



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



“VARIABILIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD
PRIMARIA EN EL GOLFO DE ULLOA, COSTA
OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA:

EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

LA PAZ, B.C.S, MÉXICO, AGOSTO DE 2008



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 24 del mes de Junio del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**"VARIABILIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN EL GOLFO DE ULLOA,
COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

GONZÁLEZ
Apellido paterno

RODRÍGUEZ
materno

EDUARDO
número(s)

Con registro:

A	0	4	0	2	5	9
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

Después de Intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. ARMANDO TRASUNGA CASTRO

PRESIDENTE

DR. OLEG ZAITSEV VIKTOROVICH

SECRETARIO

DR. GERARDO VERDUGO DIAZ

SEGUNDO VOCAL

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE
2º DIRECTOR

TERCER VOCAL

DR. GILBERTO GAXOLA CASTRO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. el día 25 del mes Junio del año 2008, el (la) que suscribe EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro A040259 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. ARMANDO TRASVINA CASTRO y DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE y cede los derechos del trabajo titulado: "VARIABILIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN EL GOLFO DE ULLOA, COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: egonzale@cicese.mx trasvi@cicese.mx rcervan@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
nombre y firma

Dedicatoria

A mi Esposa Elizabeth Olmos Martínez, a mis hijos Isaí y Alan porque son la luz de mi vida. Los amo.

A mis padres Luis y Clotilde quienes siempre han estado presentes.

Agradecimientos

Es difícil mencionar a todas y cada una de las personas que directa o indirectamente contribuyeron a la realización del presente trabajo, muchas de ellas aún sin saberlo, este es un intento por hacerlo.

Antes que nadie quiero agradecer a mi esposa Elizabeth y a mis hijos Isaí y Alan por su confianza, paciencia y amor. Este logro no es sólo mío sino también de ellos.

A mis padres quienes aún en la distancia me han apoyado siempre, espero que este logro los llene de orgullo porque también es suyo.

A todo el resto de mi familia, hermanos, sobrinos y cuñadas quienes siempre me tuvieron fe.

Mención especial merecen los miembros de mi comité; los Doctores y amigos Armando Trasviña y Rafael Cervantes quienes pudieron guiarme por las aguas oscuras del conocimiento de la oceanografía. Al Dr. Gilberto Gaxiola por sus siempre atinadas sugerencias y ojo clínico por señalarme los horrores de la tesis. A los Drs. Oleg Saytzev y Gerardo Verdugo por sus sugerencias y observaciones. Sin la ayuda de ellos este barco nunca hubiera llegado a puerto.

Al Dr. Antonio de Anda del CIBNOR por permitirme participar en los cruceros de la costa occidental y compartir los datos del CTD. A toda la tripulación del BIP XII por su desinteresada ayuda, así mismo a los técnicos que participaron en las campañas oceanográficas.

En la parte de laboratorio siempre estaré en deuda con el Dr. Silverio López y Sonia Futema quienes me ilustraron y ayudaron en el manejo de las técnicas y el procesado de las muestras para la determinación de nutrientes.

Otra mención especial merece el Dr. Guillermo Gutiérrez de Velazco (el Memo), nada de esto hubiera sido posible sin su ayuda, fue él quien me inició en el maravilloso mundo de la programación y del matlab. A mi compañero y amigo MAC quien también contribuyó a mejorar toda la programación en el manejo de los datos y resultados.

Al CICIMAR-IPN por permitirme estudiar en sus instalaciones. Así mismo al PIFI por el tiempo en que me proporcionó la beca. A todo el departamento de oceanología, a los que se fueron y a los que llegaron.

A todos mis amigos que siempre estuvieron presentes, unos lejos y otros cerca, pero todos ellos contribuyeron de alguna u otra forma. Me permito omitir sus nombres por temor a no mencionar a alguno, pero ellos saben quiénes son.

Finalmente, pero no menos importante, al CICESE quien por medio de su anterior director, el Dr. Javier Mendieta, me permitió la oportunidad de continuar con mis estudios.

ÍNDICE

Glosario.....	i
Lista de tablas	ii
Lista de figuras	iii
I Resumen.....	1
II Abstract	2
III Introducción.....	3
IV Antecedentes.....	11
V Objetivo:	14
VI Materiales y método.....	15
VI.I Modelo de Productividad Primaria Neta (PPN):.....	15
Desempeño del modelo modificado de PPN.....	18
Comparación entre zonas.....	19
VI.II Telemetría de Quikscat y altura dinámica (altimetría).....	20
VI.III Series de tiempo.....	22
VI.IV Cruceros.....	23
VII Resultados	26
VII.I Modelo de PPN y variables que lo alimentan.....	26
Concentración de clorofila-a (Cla).....	26
Temperatura superficial del mar (TSM).....	37
Capa de mezcla (CM)	47
Modelo de PPN.....	57
Desempeño del modelo.....	67
Comparación entre zonas.....	69
VII.II Rotacional del esfuerzo del viento y altura dinámica.....	71
Rotacional del esfuerzo del viento (Rot)	71
Corrientes geostróficas (Geo)	82
VII.III Series de tiempo.....	93

VII.IV	Cruceros:	104
	CTD.....	105
	Estimación de concentración de clorofila por fluorescencia natural (PNF).	105
	Nutrientes.....	113
VIII	Discusión.....	120
IX	Conclusiones.....	132
X	Bibliografía	135

Glosario.

BAC. Centros de actividad biológica, por sus siglas en ingles.

CALCOFI. The California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations.

CC. Corriente de California.

Cla. Concentración de clorofila **a**, derivada de telemetría satelital.

CM. Capa de mezcla.

CTD. Perfilador de Conductividad, temperatura y densidad.

CZCS. Coastal Zone Color Scanner, datos de satélite del color del océano.

ENSO. El Niño Oscilación del sur, por sus siglas en ingles.

Geo. Corrientes geostróficas derivadas de altimetría por satélite.

GU. Golfo de Ulloa

HDF. Hierarchical Data Format, formato de archivol, por su siglas en ingles.

IMECOCAL. Investigaciones MExicanas de la COrriente de CALifornia.

K₄₉₀. Coeficiente de atenuación a 490 nm, derivado del sensor MODIS.

MODIS. Sensor del satélite Aqua-EOS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, por sus siglas en ingles.

MSLA. Mapas de anomalías del nivel del mar, por sus siglas en ingles.

PAR. Radiación fotosintéticamente activa, por sus siglas en ingles.

Pb opt. Coeficiente que determina la eficiencia de asimilación de carbono por hora.

PNF. Perfilador de fluorescencia natural.

PPN. Producción primaria neta (derivada del modelo aplicado).

QuikScat. Sensor a bordo del satélite Seawinds que estima datos de viento en la superficie del mar.

Rot. Rotacional del esfuerzo del viento (nabla cruz tau).

SCC. Sistema de la Corriente de California.

SeaWiFS. Sensor que mide el color del océano y Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor, por sus siglas en ingles.

SLA. Anomalías del nivel del mar, por sus siglas en ingles.

TSM. Temperatura Superficial del Mar.

Zona eufótica. Zona en la columna de agua en donde hay luz.

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la PPN.	93
Tabla 2. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la Cla.	94
Tabla 3. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la TSM.	95
Tabla 4. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la CM.	96
Tabla 5. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para el K_{490}	98
Tabla 6. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la Geo.	99
Tabla 7. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para el Rot.	100
Tabla 8. Resumen de los periodos en días del primer componente armónico.....	101
Tabla 9. Resumen de los desfases y correlaciones entre diferentes variables contra la PPN (Cla, TSM y CM son variables que forman parte del modelo, K_{490} , Geo y Rot son independientes).	102
Tabla 10. Concentraciones de NO_2 por estación en el crucero de otoño.....	113
Tabla 11. Concentraciones de NO_3 por estación en el crucero de otoño.....	114
Tabla 12. Concentraciones de PO_4 por estación en el crucero de otoño.....	115
Tabla 13. Concentraciones de NO_2 por estación en el crucero de primavera.....	116
Tabla 14. Concentraciones de NO_3 por estación en el crucero de primavera.....	117
Tabla 15. Concentraciones de PO_4 por estación en el crucero de primavera.....	117
Tabla 16. Resumen de los parámetros del primer componente armónico del descenso cíclico para las variables con periodo anual con fases recalculadas para la TSM y Geo.	129

Lista de figuras

Figura 1. Localización del Golfo de Ulloa.	3
Figura 2. Zonas norte, centro y sur del GU seleccionadas.....	19
Figura 3. Posiciones de los puntos paralelos a la línea de costa.	22
Figura 4. Promedios mensuales de la Cla durante 2004.....	28
Figura 5. Promedios mensuales de la Cla durante 2005.....	32
Figura 6. Promedios mensuales de la Cla durante 2006.....	35
Figura 7. Promedios mensuales de la TSM durante 2004.	39
Figura 8. Promedios mensuales de la TSM durante 2005.	43
Figura 9. Promedios mensuales de la TSM durante 2006.	46
Figura 10. Promedios mensuales de la CM durante 2004.	49
Figura 11. Promedios mensuales de la CM durante 2005.	52
Figura 12. Promedios mensuales de la CM durante 2006.	55
Figura 13. Promedios mensuales de la PPN durante 2004.....	59
Figura 14. Promedios mensuales de la PPN durante 2005.....	62
Figura 15. Promedios mensuales de la PPN durante 2006.....	65
Figura 16. Comparación de las imágenes climatológicas de PPN de los modelos 1) Modificado, 2) Original, 3) Eppley, y 4) Carbono.	68
Figura 17. Comparación de los valores de PPN en las tres zonas de 2004 a 2006.....	70
Figura 18. Promedios mensuales del Rot en 2004.	73
Figura 19. Promedios mensuales del Rot en 2005.	77
Figura 20. Promedios mensuales del Rot en 2006.	80
Figura 21. Promedios mensuales de Geo durante 2004.....	84
Figura 22. Promedios mensuales de Geo durante 2005.....	87
Figura 23. Promedios mensuales de Geo durante 2006.....	91
Figura 24. Serie de tiempo de la PPN del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	94
Figura 25. Serie de tiempo de la Cla del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	95
Figura 26. Serie de tiempo de la TSM del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	96

Figura 27. Serie de tiempo de la CM del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	97
Figura 28. Serie de tiempo de la K_{490} del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	98
Figura 29. Serie de tiempo del promedio de los 6 puntos, a lo largo de la costa, de las corrientes geostróficas, el signo indica la dirección de la corriente, positivo hacia el norte. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.....	99
Figura 30. Serie de tiempo del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa del rotacional del viento. Los valores positivos indican surgencias. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.	101
Figura 31. Posición en el tiempo del inicio de los ciclos de las variables con periodo anual, producción primaria neta (PPN), capa de mezcla (CM), clorofila-a (Cla), temperatura superficial del mar (TSM), radiación fotosintéticamente activa (PAR), coeficiente de atenuación a 490 nm (K_{490}), rotacional del esfuerzo del viento (Rot) y corrientes geostróficas (Geo).....	102
Figura 32. Estaciones hidrográficas de los 2 cruceros. En círculos azules las estaciones del crucero de otoño de 2005 y con punto negros las del crucero de primavera de 2006.....	104
Figura 33. Diagramas T-S. Los puntos negros corresponden al crucero de otoño y los grises al de primavera. Las anotaciones corresponden a: ASE, Agua Superficial Ecuatorial; ACC, Agua De La Corriente De California; y ASsST, Agua Subsuperficial SubTropical.....	105
Figura 34. Estaciones para estimaciones de clorofila por fluorescencia natural, en el panel de la izquierda, en verde, las del crucero de otoño y en el de la derecha, en azul, las de primavera. Los números corresponden al orden en que se hicieron los lances.....	106
Figura 35. Estaciones de PNF para el crucero de otoño, en azul los perfiles de clorofila y en negro los perfiles de temperatura.....	108
Figura 36. Estaciones de PNF para el crucero de primavera, en azul los perfiles de clorofila y en negro los perfiles de temperatura.	111
Figura 37. Comparación de la Cla, TSM y CM respecto a la PPN.	125

Figura 38. Comparación del K_{490} , Rot y Geo respecto a la PPN..... 127

Figura 39. Corrientes geostroficas y producción primaria neta. 2006. Las flechas blancas indican la dirección y velocidad de las corrientes superficiales, la escala de colores indica el nivel de PPN..... 128

I Resumen.

