5242 - 0.3920 \ln (Chl_s)$	0.96 -0.94
VIII	4	$Chl_{MPC} = 2.0523 + 0.57548 \ln (Chl_s)$ $Z_m = 37.063 - 23.93 (Chl_s)$	0.98 -0.92
IX	-	Sin datos suficientes	-
X	4	$Chl_{MPC} = 1.0449 + 1.4693 (Chl_s)$ $\ln (Z_m) = 3.3813 - 0.2288 (Chl_s)$	0.93 -0.99
XI	3	Sin datos suficientes	-
XII	3	$Chl_{MPC} = -3.707 + 3.5120 (Chl_s)$ $Z_m = 18.675 - 6.548 \ln (Chl_s)$	0.96* -0.73*
XIII	4	$\ln (Chl_{MPC}) = 0.89471 + 1.5205 (Chl_s)$ $Z_m = 45.309 - 4.645 (Chl_s)$	0.91 -0.38*
XIV	-	Sin datos suficientes	-

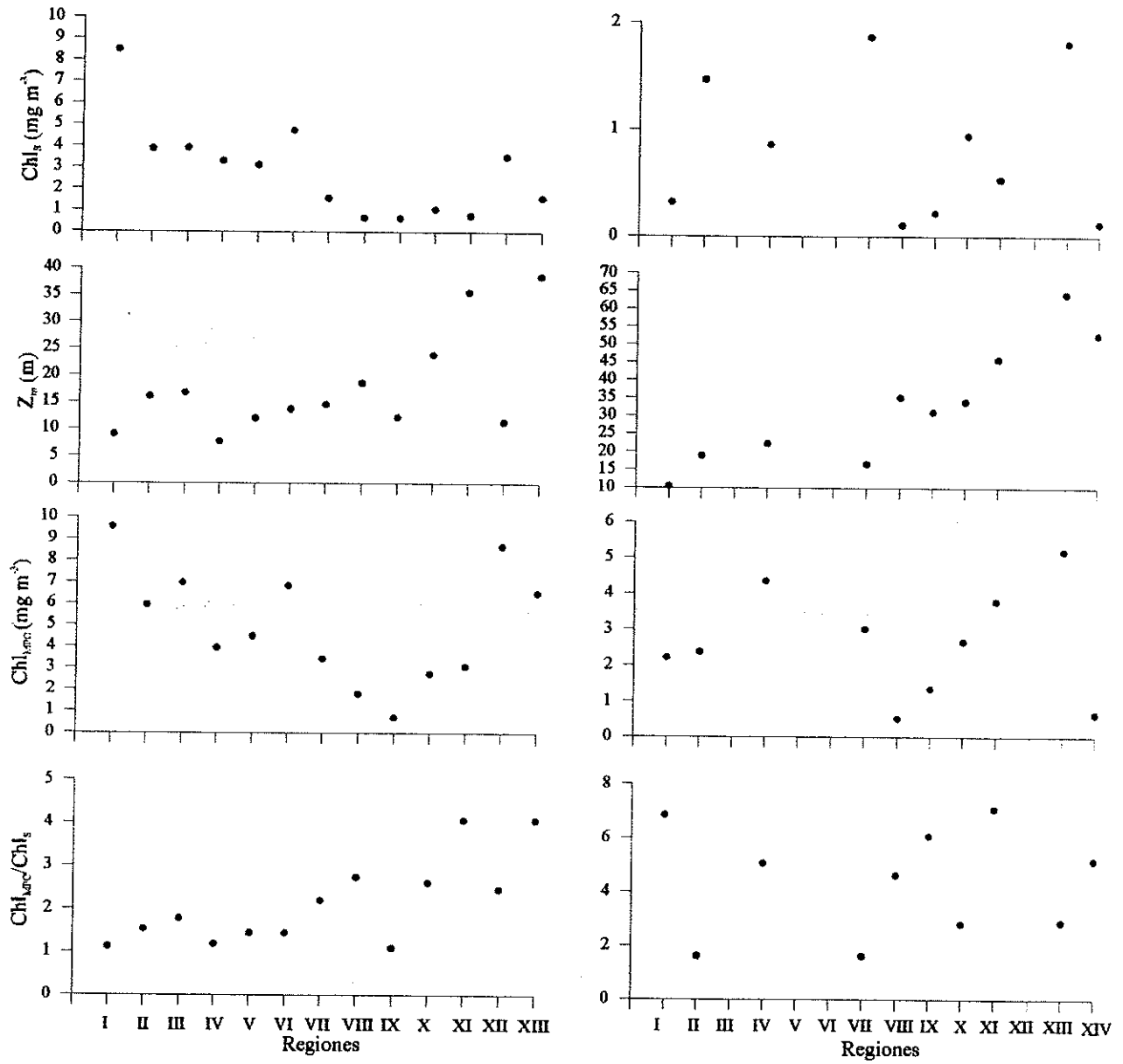


Figura 3. Variación de Chl_s , Chl_{MPC} y la razón de Chl_{MPC}/Chl_s para cada una de las regiones en el periodo frío.

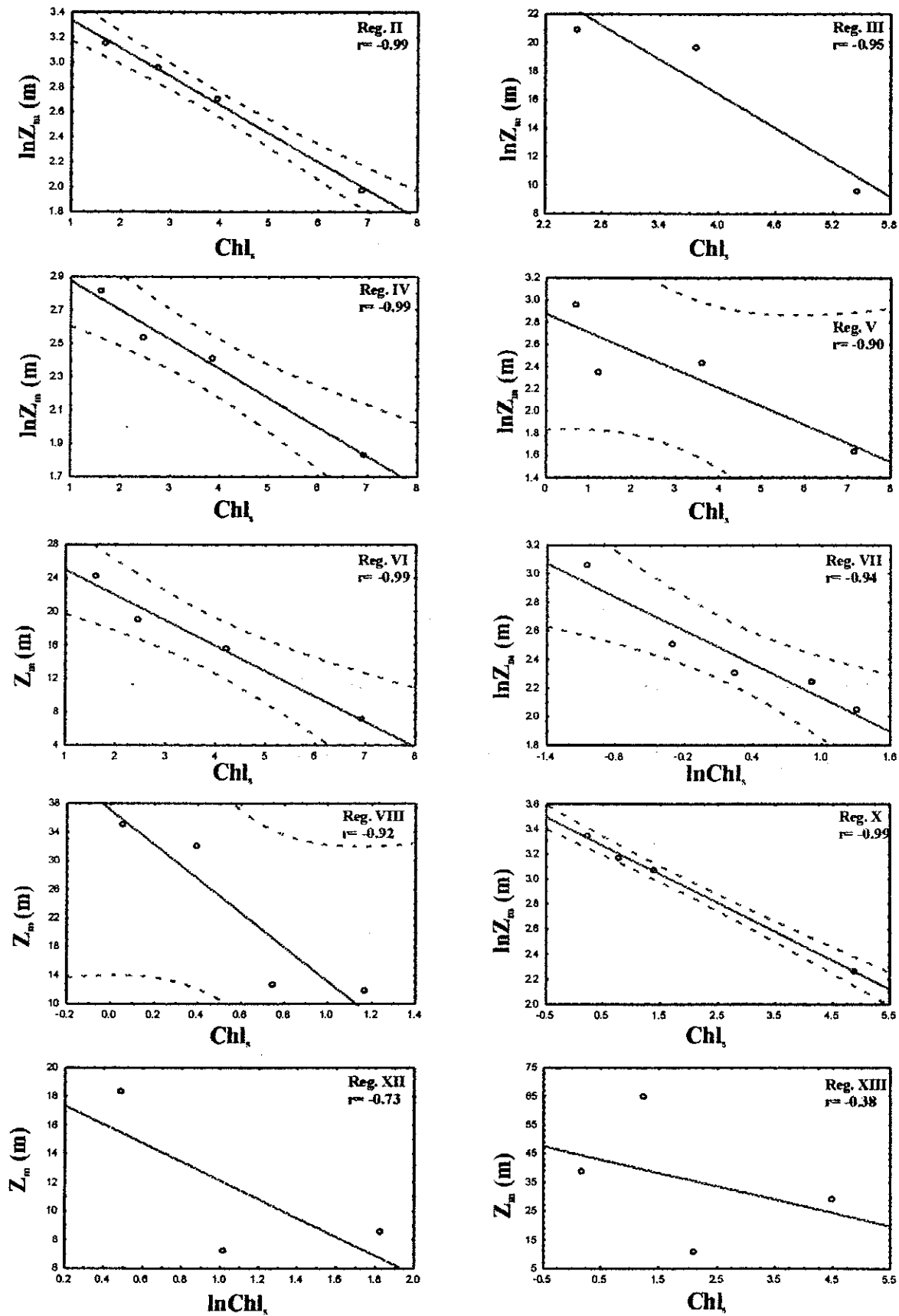


Figura 4. Regresión entre la Z_m contra la Chl_s , para cada región en el periodo frío.

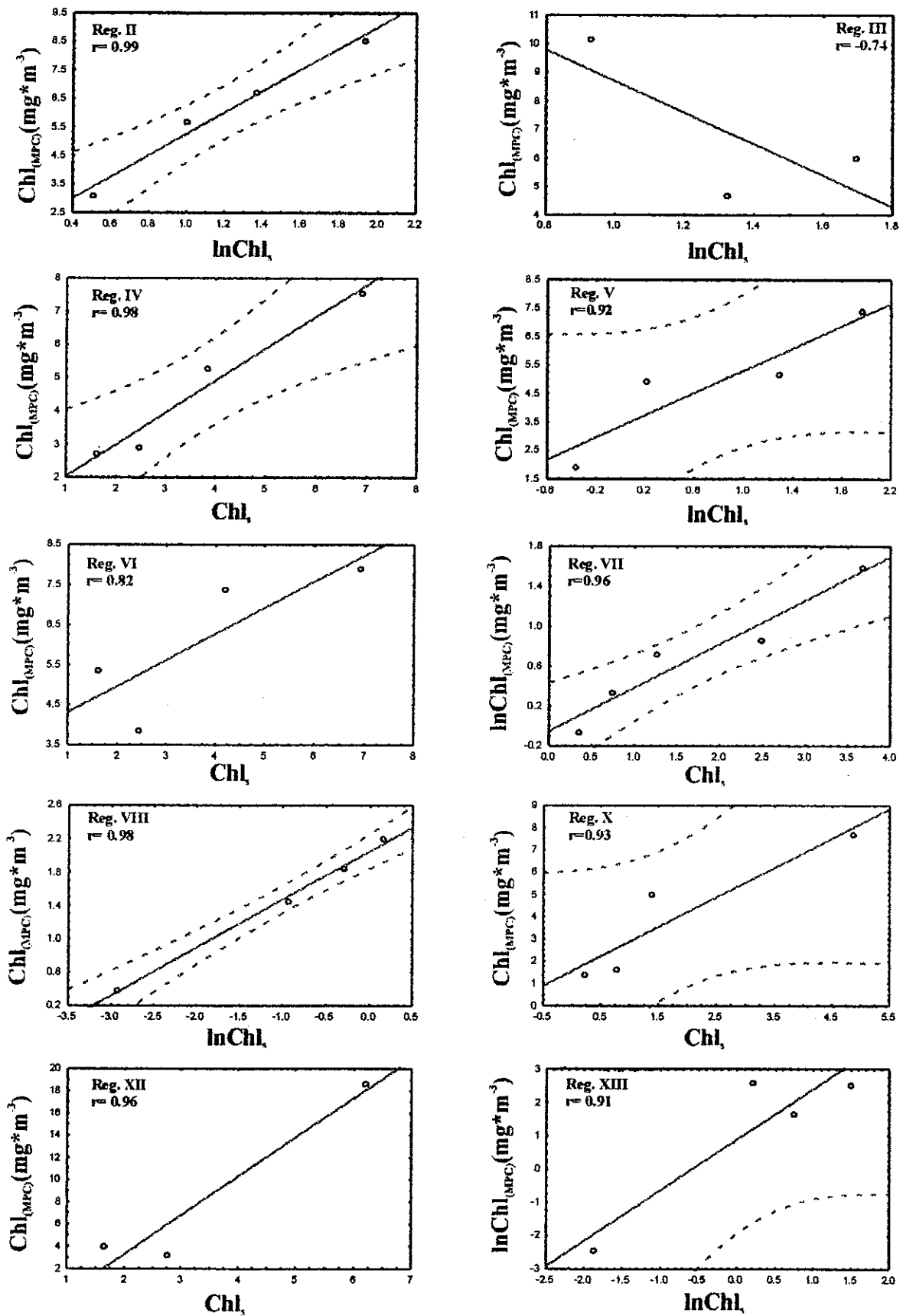


Figura 5. Regresión entre la Chl_{MPC} contra la Chl_s , para cada región en el periodo frío.

4.1.2.- Período Cálido

La distribución de la Chl_{MPC} tendió aumentar con la categoría en las regiones IV y XI, en cambio para la región VII se observó una disminución de este parámetro. A su vez en las tres regiones analizadas fue posible de observar un aumento del Z_m con el incremento de las categorías (Fig. 6).

Para el período cálido, el análisis de regresión lineal para estimar la Chl_{MPC} y la Z_m , indicó que todas las regresiones para estimar el Chl_{MPC} se obtuvo una $r > 0.90$, excepto en la región VII donde se obtuvo una regresión negativa, $r = -0.83$ (Tabla VI). Para la estimación de Z_m se obtuvieron en general, $r > -0.80$.

Tabla VI. Ecuaciones de regresión para estimar el promedio por categoría de Chl_{MPC} y Z_m a partir del promedio de la Chl_s por categoría, para cada región en la época cálida. .
* = no hay significancia estadística al 95%.

		Período Cálido	
Reg.	N		r
IV	4	$Chl_{MPC} = 1.8496 + 3.3447 (Chl_s)$	0.91*
		$\ln (Z_m) = 3.4642 - 0.7081 (Chl_s)$	-0.83*
VII	5	$Chl_{MPC} = 3.1777 - 1.448 \ln (Chl_s)$	-0.83
		$Z_m = 16.267 - 8.097 \ln (Chl_s)$	-0.93
XI	4	$Chl_{MPC} = 3.4480 + 0.90253 \ln (Chl_s)$	0.99*
		$\ln (Z_m) = 4.1007 - 0.4291 (Chl_s)$	-0.93*

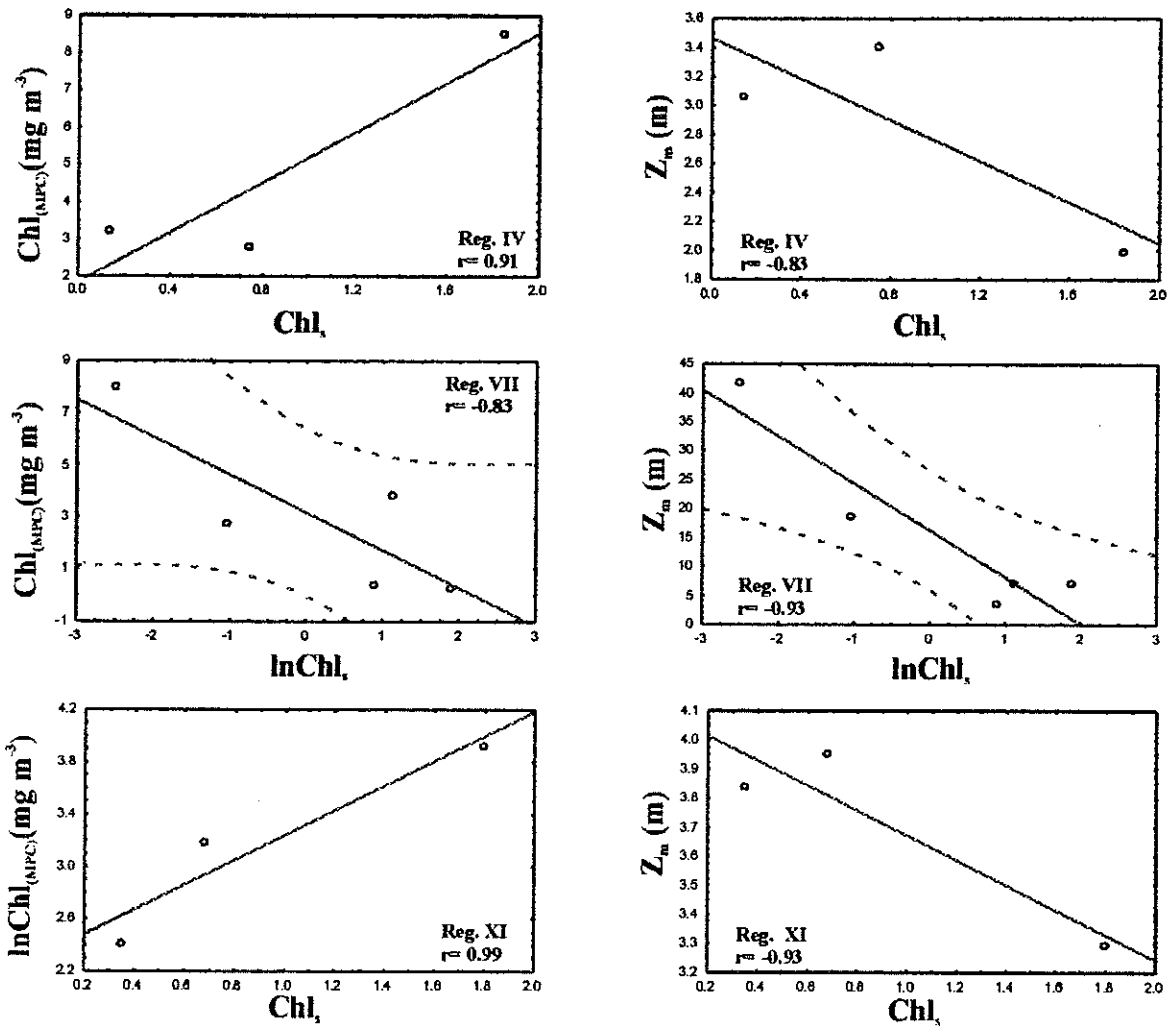


Figura 6. Rregresión entre Chl_{MPC} y el Z_m contra la Chl_s respectivamente, para cada región en el periodo cálido.

4.2.- Distribución de Horizontal de la ChI_s , Z_m y ChI_{MPC} al Interior del GC

Se realizó un análisis variográfico y estructuración espacial de los valores de ChI_s , Z_m y ChI_{MPC} , para esto se consideró toda la base de datos ajustada al modelo de Platt, para el período frío y cálido.

Los variogramas de los parámetros analizados, mostraron no ser muy errático (disperso), para los parámetros en el período frío, en donde se puede observar que los tres parámetros analizados se ajustaron al modelo exponencial al ser interpolados, lo que nos indica que la interpolación se ajusta a los datos reales. A su vez para el período cálido, el único parámetro capaz de ajustarse a un modelo de interpolación fue el Z_m , presentando un patrón de ajuste de tipo lineal (Fig. 7). Esto nos ayudo posteriormente a la elección del mejor tipo de modelo utilizado, para la construcción de las distribuciones espaciales de los parámetros al interior del GC.

Hay que hacer notar que este procedimiento de ajuste no lineal además de buscar el modelo al que mejor se ajustaban las semivarianzas, permitió obtener los parámetros geoestadísticos (nugget, sill y rango) con mayor precisión que la estimación gráfica tradicional.

Los modelos explorados y probados, mostraron patrones de ajuste similar, lo cual brinda indicios de una buena aproximación en la elección de una solución óptima. El modelo escogido para modelar fue un variograma de tipo exponencial y lineal. El variograma fue modelado con un efecto nugget, que represento variabilidad a pequeña escala producto de algún fenómeno indetectado, imposible de modelar. El sill del variograma cuantifica el máximo nivel de variabilidad entre puntos, la variabilidad debido a la estructura espacial fue siempre mayor que la variabilidad a pequeña escala no resuelta (nugget) (Tabla VII). Este modelo exponencial más un efecto nugget (para modelar la semivarianza a corta escala) fue usado para la construcción de Kriging puntual y a través de este, la construcción de los mapas de las variables analizadas. Se debe aclarar que aunque los modelos ajustados para ChI_s y ChI_{MPC} , en el período cálido no se ajustaron a ningún tipo de modelo, el modelo que se presenta fue el de mejor ajuste.