El presente trabajo presenta un análisis de la producción primaria neta en el Golfo de Ulloa, costa occidental de Baja California, para el periodo de 2004 a 2006, así como de las principales variables físicas ambientales que influyen en ella. La producción primaria neta fue estimada utilizando el modelo de Behrenfeld y Falkowski, que principalmente necesita datos de telemetría para su aplicación. Al modelo se le hizo una modificación consistente en hacer estimaciones sólo hasta la profundidad de la capa de mezcla, que a su vez, fue estimada utilizando un modelo hidrodinámico de alta resolución. Los resultados muestran que el modelo modificado presenta una mejor estimación al definir con mayor claridad las zonas de producción en la zona costera. Los análisis de producción se hicieron por medio de mapas mensuales, esta misma escala se utilizó para generar mapas de la concentración de clorofila-a, temperatura superficial del mar, profundidad de la capa de mezcla, coeficiente de atenuación K_{490} , rotacional del esfuerzo del viento y corrientes geostroficas. Adicionalmente a los mapas mensuales se construyeron series de tiempo semanales (de 8 días) de 6 puntos a lo largo de la costa para determinar los principales periodos y sus componentes armónicos. Con estos componentes armónicos se generaron series que simulan los datos originales. Los análisis de componentes armónicos indican que el principal periodo de la producción es anual, mismo que la clorofila-a, la capa de mezcla y la temperatura superficial del mar, variables que forman parte del modelo. De éstas, la que presentó la mayor correlación con la producción fue la clorofila-a. De las variables ajenas al modelo el rotacional y las corrientes geostroficas fueron las que presentaron un periodo anual. Respecto a su correlación con la producción, las corrientes geostroficas estuvieron por encima del rotacional, que es una variable asociada a las surgencias. Esto indica que la advección producida por la geostrofia tiene un papel de igual o mayor importancia que las surgencias en la producción de la zona. Se identificaron dos flujos costeros, uno hacia el ecuador con características polares que enriquece la zona y favorece la producción, presente de marzo a julio, y otro hacia el polo con características tropicales que limita la producción, de agosto a noviembre. Los resultados en la escala temporal indican que 2006 fue el año más productivo, en comparación de 2004 y 2005, los meses más productivos fueron de marzo a junio.

II Abstract

This paper presents an analysis of net primary production in the Gulf of Ulloa, west coast of Baja California, for the period from 2004 to 2006, as well as the main natural environmental variables that influence it. The net primary production was estimated using the model of Behrenfeld and Falkowski, which mainly needs telemetry data for its implementation. The model was modified to make estimations to the mixed layer depth, which in turn was estimated using a hydrodynamic model of high resolution. The results show that the modified model has better estimations to define more clearly the net primary production in the coastal zone. Analyses of production were made through monthly maps; this same scale was used to generate maps of the concentration of chlorophyll-a, sea surface temperature, the mixed layer depth, attenuation coefficient K_{490} , curl wind and geostrophic currents. In addition to the monthly maps, weekly time series (8 days) of 6 points along the coast were constructed to determine the major periods and its harmonic components. With these components harmonics generated series that simulate the original data. Analyses of harmonic components indicate that the main period of annual production is, same as chlorophyll-a, the mixed layer and sea surface temperature, variables that are part of the model. Of these, which had the highest correlation with the production was chlorophyll-a. Of the variables unrelated to the rotational model and geostrophic flows which were presented on an annual basis. With regard to their correlation with the production, geostrophic flows were above the rotational, which is a variable associated with the upwelling. This indicates that the advection produced by the geostrophic has a role of equal or greater importance than the upwelling in the production of the area. We identified two coastal streams, one towards ecuador with features that enriches the polar area and favors the production, this March to July, and another toward the pole with tropical characteristics limiting production, from August to November. The results in the time scale indicated that 2006 was the year more productive, compared to 2004 and 2005. The most productive months were from March to June.

III Introducción

El Golfo de Ulloa se localiza en la costa occidental de la península de Baja California (figura 1), costa que se encuentra bajo la influencia de uno de los cuatro sistemas de frontera de corriente oriental conocido como el Sistema de la Corriente de California (SCC). Los sistemas de frontera de corriente oriental son sistemas que, junto con los sistemas de frontera de corriente occidental forman parte de los giros de gran escala de circulación oceánica.

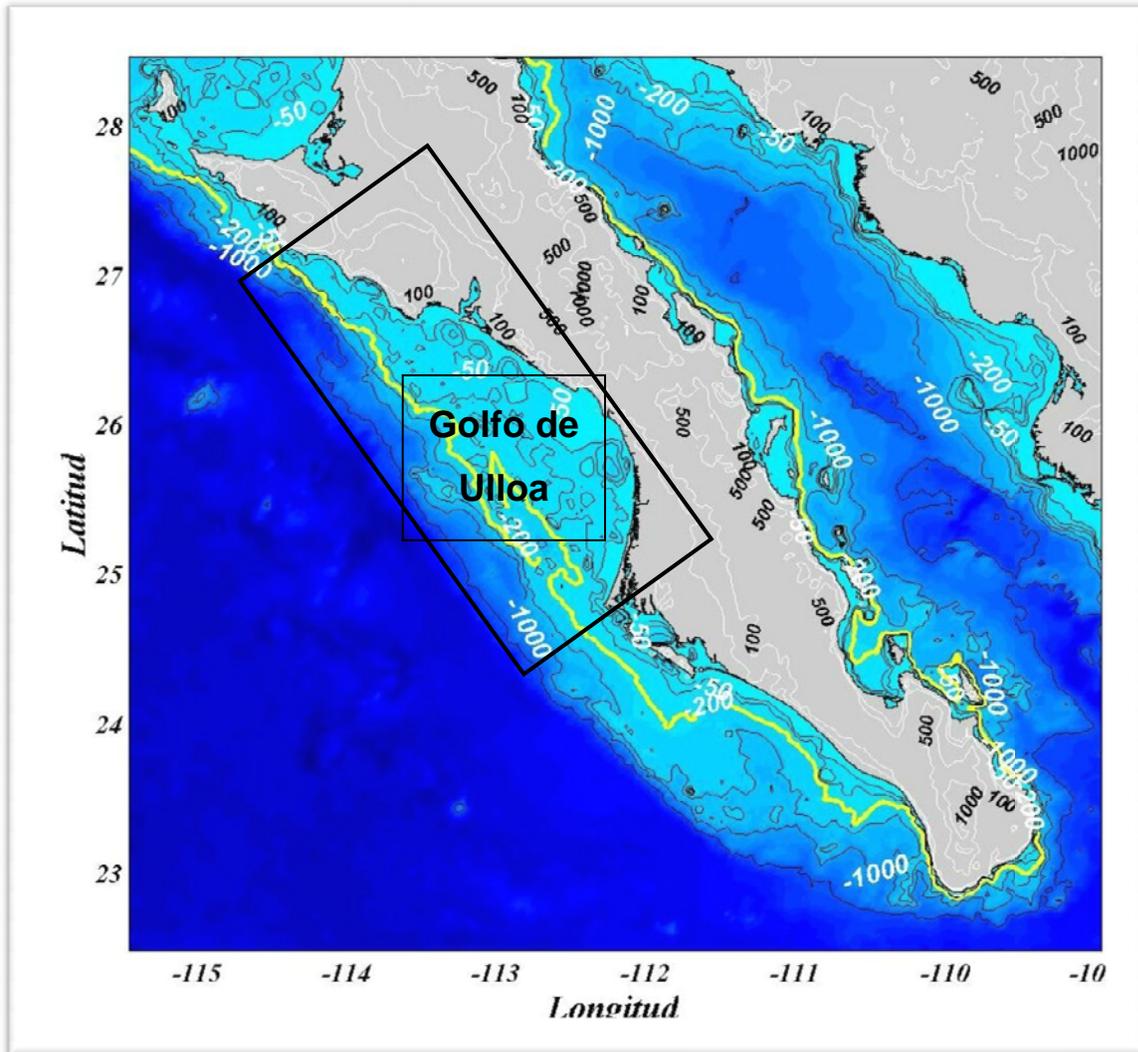


Figura 1. Localización del Golfo de Ulloa.

En el Pacífico norte la circulación de gran escala se caracteriza por dos grandes giros; uno ciclónico al norte conocido como giro de Alaska o subártico y otro anticiclónico al

sur conocido como giro subtropical. La dinámica de estos dos grandes giros, en términos generales es la siguiente: El giro subtropical, formado por una corriente al sur, llamada corriente Norecuatorial, fluye hacia el oeste impulsada por los vientos alisios en torno a los paralelos 12 a 15°N, al llegar a las costas de Asia gira hacia el polo afuera de las Islas Filipinas y se transforma en la corriente cálida de Japón o Kuroshio. Alrededor de los 35°N se separa de la costa de Japón y fluye hacia el este como la extensión de la Kuroshio, que al pasar los Montes Emperador se convierte en un flujo más difuso e irregular conocido como la Corriente de Deriva del Pacífico norte, conforme esta corriente llega a las costas de norteamérica se divide en la corriente de Alaska con dirección norte (que alimenta el giro subártico) y en la Corriente de California (CC) con dirección sur. La CC al llegar a su extremo más sureño alimenta a la corriente Norecuatorial para completar el giro subtropical del Pacífico norte (Hickey y Royer, 2001).

Estos dos grandes giros se forman debido al efecto de rotación de la tierra que ocasiona un acumulamiento de energía en la parte occidental y que es disipada por medio de las corrientes de frontera (occidental y oriental). Como la energía es mayor en la parte occidental las corrientes de frontera de este tipo son relativamente angostas (del orden de 100 km de ancho) y rápidas (2 m s^{-1}) y llevan agua cálida del ecuador hacia los polos originando remolinos o giros de mesoescala para una disipación más rápida de calor. Por su parte las corrientes de frontera oriental no disipan tan rápido la energía y, por lo tanto, son relativamente más anchas (hasta 300 km), más lentas (1 m s^{-1}) y someras, llevando agua fría, y rica en nutrientes, de los polos hacia el ecuador (Parés *et al.*; 1997). Las corrientes de frontera oriental, junto con la batimetría y las características de la línea de costa, forman una gran cantidad de remolinos, meandros, filamentos y frentes, también al combinarse con eventos de surgencia costera (comunes en ciertas zonas a lo largo de la costa) producen el enriquecimiento de la zona, lo que se refleja en una alta producción primaria y secundaria, haciendo a estas regiones altamente productivas y económicamente muy importantes.

EL Sistema de la Corriente de California (SCC) delimitado al norte por la corriente de Alaska y al sur por la corriente Norecuatorial. La frontera oeste está formada por una zona de transición hacia las aguas centrales del giro subtropical del Pacífico norte, más

saladas y con mayor temperatura (Lynn y Simpson, 1987). Las diversas corrientes que forman el SCC aportan principalmente tres tipos de masas de agua con diferentes características y provienen de tres regiones distintas del Pacífico: la del Pacífico Subártico, la del Pacífico norte central y la del Pacífico ecuatorial. La masa de agua proveniente del Pacífico subártico es conocida como la corriente de California (CC) y se forma en latitudes altas en donde la precipitación es elevada y hay una gran pérdida de calor se incorpora en el SCC desde la Columbia Británica y fluye con dirección al sur, se caracteriza por tener la salinidad y temperaturas más bajas y las más altas concentraciones de nutrientes y oxígeno disuelto. La masa de agua del Pacífico norte central tiene mayores salinidades y temperaturas y menor concentración de nutrientes y oxígeno disuelto en comparación con la subártica. Este tipo de agua se incorpora a la CC desde el oeste y se ubica frente a las costas del sur de California y norte de Baja California. La masa de agua ecuatorial se caracteriza por presentar los valores más altos de salinidad y temperatura y los más bajos en concentración de oxígeno disuelto. Esta masa de agua entra al SCC desde el sur de forma subsuperficial y se ubica frente a las costas de Baja California sur, entre Cabo San Lucas y Punta Eugenia. En términos generales la salinidad y la temperatura en las aguas del SCC se incrementan hacia el sur (Hickey y Royer, 2001).

La CC es una típica corriente de frontera oriental (Parés *et al.*; 1997) acoplada al SCC que alcanza un máximo de 300 metros de la columna de agua y fluye a lo largo de las costas de norte América hasta el extremo sur de la Península de Baja California en México (Lynn y Simpson, 1987; Bograd *et al.* 2001). La CC fluye hasta una distancia de 200 a 300 km de la costa con una velocidad promedio de 0.1 m s^{-1} (Lynn y Simpson, 1987). En la región de influencia de la CC la dinámica de la circulación está controlada principalmente por el viento, la topografía del fondo, el ancho y la forma de la plataforma continental (Hickey y Royer, 2001).

En la parte norte del SCC los vientos están gobernados por sistemas de presión atmosférica, presentándose los de baja presión en primavera-verano y los de alta presión en invierno. Estos cambios de presión provocan vientos con dirección hacia el sur en primavera-verano y vientos con dirección hacia el norte en otoño-invierno (Hickey, 1998). Este cambio estacional en la dirección del viento provoca un efecto de

transición en las corrientes y en las propiedades del agua (Huyer *et al.* 1989). A lo largo de la costa se han observado cambios en el nivel del mar de hasta 10 cm, algunas de las corrientes cambian su dirección en 180° en periodos de días y la salinidad y temperatura se modifican notoriamente (Strub *et al.* 1991). En la porción sur del SCC los vientos fluyen la mayor parte del año hacia el sur aumentando su intensidad en los meses de primavera-verano. Esto ocasiona que durante este período se presenten las surgencias costeras que producen un afloramiento de agua subsuperficial más fría y rica en nutrientes hacia la superficie, donde las condiciones de luz son óptimas para una producción alta de fotosíntesis (Huyer, 1983).

En la actualidad existen dos programas importantes que monitorean el SCC, uno es el California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) por la parte de Estados Unidos que inició en 1949 y el proyecto de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) por la parte mexicana que data desde 1997.

Debido a la gran importancia del SCC a partir de 1994 un grupo de investigadores, de los dos programas, comenzaron a generar reportes anuales sobre el estado del sistema (Hayward *et al.* 1994). Gracias a estos reportes se han podido documentar los diferentes eventos que no se originan en el SCC pero que lo afectan de manera importante, por ejemplo la presencia de los eventos El Niño Oscilación del sur (ENSO por sus siglas en inglés) (Schwing *et al.* 2002b). Además de estos eventos de gran escala espacial, también se ha podido monitorear la ubicación del núcleo de la CC, la variabilidad espacial y temporal de los principales procesos locales que se presentan en el SCC.

Las principales zonas de surgencias bajo la influencia de la CC se localizan frente a Cabo Mendocino en el norte de California y frente a Punta Baja en Baja California (Bakun y Nelson, 1977). Zaytsev *et al.* (2003) describen la actividad de las surgencias costeras frente a la península de Baja California a partir de imágenes de TSM en el período de 1996 a 2001 y concluyeron que la intensidad de las surgencias cambia de acuerdo a condiciones locales de viento y topografía. Así mismo encontraron que al sur de 28°N, frente a Bahía Tortugas y Bahía Magdalena, se localizan las zonas de mayor permanencia de surgencias en la península de Baja California.

Las zonas donde se presentan las surgencias han estado asociadas con una alta productividad en comparación con las áreas aledañas la cual favorece la concentración de considerables cantidades de biomasa de organismos marinos, muchos de ellos de importancia comercial. Estas zonas han sido denominadas Centros de Actividad Biológica o BAC, por sus siglas en inglés (Lluch-Belda, 2000 Los BAC son definidos como áreas costeras pequeñas de dimensiones más o menos constantes, que presentan permanentemente una alta productividad en comparación con las áreas aledañas.

La existencia de los BAC's ha sido relacionada a la combinación de ciertos procesos oceanográficos descritos por Bakun (1996). Algunos de los mecanismos físicos que implican dichos procesos son, por ejemplo, las surgencias, los frentes oceánicos y estructuras de mesoescala (remolinos, frentes, meandros, etc.). En la costa occidental de la península de Baja California se han identificado tres de ellos, ubicados en Punta Baja (PB), Bahía de Sebastián Vizcaíno (SV) y el Golfo de Ulloa (GU) (Lluch-Belda, 2000).

Una forma de evaluar el impacto de los procesos oceanográficos en las características biológicas de una región en particular es monitorear una variable que se relacione directamente con las condiciones hidrológicas. La estimación de la productividad primaria por medio de sensores remotos es una buena herramienta para este propósito. Es una variable muy sensible a las condiciones oceanográficas y responde de forma casi inmediata a sus variaciones. La estimación de la productividad primaria neta (PPN) satelital depende de las estimaciones remotas de la concentración de la clorofila, de la temperatura superficial y su variación regulada por factores bióticos y abióticos. Por ejemplo, las surgencias costeras en verano – otoño y del pastoreo del fitoplancton por parte del zooplancton.

La composición de los pigmentos fotosintéticos cambia con los diferentes fenotipos y genotipos del fitoplancton. Sólo la clorofila *a* existe en todas las clases de fitoplancton, por eso se usa normalmente como pigmento de referencia para estimar la biomasa de fitoplancton (Cervantes-Duarte, 1996; Jeffrey y Mantoura, 1997). También es cierto que la estructura de la comunidad fitoplanctónica responde a cambios en características

fisicoquímicas, de estructura hidrográfica y de procesos dinámicos (Rojas-de-Mendiola, *et al.* 1981).

La estimación de la concentración de clorofila depende de la absorción de la luz en los océanos por medio de los pigmentos fotosintéticos del fitoplancton, por lo tanto, el color del océano se debe en gran medida de la concentración de fitoplancton en la columna de agua.

Se han desarrollado técnicas de percepción remota para medir productividad mediante el 'color del océano'. Este término se refiere a la composición espectral de la luz que emana del océano. Este proviene de la luz que penetra la superficie y es dispersada por las moléculas de agua y por las partículas que se encuentran en los primeros metros de profundidad. Sin embargo los procesos de absorción y de dispersión de luz son los responsable del cambio del espectro que sale del agua y es detectado por el satélite. Localmente las propiedades inherentes del agua marina están gobernadas por la suma de las contribuciones de varios componentes, el agua misma, las partículas en suspensión (capaces de dispersar y absorber energía radiante) y finalmente la absorción por los componentes disueltos (Morel, 1994). El fitoplancton juega un papel crítico en la determinación del campo de luz o del color en la mayoría de las áreas oceánicas del mundo, principalmente a través de la absorción de la luz por medio de sus pigmentos fotosintéticos (Cleveland y Perry, 1994; Perry, 1994).

El vínculo entre la producción primaria y la penetración de la luz en el agua ha sido evidenciado al existir picos subsuperficiales de producción primaria con condiciones óptimas de luz. Esto mismo se ha observado en experimentos de laboratorio en donde las comunidades colectadas a diferentes profundidades con diferentes intensidades de luz, presentan índices de producción diferentes (Falkowski y Raven, 1997).

Se han propuesto diferentes modelos para hacer estimaciones de productividad primaria en la columna de agua derivados de datos de satélite. Estos modelos se basan en estimar a) las concentraciones en el máximo de clorofila y b) su profundidad como una función de las propiedades de la superficie del océano, por ejemplo, la temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de clorofila superficial (C_{1a}), la radiación fotosintéticamente activa (PARR, coeficiente de atenuación de luz difusa a 490 nm (K₄₉₀), etc. Estos modelos suponen que, para un área y temporada dada, hay

un perfil de clorofila cuya relación entre la concentración de clorofila superficial y máxima a una profundidad z son constantes o al menos predecibles (Millán-Nuñez, *et al.* 1996).