Frío

Cálido

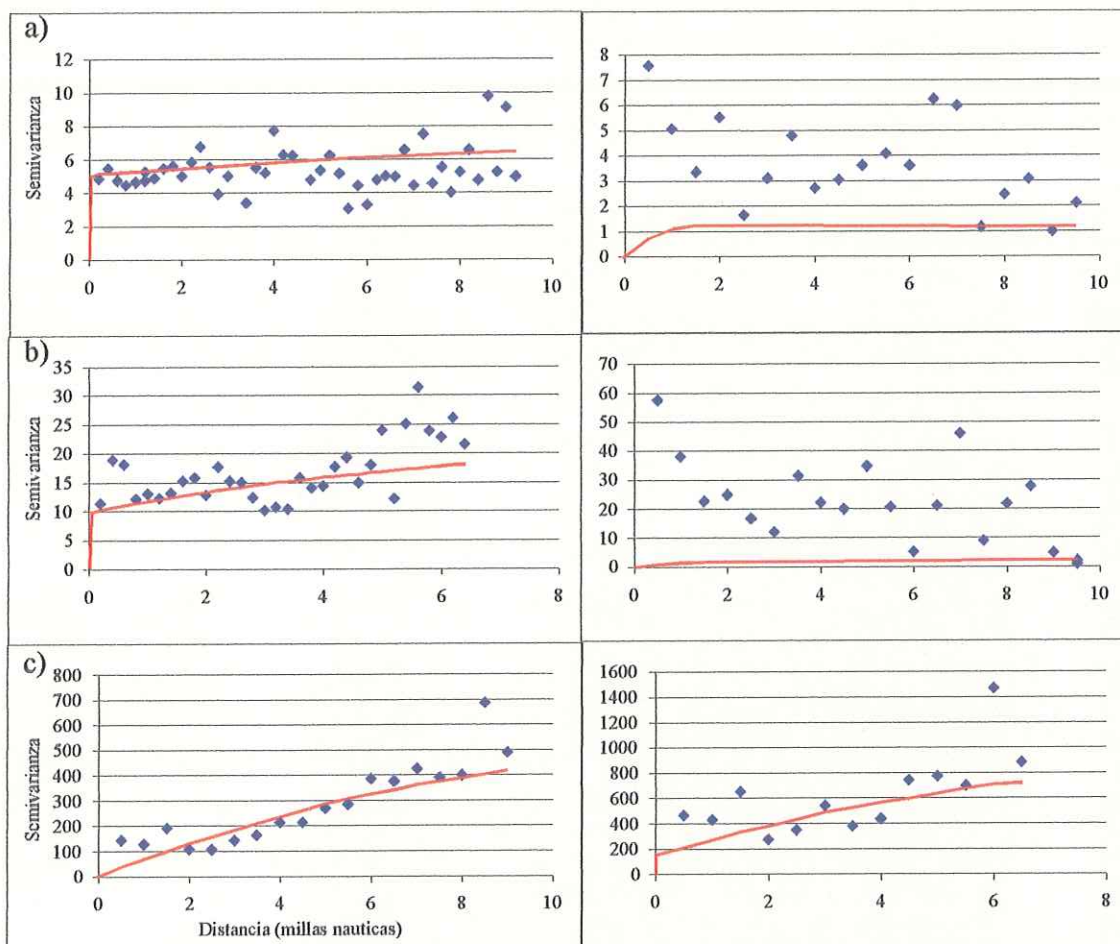


Figura 7. Semivarianzas calculadas y ajustadas, para la Chl_s (a) Chl_{MPC} (b) y Z_m (c), para el periodo frío y cálido.

Tabla VII. Parámetros y Modelos obtenidos del ajuste de los variogramas de las variables utilizadas.

Período	Variable	Tipo de Modelo	Nugett	Sill	c	Rango
Frío	Ch _{l_s}	Exponencial	5.005	6.388	2.189	9.200
Frío	Ch _{l_{MPC}}	Exponencial	9.865	17.954	12.797	6.4000
Frío	Z _m	Lineal	37.695	394.334	564.194	9.200
Cálido	Ch _{l_s}	Exponencial	0.000	1.266	1.333	0.500
Cálido	Ch _{l_{MPC}}	Exponencial	148.897	729.173	917.984	6.500
Cálido	Z _m	Exponencial	0.000	2.019	2.125	0.500

En términos generales Las concentraciones de Ch_{l_s} en el período Frío, fueron mayores en la zona norte del Golfo, es así como se observa que estos valores fueron más bajos en la costa de Sonora y se incrementaron hacia la costa de Baja California, a su vez en el centro del área norte se observa un núcleo de menores concentraciones (Fig. 8). En tanto, en el sector sur (boca del Golfo) los valores fueron menores observándose los máximos en las cercanías de Bahía La Paz los cuales decayeron paulatinamente hacia la boca del Golfo. Las concentraciones de Ch_{l_s} en el período cálido, presentaron dos focos de abundancia uno en la costa de Sinaloa y un segundo en la costa de Sonora, en la región de las grandes islas, en el resto del área se observa un decaimiento de este parámetro hacia la costa de Baja California Norte y Sur (Fig. 9).

Se debe dejar constancia que este patrón de distribución de la Ch_{l_s} en el período cálido es solo una aproximación a una realidad altamente insesgada, producto del mal ajuste de interpolación (ver figura 7, semivariogramas) y solo se a puesto como referencia y punto de comparación, este comentario también es válido para la figura 13.

La Distribución de la Z_m en el período Frío, mientras que los máximos valores se presentan principalmente en la zona sur del Golfo, se debe destacar que estos valores tienden a decaer hacia la costa de Baja California Sur y de Sinaloa, observándose en las cercanías de Bahía de La Paz. En tanto en el sector norte los menores valores estuvieron asociado a la región de las islas y el alto Golfo (Fig. 10). El Z_m en el período cálido, se presentan los máximos valores asociados a la zona sur de la península de California, los valores fueron bajos en la zona norte del Golfo y en términos generales la profundidad aumentó con el sentido de orientación sur (Fig. 11).

La Distribución de la Chl_{MPC} en el período Frío, muestra que los máximos valores se presentan principalmente en la zona sur del Golfo, se debe destacar que estos valores tienden a decaer hacia la costa de Sinaloa y de aumentar hacia Baja California Sur, observándose los máximos valores en Bahía de La Paz. En tanto en el sector norte los menores valores estuvieron asociado a la región central del golfo, luego de las grandes islas (Fig. 12). El Chl_{MPC} en el período cálido, presentó dos valores máximos, el mayor estuvo asociado a la zona sur del Golfo, frente a la costa de Sinaloa, en tanto el segundo de menor intensidad se presentó en la zona norte en él la costa de Baja California (zona de las islas), en términos generales los valores fueron bajos a lo largo de todo el Golfo (Fig. 13).

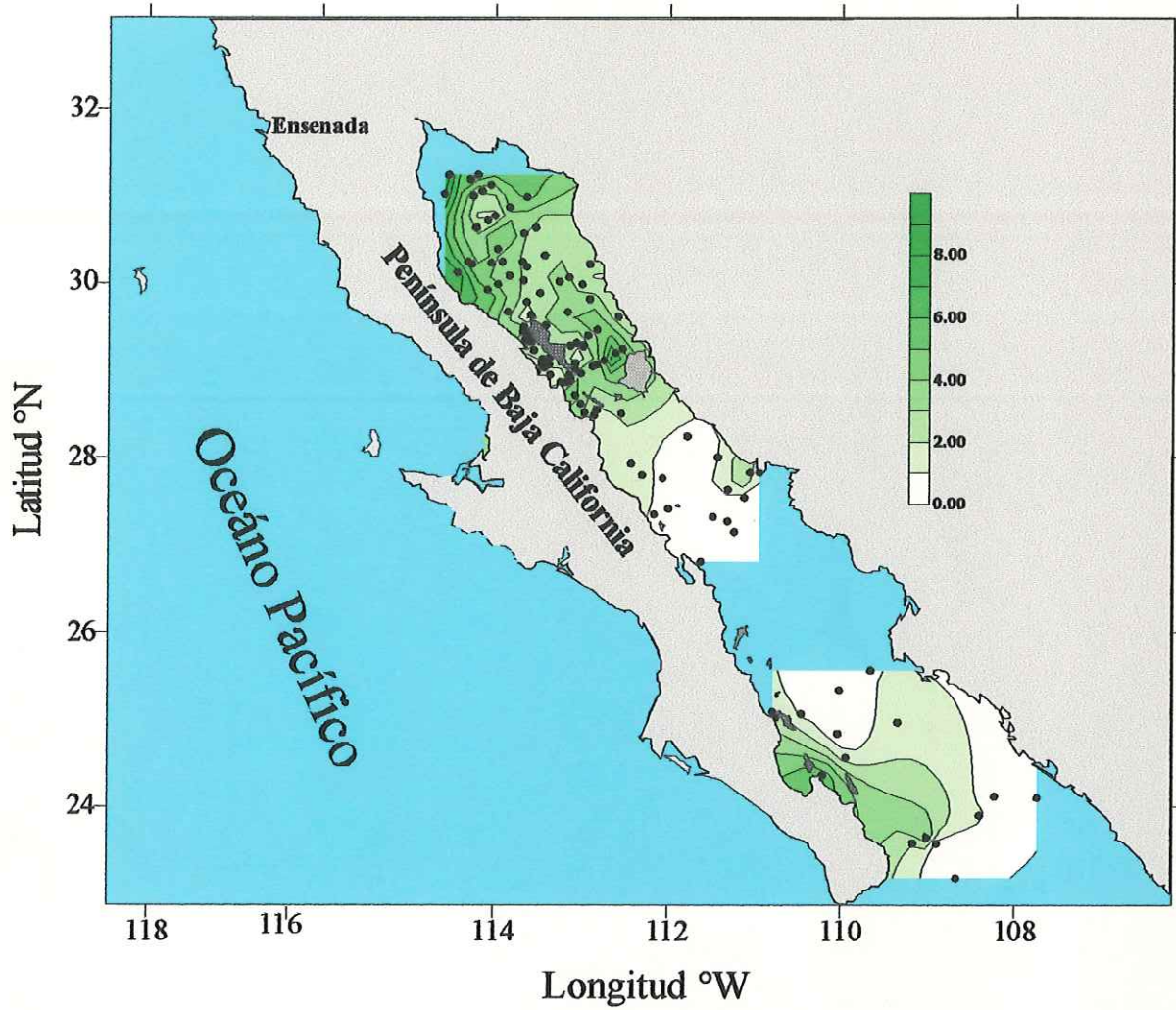


Figura 8. Distribución espacial de Chl_s (mg m⁻³), al interior del Golfo de California, para el período frío.

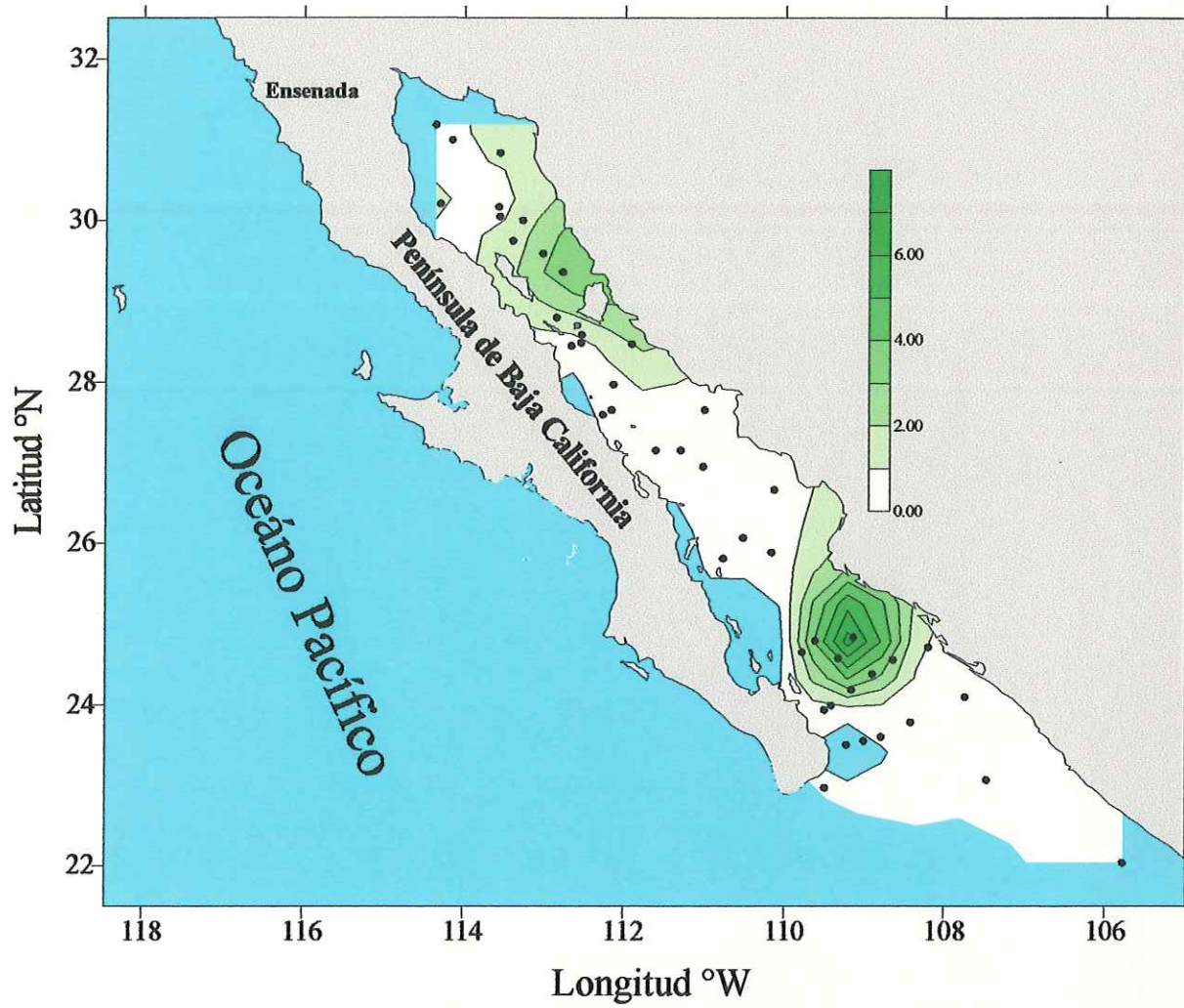


Figura 9. Distribución espacial de Chl_a (mg m⁻³), al interior del Golfo de California, para el período cálido.

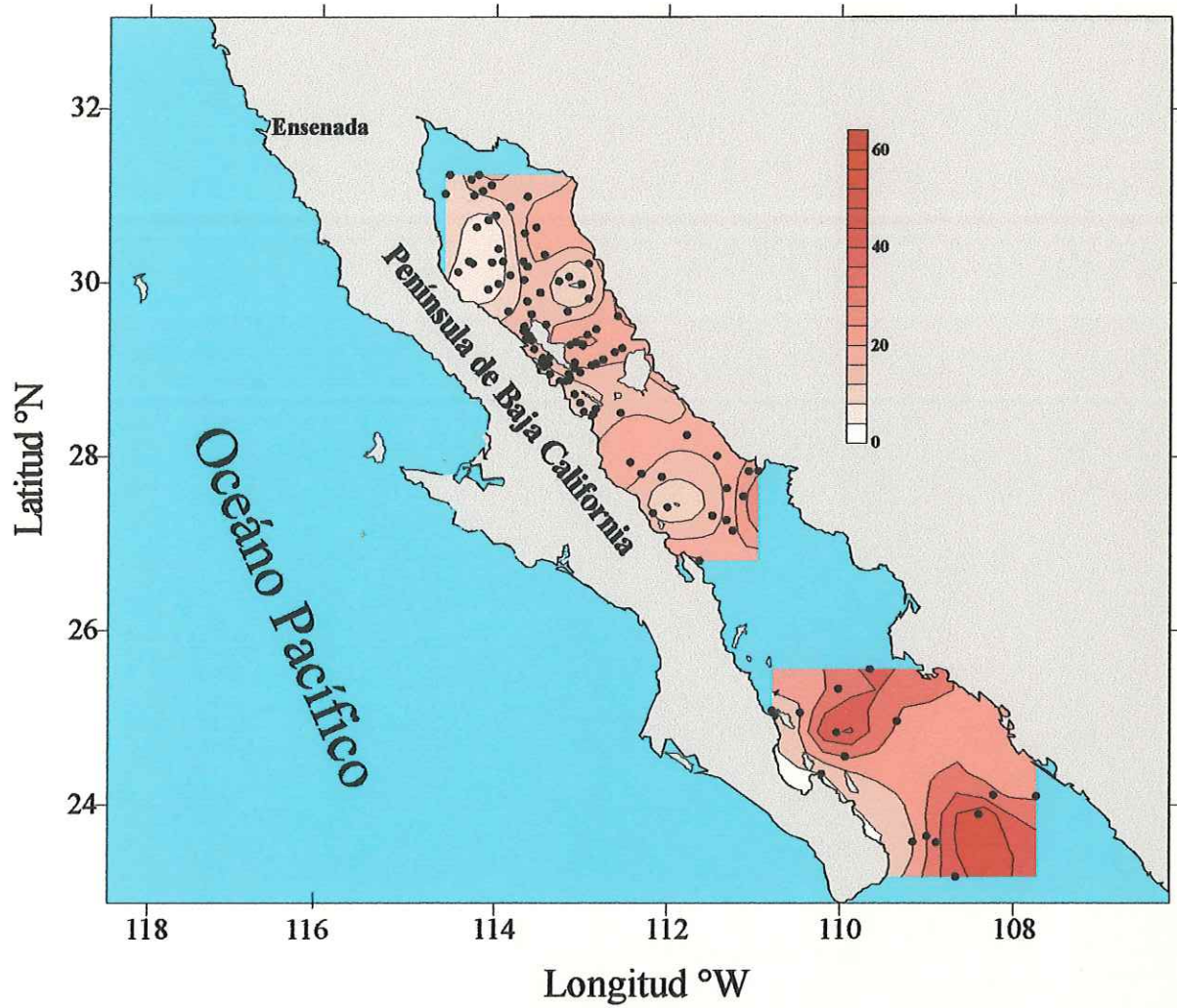


Figura 10. Distribución espacial de Z_m (m), al interior del Golfo de California, para el período frío.

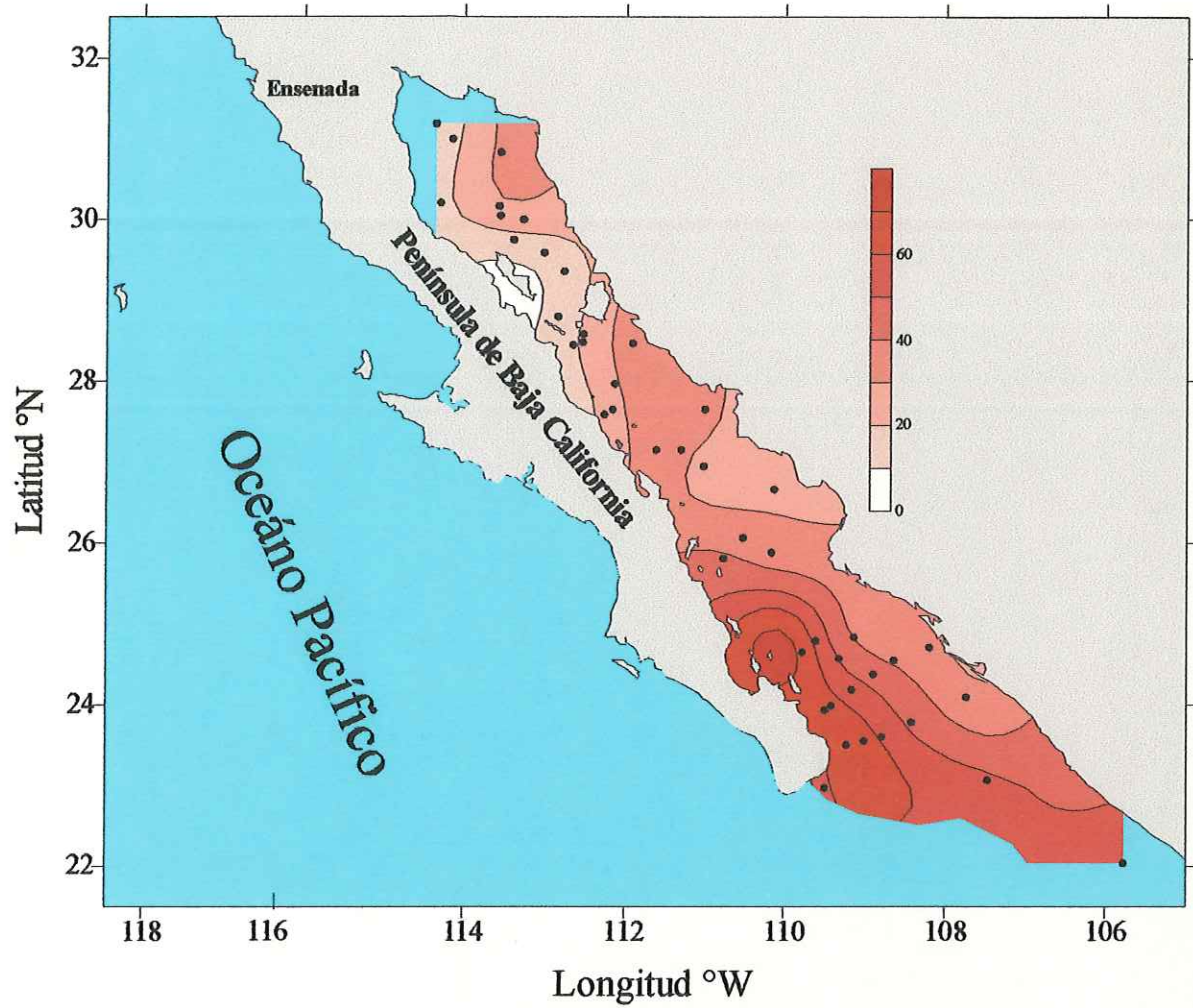


Figura 11. Distribución espacial de Z_m (m), al interior del Golfo de California, para el período cálido.