El color del océano es analizado cuantitativamente por sensores remotos para interpretar la composición del agua con respecto a las partículas suspendidas y al material disuelto. A partir de modelos bio-ópticos, las estimaciones de productividad primaria se han realizado desde el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) en 1978, que proporcionó datos hasta 1986. Desde esa época se ha intentado hacer estimaciones adecuadas de la productividad primaria neta (PPN) por medio de datos satelitales. Se han propuesto modelos matemáticos, relaciones estadísticas, algoritmos empíricos, etc. A raíz de esto en la actualidad hay un gran número de modelos que hacen estimaciones de la PPN derivados de datos de satélite, pero los que han dado los mejores resultados son los que toman en cuenta, además de la concentración de clorofila, la temperatura superficial (TSM) así como la radiación disponible (PAR) (Campbell *et al.* 2002).

La ventaja de estos modelos es que incorporan algoritmos que consideran la respuesta fotosintética del fitoplancton de acuerdo a la disponibilidad de luz, temperatura y otras variables medioambientales. Algunos también consideran la distribución vertical de estas propiedades en la zona eufótica (Balch *et al.* 1992; Morel, 1991; Platt y Sathyendranath, 1993; Howard, 1995; Antoine *et al.* 1996; Behrenfeld y Falkowski, 1997a; Ondrusek *et al.* 2001). Estos modelos se han usado para hacer estimaciones globales de la PPN con datos de los satélites CZCS (Antoine y Morel, 1996; Longhurst *et al.* 1995; Behrenfeld y Falkowski, 1997a; Howard y Yoder, 1997), del Sea viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) (Behrenfeld *et al.* 2001) y más recientemente del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

En la actualidad existe una gran variedad de modelos para la estimación de la PPN, entre más comunes están el de Platt y Sathyendranath (1993), Longhurst *et al.* (1995), Howard y Yoder (1997), Antoine y Morel (1996), Behrenfeld y Falkowski (1997a) y Ondrusek *et al.* (2001). Estos modelos varían en su complejidad de acuerdo al grado en que incorporan y estiman los parámetros involucrados en la estimación de la PPN (Behrenfeld y Falkowski, 1997b). Para ver el desempeño de estos y otros modelos, se

han llevado a cabo comparaciones entre todos ellos para determinar el grado de mejoras que cada uno de ellos van aportando a la estimación de PPN (Campbell, *et al.* 2002, Carr, *et al.* 2006) Las primeras comparaciones no muestran una mejora sustancial de los modelos más complejos en comparación con los más sencillos, esto incluye la forma en que se modela la distribución de la luz en la columna de agua, ya que modelos que no incorporaron este modelado no arrojaron mejoras significativas respecto a los que sí lo hicieron (Campbell, *et al.* 2002).

IV Antecedentes.

El Golfo de Ulloa (GU) se asemeja a otros ecosistemas similares asociados a corrientes de frontera occidental (Thomas, *et al.* 2004). En los sistemas de la Corriente Canaria y de la Corriente de Benguela, en la costa occidental de África, los altos niveles de PPN resultan de la alternancia entre eventos de surgencias y calma. Estos eventos se presentan en pulsos de aproximadamente 10 días alternados entre condiciones de mezcla y estratificación (Huntsman y Barber, 1977). Por otro lado, en el sistema de la corriente de Humbolt, en las costas de Perú y Chile, el esfuerzo del viento es menor que en las costas africanas, aunque más constante. Aquí la capa de mezcla es comparativamente menos profunda, permitiendo que las partículas fitoplanctónicas permanezcan cerca de la superficie iluminada simultáneamente con el aporte de nutrientes (Mann y Lazier, 1996).

En el GU la situación es más compleja. Por ejemplo, en Punta Eugenia, la actividad de surgencias es más intensa y por periodos mayores a los reportados para la Corriente Canaria. Además la estructura de la línea de costa permite la formación de frentes y giros, donde los niveles de estratificación son mayores, por lo que la producción tiende a presentarse asociada a la batimetría (Huntsman y Barber, 1977; Mann y Lazier, 1996).

En la península de Baja California los resultados de los programas CalCOFI e IMECOCAL indican que la biomasa fitoplanctónica no se distribuye de manera homogénea, pero si presenta zonas de mayor abundancia. Estas se han identificado en Punta Baja, Bahía Sebastián Vizcaíno y en el GU (Martínez-López, 1993; Zuria-Jordan, *et al.* 1995; Espinosa-Carreón *et al.* 2004). Aledaño a estas zonas también se han observado mayores concentraciones de macrozooplancton (Hernández-Vázquez, 1995). Alrededor del GU la principal actividad fitoplanctónica ocurre entre abril y junio asociada con la producción por surgencias y se refleja en los altos valores de producción primaria y concentración de clorofila superficiales (Martínez-López, 1993; Zuria-Jordan, *et al.* 1995). La influencia de esta actividad se extiende por más de 80 km hacia afuera de la costa y debido a esto el GU es considerado por algunos autores como un centro de actividad biológica o BAC, que son importantes áreas de alta

concentración biológica (Lluch-Belda, 2000). Esto ha sido confirmado por datos de telemetría por satélite (Zuria-Jordan, *et al.* 1995).

Para la costa occidental de la península de Baja California Espinosa-Carreón *et al.* (2004) encontraron que en años con condiciones El Niño se registraron altos valores de clorofila ($>2.5 \text{ mg m}^{-3}$) en las zonas de surgencia y en la mayor parte de la zona costera el máximo de clorofila se presentó en primavera, como respuesta del crecimiento del fitoplancton a los vientos que favorecen las surgencias.

Millán-Núñez *et al.* (1996) dividieron la zona sur de la CC basándose en relación de la profundidad del máximo de clorofila y la clorofila superficial, tomadas de los datos generados por el programa CALCOFI. Estos autores concluyeron que esta región se puede dividir en dos grandes épocas durante el año (fría y caliente) y en regiones costeras (0-150 km de la costa) y oceánica ($>150 \text{ km}$ de la costa).

La zona costera de la CC se caracteriza por una gran cantidad de estructuras de mesoescala como, meandros, remolinos, chorros, filamentos y frentes, que se extienden de decenas a cientos de kilómetros y con una duración de días a meses (Strub *et al.* 1991; Schwing *et al.* 2002a; Venrick *et al.* 2003; Espinosa-Carreón *et al.* 2004; Goericke *et al.* 2004; Goericke *et al.* 2005; Durazo *et al.* 2005). La evolución de remolinos en la CC fue estudiada por primera vez usando datos del AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) por Bernstein *et al.* (1977) quienes encontraron que los remolinos se originaban en aguas costeras. Este estudio fue seguido por el de Owen (1980) quien examinó la actividad de mesoescala con observaciones *in situ* y de satélite y concluyó que existe una asociación entre remolinos semipermanentes y las irregularidades costeras y batimétricas de la costa.

Los reportes del programa CALCOFI indican que en la década pasada los eventos de mayor impacto en el SCC fueron los de tipo ENSO (Goericke *et al.* 2005). Sus efectos variaron en función de su intensidad, el evento débil de 2003 (McPhaden, 2004) tuvo muy poco impacto sobre la producción primaria en comparación con el de 1997-1998 (Durazo y Baumgartner, 2002; Lavaniegos *et al.* 2003). El núcleo de la CC no alcanza todos los años de igual forma las costas de la Península de Baja California, en ocasiones llega con flujos en forma de chorros, flujos paralelos a la costa o meandros (Venrick *et al.* 2003; Goericke *et al.* 2004; Goericke *et al.* 2005),

La forma de la costa es un factor importante en la generación de estructuras de mesoescala. Punta Eugenia favorece la formación de surgencias costeras y frentes con remolinos y meandros. En ocasiones estos remolinos y meandros atrapan fitoplancton y favorecen la producción primaria en estas zonas (Goericke *et al.* 2004).

Del Monte-Luna (2004) menciona que en la parte sur del SCC hay dos fuentes principales de enriquecimiento superficial, las surgencias y la advección de la CC. Ambos procesos se presentan principalmente en primavera al mismo tiempo que se presentan los mínimos del nivel medio del mar y que corresponden con la intensidad máxima de la CC en la zona. Sin embargo (Lluch-Belda, 2000) sugiere que la contribución relativa de la advección es escasa y que la productividad primaria y secundaria están estrechamente relacionadas con los procesos costeros locales de surgencia.

En general, los meses fríos corresponden al periodo febrero-abril y los más cálidos al periodo agosto-octubre. La TSM se ve afectada por las surgencias estacionales cuyos efectos se manifiestan a través de una disminución en la TSM, en particular en las zonas costeras, lo cual incrementa el gradiente de temperaturas perpendicular a la costa. Durante los meses de primavera y verano los vientos fluyen del norte con mayor intensidad (con dirección al Ecuador) a lo largo de la costa, observándose sus máximas velocidades durante los meses de marzo - mayo (Hernández-Vázquez, 1995).

V Objetivo:

El principal objetivo de este trabajo es entender mejor las relaciones entre los principales procesos físicos que afectan la región y su influencia en la variabilidad estacional de la productividad primaria, particularmente en la zona de surgencias del Golfo de Ulloa.

La hipótesis es que existen procesos que interactúan con las surgencias costeras estacionales y contribuyen a modular la productividad primaria en el Golfo de Ulloa.

VI Materiales y método.

El área de estudio se localiza en la costa occidental de la península de Baja California, al sur de Punta Eugenia y al norte de Bahía Magdalena entre 25° y los 28° N y 111° 30' y 115° W (figura 1). En esta región el ancho de la plataforma continental varía considerablemente que caracteriza a la región por presentar aguas poco profundas menores a 200 m hasta 24 millas náuticas de la costa, desde el sur de Abreojos hasta cerca de Cabo San Lazaro. Al norte alcanza en promedio 30 km, en su parte media más ancha hasta 200 km y más al sur alcanza los 80km.

La metodología se divide en cuatro secciones. La primera se refiere al modelo de producción primaria neta (PPN), a su estimación y a los datos que lo alimentan, que básicamente son de telemetría por satélite y de modelos independientes. La segunda sección se refiere el análisis de datos de telemetría de datos que no forman parte del modelo de PPN. La tercera analiza el comportamiento de todas las variables a lo largo del periodo por medio del empleo de series de tiempo. En la cuarta describo la colecta de datos durante dos cruceros oceanográficos.

VI.I Modelo de Productividad Primaria Neta (PPN):

Para la estimación de la PPN se empleó el modelo de Behrenfeld y Falkowski (1997a), el cual permite hacer estimaciones con variables provenientes de datos satelitales. Como la PPN es una razón de cambio y la concentración de clorofila *a* (C_{la}) es un valor fijo y puntual relacionado a la masa disponible, es necesario determinar la eficiencia de asimilación de fijación de carbono por parte de las células fitoplanctónicas. Esta asimilación es el factor más difícil de determinar en cualquier modelo de cálculo de PPN. Para el caso del modelo de Behrenfeld y Falkowski esta variable se denomina **P_{b opt}** y es el valor de la máxima PPN diaria en la columna de agua, expresado en miligramos de carbono por miligramos de clorofila por hora (mg C mg C_{la} h⁻¹). El modelo se expresa por la siguiente ecuación.

$$PPN = f(PAR) * C_{la} * P_{b\ opt} * D_{irr} * Z_{eu} \quad (1)$$

Donde:

PPN = Producción primaria neta, $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

$f(\text{PAR})$ = Radiación fotosintéticamente activa, $\text{Einstein m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Cla = concentración de Clorofila, mg m^{-3} .

$P_b \text{ opt}$ = Tasa máxima de fijación de carbono en la columna de agua, $\text{mg C mg Cla h}^{-1}$.

D_{irr} = Horas diarias de luz, h.

Z_{eu} = Zona eufótica, m.

El término $f(\text{PAR})$:

El efecto de la luz en la columna de agua es considerado en el término $f(\text{PAR})$ cuya parametrización fue determinada empíricamente por medio de miles de estimaciones de productividad (Platt y Sathyendranath, 1993; Behrenfeld y Falkowski, 1997b) y está dada por la siguiente razón:

$$f(\text{PAR}) = 0.66125 * \text{PAR} / (\text{PAR} + 4.1)$$

Las imágenes de PAR fueron procesadas de la misma forma que las de MODIS de TSM y Cla, excepto que la resolución fue de 9 km y provienen del sensor SEAWIFS a bordo del satélite Seastar.

Cla:

Concentración de clorofila 'a' (Cla) y Temperatura superficial del mar (TSM)

Los datos de Cla y TSM se obtuvieron por medio de telemetría del análisis de imágenes de 4 km de resolución (producto denominado L3) del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite Aqua (EOS PM). Este es un satélite de órbita polar que cruza por el Ecuador de sur a norte cada medio día y tarda en recorrer la superficie de la tierra entre 1 y 2 días. El sensor MODIS AQUA obtiene datos en 36 bandas espectrales de diferentes longitudes de onda (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

A todas las imágenes de satélite extraídas se les aplicó un algoritmo, siguiendo la información incluida en los archivos HDF, para transformar la escala a sus unidades reales, grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) para las de TSM y miligramos por metro cúbico (mg m^{-3}) para las de Cla. A las imágenes de TSM se les aplicó una bandera de

corrección (“flags”, también contenido dentro de los archivos HDF) para eliminar los pixeles con datos erróneos o que no pasan el control de calidad.

El término Pb_{opt} :

Este término se refiere al mecanismo en que fisiológicamente el fitoplancton asimila la luz para producir carbón. Aunque esto ha sido muy difícil de determinar a la fecha, se ha demostrado que este término está ligado fisiológicamente como una función de la temperatura. Behrenfeld y Falkowski (1997a) demostraron experimentalmente que Pb_{opt} puede ser estimado polinomialmente usando la siguiente ecuación.

$$Pb_{opt} = \sum_{i=0}^{i=7} a_i * (TSM/10)^i$$

Donde:

$a = 1.2956, 0.2746, 0.0617, -0.0205, 2.462e-3, -1.348e-4, 3.4132e-6, -3.27e-8.$

TSM = Temperatura superficial del Mar (ver arriba).

Cabe aclarar que el uso del Pb_{opt} está limitado a temperaturas entre -1 y 29 °C, fuera de estos límites las estimaciones no son adecuadas.

El término D_{irr} :

Las horas diarias de luz fueron estimadas de acuerdo a Parsons *et al.* (1984) según la siguiente ecuación:

$$D_{irr} = \sum_{h=a}^{h=o} Lh. \text{ Expresado en } h \text{ (horas)}$$

Donde:

Lh = Luz disponible por hora.

a = hora del amanecer en una latitud dada.

o = hora del ocaso en una latitud dada.

Modificación de la zona eufótica (ZE) por la capa de mezcla (CM).

A pesar de que en la actualidad hay una gran cantidad de modelos para hacer estimaciones de PPN, el modelo propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997a) sigue proporcionando estimaciones adecuadas a nivel global. Para tratar de mejorar las estimaciones regionales en aguas cercanas a la costa se modificó el valor de la integración en la columna de agua. Originalmente el modelo propone la estimación de la PPN desde la superficie hasta la base de la zona eufótica (Z_E). Esta estimación de la

Z_E se basa en ecuaciones empíricas alimentadas con datos de campo. En la práctica, la concentración total de clorofila en la columna de agua es calculada a partir de la clorofila superficial estimada por el satélite usando una fórmula que distingue entre aguas con baja y alta concentración de clorofila.

Esto implica usar una de estas dos formulas para las diferentes condiciones de clorofila (Morel y Berthon, 1989). Esto resulta en estimaciones pobres cuando se comparan con datos de campo (Siegel *et al.* 2001; Campbell *et al.* 2002; Behrenfeld *et al.* 2002). Para mejorar las estimaciones decidimos probar usando la profundidad de la capa de mezcla, obtenida de un modelo hidrodinámico (ver abajo), en vez de usar las estimaciones de la zona eufótica que proponen Morel y Berthon (1989).

Estimación de la CM:

La CM se determinó con base en los resultados del modelo numérico HYbrid Coordinate Ocean MOdel (HYCOM) de la universidad de MIAMI (<http://hycom.rsmas.miami.edu/hycom-model/index.html>). Este modelo hace estimaciones de diferentes variables, entre ellas la profundidad de la capa de mezcla. La forma en que estima la capa de mezcla (CM) es por medio del cálculo de las diferencias de gradientes sobre capas verticales de isopícnas y las compara con un nivel de referencia (Bleck, 2002). Todos los resultados del modelo y las estimaciones de la capa de mezcla que usamos en este trabajo fueron proporcionados amablemente por el Dr. Luis Zamudio del Centro para estudios predictivos Oceano-Atmosfera (COAPS) de la Universidad de Florida.

Desempeño del modelo modificado de PPN.

Para ver el desempeño del modelo modificado de producción primaria neta (PPN) se hizo una comparación entre este y otros tres modelos. El modelo original de Behrenfeld y Falkowski (1997a), la derivación del modelo de Behrenfeld y Falkowski usando la función propuesta por Eppley (Eppley, 1972) y por último el modelo basado en estimaciones basadas en carbono (Behrenfeld, *et al.* 2005, Westberry, *et al.* 2007).

Los datos mensuales de PPN de estos tres modelos son generados por la universidad de Oregon en Estados Unidos con una resolución temporal mensual y están disponibles en <http://web.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/custom.php>.

La comparación de los cuatro modelos se hizo por medio de imágenes climatológicas para los 36 meses de 2004 a 2006.

Comparación entre zonas.

Con el fin de comparar el desempeño del modelo en diferentes puntos a lo largo de la zona de estudio, se extrajeron datos de la parte norte, centro y sur del GU. Se seleccionaron 3 zonas, relativamente cercanas a la costa, de los compuestos semanales de 8 días (figura 2). Se consideró el promedio de 36 pixeles (6 x 6) para evitar la posible ausencia de datos y se construyeron series correspondientes para cada una de las tres zonas.

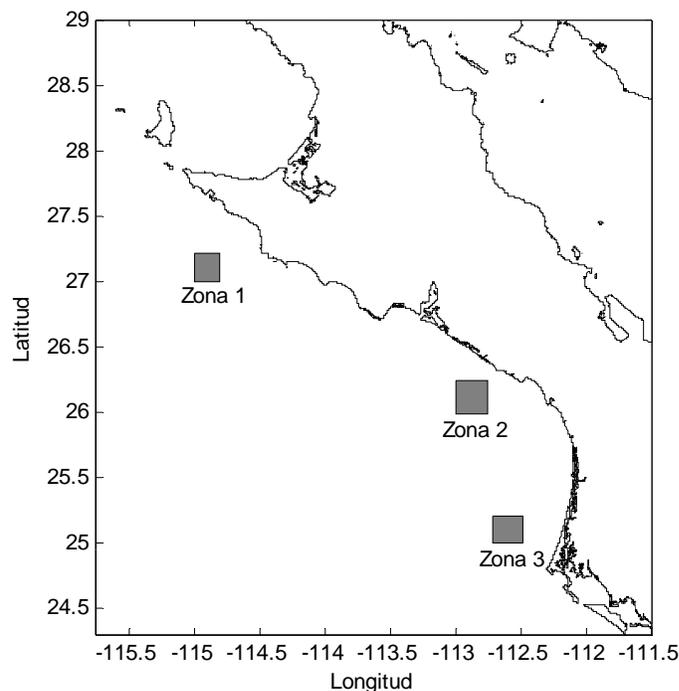


Figura 2. Zonas norte, centro y sur del GU seleccionadas.

Los datos analizados fueron compuestos semanales (8 días) y promedios mensuales para el período de 2004 a 2006. Con los datos de los compuestos mensuales se generaron mapas anuales para la TSM y la Cla.

VI.II Telemetría de Quikscat y altura dinámica (altimetría)

Quikscat.

Se obtuvieron datos de viento del sensor Seawinds a bordo del satélite QUIKSCAT. Estos provienen de un radar de microondas que mide la dispersión de la señal debida a la rugosidad de la superficie del mar producida por el esfuerzo del viento cerca de la superficie del mar (10 m) a través de las nubes, aunque en condiciones de lluvia intensa no se producen datos adecuados. El radar de microondas está montado sobre una antena que trabaja a una frecuencia de 13.4 Gh en un barrido de aproximadamente 1,800 km de ancho. El satélite mide aproximadamente el 90% de la superficie terrestre en un día (<http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/index.cfm>) con una resolución de 0.25 grados, es decir, aproximadamente 26 km².

Los datos de QUIKSCAT están disponibles en internet en el sitio <ftp://ftp.ssmi.com> en el formato HDF. Los datos están disponibles diariamente y en cada archivo HDF hay dos juegos de datos, uno para el paso ascendente y otro para el descendente del satélite, es decir un juego de datos cada 12 horas. Para los efectos de este trabajo se promediaron los dos juegos de datos para tener un valor promedio diario. Al igual que las imágenes de MODIS, los archivos HDF con datos de QUIKSCAT contienen información de los vientos a nivel mundial, así que también fue necesario hacer extracciones de la zona de estudio, es decir de 116° a 110° de longitud oeste y de 22° a 29° de latitud norte. Una vez obtenidos los datos diarios se hicieron promedios semanales de 8 días y mensuales para poder manejar la misma escala temporal de las imágenes MODIS, el resultado final son 2 matrices de datos con las componentes del viento 'x' (**u** positiva hacia el este) y 'y' (**v** positiva hacia el norte) del viento.

Con el fin de hacer evaluaciones del transporte vertical producido por el bombeo de Ekman, con los datos de viento de QUIKSCAT se hicieron estimaciones del rotacional producido por el esfuerzo del viento (Rot) siguiendo la formulación propuesta por Gill (1982: 326).

$$\nabla_x T_s = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Y_s}{f} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{X_s}{f} \right) m s^{-1} 10^6$$

Donde:

X_s y Y_s son los componentes del esfuerzo del viento.

f es el parámetro de Coriolis que se define como:

$$f = 2 * \Omega * \sin(\text{lat})$$

$$\Omega = \text{velocidad angular de la tierra } (7.292 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}).$$

Con los datos diarios del rotacional del esfuerzo del viento, denominado Rot de ahora en adelante para mayor accesibilidad, se generaron compuestos mensuales que, a su vez, se integraron en mapas anuales.