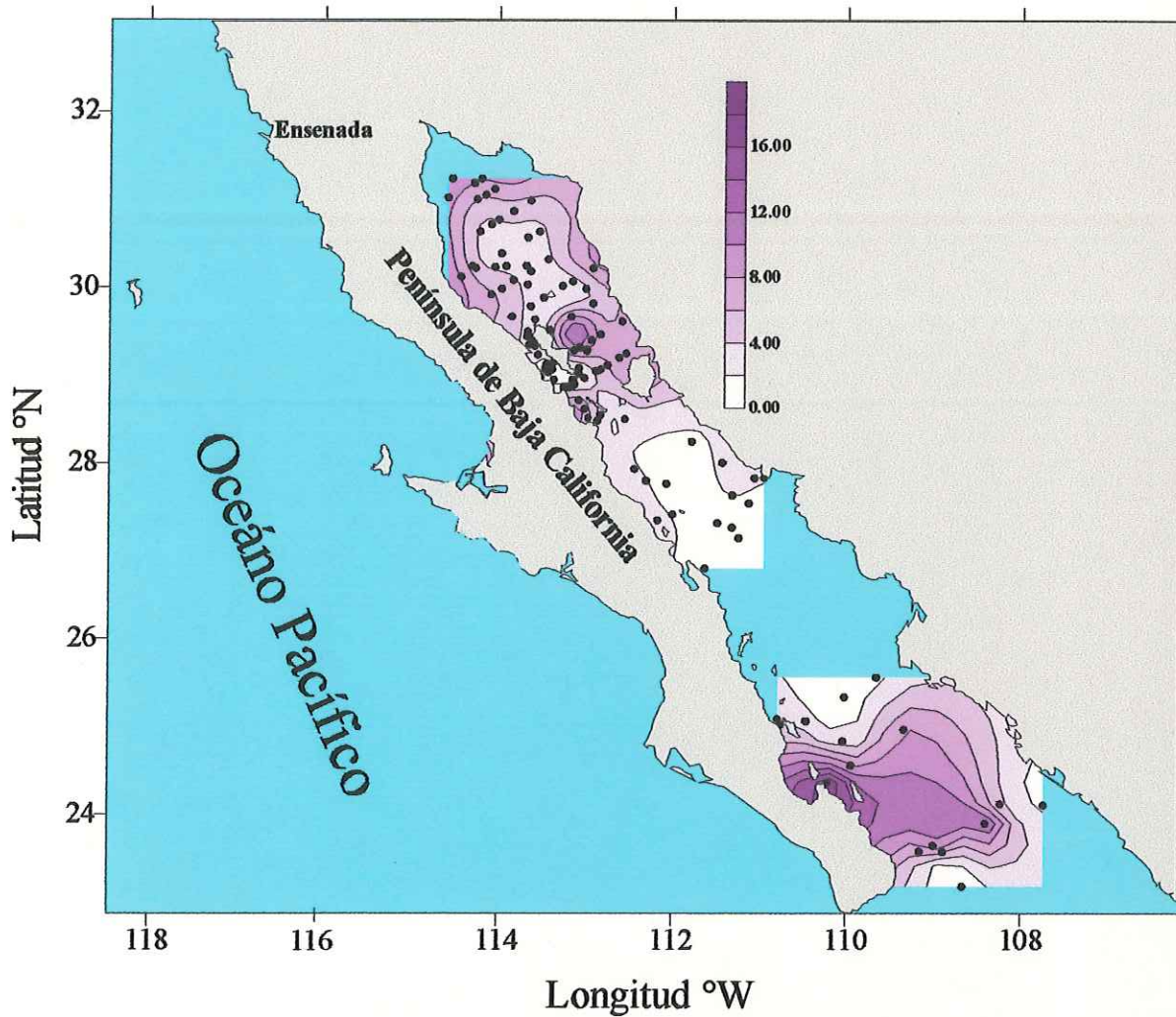


Figura 12. Distribución espacial de Chl_{MPC} ($mg\ m^{-3}$), al interior del Golfo de California, para el periodo frío.

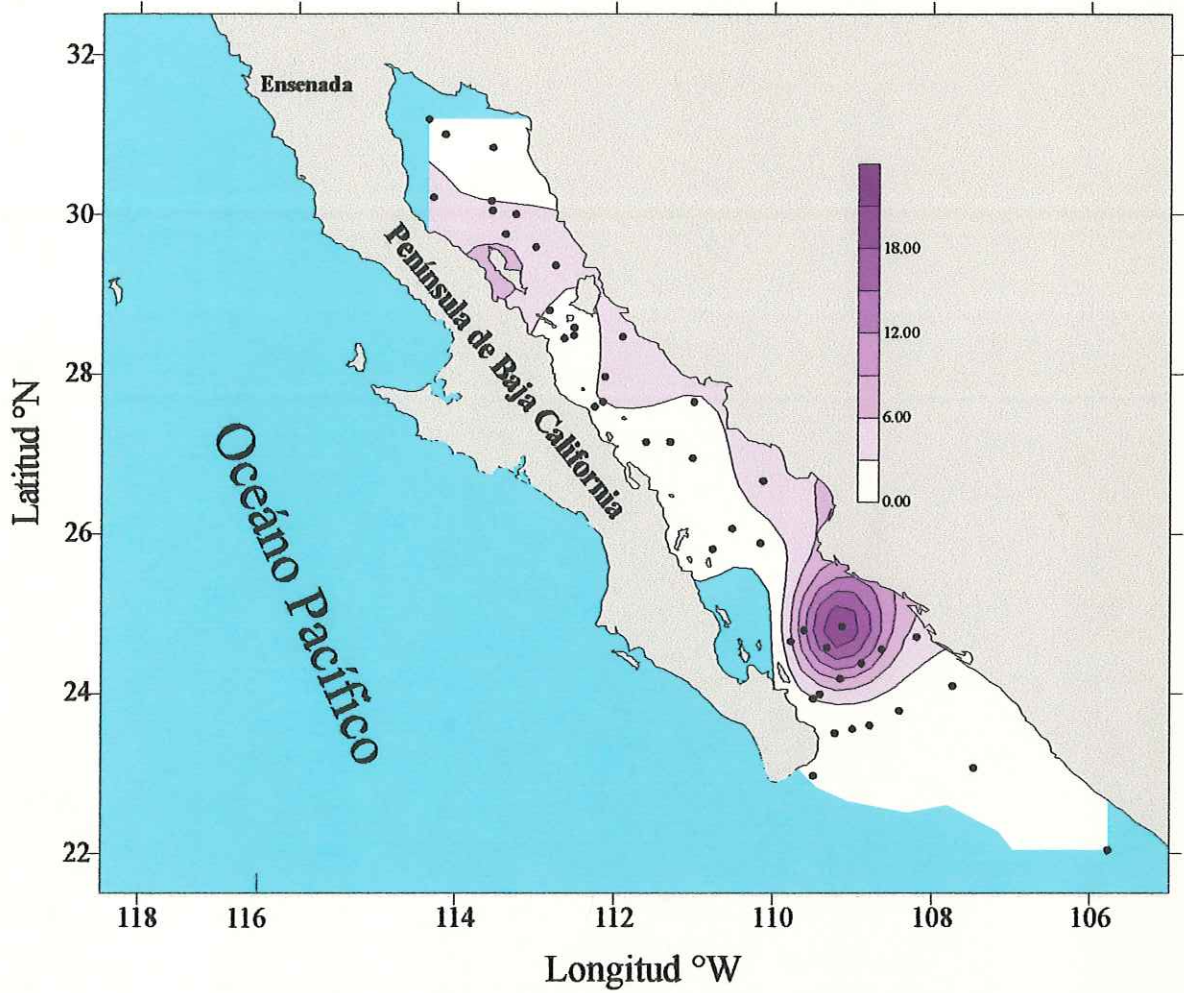


Figura 13. Distribución espacial de Chl_{MPC} ($mg\ m^{-3}$), al interior del Golfo de California, para el período cálido.

4.3.- Modelo Gaussiano

Se realizó un análisis gráfico de cada uno de los parámetros gaussianos por regiones al interior del GC. Los resultados fueron separados en Período Frío y Cálido, para una mejor interpretación de ellos.

4.3.1.- Período Frío

Los parámetros obtenidos de los perfiles de clorofila ajustados por el modelo Gaussiano presentaron en general diferencias en el sentido latitudinal de norte a sur (cabeza y boca del Golfo, respectivamente) para esta época. Los valores promedios del parámetro h presentaron sus máximos valores en los extremos del Golfo (regiones I y XIII), en tanto los menores valores se observaron en las regiones intermedias que se encuentran asociadas a la costas de Baja California (regiones VII, VIII y IX). A su vez los valores más constante se registraron en el alto Golfo, tanto en las costas de Sonora como de Baja California (Fig. 14).

El parámetro σ aunque fue muy fluctuante entre regiones presentó una baja variabilidad, presentándose los máximos valores en las regiones IV y XI. El parámetro B_0 , presentó sus máximos valores en las regiones ubicadas en el alto Golfo y estos valores decayeron hacia la boca del Golfo. El parámetro Z_m presentó en general una tendencia incrementarse en el sentido norte-sur, excepto en la región XII que es en las inmediaciones de Bahía La Paz (Fig. 14).

Los valores promedios de los parámetros para cada una de las regiones se presentan en la Tabla VIII. La figura 15 muestra los perfiles utilizando estos parámetros promedios de cada región, en el cual se representa la variación de la Z_m en cada región.

Los parámetros h y B_0 , en sus valores presentaron una tendencia de aumentar de manera exponencial o lineal, para las categorías mayores (Figs. 16 y 17). Mientras que Z_m decrece con las categorías mayores (Fig. 18). El parámetro σ no presenta una tendencia de variación con el incremento de la categoría, este parámetro en general se fue bastante variable entre regiones (Fig. 19). En la Tabla IX se entregan los valores de los parámetros por categoría y región para el período frío.

Las figuras 20 y 21 muestran los perfiles verticales de clorofilas, para cada categoría, utilizando los promedios de los parámetros (tabla IX) de cada región. Se nota las variaciones e incremento del parámetro Z_m con el perfil de cada categoría.

Tabla VIII . Valores promedios de los parámetros en las diferentes regiones, para el periodo frío.

Región	Promedio de los parámetros				
	h	σ	Z_m	Bo	n
I	443.78	18.52	9.08	6.61	2
II	110.36	11.24	16.07	2.57	29
III	173.93	15.75	16.77	2.63	13
IV	158.69	20.68	7.72	0.90	19
V	165.19	13.89	12.04	1.49	38
VI	134.66	11.21	13.77	1.90	23
VII	68.25	12.28	13.13	0.63	24
VIII	40.42	10.09	18.62	0.21	14
IX	37.67	22.65	12.27	0.23	4
X	70.36	14.70	23.91	0.65	22
XI	137.66	10.82	35.51	0.58	9
XII	147.62	9.86	11.42	0.62	6
XIII	351.25	16.79	38.57	0.68	7

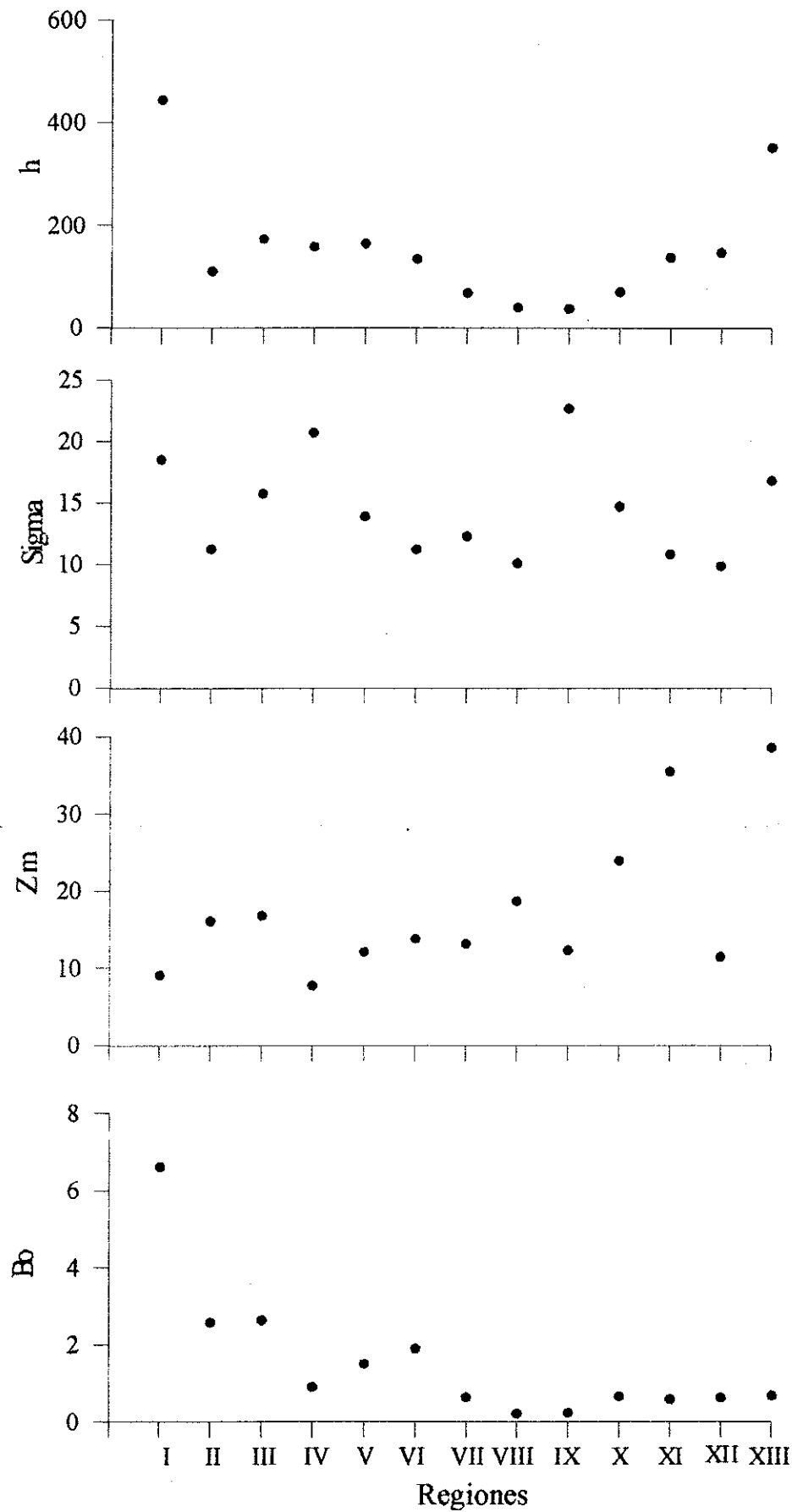


Figura 14. Variación promedio de los parámetros gaussianos, para cada región en el periodo frío.

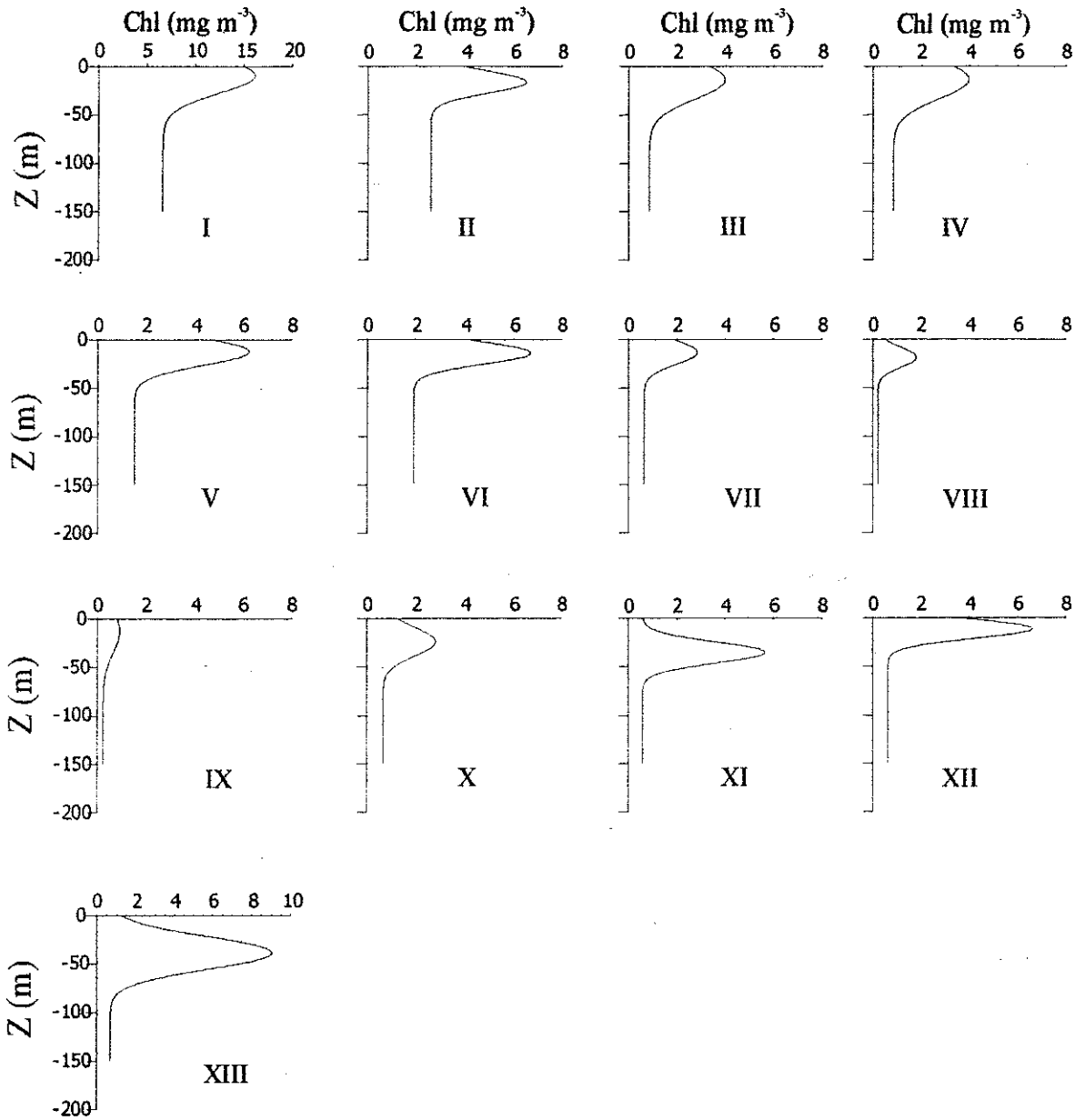


Figura 15. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos, para cada región en el periodo frío. Los números romanos indican la región. Por magnitud de los perfiles, las regiones, I y XIII, están a distinta escala.

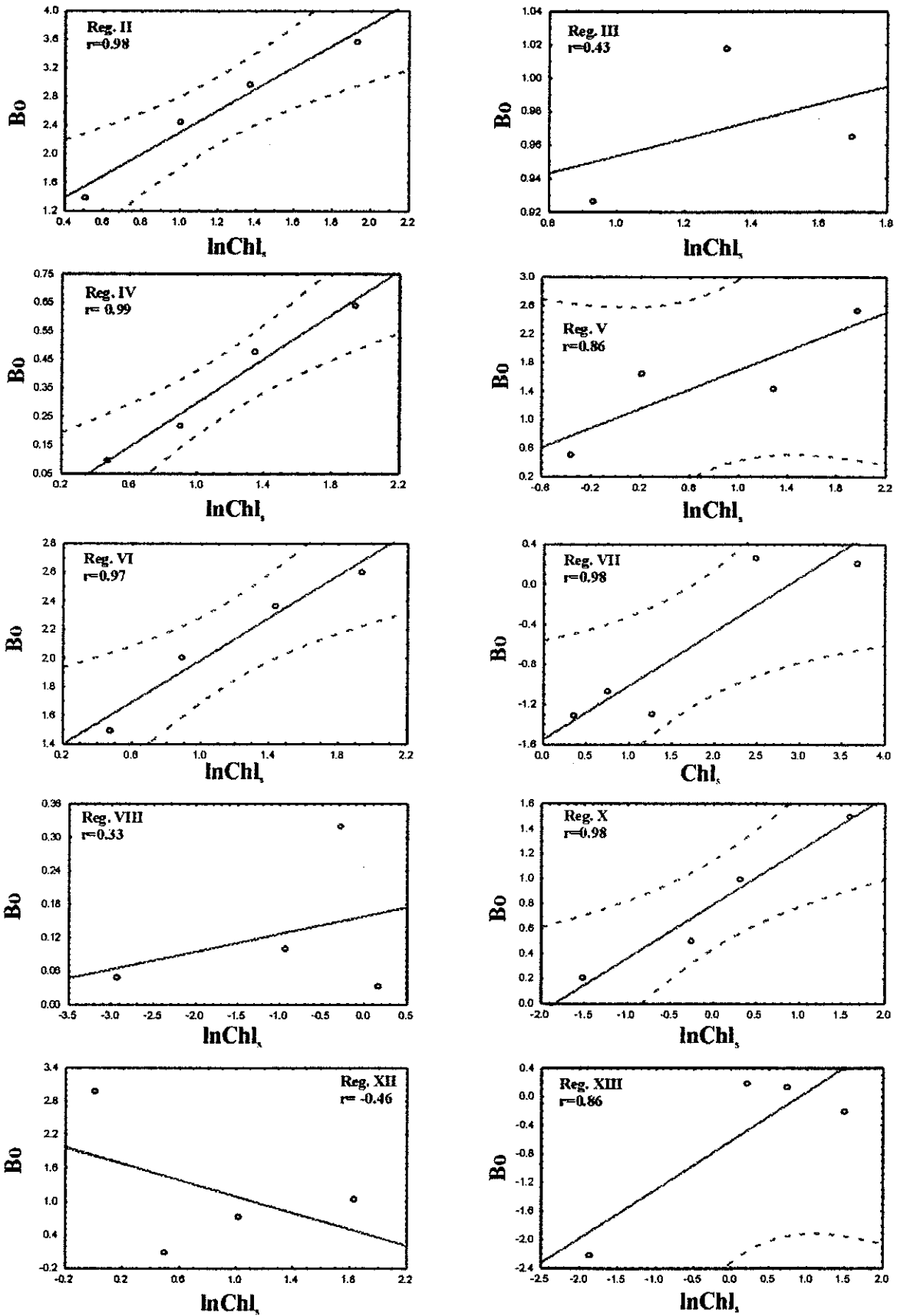


Figura 16. Regresión entre el parámetro gaussiano B_0 contra la Chl_s , para cada región en el periodo frío.