Altura dinámica MSLA

Se procesaron datos de anomalías del nivel del mar SLA (por sus siglas en inglés) para producir mapas de las corrientes geostróficas presentes en la zona de acuerdo a la metodología propuesta por Strub y James (2002). Estos mapas están disponibles en internet por medio del proyecto AVISO/Altimetría en la página <http://pendap.aviso.oceanobs.com/>. Los datos de altimetría son calculados por los satélites a través de un radar que emite un pulso hacia el océano, se mide el tiempo que le toma al pulso en ir y regresar al satélite y junto con los datos de posición del satélite y un nivel de referencia (LEVITUS en este caso) se estima la altura del mar.

Los datos utilizados para este trabajo son de un producto denominado NRT-MSLA (Near Real Time- Maps of Sea Level Anomaly), que consiste en combinar en tiempo casi real todos los datos disponibles de los satélites ENVISAT, ERS1/2, GFO, JASON1 y TOPEX/POSEIDON para generar un producto final, con una resolución de 0.25 de grado, esto tiene la ventaja de mejorar la calidad de los datos hasta en un 30% en comparación del uso de los de un sólo satélite (<http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/sea-surface-height-products/global/msla/index.html>).

Se calcularon los mapas de las corrientes geostróficas simultáneos con las imágenes de MODIS y QUIKSCAT para todos los datos disponibles entre 2004 y 2006. Con la finalidad de manejar la misma escala temporal de las variables anteriores, también se generaron compuestos de imágenes de 8 días y mensuales. El resultado final son 2 matrices de datos con los vectores de corriente geostrófica (Geo) en las direcciones x (u_g , positiva hacia el este) e y (v_g positiva hacia el norte).

Con los datos de los compuestos mensuales se generaron mapas anuales de las corrientes geostróficas (Geo).

VI.III Series de tiempo.

Para describir la variabilidad estacional durante 3 años, se generaron series de tiempo de los productos semanales del promedio de 6 puntos a lo largo de una línea paralela a la costa (figura 3) de las variables PPN, TSM, Cla, CM, K_{490} , Rot y Geo.

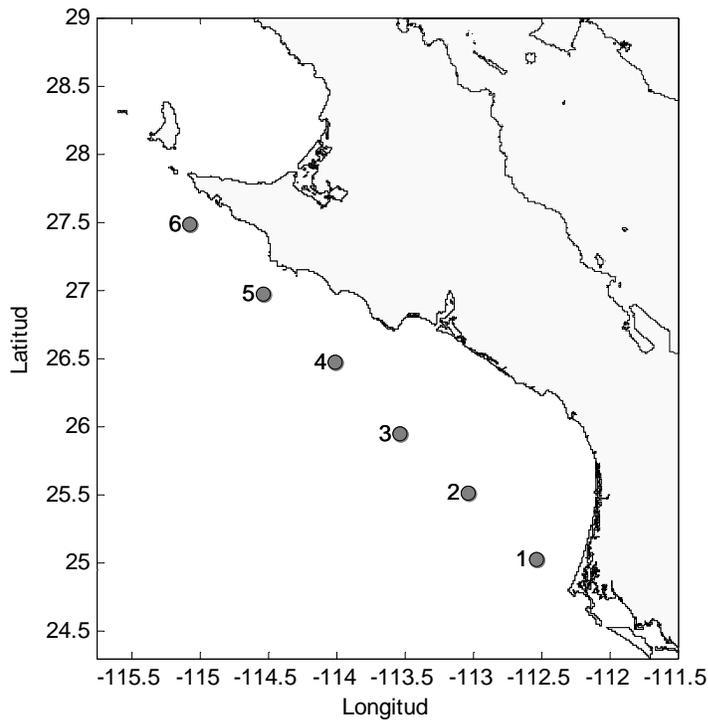


Figura 3. Posiciones de los puntos paralelos a la línea de costa.

Utilizamos el análisis de las series de tiempo para ajustar componentes armónicos a las series generadas (denominadas originales). Cada uno de estos armónicos forma parte de una suma lineal que, idealmente, es capaz de reconstruir la serie original. Para encontrar los armónicos, compuestos por sus frecuencias (w_i), fases (ϕ_i) y amplitudes A_i , la serie original $Z_{(t)}$ se 'descompuso' en componentes armónicos. En este caso encontramos que 4 componentes fueron suficientes para reproducir gran parte de la variabilidad de la serie original. Para la separación de los armónicos se aplicó la técnica

del "descenso cíclico" (Bloomfield, 1976), que consiste en ajustar a cada serie $Z(t)$ un número de componentes armónicos de la forma siguiente:

$$Z(t) = \sum_{i=1}^4 A_i \cdot \text{Sen}(\omega_i \cdot t + \phi_i)$$

Donde para cada uno de los componentes armónicos i :

A_i = Amplitud

ϕ_i = Fase

ω_i = Frecuencia angular = $2\pi / T_i$; donde a su vez T_i es el período (en días).

4 = Número de armónicos.

En términos generales la técnica del descenso cíclico consiste en un barrido de todos los periodos posibles para encontrar el período óptimo del armónico 'n' que tenga el mejor ajuste por medio del método de cuadrados mínimos. Una vez encontrado este periodo, se construye el armónico y se resta de la serie original, a manera de un descenso en el número de componentes. Una vez hecho esto se inicia la búsqueda de otro periodo óptimo para construir un nuevo componente armónico, de manera cíclica hasta alcanzar el valor máximo de 'n' (4 en este caso) que mejor ajusten la serie original.

Para una mejor descripción de los armónicos los valores de las fases se transformaron a valores en días de acuerdo a la siguiente relación:

$$df = \frac{T_i \phi_i}{2\pi}$$

Donde:

df= días de desfasamiento.

Adicionalmente a esto, también se hizo una correlación cruzada con desfasamiento, para identificar la posición en el tiempo en donde las series tienen su mayor correlación.

VI.IV Cruceros.

Con el fin de medir condiciones hidrológicas contrastantes se llevaron a cabo 2 cruceros oceanográficos en la costa occidental de Baja California Sur, abarcando

completamente la zona de estudio (figura 3). El primero de ellos fue en noviembre de 2005 y el segundo en marzo de 2006.

En los cruceros se obtuvieron datos de un perfilador CTD (sonda de conductividad, temperatura y presión), de un perfilador PNF (perfilador de fluorescencia natural) y se tomaron muestras discretas de nutrientes con botellas Niskin a tres diferentes profundidades; superficie, máximo de clorofila y 1% de luz. De estas muestras se midió la concentración de nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4). Las muestras de nutrientes de las diferentes profundidades fueron colectadas en botellas de plástico y congeladas para su posterior análisis en el laboratorio. La profundidad del 1% de luz se estimó por medio de un disco de Secchi.

Los perfiles verticales de salinidad y temperatura se hicieron por medio de un CTD marca SBE modelo 25, recién calibrado de fábrica. El postprocesado de los datos crudos se hizo de acuerdo a la metodología propuesta por Cosío y Trasviña (2000), que consiste en utilizar los datos de 'bajada' del CTD, ordenarlos, eliminar inversiones e interpolarl a 1 db.

Para el análisis de la información se construyeron diagramas T-S tomando en cuenta todos los lances disponibles por crucero y se compararon entre sí con la finalidad de determinar las diferentes masas de agua presentes en la zona, según la descripción de Torres-Orozco (1993).

Los perfiles de fluorescencia natural se realizaron con un PNF 300 Biospherical Instruments. Debido a la forma en que fue diseñado el crucero y la naturaleza del aparato no fue posible hacer las mismas estaciones para los 2 cruceros (figura 34). De los perfiles del PNF se obtuvieron datos de temperatura, clorofila, irradiancia y de la profundidad del máximo de clorofila.

Hay que considerar que los resultados de los perfiles del PNF son afectados por dos factores; por un lado la naturaleza del sensor al ser influenciado en los primeros metros por la luz solar y por otro la calibración del mismo. Para minimizar los efectos del primer factor se tenía considerado usar datos de fluorescencia activa por medio de un fluorómetro instalado en el CTD, estos datos no pudieron ser calibrados y por lo tanto no fueron de utilidad, por esta razón se eliminaron los datos de clorofila de los primeros 10 metros de profundidad de todos los perfiles. Mientras que en el caso del segundo

factor, al parecer este se presentó en algunas estaciones del segundo crucero, ya que los valores de clorofila fueron demasiado altos en comparación con el primero aún después de eliminar los datos de los 10 primeros metros de los perfiles.

Los nutrientes se determinaron de acuerdo a los métodos espectrofotométricos descritos en Strickland y Parsons (1972). Los nitratos: se determinaron por el método de Morris y Riley (1963), con un intervalo de detección de 0.05 a 45 μM y una precisión de $\pm 0.05 \mu\text{M}$. Los nitritos: por el método de Bendschneider y Robinson (1952) con un intervalo de detección entre 0.01 a 2.5 μM y una precisión de $\pm 0.005 \mu\text{M}$. Los fosfatos: por el método de Murphy y Riley (1962) con un intervalo de detección de 0.03 a 5 μM y una precisión de $\pm 0.03 \mu\text{M}$.

VII Resultados

VII.I Modelo de PPN y variables que lo alimentan.

Se comenzará primero con las principales variables que alimentan el modelo, la concentración de clorofila (Cla), la temperatura superficial del mar (TSM) y la capa de mezcla (CM)

Concentración de clorofila-a (Cla)

Se descargaron del sitio de MODIS 174 archivos con información de Cla, de éstas 138 (46 por año) fueron semanales y 36 mensuales para 2004, 2005 y 2006. Se extrajo la parte de la zona de estudio para cada archivo y se generaron las imágenes correspondientes. Las imágenes mensuales se organizaron y se incluyeron los de cada año en una sola figura; los números del 01 al 12 representan los meses del año de enero a diciembre, además se seleccionó una escala de temperatura de 12 a 28°C acorde a la TSM presente en el área para poder hacer comparaciones durante todo el período de estudio.

Los promedios mensuales de Cla de 2004 mostraron que en enero (figura 4, 01) el rango de valores de Cla fue de 0 a 1 mg m⁻³. Los valores altos, entre 0.5 y 0.8 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa, mientras que los valores bajos, menores a 0.5 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica.

En febrero (figura 4, 02) los valores de Cla aun se encuentran por debajo de los 3.5 mg m⁻³. Hay valores altos, entre 1.5 y 3.5 mg m⁻³ muy cerca de la costa entre los 26.5 y 27.5°N.

En marzo (figura 4, 03) los valores de Cla se localizaron entre 0 y 5 mg m⁻³. Los valores altos, entre 3 y 5 mg m⁻³, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N. Los valores menores entre 0.25 y 3 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa al sur de los 26.5°N. En la zona oceánica los valores no sobrepasaron los 0.25 mg m⁻³.

En abril (figura 4, 04) los valores de Cla aumentaron sustancialmente al ubicarse entre 0 y 8 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores altos, entre 5 y 8 mg m⁻³, se localizaron a lo largo de la costa entre 25.5 y 27°N. En el resto de la región los valores aparecen homogéneos, sin embargo una inspección detallada revela valores superiores a 2 y a menudo hasta 5 mg m⁻³ en toda la franja

costera y plataforma continental. Concentraciones inferiores a 2 mg m^{-3} se localizaron afuera de la plataforma continental.

En mayo (figura 4, 05) los valores de Cla siguieron aumentando al ubicarse entre 0 y 12 mg m^{-3} , aunque para propósitos de esta figura están limitados a 5 mg m^{-3} . Los valores mayores a 9 mg m^{-3} se localizan en una franja costera entre 26 y 27°N . Los valores entre 4 y 9 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la costa así como sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km . Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron sobre estructuras de mesoescala evidentes en la imagen de color. Los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica.

En junio (figura 4, 06) los valores de Cla aumentaron hasta 14 mg m^{-3} , aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m^{-3} . Este mes presentó los valores más altos de Cla. En términos generales el comportamiento y distribución de la Cla fue igual al del mes pasado, los valores mayores a 9 mg m^{-3} se limitan a una franja costera entre 26 y 27°N . Los valores entre 4 y 9 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km . Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron sobre estructuras de mesoescala al sur de 26.5°N , los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica.

En julio (figura 4, 07) los valores de Cla disminuyeron a 12 mg m^{-3} , aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m^{-3} . Los valores mayores a 9 mg m^{-3} se localizan en la costa entre 26.5 y 27°N . Los valores entre 4 y 9 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la costa así como sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km de la costa. Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron sobre remanentes de estructuras de mesoescala sobre la plataforma continental, los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica.

En agosto (figura 4, 08) los valores de Cla disminuyeron a 10 mg m^{-3} , aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m^{-3} . Los valores mayores a 6 mg m^{-3} se localizan en una franja costera entre 26.5 y 27°N . Los valores entre 3 y 6 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la costa. Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron sobre remanentes de estructuras de mesoescala sobre la plataforma continental, los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica.

En septiembre (figura 4, 09) los valores de Cla disminuyeren drásticamente hasta 3 mg m^{-3} . Los valores entre 1 y 3 mg m^{-3} se localizan en puntos aislados a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N . Los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica.

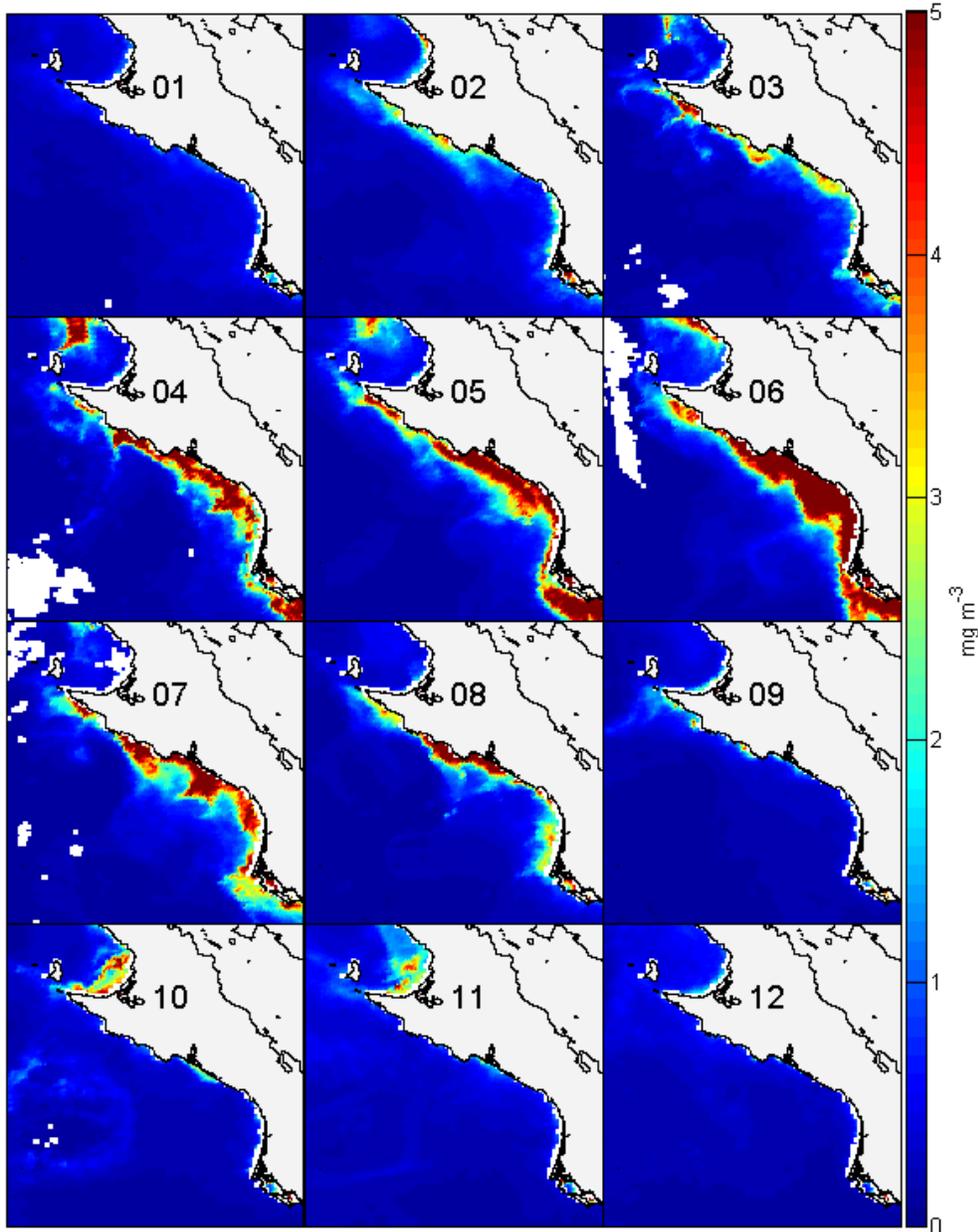


Figura 4. Promedios mensuales de la Cla durante 2004.

En octubre (figura 4, 10) los valores de Cla se mantuvieron en el rango de 3 mg m^{-3} . Los valores entre 1 y 3 mg m^{-3} se localizaron en la costa al norte de los 28°N , así como

un pequeño núcleo en la costa cercano a 26.5°N. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área.

En noviembre (figura 4, 11) los valores de Cla disminuyeron a 2.5 mg m⁻³. Los valores entre 1 y 2.5 mg m⁻³ se localizaron en la costa al norte de 28°N y en la costa cercana a 26.5°N. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área.

En diciembre (figura 4, 12) el rango de valores de Cla estuvo entre 0 y 1.5 mg m⁻³. Los valores entre 1 y 1.5 mg m⁻³ se localizaron en la costa al norte de 28°N. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área.

Los mapas de Cla para 2004 muestran un panorama distinto al de la variabilidad de la temperatura. Como se describe en la sección siguiente, la TSM muestra un patrón consistente con la presencia de eventos de surgencia que enfrían la franja costera de febrero a junio de 2004. En comparación, las concentraciones de clorofila sólo contienen valores consistentes con la ocurrencia de surgencias durante los meses de marzo hasta agosto. Es decir, aunque los vientos en la región son capaces de enfriar la zona costera desde febrero, es hasta marzo cuando ocurren todas las condiciones necesarias para el desarrollo del fitoplancton. Y, estas condiciones permanecen hasta los meses del verano (julio y agosto) aunque en la TSM promedio mensual no parece indicar condiciones propicias. Por otro lado, en el mes de septiembre la Cla desciende drásticamente. Como veremos más adelante esto coincide con la invasión de toda la región de aguas tropicales de muy altas temperaturas. Un hecho interesante es que los valores más altos de Cla se observan principalmente en mayo y junio en la parte central del GU, no en la zona costera norte donde las surgencias son más intensas.

Los promedios mensuales de Cla de 2005 mostraron que en enero (figura 5, 01) el rango de valores de Cla estuvo entre 0 y 2 mg m⁻³. Los valores mayores de 1 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27°N, mientras que los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con enero de 2004 los valores fueron 1 mg m⁻³ mayores.

En febrero (figura 5, 02) los valores de Cla se mantuvieron en 2 mg m⁻³. Los valores entre 1 y 2 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N. Los valores menores 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con febrero de 2004 los valores de Cla fueron 1.5 mg m⁻³ menores.

En marzo (figura 5, 03) los valores de Cla aumentaron drásticamente al ubicarse entre 0 y 7 mg m⁻³. Los valores entre 4 y 7 mg m⁻³, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N. Los valores medios, entre 1 y 3 mg m⁻³, se localizaron en la costa al sur de 26.5°N. En la zona oceánica los valores fueron menores a 1 mg m⁻³. En comparación con marzo de 2004 los valores de Cla fueron mayores por 2 mg m⁻³.

En abril (figura 5, 04) los valores de Cla aumentaron hasta 10 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores entre 6 y 10 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N. Los valores medios entre 6 y 2 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 100 km. Los valores menores a 2 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica, más allá de la plataforma continental. Los valores de Cla fueron 2 mg m⁻³ mayores a los de abril de 2004.

En mayo (figura 5, 05) los valores de Cla aumentaron hasta 13 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores mayores a 10 mg m⁻³ se limitan a dos franjas costeras, una en 26.75 °N y otra alrededor de los 26°N. Los valores entre 5 y 10 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km. Los valores entre 2 y 5 mg m⁻³ se localizaron sobre meandros en la plataforma continental entre 25 y 26.5°N. Los valores menores a 2 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con mayo de 2004 los valores de Cla fueron 1 mg m⁻³ mayores.

En junio (figura 5, 06) los valores de Cla aumentaron hasta 17 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. En comparación con el resto del año, este mes presentó los valores más altos de Cla. En términos generales el comportamiento y distribución de la Cla fue similar al del mes anterior, los valores mayores a 10 mg m⁻³ se limitan a una franja costera entre 26 y 27°N. Los valores entre 4 y 10 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa al sur de 26.5°N y sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km. Los valores entre 2 y 4 mg m⁻³ se localizaron sobre la plataforma continental principalmente entre de 25 y 27°N, los valores menores a 2 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con junio de 2004 los valores de Cla fueron 3 mg m⁻³ mayores.