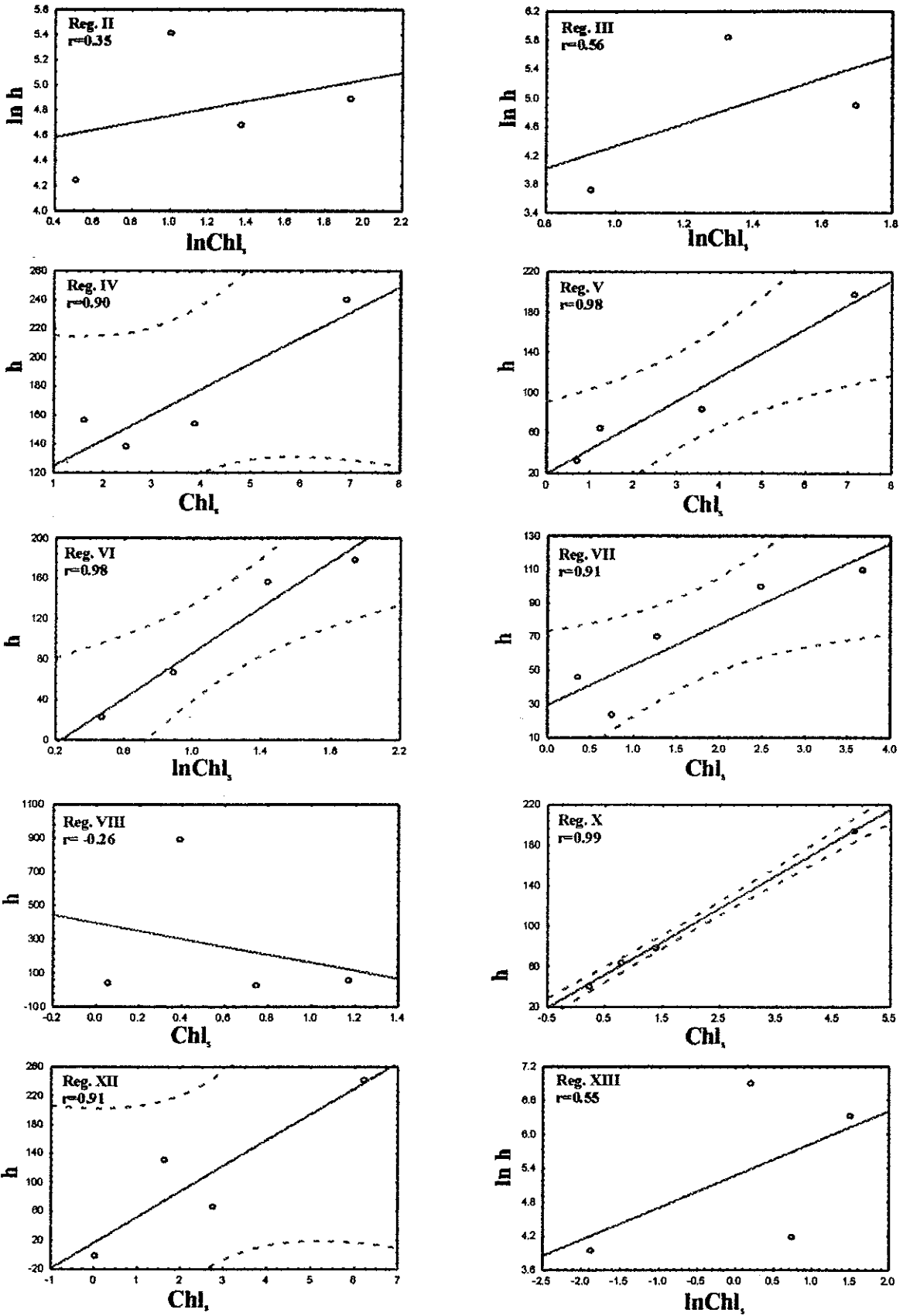


Figura 17. Regresión entre el parámetro gaussiano h contra la Chl_s , para cada región en el período frío.

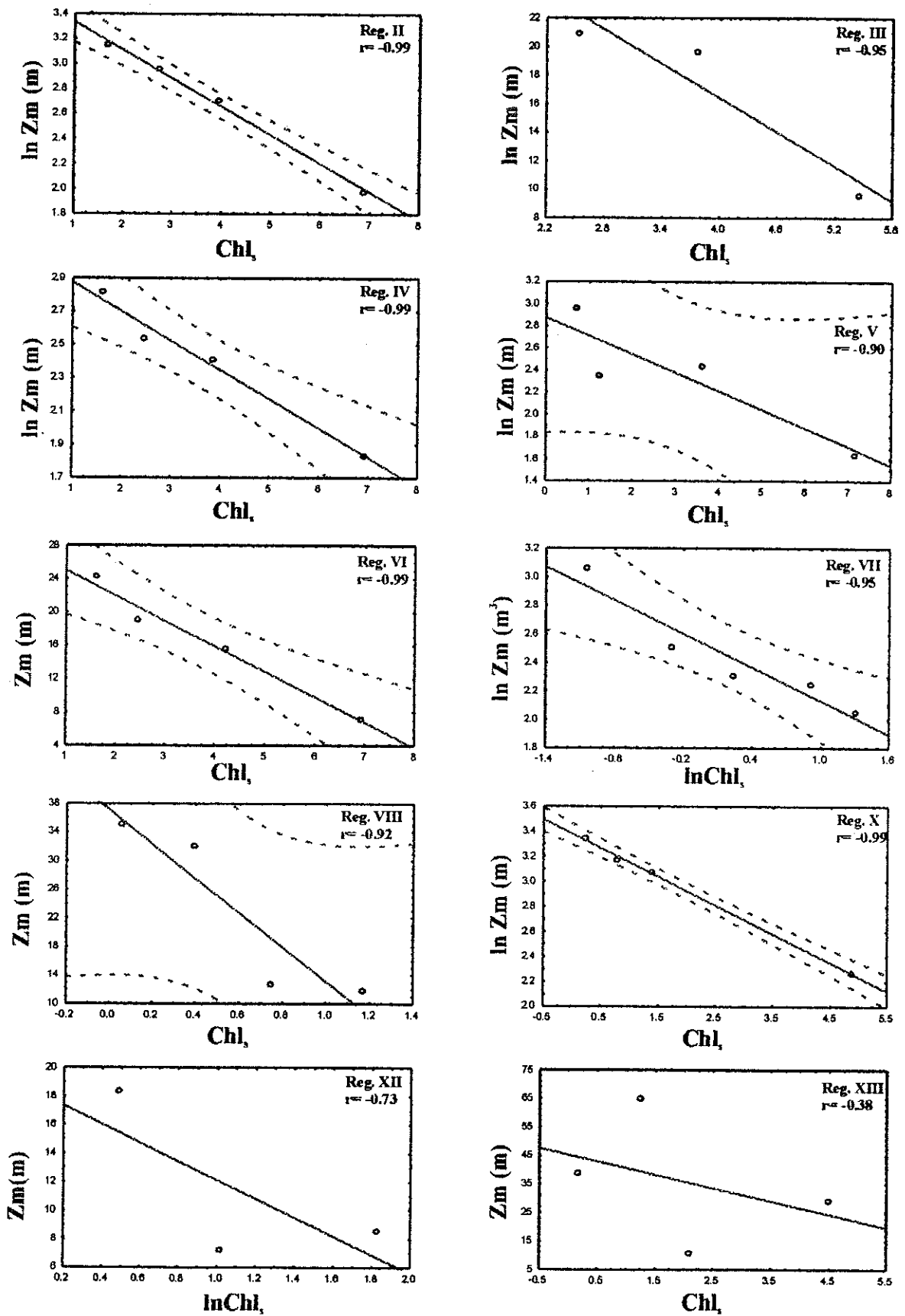


Figura 18. Regresión entre el parámetro gaussiano Z_m contra la Chl_s , para cada región en el periodo frío.

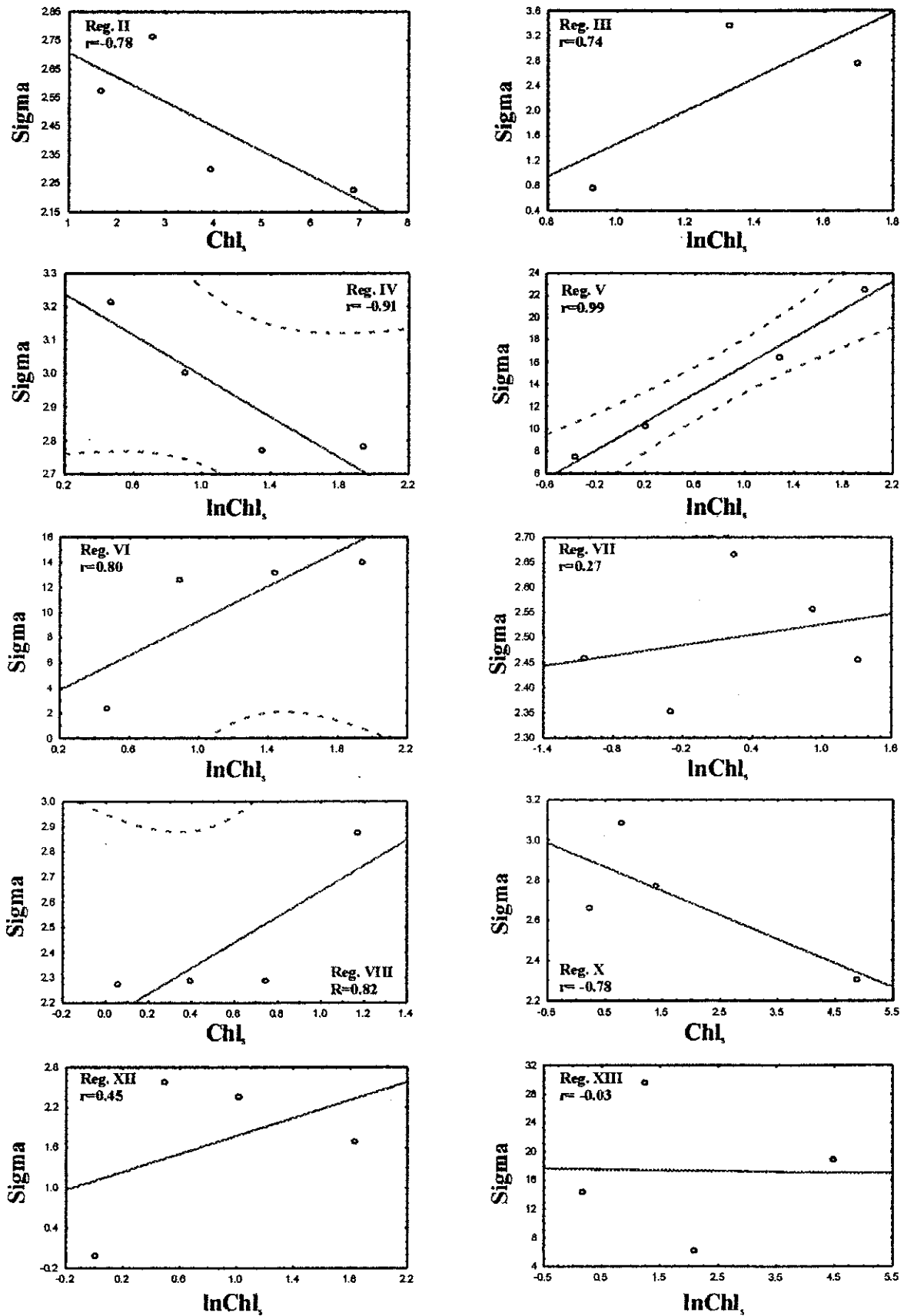


Figura 19. Regresión entre el parámetro gaussiano Sigma contra la Chl_a, para cada región en el periodo frío.

Tabla IX. Valores promedios de los parámetros de los perfiles, para cada región y categoría, para el período frío. n = numero de perfiles.

Región	Categoría	Promedio de los Parámetros				
		h	σ	Z_m	Bo	n
I	1	-	-	-	-	-
I	2	-	-	-	-	-
I	3	-	-	-	-	-
I	4	-	-	-	-	-
I	5	-	-	-	-	-
I	6	-	-	-	-	-
I	7	-	-	-	-	-
II	1	-	-	-	-	-
II	2	-	-	-	-	-
II	3	-	-	-	-	-
II	4	70.17	13.14	23.44	1.39	9
II	5	226.44	15.87	19.31	2.45	4
II	6	108.55	9.98	15.09	2.98	10
II	7	133.83	9.29	7.27	3.57	6
III	1	-	-	-	-	-
III	2	-	-	-	-	-
III	3	-	-	-	-	-
III	4	-	-	-	-	-
III	5	41.82	2.18	20.95	2.52	4
III	6	345.37	29.26	19.71	2.76	4
III	7	134.62	15.82	9.66	2.62	5
IV	1	-	-	-	-	-
IV	2	-	-	-	-	-
IV	3	-	-	-	-	-
IV	4	157.20	29.94	16.78	0.73	8
IV	5	139.11	20.18	12.67	0.57	5
IV	6	154.48	16.01	11.17	1.22	4
IV	7	240.27	16.17	6.28	0.47	2
V	1	-	-	-	-	-
V	2	-	-	-	-	-
V	3	-	-	-	-	-
V	4	33.25	7.55	19.35	0.52	8
V	5	65.33	10.28	10.58	1.65	4
V	6	84.55	16.49	10.92	1.59	16
V	7	198.51	22.58	5.17	2.53	10

Continuación Tabla IX.

VI	1	-	-	-	-	-
VI	2	-	-	-	-	-
VI	3	-	-	-	-	-
VI	4	23.29	2.46	24.37	1.5	8
VI	5	67.52	12.69	19.14	2.01	5
VI	6	157.77	13.22	15.65	2.36	8
VI	7	178.77	14.03	7.19	2.6	3
VII	1	-	-	-	-	-
VII	2	46.59	11.70	21.53	0.27	6
VII	3	23.91	10.53	12.34	0.34	4
VII	4	70.38	14.4	10.08	0.27	6
VII	5	100.40	12.90	9.52	1.31	4
VII	6	110.24	11.66	7.79	1.25	4
VII	7	-	-	-	-	-
VIII	1	43.99	9.75	35.21	0.05	4
VIII	2	48.65	3.64	32.17	0.10	3
VIII	3	31.81	9.87	12.77	0.32	4
VIII	4	63.08	17.81	11.92	0.03	3
VIII	5	-	-	-	-	-
VIII	6	-	-	-	-	-
VIII	7	-	-	-	-	-
IX	1	-	-	-	-	-
IX	2	37.67	22.65	12.27	0.23	4
IX	3	-	-	-	-	-
IX	4	-	-	-	-	-
IX	5	-	-	-	-	-
IX	6	-	-	-	-	-
IX	7	-	-	-	-	-
X	1	-	-	-	-	-
X	2	41.29	14.38	28.53	0.216	6
X	3	64.03	21.95	22.93	0.506	9
X	4	129.4	16.02	16.81	1.003	4
X	5	-	-	-	-	-
X	6	194.83	10.08	9.69	1.501	3
X	7	-	-	-	-	-
XI	1	-	-	-	-	-
XI	2	119.74	10.61	37.80	0.45	6
XI	3	191.42	11.44	28.65	0.98	3
XI	4	-	-	-	-	-
XI	5	-	-	-	-	-
XI	6	-	-	-	-	-
XI	7	-	-	-	-	-

Continuación Tabla IX.

XII	1	-	-	-	-	-
XII	2	-	-	-	-	-
XII	3	-	-	-	-	-
XII	4	131.75	13.4	16.39	0.09	3
XII	5	68.21	10.69	7.27	0.73	2
XII	6	-	-	-	-	-
XII	7	242.91	5.49	8.62	1.05	1
XIII	1	52.38	14.5	43.67	0.10	2
XIII	2	1017.91	29.68	65.3	1.21	3
XIII	3	-	-	-	-	-
XIII	4	66.12	6.29	10.96	1.15	1
XIII	5	567.5	19.01	29.28	0.82	1
XIII	6	-	-	-	-	-
XIII	7	-	-	-	-	-

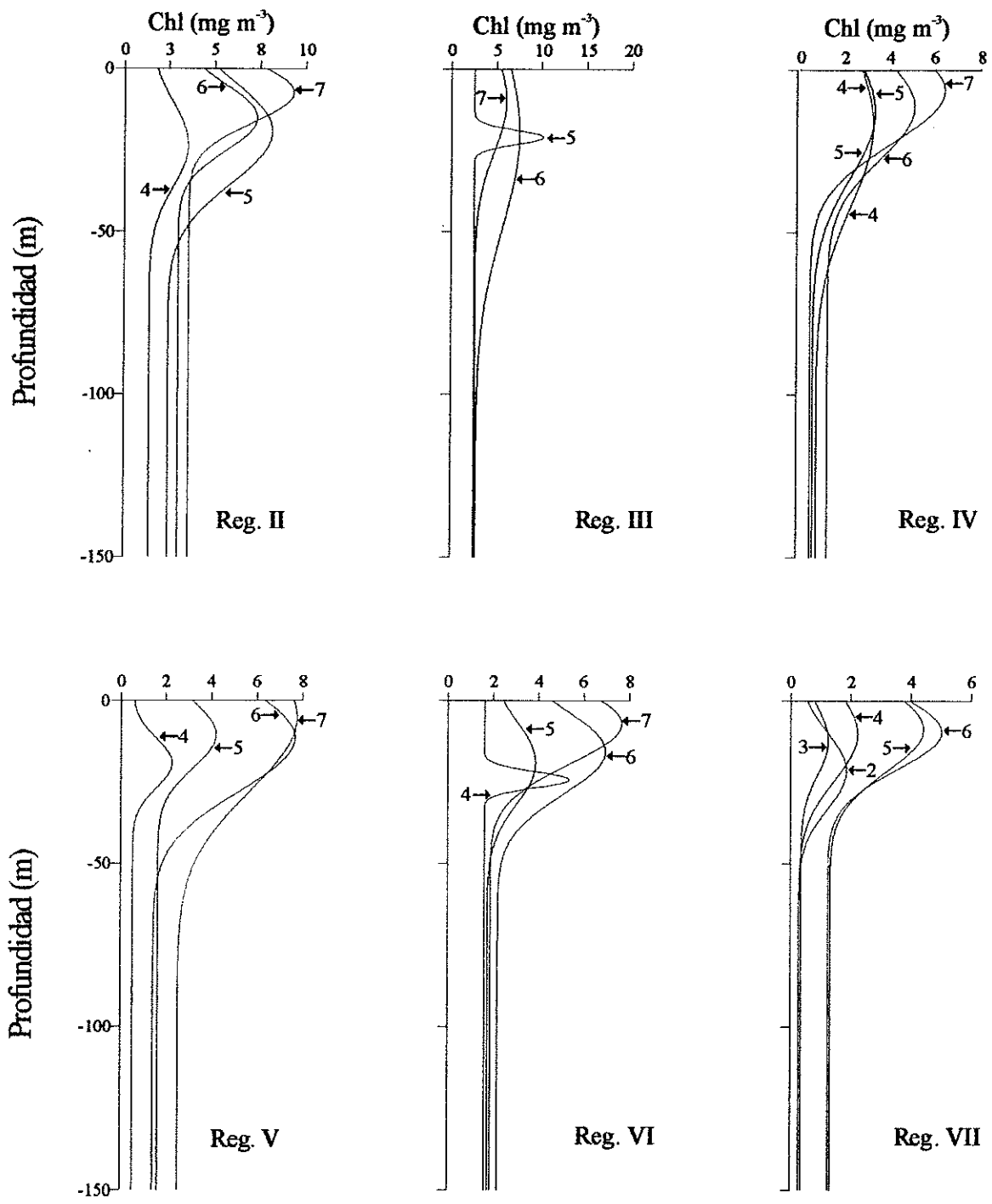


Figura 20. Perfiles de Clorofila, para el período frío utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categorías. Los números indican la categoría.

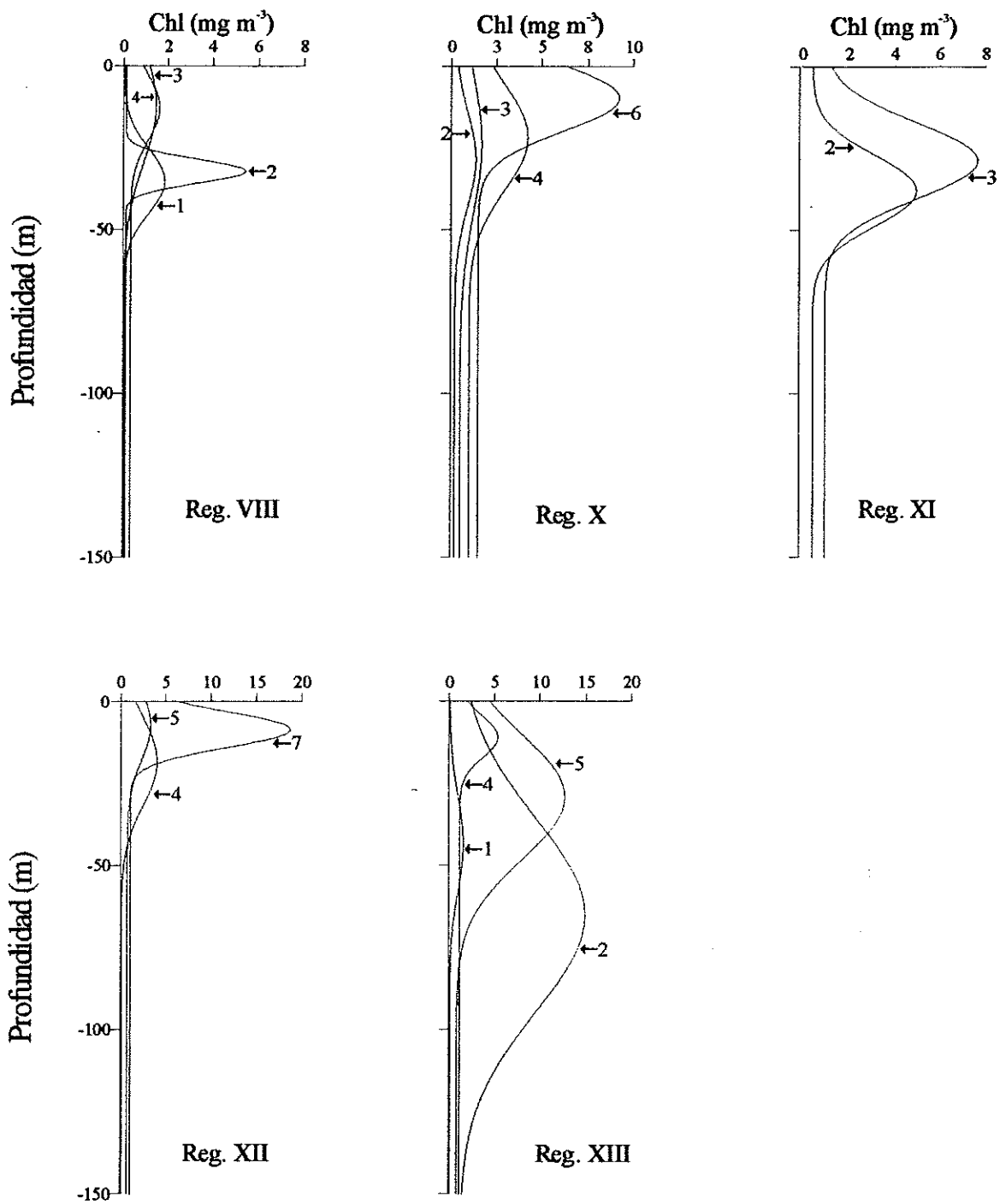


Figura 21. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categoría. Los números indican la categoría.

4.3.1.1.- Modelos de Regresión

Dado que los parámetros de la curva gaussiana presentaron una tendencia a incrementarse (h y B_0) o decrecer (Z_m) de manera exponencial o lineal en función de las categorías para cada región, se tomaron los promedios de cada parámetro y el promedio de concentración de clorofila superficial por categoría. Estos se transformaron a logaritmo natural y se aplicó un análisis de regresión. El análisis de regresión se llevó a cabo teniendo como variable dependiente a cada uno de los parámetros o logaritmo natural del parámetro y como variable independiente la clorofila superficial o el logaritmo natural de la clorofila superficial. Se tomaron las regresiones que tuvieron el mayor coeficiente de correlación.

En general los parámetros h , Z_m y B_0 se pueden estimar mediante las ecuaciones de regresión, ya que, en general presentaron un coeficiente de regresión $r > 0.90$, para cada una de las regiones descritas en el estudio. Algunos parámetros presentaron excepciones por sus bajos coeficientes de correlación al interior de algunas de las estas, como B_0 para las regiones VIII y XII; el parámetro h que presenta bajos r en las regiones II, VIII y XIII. Sin embargo, el parámetro σ no se pudo estimar mediante una regresión, ya que el coeficiente de correlación fue muy variable entre regiones siendo en algunos positivo y en otros negativo. Para la estimación de los diferentes parámetros se debe realizar una conjugación entre las ecuaciones de regresión (tabla X) y parámetros promedios para cada una de las categorías por regiones, es así como para la estimación de los valores de los parámetros en algunos casos se requiere tomar el valor promedio de la tabla IX dependiendo de la categoría y región que se trate.

La figura 22 presenta los perfiles de clorofila para cada una de las regiones y épocas utilizando las ecuaciones de la Tabla X, comenzando de distintos valores hipotéticos de concentración superficial de clorofila, como ejemplos. Con estos podemos observar que en general de los perfiles son diferentes dependiendo de la región, aunque el valor superficial sea el mismo.

Tabla X. Ecuaciones de regresión de los promedios de los parámetros de la curva gaussiana en función del promedio de clorofila superficial por categorías, para el período frío.
 *=usar los valores promedios, según la categoría y región.

		Período Frío	
Reg.	n		r
II	4	$\ln(h) = 4.4716 + 0.28601 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 2.7930 - 0.089 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 0.78568 + 1.5162 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(Z_m) = 3.5636 - 0.2270 \ln(\text{Chl}_s)$	0.35* -0.78* 0.98 -0.99
III	3	$\ln(h) = 2.7704 + 1.5644 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = -1.146 + 2.6256 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(B_0) = 0.90188 + 0.05187 \ln(\text{Chl}_s)$ $Z_m = 32.397 - 3.999 \ln(\text{Chl}_s)$	0.56* 0.74* 0.43* -0.95
IV	4	$h = 107.23 + 17.748 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 3.2988 - 0.3057 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = -0.0872 + 0.38588 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(Z_m) = 3.0520 - 0.1758 \ln(\text{Chl}_s)$	0.90 -0.91 0.99 -0.99
V	4	$h = 19.992 + 23.918 \ln(\text{Chl}_s)$ $\sigma = 9.3603 + 6.3449 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 1.0200 + 0.67734 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(Z_m) = 2.8765 - 0.1665 \ln(\text{Chl}_s)$	0.98 0.99 0.86 -0.90
VI	4	$h = -25.97 + 112.69 \ln(\text{Chl}_s)$ $\sigma = 2.4957 + 6.8775 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 1.2521 + 0.7334 \ln(\text{Chl}_s)$ $Z_m = 28.044 - 3.033 \ln(\text{Chl}_s)$	0.98 0.80 0.97 -0.99
VII	5	$h = 29.485 + 24.047 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 2.4917 + 0.03440 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(B_0) = -1.545 + 0.53815 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(Z_m) = 2.5242 - 0.3920 \ln(\text{Chl}_s)$	0.91 0.27* 0.98 -0.95
VIII	4	$h = 397.45 - 235.1 \ln(\text{Chl}_s)$ $\sigma = 2.1353 + 0.50956 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 0.15907 + 0.03176 \ln(\text{Chl}_s)$ $Z_m = 37.063 - 23.93 \ln(\text{Chl}_s)$	0.26* 0.82 0.33* -0.92
X	4	$h = 35.8000 + 32.735 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 2.9256 - 0.1198 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 0.79595 + 0.42860 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(Z_m) = 3.3813 - 0.2288 \ln(\text{Chl}_s)$	0.99 -0.78 0.98 -0.99
XII	3	$h = 16.509 + 35.653 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 1.1096 - 0.67123 \ln(\text{Chl}_s)$ $B_0 = 1.8305 - 0.7354 \ln(\text{Chl}_s)$ $Z_m = 18.675 - 6.548 \ln(\text{Chl}_s)$	0.91 0.45* -0.46* -0.73
XIII	4	$\ln(h) = 5.2775 + 0.56863 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(\sigma) = 2.7139 - 0.0133 \ln(\text{Chl}_s)$ $\ln(B_0) = -0.6104 + 0.68319 \ln(\text{Chl}_s)$ $Z_m = 45.309 - 4.645 \ln(\text{Chl}_s)$	0.55* -0.03* 0.86 -0.38*

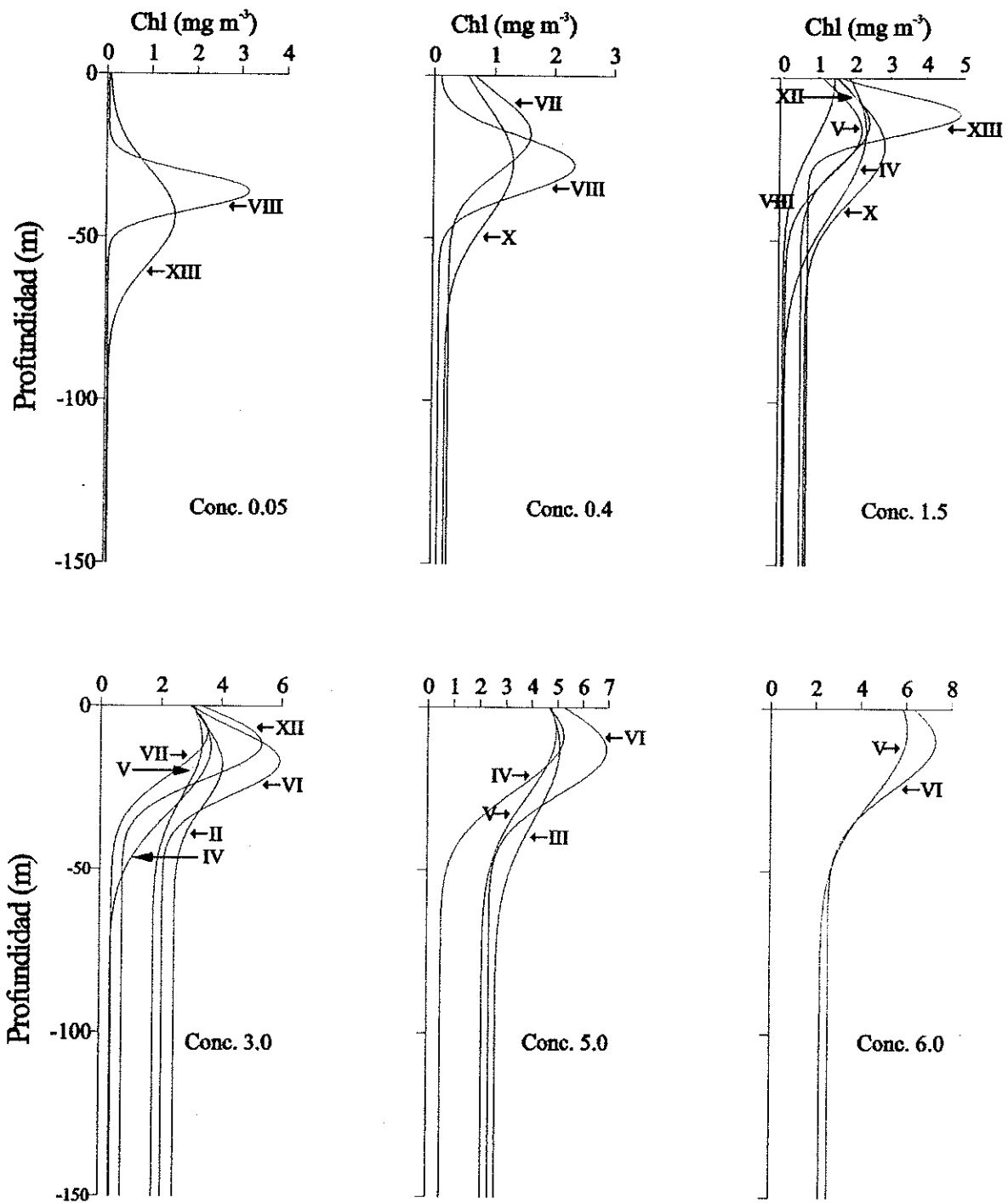


Figura 22. Perfiles de Clorofila estimados, para cada región utilizando los modelos de la Tabla X, con distintos valores de clorofila superficial. Los números romanos indican la región.

4.3.2.- Período Cálido

Los valores promedios del parámetro h se pudo observar dos tendencias una decreciente desde la región X a la XIV. En cambio las regiones ubicadas hacia el norte y especialmente las que se encuentran asociadas a la península de Baja California presentaron bajos valores. Se debe destacar que el máximo valor se presentó el valor más alto en la región X que corresponde a las costa de Sonora y Sinaloa. Con respecto al parámetro σ , sus mayores valores se presentaron en las regiones XIII y XIV, que corresponden a la boca del Golfo, los valores siempre fueron más altos en las regiones colindantes a la costa de la península, excepto con la región XIV. Se debe observar que existe una pequeña tendencia lineal de estos parámetros a incrementarse desde el norte al sur. El parámetro Z_m presentó en general un incremento en el sentido norte-sur y sus máximos valores se observaron en la boca del Golfo. El parámetro B_o no presento en general una tendencia muy clara ni en sentido latitudinal, ni longitudinal (Fig. 23).

Los valores promedios de los parámetros para cada una de las regiones se presentan en la tabla XI. Los perfiles utilizando estos parámetros promedios de cada región, en el cual se representa la variación de la Z_m en cada región (Fig. 24)

Los valores promedios de los parámetros para cada una de las categorías en cada región, se presentan en la tabla XII. Los valores de los parámetros h y B_o presentaron una tendencia de aumentar de manera exponencial o lineal, para las categorías mayores. Mientras que Z_m decrece con las categorías mayores. El parámetro σ no presentó una tendencia de variación con el incremento de la categoría, este parámetro en general fue constante en todas las regiones (Figs. 25 y 26).

El parámetro Z_m (Fig. 26) presentó, en general, diferencias entre las categorías de cada una de las regiones, con una tendencia a disminuir, en forma general, con el aumento de las categorías. La figura 27 muestran los perfiles verticales de clorofilas, para cada categoría, utilizando los promedios de los parámetros (tabla XII) de cada región. Se nota claramente el incremento del parámetro Z_m con el perfil de cada categoría.

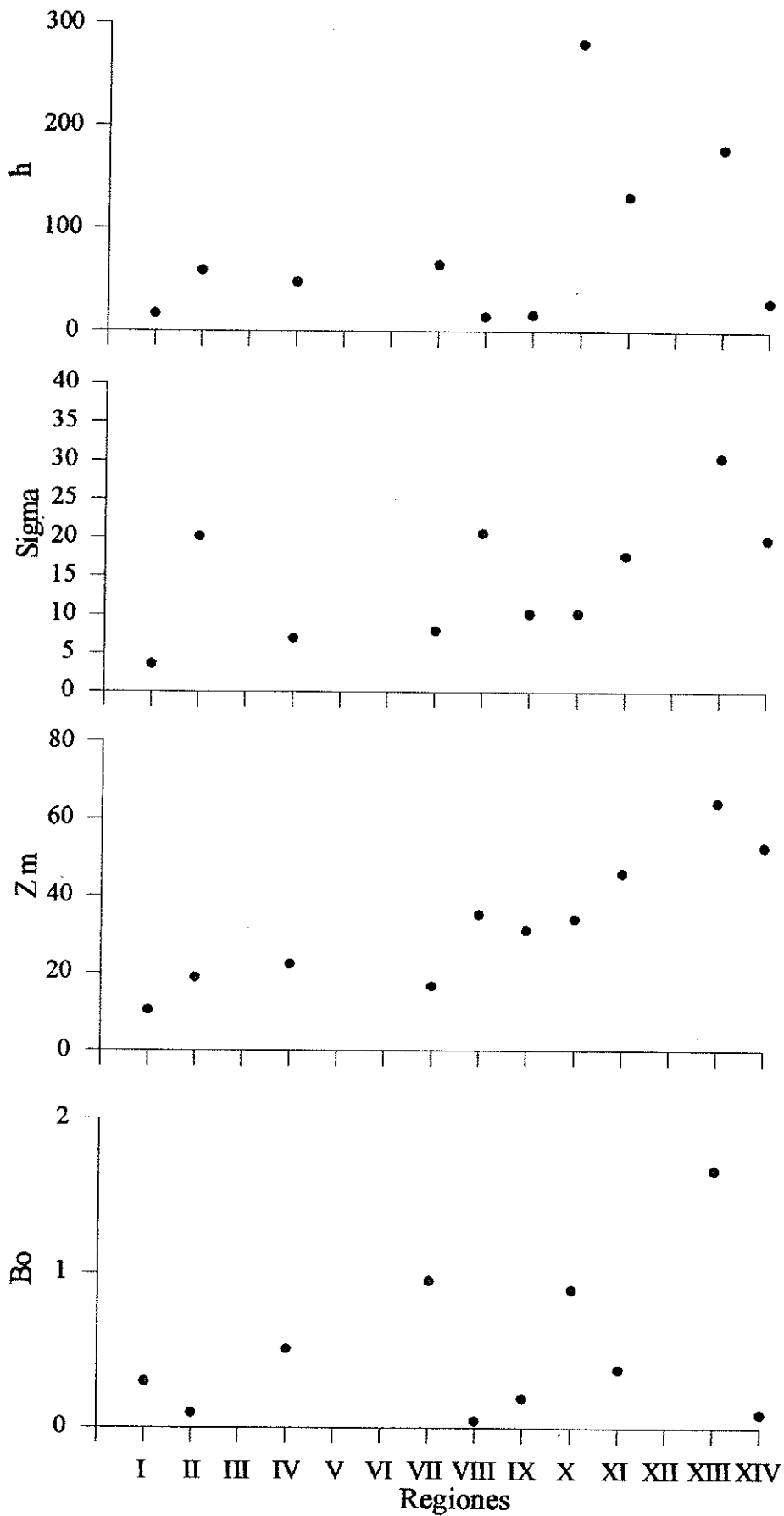


Figura 23. Variación promedio de los parámetros gaussianos, para cada región en el período cálido.

Tabla XI . Valores promedios de los parámetros en las diferentes regiones para el período cálido

Promedio de los parámetros					
Región	h	σ	Z_m	Bo	n
I	17.2	3.58	10.47	0.29	2
II	59.1	20.18	18.97	0.09	4
IV	48.11	6.98	22.4	0.51	7
VII	64.9	7.98	16.7	0.95	16
VIII	14.6	20.6	35.2	0.04	9
IX	16.4	10.2	31.2	0.19	7
X	281.0	10.22	34.0	0.89	9
XI	131.8	17.73	45.8	0.38	11
XIII	100.1	36.33	69.5	0.14	8
XIV	28.77	19.82	52.6	0.08	3

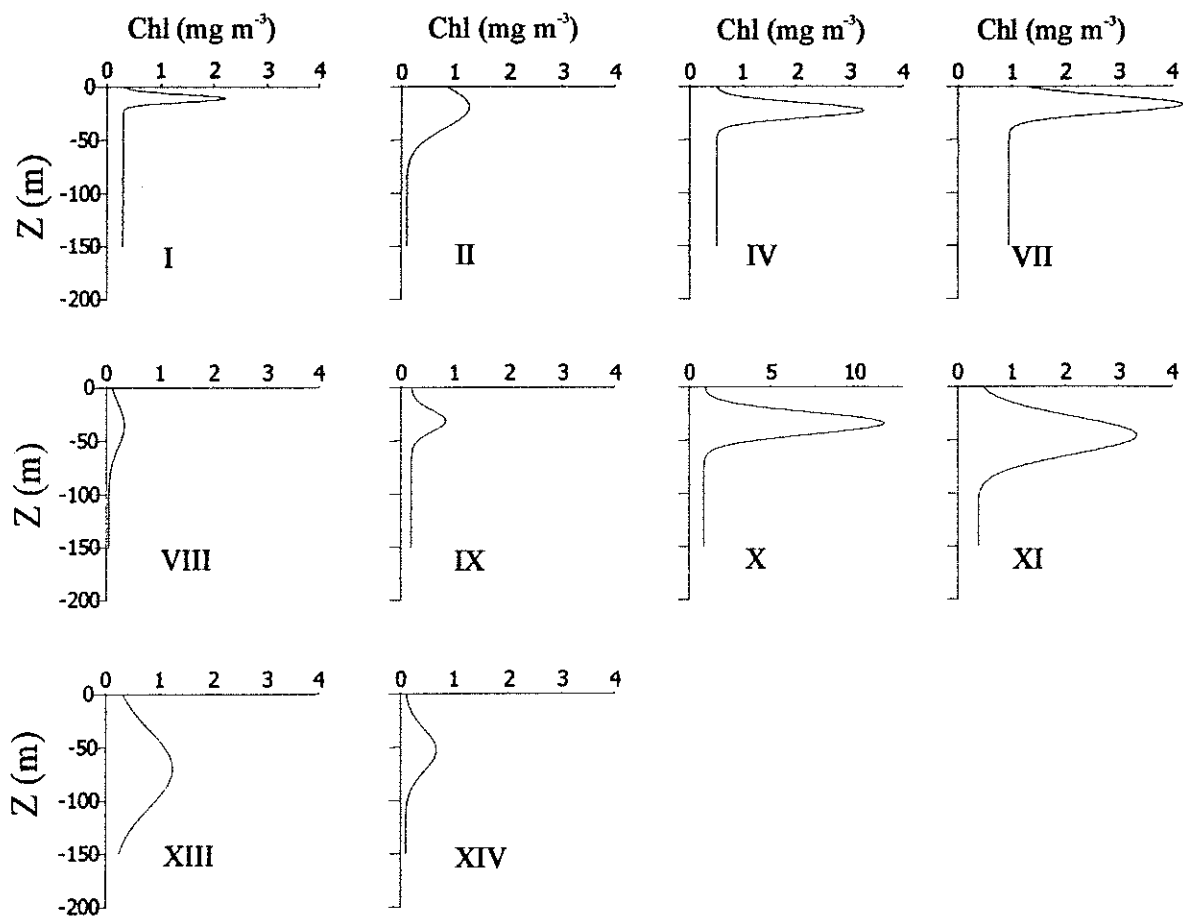


Figura 24. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos, para cada región en el período cálido. Los números indican la región. Por magnitud del perfil la región X esta en otra escala.

Tabla XII. Valores promedios de los parámetros de los perfiles, para cada región y categoría.
Para el período cálido. n = número de perfiles.

Región	Categoría	Promedio de los parámetros				
		h	σ	Z_m	Bo	n
I	1	-	-	-	-	-
I	2	17.22	3.58	10.47	0.29	2
I	3	-	-	-	-	-
I	4	-	-	-	-	-
I	5	-	-	-	-	-
I	6	-	-	-	-	-
I	7	-	-	-	-	-
II	1	-	-	-	-	-
II	2	-	-	-	-	-
II	3	-	-	-	-	-
II	4	58.18	20.19	18.93	0.09	4
II	5	-	-	-	-	-
II	6	-	-	-	-	-
II	7	-	-	-	-	-
IV	1	-	-	-	-	-
IV	2	54.16	2.57	21.54	0.13	2
IV	3	48.12	9.01	30.25	0.72	3
IV	4	42.09	7.33	7.37	0.45	2
IV	5	-	-	-	-	-
IV	6	-	-	-	-	-
IV	7	-	-	-	-	-
VII	1	19.78	5.4	41.93	0.08	2
VII	2	22.92	7.33	18.82	0.29	4
VII	3	-	-	-	-	-
VII	4	-	-	-	-	-
VII	5	21.19	3.66	3.73	1.01	4
VII	6	120.07	13.61	7.33	0.45	4
VII	7	224.77	11.16	7.31	4.23	2
VIII	1	-	-	-	-	-
VIII	2	14.59	20.6	35.18	0.04	9
VIII	3	-	-	-	-	-
VIII	4	-	-	-	-	-
VIII	5	-	-	-	-	-
VIII	6	-	-	-	-	-
VIII	7	-	-	-	-	-

Continuación Tabla XII

IX	1	15.78	13.82	25.84	0.01	3
IX	2	16.74	8.35	73.83	0.27	4
IX	3	-	-	-	-	-
IX	4	-	-	-	-	-
IX	5	-	-	-	-	-
IX	6	-	-	-	-	-
IX	7	-	-	-	-	-
X	1	-	-	-	-	-
X	2	253.13	10.78	25.42	0.30	4
X	3	-	-	-	-	-
X	4	-	-	-	-	-
X	5	364.69	8.53	59.88	2.65	5
X	6	-	-	-	-	-
X	7	-	-	-	-	-
XI	1	-	-	-	-	-
XI	2	146.40	18.36	46.62	0.21	3
XI	3	111.12	17.47	52.28	0.39	4
XI	4	56.31	13.1	27.07	1.59	4
XI	5	-	-	-	-	-
XI	6	-	-	-	-	-
XI	7	-	-	-	-	-
XIII	1	-	-	-	-	-
XIII	2	100.08	36.33	69.54	0.14	8
XIII	3	-	-	-	-	-
XIII	4	-	-	-	-	-
XIII	5	-	-	-	-	-
XIII	6	-	-	-	-	-
XIII	7	-	-	-	-	-
XIV	1	-	-	-	-	-
XIV	2	28.765	19.82	52.69	0.08	3
XIV	3	-	-	-	-	-
XIV	4	-	-	-	-	-
XIV	5	-	-	-	-	-
XIV	6	-	-	-	-	-
XIV	7	-	-	-	-	-

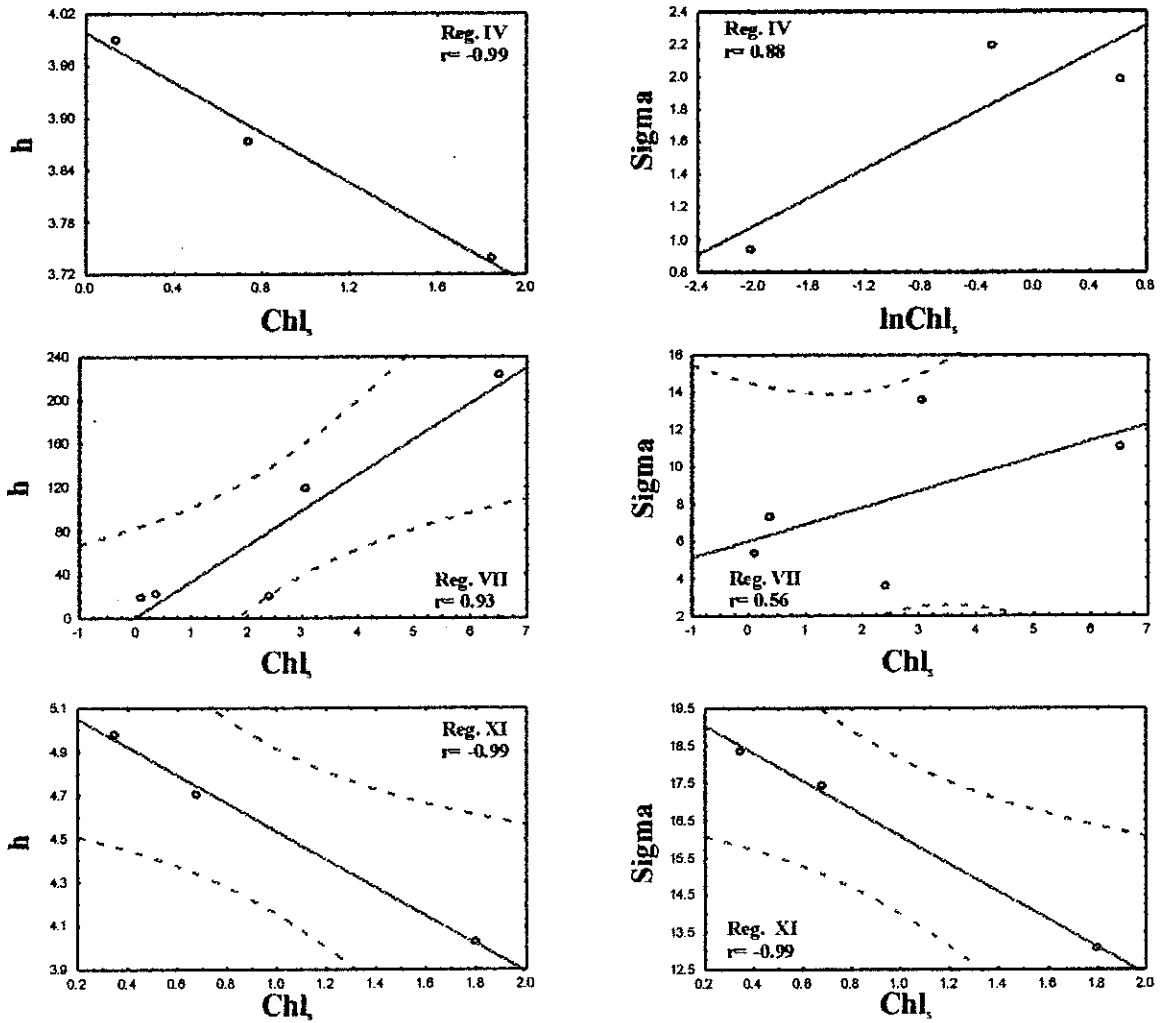


Figura 25. Regresión entre el parámetro gaussiano h y σ contra la Chl_s , para cada región en el período cálido.

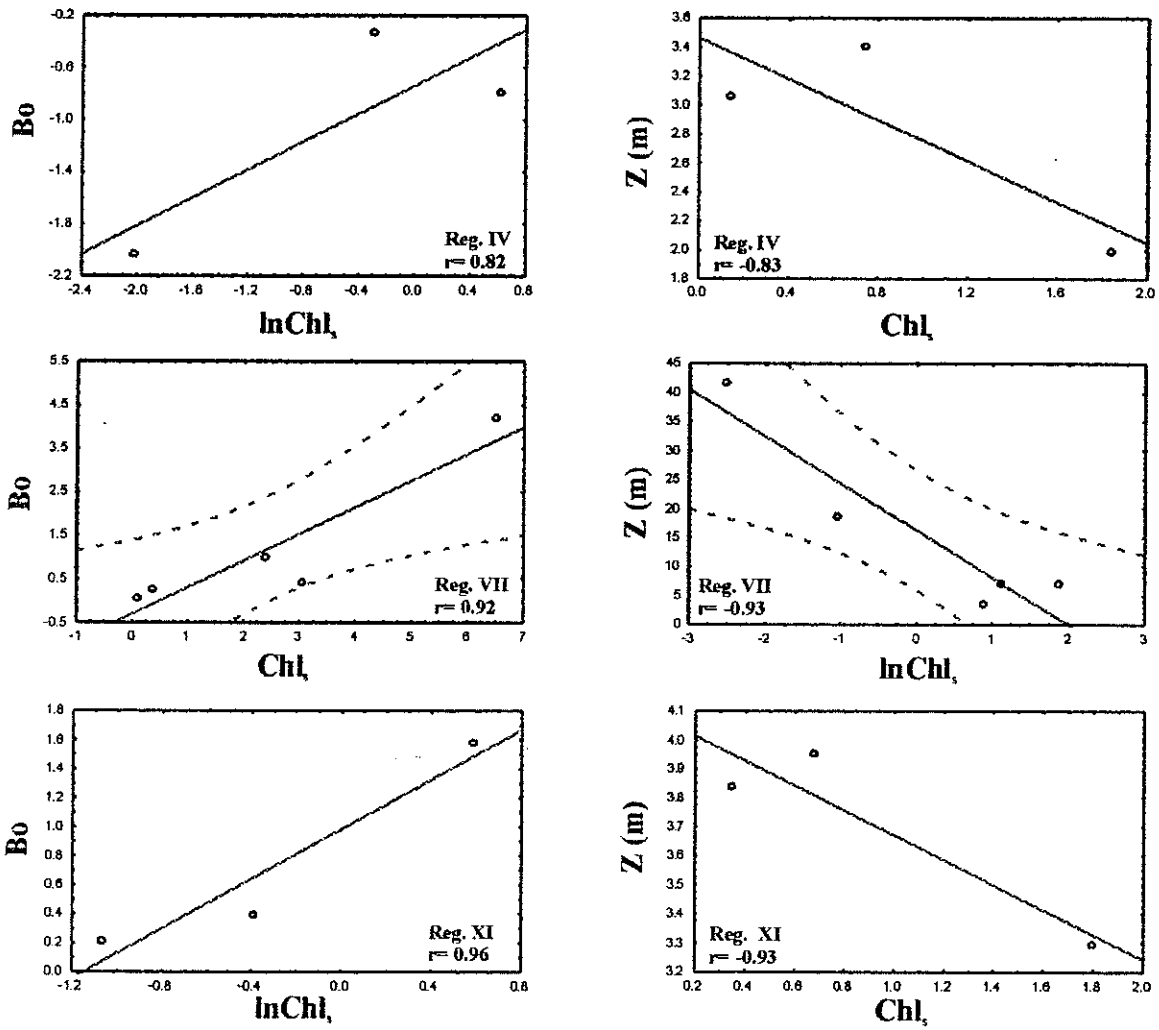


Figura 26. Regresión entre el parámetro gaussiano B_0 y Z_m contra la Chl_s , para cada región en el periodo cálido.

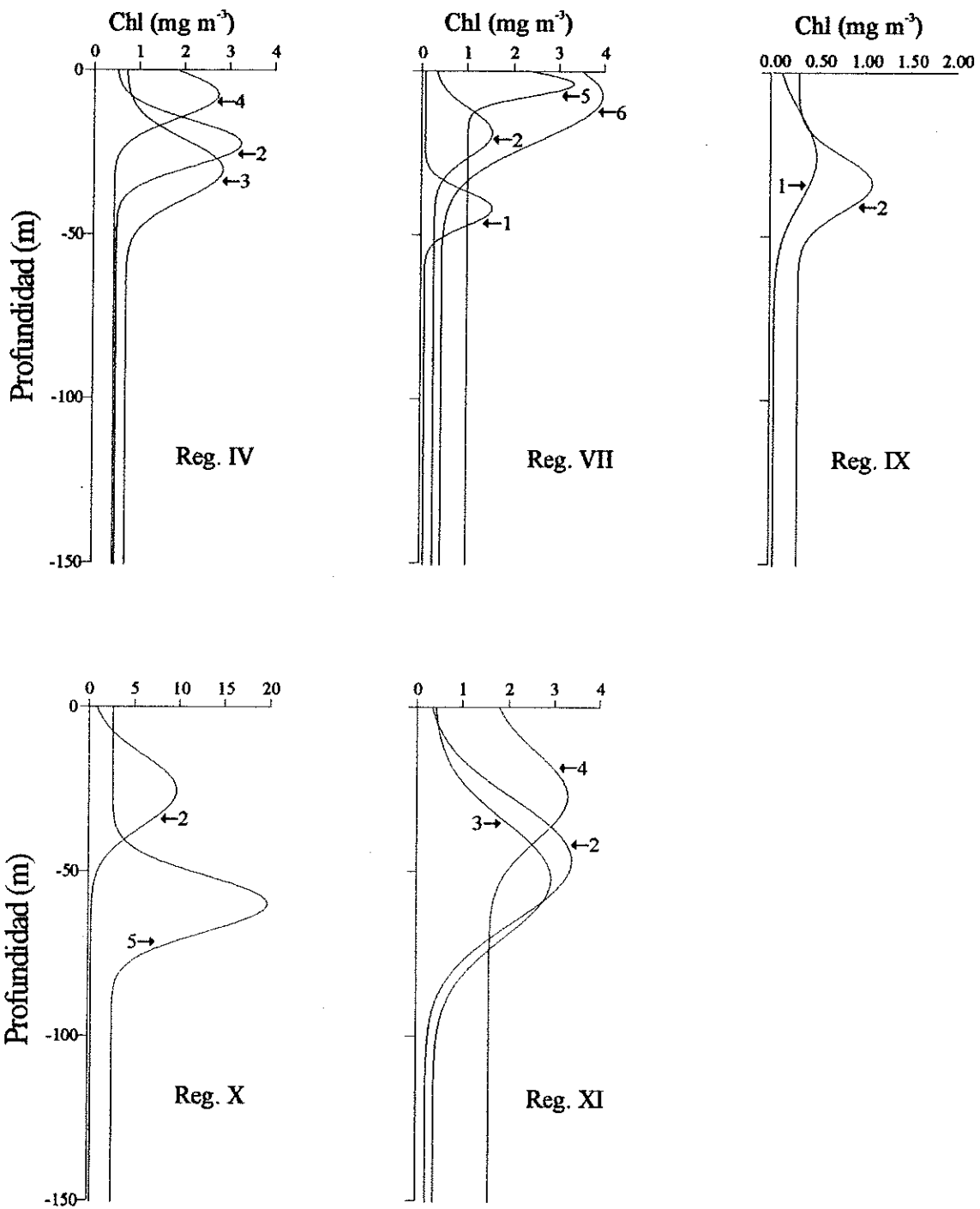


Figura 27. Perfiles de Clorofila, utilizando los promedios de los parámetros gaussianos por categorías. Los números indican la categoría.

4.3.2.1.- Modelos de Regresión

El análisis de regresión solo fue posible de realizarlo para tres regiones (IV, VII y XI). Este análisis se llevó a cabo teniendo como variable dependiente a cada uno de los parámetros o logaritmo natural del parámetro y como variable independiente la clorofila superficial o el logaritmo natural de la clorofila superficial. Se tomaron las regresiones que tuvieron el mayor coeficiente de correlación, en la tabla (XIII) se presentan las ecuaciones de regresión y el coeficiente de correlación para la estimación de los parámetros del modelo Gaussiano para cada perfil de clorofila en las regiones analizadas (IV, VII y XI), conociendo el promedio de la concentración superficial de cierta categoría, para cada región.

En general los parámetros Z_m y B_0 se pueden estimar mediante las ecuaciones de regresión, ya que en general presentaron un coeficiente de regresión $r > 0.90$. En cambio, los parámetros h y σ aunque presentaron buenas correlaciones que en algunos casos fueron positivas y en otros negativas. Para la estimación de los diferentes parámetros se debe realizar una conjugación entre las ecuaciones de regresión (tabla XIII) y parámetros promedios para cada una de las categorías por regiones, es así como para la estimación de los valores de los parámetros en algunos casos se requiere tomar el valor promedio de la Tabla IX dependiendo de la categoría y región que se trate.

En la figura 28 se presentan los perfiles de clorofila para cada una de las regiones analizadas utilizando las ecuaciones de la Tabla XIII y partiendo de distintos valores hipotéticos de concentración superficial de clorofila, como ejemplos.

Tabla XIII. Ecuaciones de regresión para estimar los promedios de los parámetros de la curva gaussiana en función del promedio de clorofila superficial por categoría, para el período cálido. *=usar los valores promedios, según la categoría y región.

Período Cálido			
Reg.	n		r
IV	4	$\ln(h) = 3.9988 - 0.1446 (\text{Chl}_s)$	-0.99
		$\ln(\sigma) = 1.9650 + 0.44010 \ln(\text{Chl}_s)$	0.88
		$\text{Bo} = -0.7359 + 0.53867 \ln(\text{Chl}_s)$	0.82
		$\ln(Z_m) = 3.4642 - 0.7081 (\text{Chl}_s)$	-0.83
VII	3	$h = 0.82876 - 32.773 (\text{Chl}_s)$	0.93
		$\sigma = 6.0226 + 0.89540 (\text{Chl}_s)$	0.56*
		$\text{Bo} = -0.3001 + 0.61318 (\text{Chl}_s)$	0.92
		$Z_m = 16.267 - 8.097 \ln(\text{Chl}_s)$	-0.93
XI	4	$\ln(h) = 5.1810 - 0.6462 (\text{Chl}_s)$	-0.99
		$\sigma = 19.782 - 3.704 (\text{Chl}_s)$	-0.99
		$\text{Bo} = 0.98698 + 0.85588 \ln(\text{Chl}_s)$	0.96
		$\ln(Z_m) = 4.1007 - 0.4291 (\text{Chl}_s)$	-0.93

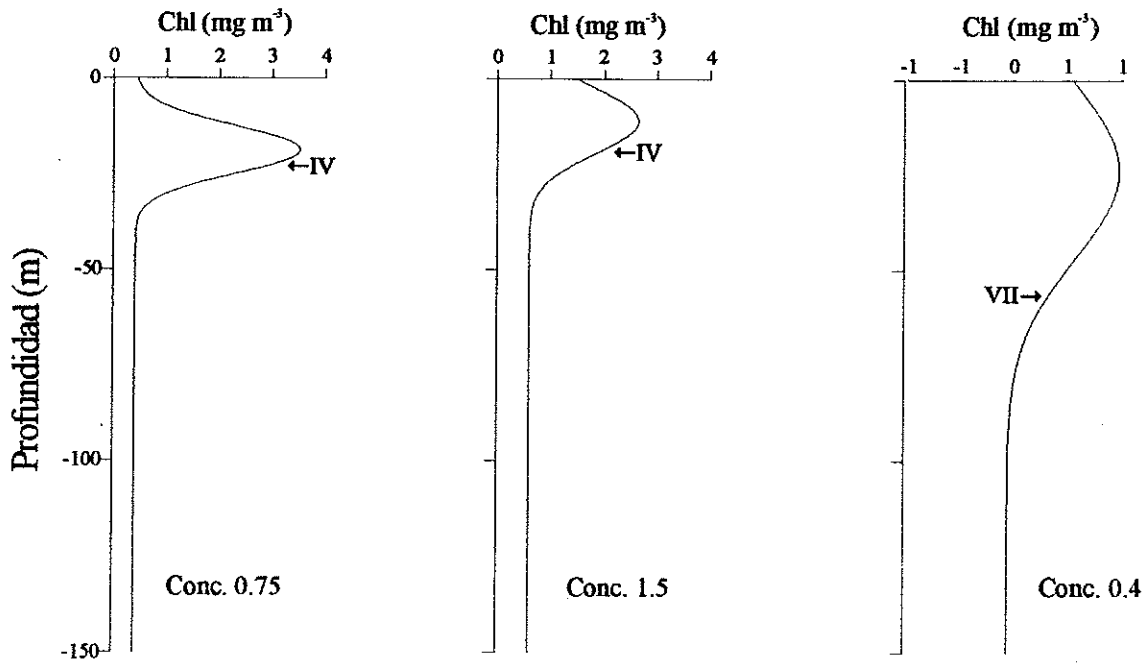


Figura 28. Perfiles de Clorofila estimados, para cada region utilizando lo modelos de la Tabla XIII.

4.4.- Validación Del Modelo

Con el propósito de probar los modelos para la estimación de los parámetros de los perfiles de clorofila, se utilizaron los datos de un crucero oceanográfico efectuado en 1997, al interior del GC, la validación de los modelos solo fue posible de efectuar para el período frío, ya que, los modelos generados para el período cálido no son confiables dado su bajo número.

Los datos se agruparon por categorías y regiones. Los promedios de las concentraciones superficiales de clorofila de cada categoría y de cada época, se utilizaron los modelos de la Tabla X para obtener los valores promedios de los parámetros. Los perfiles de concentración de clorofila se graficaron junto a los perfiles promedios reales de cada categoría y época para observar su semejanza. Además, se realizó un análisis de regresión entre los valores observados y estimados, para observar su ajuste (Figs. 29 y 30).

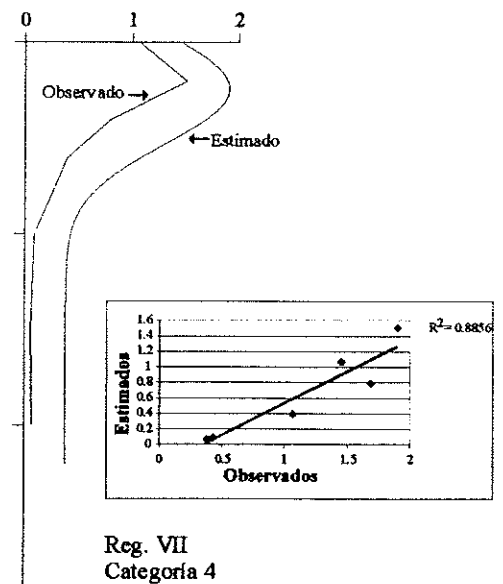
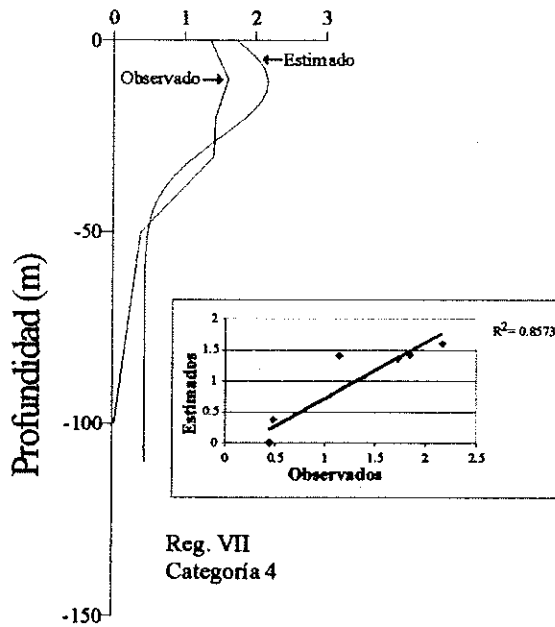
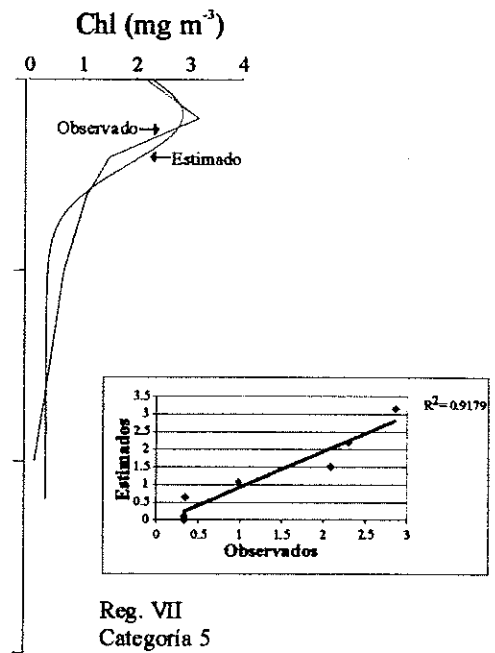
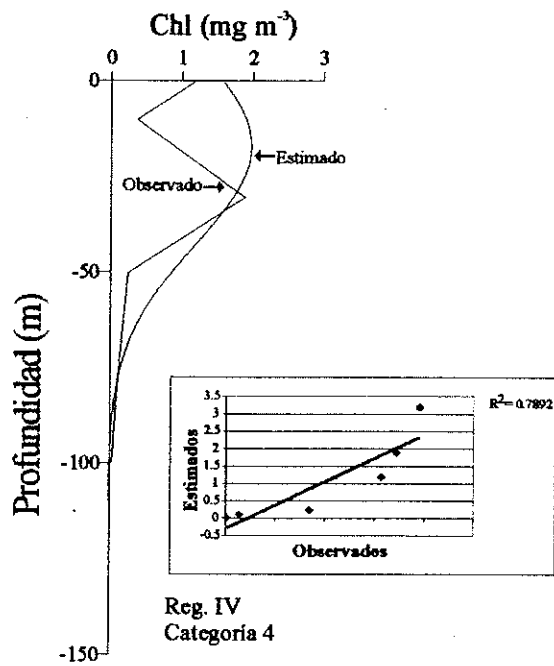


Figura 29. Perfiles de clorofila estimados y observados para el periodo frío, como ejemplos de validación en distintas categorías y regiones. Además se presenta la gráfica de regresión entre los estimados y los observados adjunto a cada perfil.

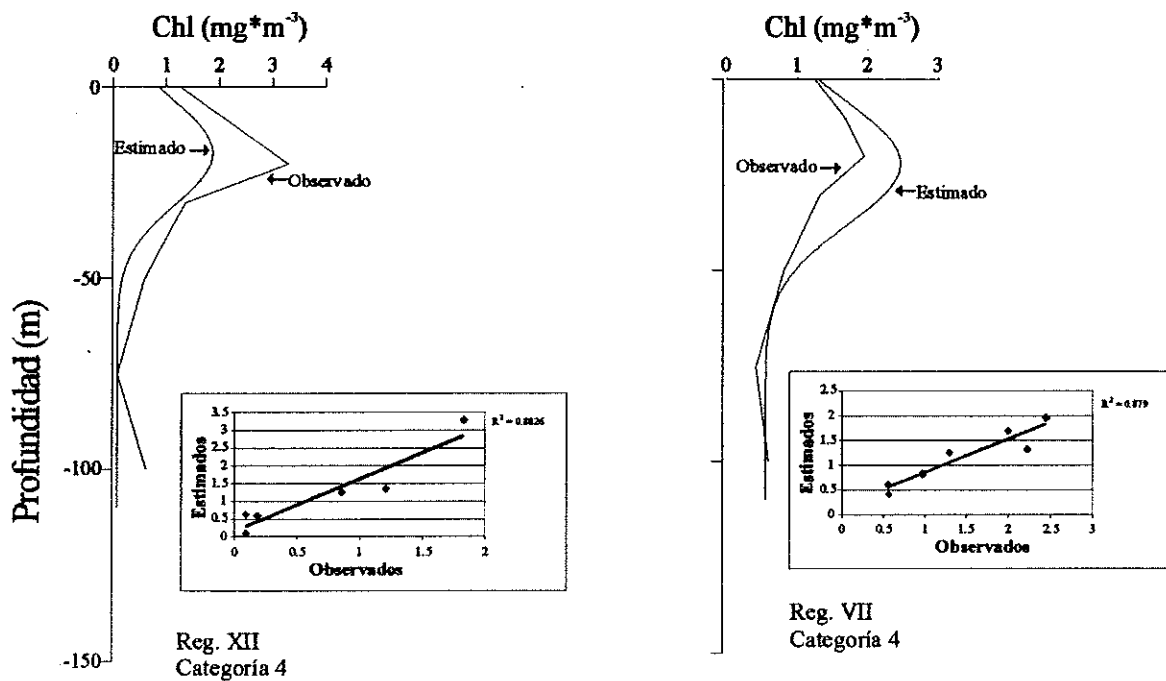


Figura 30. Perfiles de clorofila estimados y observados para el periodo frío, como ejemplos de validación en distintas categorías y regiones. Además se presenta la gráfica de regresión entre los estimados y los observados adjunto a cada perfil.

5.- DISCUSION

Los resultados de las variaciones de los parámetros que se presentan en la figura 3, nos da un reflejo del dinamismo interno del GC, en donde se puede observar que los mayores valores de Chl_s , Chl_{MPC} estuvieron asociados al alto Golfo y a zonas someras como las cercanías de Bahía de La Paz, esto es concordante con los resultados de diversos autores que han señalado que el alto Golfo es una zona altamente productiva, ya que en esta zona aparentemente siempre existe una concentración alta de nutrientes (Álvarez-Borrego 1983; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), por lo menos en condiciones frías lo que coincide con los resultados de esta investigación. También es válido destacar que esto también es ayudado por los procesos de mezcla que ocurren en esta área, tanto por mareas, como por el efecto de las islas (Stock, 1976)

Los variogramas (Fig. 7), fueron distintos en ambos periodos, ya que en el período frío estos si fueron capaces de demostrar que las interpolaciones presentaron igual tendencia que los datos originales, no así en el período cálido, en que solo el parámetro Z_m presento la interpolación confiable. Con respecto a los variogramas para el período frío, se puede señalar que estos entregan valores positivos a corta distancia, situación que según Sokal (1979) permite inferir que se está en presencia de procesos continuos, autocorrelacionados y con valores muy similares a corta distancia, que implica, además, diámetros de parches de plancton, mayores que la distancia entre estaciones muestrales, situación concordante con los resultados obtenidos.

Por otra parte, en los variogramas de Chl_s y Chl_{MPC} se observaron valores positivos a grandes distancias (mayores de 8 mn), lo que según Sokal (1979), es producto de un arreglo regular de pequeños parches con continuidad espacial, lo que es concordante con los resultados obtenidos por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994), quienes diferenciaron en el Golfo regiones de acuerdo a la continuidad de los valores superficiales de pigmentos. Se debe destacar que estos resultados reafirmarían la hipótesis de la alta variabilidad que presenta el Golfo en el sentido norte-sur y este-oeste. Se debe destacar que los variogramas del período cálido (Chl_s y Chl_{MPC}) se presentaron para demostrar la invalidez de realizar interpolaciones que no se encuentren asociadas a un análisis fractal confiable (es decir, una interpolación que se ajuste a la variabilidad de los datos), ya que estas nos pueden entregar una realidad inexistente.

Al observar las figuras de la 8 a la 13, en la que se observa la variación de la Chl_s , Z_m y Chl_{MPC} , para el GC, en condiciones frías y cálidas, podemos observar que las mayores abundancias de Chl_s (Fig. 8) se presentaron en la región norte del Golfo lo que coincide con los procesos dinámicos y con la clasificación propuesta por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994), en que señala que las región norte es la que debería presentar un mayor variabilidad producto de los continuos procesos de mezcla que se presentan en esta área. A su vez se observa un segundo núcleo el cual se encuentra asociado a Bahía de La Paz región que Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994) definieron como una región de características someras.

A su vez el Z_m (Figs. 10 y 11) se observaron los mayores valores asociados a la zona sur del Golfo en donde se presentan aguas generalmente oligotróficas y más profundas, a diferencias de lo que se observa en el sector norte del Golfo en donde la turbidez es mayor y las aguas tienden hacer mesotróficas Cervantes-Duarte *et al.*, (1993). Al respecto Valdez-Holguín y Lara-Lara (1987), han señalado que la zona eufótica es típicamente mas profunda en el sur que en el norte.

Bajo este concepto, se plantea el siguiente escenario como una explicación a las diferencias que se observan en las figuras del período frío y cálido. Durante el verano la estratificación es intensa y permite que las condiciones de luz sean óptimas para el desarrollo del fitoplancton (Stigerbrandt y Djurfelft, 1996). Por esta razón los máximos de clorofila son en general más profundos en esta época (e.g. Radenac y Rodier, 1996; Macias-Carranza, 1999). Esta situación provoca que los nutrientes sean abatidos rápidamente en la capa superficial mientras tiene lugar el florecimiento fitoplanctónico (Owens, 1993; Millero, 1996; Lavín *et al.*, 1997). En contraste, durante el invierno la influencia oligotrófica del ASE es mínima (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997), la temperatura del agua disminuye, prevalecen vientos intensos del noroeste ($8-12 \text{ m s}^{-1}$; Lavín *et al.*, 1997) y además, continúa el aporte de nutrientes en la región de las islas. Consecuentemente la estratificación se rompe, aumenta el grosor de la capa de mezcla y las capas superficiales se enriquecen con nutrientes. De esta manera las condiciones óptimas de luz y nutrientes para el desarrollo fitoplanctónico se encuentran a profundidades más someras (e.g. Ryan *et al.*, 1999). Esta observación concuerda con los resultados de Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994), quienes encontraron una diferencia marcada en la concentración superficial de pigmentos, con concentraciones $>10 \text{ mg m}^{-3}$ en frío y $<0.1 \text{ mg m}^{-3}$ en cálido. Finalmente, al tiempo que se

rompe la estratificación un gran número de partículas se hunde (*e.g.* Pike y Kemp, 1999) y son remineralizadas hacia el fondo, enriqueciendo con nutrientes el agua a profundidades intermedias.

El Z_m ha sido reportado en muchos lugares con variación estacional y de lugar a lugar (Venrick *et al.*, 1973; Varela *et al.*, 1992; Estrada *et al.*, 1993) inclusive en área relativamente cercana a la costa como lo reportan Millán-Núñez *et al.*, (1997), lo que concuerda con nuestros resultados en donde podemos observar la variación del Z_m en ambos períodos (Fig. 4), por lo cual podemos considerar que al interior del Golfo podemos observar un gradiente de condiciones ambientales, tanto en el sentido latitudinal como longitudinal.

La razón Chl_{MPC}/Chl_s tiende a ser mayor hacia el sur, sin embargo para la región XII se observa una disminución de esta razón, ya que en esta zona muy somera, que puede ser afectada por marea y topografía. En cambio las regiones de la boca del Golfo no se ven afectadas por estos, ya que son aguas oligotróficas y es una zona completamente oceánica, además presentando un dinamismo distinto, ya que es una zona de intercambio de masas de agua entre el Golfo y el Océano Pacífico (Torres-Valdés, 2000).

La correlación entre los promedios de Chl_{MPC} y Z_m con el promedio de la clorofila superficial fue alta, para cada categoría y región, lo que coincide con lo reportado por Millán-Núñez *et al.*, (1997) para la corriente de California en donde obtuvo r superiores 0.9. Los resultados de esta investigación contrastan con los reportados por Estrada *et al.*, (1993) frente a España entre 1982 a 1987, con valores de correlación entre la Chl_s contra la Chl_{MPC} y Z_m de $r=0.01$ y $r=-0.48$ respectivamente.

Nuestros modelos de regresión para el período cálido tienen fuerte limitación debido a que solo unas regiones fueron completadas. Así también nuestros valores para las regiones en época fría también presentan limitación debido a que solo tiene datos en tres o cuatro categorías. Sin embargo estos puntos caen casi en una línea recta con una $r > 0.90$, esta situación también fue observada por Millán-Núñez *et al.*, (1997) en la corriente de California, por lo cual podemos inferir que esta tendencia es válida en las aguas del Pacífico Oriental Norte.

El Z_m se presenta de una manera casi permanente en el GC tanto en la época fría como en la cálida, con un claro incremento de norte a sur (Fig. 3), el cual presenta variaciones en el orden latitudinal que están asociadas principalmente al efecto de las islas y la topografía. Platt *et al.*, (1995) reportaron para el Atlántico Norte un incremento del Z_m de norte a sur de 3.5 m por grado de latitud. Esta variaciones latitudinales también fueron reportadas por Millán-Núñez *et al.*, (1997) en la corriente de California, determinando este autor que la tendencia promedio de este parámetro era igual tanto cerca como lejos de la costa. En nuestro estudio, si tomamos el promedio de cada región por época, de norte a sur, se obtiene valores cercanos a lo reportado por estos autores, lo cual indicaría que independiente del lugar geográfico este parámetro presenta en general igual tendencia, por lo cual es una variable posible de ser parametrizada a través de un modelo analítico.

La variación del Z_m en cada región del GC no es igual, ya que el patrón de circulación varía a lo largo del Golfo y a su vez en forma estacional. Esto se debe a la topografía, calentamiento por la radiación solar, eventos de surgencia, mezcla por efecto de las islas, etc. (Roden y Groves, 1959; Argote *et al.*, 1985; Paden *et al.*, 1991).

El incremento de Chl_{MPC} y el decremento de Z_m con el aumento de la clorofila superficial, en cada región y en la época fría principalmente, se debe a varios factores físicos temporales y estacionales, como surgencias, mezcla por viento y marea, calentamiento por radiación solar etcétera, que dan condiciones óptimas para el crecimiento del fitoplancton presentando un incremento en la Chl_{MPC} y por consiguiente la Z_m se acerca a la superficie. La biomasa del fitoplancton en la parte superior decrece por la estratificación de la columna de agua, el pastoreo, el hundimiento del fitoplancton, la adaptación del fitoplancton a bajas irradiancias, entre muchos otros factores que se han reportado como responsables de la formación y sostenimiento del MPC (Jerlov, 1959, Lorenzen, 1967; Anderson, 1969; Venrick *et al.*, 1973; Jamart *et al.*, 1977; Cullen y Eppley 1981; Varela, 1992; Estrada *et al.*, 1993).

Los modelos de regresión no son capaces de predecir valores instantáneos Chl_{MPC} y Z_m para una localización geográfica en particular. En otras palabras, cuando se aplican los modelos para estimar Chl_{MPC} y Z_m , estos valores predichos deben ser usados con todos los datos de Chl_s , dentro de su categoría y dentro de la región y época correspondiente.

5.1.- Parámetros Gaussianos

La variación de los parámetros gaussianos (Figs.14 a la 17, 24 y 25) en las regiones se debe a los cambios de las características físicas y químicas propias de las corrientes que se presentan al interior del GC, durante su trayectoria, por su topografía, clima y época de del año. La variabilidad de los perfiles de clorofila para cada región y época, nos da la pauta para no suponer una distribución constante con la profundidad, en la determinación de la productividad primaria integrada, esta situación también fue observada por Millán-Núñez *et al.*, (1997), en la corriente de California, este autor observo que la profundidad del máximo profundo presentó variaciones tanto latitudinal como longitudinalmente.

A su vez en el sentido Este – Oeste se observaron diferencias entre la costas peninsular y continental, estas diferencias al parecer no son tan marcadas en el sector sur, pero en el área norte del Golfo es posible de observar que existen diferencias entre regiones tanto en el período frío como cálido. Si esto lo caracterizamos a través de un perfil típico para cada región (Figs. 15 y 24) podemos observar como vario el perfil de clorofila entre regiones tanto en concentración como en forma lo que nos da una pauta para no suponer una continuidad de la clorofila al interior del golfo, con esto se demuestra que la clasificación propuesta por Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994) es una clasificación que representa en gran forma la realidad dinámica del Golfo en términos de clorofila. Esto además confirma el análisis de interpolación realizado en este estudio en donde se observa en forma clara la alta variabilidad de los parámetros graficados (Figs. 8 a la 13).

La distribución del vertical del perfil de clorofila esta determinado por los cuatro parámetros gaussianos. El cambio o variación de uno de ellos nos dará un perfil diferente, es decir, si comparamos los parámetros de una misma región y época, con valores similares en tres parámetros, con el cuarto nos dará un perfil diferente. La variación de los parámetros para cada región, época y categoría, dan como resultado un gran número de perfiles, por lo que es de suma importancia el delimitar grandes áreas en regiones, para obtener mejores predicciones de los perfiles (Platt y Sathyendranath, 1988). Dado que, al tener un perfil característico definido para cierta área y época y aplicar el modelo analítico de productividad primaria se obtendrá un valor de producción más aceptable y cercano a la realidad. Al respecto, Platt *et al.*, (1992) y Shathyendranath *et al.*, (1995) reportaron valores promedios de estos parámetros en áreas del océano Atlántico, quizás con una mayor incertidumbre que

los presentados en este estudio, dado el menor número de perfiles por unidad de área estudiada. Al respecto, Millán-Núñez *et al.*, (1997) obtuvieron perfiles altamente confiables para la corriente de California dado su gran número de datos.

La heterogeneidad de formas de los perfiles estimados de clorofila muestra la dificultad de utilizar un esquema general único de la distribución vertical de clorofila para todo el Golfo en cualquier época, con respecto a este punto Cervantes-Duarte *et al.*, (1993), estimaron un perfil típico para la época fría al interior del Golfo, perfil en el cual se engloban tanto zonas oceánicas como costeras que presenta el Golfo. Las diferencias generales con el estudio de Cervantes-Duarte *et al.*, (1993), es que el perfil tipo reportado por estos autores es bastante homogéneo y no presenta una gran tendencia a ser gaussiano por lo cual es muy poco confiable y no reflejaría lo reportado por diversos autores para el GC.

Aparentemente, la estimación de la clorofila integrada en la zona eufótica a partir de clorofila superficial en ambos períodos del año es complicada, debido a la gran cantidad de formas de los perfiles de pigmentos. La utilización de un perfil por cada una de las regiones es un acercamiento para aplicar con mayor confianza los modelos de estimación de producción primaria. Sin embargo, es necesario generar más datos de campo a lo largo y ancho del GC (incluyendo zonas costeras) y en estaciones del año poco muestreadas como en el período cálido, para lograr una interpretación y utilización más adecuada de la información obtenida por los sensores remotos. En las regiones descritas en este trabajo se observa que no siempre están representadas todas las categorías, principalmente las categorías inferiores, en la región al norte de las grandes islas. Esto nos indica la necesidad de tener más perfiles de clorofila medidas *in situ* en estas áreas con el propósito de tener cubiertas todas las categorías para cada región y época.

En la estimación del parámetro Z_m , hay que tomar en consideración que es el único parámetro que puede presentar valores negativos al ajustar la curva gaussiana, donde el valor de clorofila teóricamente quedaría arriba de la superficie, por lo que al estimar el Z_m con el modelo de $\ln Z_m$ (Tabla X), el valor menor estimado será cero y no valores negativos. Esto se presenta solo en algunos casos dentro de las categorías mayores, teniendo una sobre estimación en los valores de clorofila en la columna de agua. Esta situación también fue observada por Millán-Núñez *et al.*, (1997) para la corriente de California.

En general los parámetros h , Z_m y B_0 por categoría presentaron una alta correlación con la concentración de clorofila superficial. Sathyendranath *et al.*, (1995), obtuvieron una correlación entre la clorofila superficial y Z_m en el océano Atlántico con un $r = -0.623$, con un intervalo de $r = -0.03$ a -0.83 , mientras que el coeficiente de correlación entre la concentración de clorofila superficial y el parámetro sigma tuvo un valor de $r = 0.116$, mencionando que este parámetro sigma es impredecible. Lo mismo ocurre con los datos de la corriente de California estimado por Millán-Núñez *et al.*, (1997).

La validación de los perfiles estimados no presentaron grandes diferencias graficas con respecto a los observados, lo cual se ve confirmado por el análisis regresional entre los estimados y observados en donde todos los casos expuestos fue posible obtener un R^2 mayor 0.79. Esto demuestra que es mejor utilizar estos modelos para predecir el perfil vertical de concentración de clorofila que suponer una distribución homogénea en la zona eufótica. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por Millán-Núñez *et al.*, (1997) para la corriente de California, estos autores obtuvieron los perfiles estimados con idéntica metodología que este estudio lo cual demuestra la valides de este tipo de estudios para la estimación de perfiles tipos en diversas áreas.

Los algoritmos propuestos en este estudio, no son capaces de predecir los parámetros de los perfiles en forma instantánea para una localización geográfica en particular. En otras palabras, cuando se apliquen estos algoritmos para estimar los parámetros, estos deben ser usados para toda el área con todas las concentraciones de clorofila superficial dentro de sus respectivas categorías, dentro de la región y la época. Se ha mencionado por investigadores, que el método de sensores remotos para estimar la productividad a gran escala es intrínsecamente superior a cualquier método basado en observaciones en barco. El intento de utilizar los sensores remotos en la productividad primaria, implica un complemento a las observaciones en barco con las de los sensores remotos y no reemplaza a las observaciones de barco, si no que las observaciones de los sensores remotos se suman a la información *in situ* disponible.

6.- CONCLUSIONES

- En términos generales la información entregada por los análisis espaciales tuvieron interpretación biológica concordante con la distribución espacial de los variables (Chl_s , Chl_{MPC} y Z_m), al interior del GC. Las distintas semivarianzas analizadas, para el período frío, presentaron patrones de ajuste geoestadísticos. Esto nos indicaría que la distribución de los parámetros estudiados formarían parte de un proceso con continuidad espacial factible de ser detectado, medido, modelado e interpretado geoestadísticamente.
- El parámetro h presentó una clara diferencia entre regiones, por lo cual podemos deducir que la distribución de este parámetro al interior del GC no es homogénea.
- El parámetro Z_m presentó una clara diferencia entre regiones ubicadas en el norte con las ubicadas al sur del Golfo, siendo de mayor valor en el sur del Golfo que en el norte.
- El parámetro B_0 fue posible de parametrizar, tanto para el período cálido como frío al interior del Golfo.
- El parámetro σ presento diferencias entre regiones en la mayoría de los casos, no se obtuvieron modelos de regresión significativos, por lo cual se propone utilizar los promedios para todas las regiones y para la época fría.
- La comparación de los perfiles de concentración de clorofila reales y estimados para el período Frío, muestran que en la mayoría de las profundidades hay concordancia, lo que se corrobora mediante el análisis de los esperados y estimados. Por lo anterior, el uso de estos modelos para estimar los perfiles verticales en base a la concentración de clorofila superficial, es mejor que suponer una capa homogénea en toda la zona eufótica.
- La Chl_{MPC} es mayor en las regiones del alto Golfo y en época fría, mientras que el Z_m son mayores en las regiones ubicadas en la boca del Golfo.

- La razón Chl_a/Chl_{MPC} se incrementa hacia el sur, en cada una de las regiones en época fría, excepto en la región XII, debido al efecto costero y batimétrico.

- Con la concentración de clorofila a superficial promedio de una cierta categoría para cada región dada y en una época, es posible estimar los promedios de la Chl_{MPC} y Z_m del GC. Con modelos de regresión lineal simple en función de la concentración superficial de clorofila.

- Es posible construir modelos geoestadísticos para el periodo frío con un alto grado de confiabilidad, los que responden en forma muy coherente a los resultados obtenidos por otros autores. Estos modelos entregan una visión clara y más objetiva sobre la regionalización del GC.

7.- REFERENCIAS

- Álvarez-Borrego, S. and R.A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 6:43-63.
- Álvarez-Borrego, S. 1983 Gulf of California. Chapter 17 pp 427-449. *In: Ketchum B.H. (eds.) Estuaries and Enclosed Seas. Elsevier Scientific Publis. Amsterdam.*
- Álvarez-Borrego, S. and J.R. Lara-Lara. 1991 The Physical Environment and Primary Productivity of the Gulf of California. Chapter 26 *In: Simoneit, B.R.T. and J.P. Dauphin (eds.) The Gulf and Peninsular Province of the California's. Am. Assoc. Petr. Geo. Memor.47.*
- Anderson. G.C. 1969. Subsurface chlorophyll maximum in the northeast pacific ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 14:386-391
- Argote, M.L., A. Amador y C. Morales. 1985. Variación estacional de la estratificación en la región norte del Golfo de California. *In: J. Urrutia-Fecugauchi y J.F. Valdés-Galindo (eds), Memoria de la reunión anual 1985, Unión Geofísica Mexicana, México, D.F., 437 p.*
- Balch, W.M., Eppley, R.W. and M.R. Abbott. 1989. Remote sensing of primary production. II a semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. *Deep Sea Res.*, 36:1201-1217.
- Beier, E. 1997. A numerical of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.* 27:615-632.
- Beier, E. and P. Ripa. 1998. Seasonal gyres in the northern Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.* 29:305-311.
- Bray, N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 93(C2): 4993-5020.
- Bray, N.A. and J.M. Robles. 1991. Physical oceanography of the Gulf of California. Chapter 25 pp 511-553. *In: Dauphin, J.P. and Simoneit, B.R. (eds), The Gulf of California and Peninsular Provinces of the Californias. Am. Assoc. Petro. Geol., Memoir 47.*
- Carrillo-Briebiezca., L. 1996. Circulación geostrófica en la región norte del Golfo de California. Tesis de Maestría en Oceanografía Física, CICESE. Ensenada, Baja California, México, 64 pp.
- Cervantes-Duarte, R., G. Gaxiola-Castro y J.E. Valdez-Holguín. 1993. Relación entre clorofila superficial y clorofila en la zona eufótica del Golfo de California: posible aplicación para estimar la producción primaria con datos obtenidos por sensores remotos. *Ciencias Marinas*, 19(4): 473-490.
- Chavez, F.P., P.G. Strutton and M.J. McPhaden. 1998. Biological-physical coupling in the central equatorial Pacific during the onset of the 1997-98 El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 25:3543-3546.

- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, Sh. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Surtton and M. Van Den Belt .1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Cullen, J.J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophylla, *Canadian Jour. of Fisheries and Aquatic Science*, 39:791-803.
- Cullen, J.J. 1990. On models of growth and photosynthesis in phytoplankton. *Deep Sea Res.*, 17:667-683.
- Cullen, J.J and R.W. Eppley.1981.Chlorophyll maximum layers of the southern California bight and possible mechanisms of their formation and maintenance. *Oceanologica Acta*. 4, 1:23-22.
- Delgadillo-Hinojosa, F., G. Gaxiola-Castro, J.A. Segovia-Zavala, A. Muñoz-Barbosa and M.V. Orozco-Borbón. 1997. The effect of vertical mixing on primary production in a bay of the Gulf of California. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 45:135-148.
- Demers, S., L. Legendre and J.C. Therriault 1986. Phytoplankton reponses to vertical tidal mixing. p 1-40. *In: Bowman M.J., Barber R.T. and Mooers Ch. (eds). Lecture notes on coastal and estuarine studies: tidal mixing dynamics.*, Springer-Verlag, p. 502.
- Dauphin, J.P. and Simoneit, B.R. 1991. The Gulf of California and Peninsular Provinces of the Californias. *Am. Assoc. Petro. Geol., Memoir 47*. 726 pp.
- Esaias, W. 1981. Remote sensing in biological oceanography. *Oceanus*, 24(3):32-39.
- Estrada, M.C., M.L. Marrase, E. Berdalet, M. Delgado and T. Riera. 1993. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92:289-300
- Falkowsky, P.G., R.T. Barber and V. Smetacek. 1998. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Nature*, 281:200-206.
- Fonselius, S. 1996. The upwelling of nutrients in the central Skagerrak. *Deep Sea Res.*, 43:57-71.
- Gattuso, J.P., M. Frankignoulle and R. Wollast. 1998. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. *Annu. Rev. Syst.*, 29:405-434.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Álvarez-Borrego. 1986. Productividad primaria del Pacífico Mexicano. *Ciencias Marinas*, 12:26-33.
- González-Gurriarán, E., J. Freire and L. Fernández. 1993. Geostatistical analysis of spatial distribution of *Liocarcinus depurator*, *Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). *Mar. Biol.* 115: 453-461.

- Hayward, T.L. and E.L. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. *Mar. Biol.*, 69:247-252.
- Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press, New York. 282 p.
- Jamart, B.M., D.F., Winter, K. Bansen, G.C. Anderson and R.K. Lam. 1977. A theoretical study of phytoplankton growth and nutrient distribution in the Pacific Ocean off the northwestern U.S. coast. *Deep Sea Res.* 24: 753-773.
- Jerlov, N.G. 1959. Maxim in the vertical distribution of the particles in the sea. *Deep Sea Res.*, 5:173-184.
- Jickells, T.D. 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 281:217-221.
- Journel, E.H. and Huilbregts, C. J. 1978. *Mining geostatistics*. Acad. Press, London. 261 p.
- Kirk, J.O. 1983. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystem*. Cambridge University Press. Cambridge. 401 p.
- Lara-Lara, J.R., R. Millán-Núñez, J.L. Lara-Osorio y C. Bazán-Guzman 1993. Productividad y biomasa del fitoplancton por clases de tamaño, en la parte central del Golfo de California durante la primavera, 1985. *Ciencias Marinas*, 19:137-154.
- Lavín, M.F. and S. Organista. 1988. Surface heat flux in the northern Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 93(4):14033-14038.
- Lavín, M.F., E. Beier and A. Badán-Dangón 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual, *In*: M.F. Lavín (ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México.*, Monografía N° 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 141-171
- Lewis, M.R. 1992. *Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press New York. 550 p.
- Longhurst A., S. Sathyendranath, T. Platt and C. Caverhill. 1995. an estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *J. Plank. Res.* 17(6):1245-1271.
- Lorenzen, C.J. 1967. Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. *Deep Sea Res.* 14:735-745.
- Macias-Carranza, V.A. 1999. Pigmentos fitoplanctónicos por HPLC en el Golfo de California: período verano-invierno, 1996-1997. Tesis de Maestría en Oceanografía Costera, UABC, Ensenada, Baja California, México. 66 pp.
- Marinone S.G. and P. Ripa. 1988. Geostrophic flow in the Guaymas Basin, central Gulf of California. *Continental Shelf Res.* 8(2): 159-166.

- Malone T.F. and J.G. Roederer. 1985. Global change (eds) Malone y Roederer. Cambridge Univ. Press. New York. 300 p.
- Merrifield M.A. and C.D. Winant. 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description of the Variability. *J. Geophys. Res.* 94 (C12):18133-18160.
- Millán-Núñez R., S. Álvarez-Borrego and Ch. Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.* 102 (C4):8587-8595.
- Millán-Núñez, R., R. Cajal-Medrano, E. Santamaría-del-Ángel y E. Millán-Núñez. 1993. Productividad primaria y clorofila *a* en la parte central del Golfo de California (otoño 1987). *Ciencias Marinas*, 19(1):29-40.
- Millero, F.J. 1996. *Chemical Oceanography*. Second edition. London. CRC Press, Inc. pp 469.
- Morel A. and J.F. Berthon. 1989. Surface pigment, algal biomass profiles and potential production of euphotic layer: relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limnol. Oceanogr.*, 34(8):1545-1562.
- Mullineaux, C.W. 1999. The plankton and the planet. *Science*, 283:801-802.
- Nixon, S.W., C.A. Oviatt, J. Frithsen and B. Sullivan 1986. Nutrients and productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr.*, 12(1/2):43-71.
- Owens, N.J.P. 1993. Nitrate cycling in marine waters. *In*: Burt, T.P., A.L. Heathwaite and S.T. Trudgill (eds). *Nitrate: Processes, Patterns and Management* John Wiley & Sons Ltd. pp. 169-209.
- Paden, C.A., M.R. Abbott and C.D. Winant. 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California 1. Sea Surface temperature variability. *J. Geophys. Res.* 96(C8):18337-18359.
- Pauly, D. and V. Christensen 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374:255-257.
- Pernetta, J.C. and J.D. Milliam. 1994. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Implementation plan. IGBP Report N° 33, Stockholm. 215 pp.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. Cap. 5 pp. 113-142. *In*: *Computers in Fisheries Research* (eds.) B. A. Megrey and E. Moksness. Chapman & Hall, London.
- Pike, J. and A.E.S. Kemp 1999. Diatoms mats in the Gulf of California sediments: Implications for the paleoenvironmental interpretation of laminated sediments and silica burial. *Geology.*, 27(4):311-314.
- Platt, T. and S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production by remote sensing at local and regional scales. *Science*. 241: 1613-1620.

- Platt, T. and S. Sathyendranath. 1993. Estimators of primary production for interpretation remotely sensed data on ocean color. *J. Geophys. Res.* 98(C8):14561-14576.
- Platt, T.C. Caverhill and S. Sathyendranath. 1991. Basin scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: North Atlantic. *Jour. Geophys. Res.* 96(C8):147-159.
- Platt, T., S. Sathyendranath, C. Caverhill and M.R. Lewis. 1988. Oceanic primary production and available light: further algorithms for remote sensing. *Deep Sea Res.* 35: 855-879.
- Platt, T., S. Sathyendranath and A. Longhurst. 1995. Remote sensing of primary production in the ocean: promise and fulfillment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 348: 191-202.
- Radenac, M.H. and M. Rodier 1996. Nitrate chlorophyll distributions in relation to thermohaline and current structures in the western Tropical Pacific during 1985-1989. *Deep Sea Res.*, 43:725-752.
- Ripa, P. and S.G. Marinone. 1989. Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the Central Gulf of California, as inferred from historical data. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 115:887-913.
- Ripa, P. 1990. Seasonal circulation in the Gulf of California. *Ann. Geophys.* 8:559-564.
- Ripa, P. 1997 Towards a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27:597-614.
- Robles, J.M. and S.G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Res.* 7: 715-733.
- Roden, G.I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pac. Sci.* 12:21-45.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. *In: Tj.H. Van Andel and G.G. Shor (eds.) Marine geology of the Gulf of California: a symposium.* AAPG Memoir 3; 30-58.
- Roden, G.I. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revilla Gigedo Islands región. *J. Phys. Oceanogr.* 2:177-183.
- Roden, G.I. and G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic observations in the Gulf of California. *J. Mar. Res.* 18;10-35.
- Rosas-Cota, A. 1976 Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m durante estaciones de invierno y verano. *CalCOFI Rep.*, 19: 89-106.
- Rusnak, G.A, R.L Fisher and F.P. Shepard. 1964. Bathymetry and faults of the Gulf of California. *In: Tj.H. Van Andel and G.G. Shor Jr. (eds.), Marine Geology of the Gulf of California: A symposium, a symposium.* AAPG Memoir 3:59-75.

- Ryan, J.P., J.A. Yoder and C.P. Cornillon 1999. Enhanced chlorophyll at the shelfbreak of the Mid-Atlantic Bight and Georges Bank during the spring transition. *Limnol. Oceanogr.*, 44(1):1-11.
- Ryther, J.H. 1956. Photosynthesis and light in the Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 1(1):1-16.
- Ryther, J.H. and C. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. *Limnol Oceanogr.* 2:281-286.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego and F.E. Müller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99(C4):7411-7421.
- Sathyendranath, S. and Platt, T. 1989. Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of non-uniform pigment profile. *Appl. Opt.*, 28: 490-495.
- Sathyendranath S., A. Longhurst, M.C. Caverhill and T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep Sea Res.* 42(10): 1773-1802.
- Shepard, F.P. 1950. Submarine topography of the Gulf of California, Part 3 of the 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California. *Geol. Soc. Am., Mem.* 43, 32 pp.
- Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie and D. Marcotte. 1992. Mapping, estimating biomass, and optimizing sampling programs for spatial autocorrelated data: Case study of the northern shrimp (*Pandalus borealis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 49: 32-45.
- Smith, R., X. Zhang and J. Michaelson. 1998. Variability of pigment biomass in the California Current System as determined by satellite imagery. I. Spatial variability. *J. Geophys. Res.* 93(C4):10863-10882.
- Sokal, R. 1979. Ecological parameters inferred from spatial correlograms, pp. 167-196 in *Contemporary Quantitative Ecology and Related Ecometrics* (Patil, G. P. and Rosenzweig, M. L., Eds.) International Co-operative Publishing House; Fairland, Maryland.
- Steele, J.H. 1978. Some comments on plankton patches. *In: J.H. Steele (ed). Spatial Patterns in Plankton Communities.* Plenum Press. N. Y. 1-20.
- Stigerbrandt, A. and L. Djurfeldt. 1996. Control of organic matter in the ocean on short and long terms by stratification and remineralization. *Deep Sea Res.*, 43(1):23-35.
- Stock, C.A., 1976. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California I. Sea Surface temperature variability. *J. Geophys. Res.* 8(C1):3121-3236.
- Sverdrup, H.Y. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion on the cruise of the E.W. Scripps in February and March 1939: Sixth Pacific Science Congress Proceeding, 3;161-166.

- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría en Oceanografía Física, CICESE, Ensenada Baja California, México, 80 pp.
- Torres-Valdés, S. 2000. Distribución espacial y variabilidad temporal de nutrientes en el Golfo de California. Tesis de Maestría en Oceanografía Costera, UABC, Ensenada, Baja California, México. 62 pp.
- Valdez-Holguín, J.E. and R.E. Lara-Lara. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California: Efectos del evento El Niño 1982-1983. *Ciencias Marinas*, 13(2):34-50.
- Van Andel, Tj.H. 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. *In*: Tj.H. Van Andel and G.G. Shor Jr. (eds.), *Marine Geology of the Gulf of California: A symposium, a symposium*. AAPG Memoir 3:216-310.
- Varela, R.A., A. Cruzado and J. Tintore. 1992. A simulation analysis of various biological and physical factors influencing the deep-chlorophyll maximum structure in oligotrophic areas. *Jour. Mar. Sys.*, 5: 143-157.
- Venrick, E.L., J.A. McGowan and A.W. Mantyla. 1973. Deep maximal of photosynthetic chlorophyll in the Pacific Ocean. *Fish Bull U.S.* 71: 41-52.
- Verity, P.G., J.O. Blanton, J. Amft, C. Barans, D. Knott, B. Stender and E. Wenner. 1998. Influences of physical oceanographic processes on chlorophyll distributions in coastal and estuarine waters of the South Atlantic Bight. *J. Mar. Res.*, 56:681-711.
- Walsh, J.J. 1991. Importance of continental margins in the marine biogeochemical cycles of carbon and nitrogen. *Nature*, 350:53-55.
- Williams, R.G. and M.J. Follows 1998. Eddies make ocean deserts bloom. *Nature*, 294:228-229.
- Wyrtki, K. 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev.* 4:33-68.