En julio (figura 5, 07) los valores de Cla disminuyeron a 12 mg m^{-3} , aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m^{-3} . Los valores mayores a 8 mg m^{-3} se localizan en la costa entre 26.5 y 27°N . Los valores entre 4 y 8 mg m^{-3} se localizaron sobre la plataforma continental, hasta unos 150 km de la costa entre 26 y 26.5°N . Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa al sur de 26.5°N , los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica. En comparación con julio de 2004 el rango de Cla fue igual.

En agosto (figura 5, 08) los valores de Cla disminuyeron a 10 mg m^{-3} , aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m^{-3} . Los valores mayores a 5 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 28°N . Los valores entre 5 y 2 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la costa. Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron sobre remanentes de estructuras de mesoescala sobre la plataforma continental, los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en la zona oceánica. En comparación con agosto de 2004 el rango de Cla fue igual.

En septiembre (figura 5, 09) los valores de Cla disminuyeron drásticamente hasta 4 mg m^{-3} . Los valores entre 1 y 4 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N . Los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la zona. En comparación con septiembre de 2004 la Cla fue 1 mg m^{-3} mayor.

En octubre (figura 5, 10) el rango de Cla estuvo entre 0 y 2 mg m^{-3} . Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 27°N . Los valores menores a 1 mg m^{-3} se distribuyeron en el resto del área. En comparación con octubre de 2004 la Cla fue 1 mg m^{-3} menor.

En noviembre (figura 5, 11) los valores de Cla disminuyeron a 1.5 mg m^{-3} . Los valores entre 0.5 y 1.5 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27°N . Los valores menores a 0.5 mg m^{-3} se distribuyeron en el resto del área. En comparación con noviembre de 2004 la Cla fue 1 mg m^{-3} menor.

En diciembre (figura 5, 12) los valores de Cla se mantuvieron en 1.5 mg m^{-3} . Los valores entre 1 y 1.5 mg m^{-3} se localizaron en la costa al norte de los 28°N . Los valores menores a 1 mg m^{-3} se distribuyeron en el resto del área. En comparación con noviembre de 2004 la Cla fue muy similar.

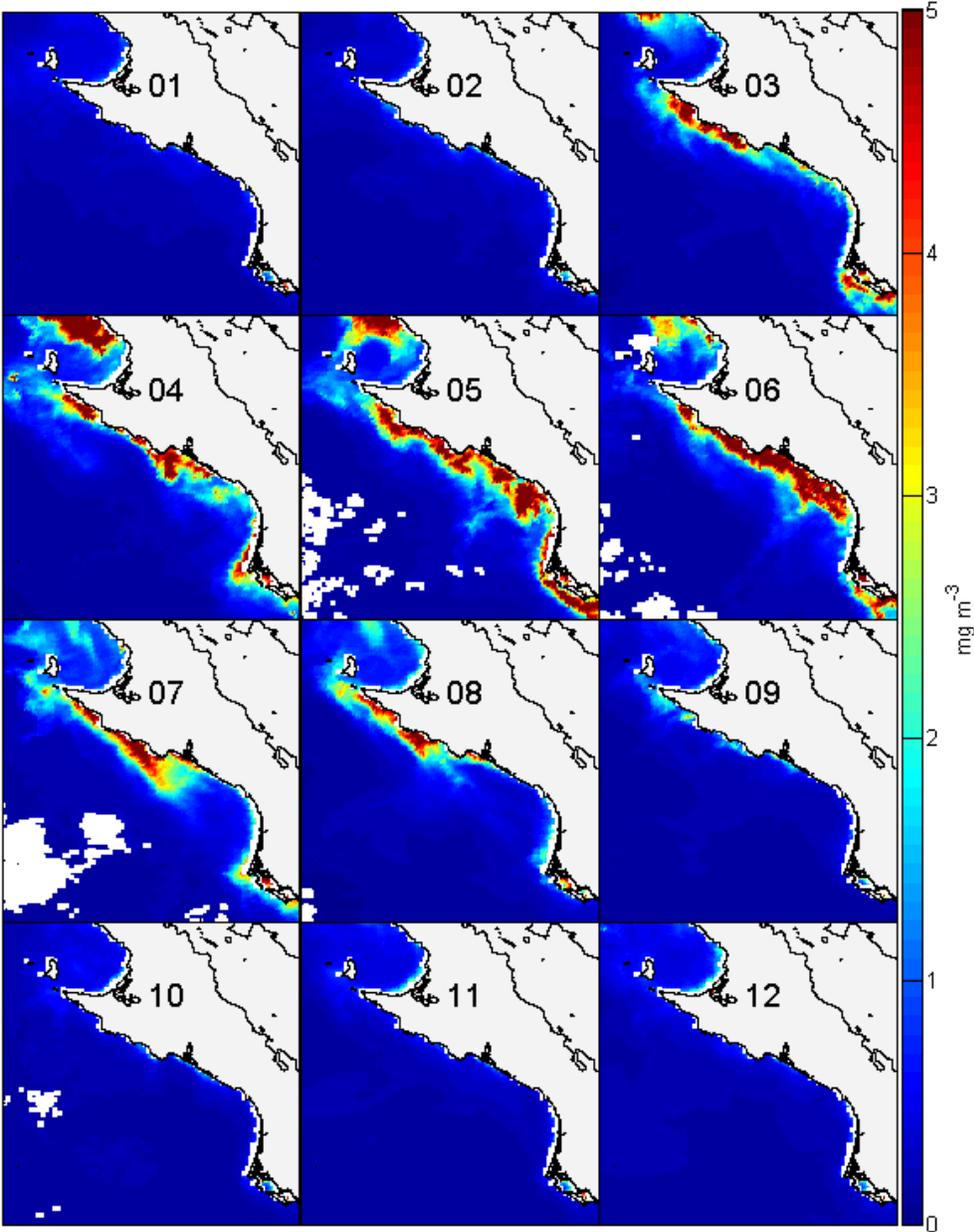


Figura 5. Promedios mensuales de la Cla durante 2005.

Los mapas de Cla para 2005 muestran un panorama similar al de 2004. Las concentraciones de clorofila son consistentes con la ocurrencia de las posibles surgencias observadas en las imágenes de TSM durante los meses de marzo a junio. Se sigue observando el fenómeno de valores relativamente altos de Cla a pesar de que ya no hay condiciones de surgencia en julio y agosto. Al igual que en 2004 en el mes de septiembre es cuando la Cla desciende drásticamente, y que coincide con la invasión de toda la región de aguas tropicales de muy altas temperaturas (ver la

sección siguiente). En general este año presento valores superiores de Cla en comparación con 2004. Los valores más altos de Cla se siguen observando en la parte central del GU, principalmente en mayo y junio, no en la zona costera norte donde ocurren las surgencias más intensas.

Los promedios mensuales de Cla de 2006 mostraron que en enero (figura 6, 01) los valores de Cla estuvieron entre 0 y 2 mg m⁻³. Los valores mayores de 1 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N, mientras que los valores entre 1 y 0.5 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto de la costa. Los valores menores a 0.5 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con enero de 2005 los valores máximos de Cla fueron similares.

En febrero (figura 6, 02) los valores de Cla aumentaron a 3 mg m⁻³. Los valores entre 1 y 3 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la zona costera. Los valores menores 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con febrero de 2005 los valores máximos de Cla fueron 1 mg m⁻³ mayores.

En marzo (figura 6, 03) los valores de Cla aumentaron drásticamente al alcanzar los 10 mg m⁻³. Los valores entre 7 y 10 mg m⁻³, se localizaron a lo largo de la costa entre 27 y 28°N. Los valores medios entre 4 y 7 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa al sur de los 27°N así como en la plataforma continental hasta unos 50 km. Los valores entre 1 y 4 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la plataforma continental. En la zona oceánica los valores fueron menores a 1 mg m⁻³. En comparación con marzo de 2005 los valores de Cla fueron 3 mg m⁻³ mayores.

En abril (figura 6, 04) los valores de Cla aumentaron hasta 12 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores entre 7 y 12 mg m⁻³, se localizaron a lo largo de la costa entre 25.5 y 26.5°N así como en la plataforma continental hasta unos 50 km. Los valores medios entre 2 y 7 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental hasta unos 100 km. Los valores entre 1 y 2 mg m⁻³ se localizaron sobre estructuras de mesoescala, más allá de la plataforma continental. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica.

En mayo (figura 6, 05) los valores de Cla aumentaron hasta 17 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores entre 6 y 17 mg m⁻³ se

localizaron en la costa entre 25.5 y 27°N. Los valores entre 2 y 6 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 100 km entre 26 y 27°N. Los valores entre 1 y 2 mg m⁻³ se localizaron sobre estructuras de mesoescala entre 25.5 y 26.5°N. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con mayo de 2005 los valores de Cla fueron 3 mg m⁻³ mayores. Este mes, junto con junio de 2006, presentaron los valores más altos de Cla de todo el periodo.

En junio (figura 6, 06) los valores de Cla se mantuvieron en 17 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores entre 7 y 17 mg m⁻³ se limitan a una franja costera alrededor de los 26.5°N. Los valores entre 4 y 7 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 100 km. Los valores entre 2 y 4 mg m⁻³ se localizaron sobre la plataforma continental principalmente entre de 25.5 y 26.5°N, los valores menores a 2 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con junio de 2004 los valores de Cla fueron 1 mg m⁻³ menores.

En julio (figura 6, 07) los valores de Cla disminuyeron a 15 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores mayores a 7 mg m⁻³ se localizaron en la costa entre 26.5 y 27°N y frente a Bahía Magdalena entre los 24.5 y 25°N. Los valores entre 4 y 7 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental, hasta unos 100 km. Los valores entre 1 y 4 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la plataforma continental y sobre estructuras de mesoescala. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con julio de 2005 la Cla fue 3 mg m⁻³ mayor.

En agosto (figura 6, 08) los valores de Cla disminuyeron a 12 mg m⁻³, aunque para efectos de escala estos están limitados a 5 mg m⁻³. Los valores mayores a 5 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N. Los valores entre 2 y 5 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental entre 26 y 27°N. Los valores entre 1 y 2 mg m⁻³ se localizaron sobre el resto de la costa, los valores menores a 1 mg m⁻³ se localizaron en la zona oceánica. En comparación con agosto de 2005 el valor de Cla fue 2 mg m⁻³ mayor.

En septiembre (figura 6, 09) la Cla disminuyó drásticamente a 6 mg m^{-3} . Los valores entre 2 y 6 mg m^{-3} se localizaron a lo largo de la costa entre 25 y 27°N . Los valores entre 1 y 2 mg m^{-3} se localizaron en la plataforma continental hasta unos 50 km , los valores menores a 1 mg m^{-3} se localizaron en el resto de la zona. En comparación con septiembre de 2005 el valor de Cla fue 2 mg m^{-3} mayor.

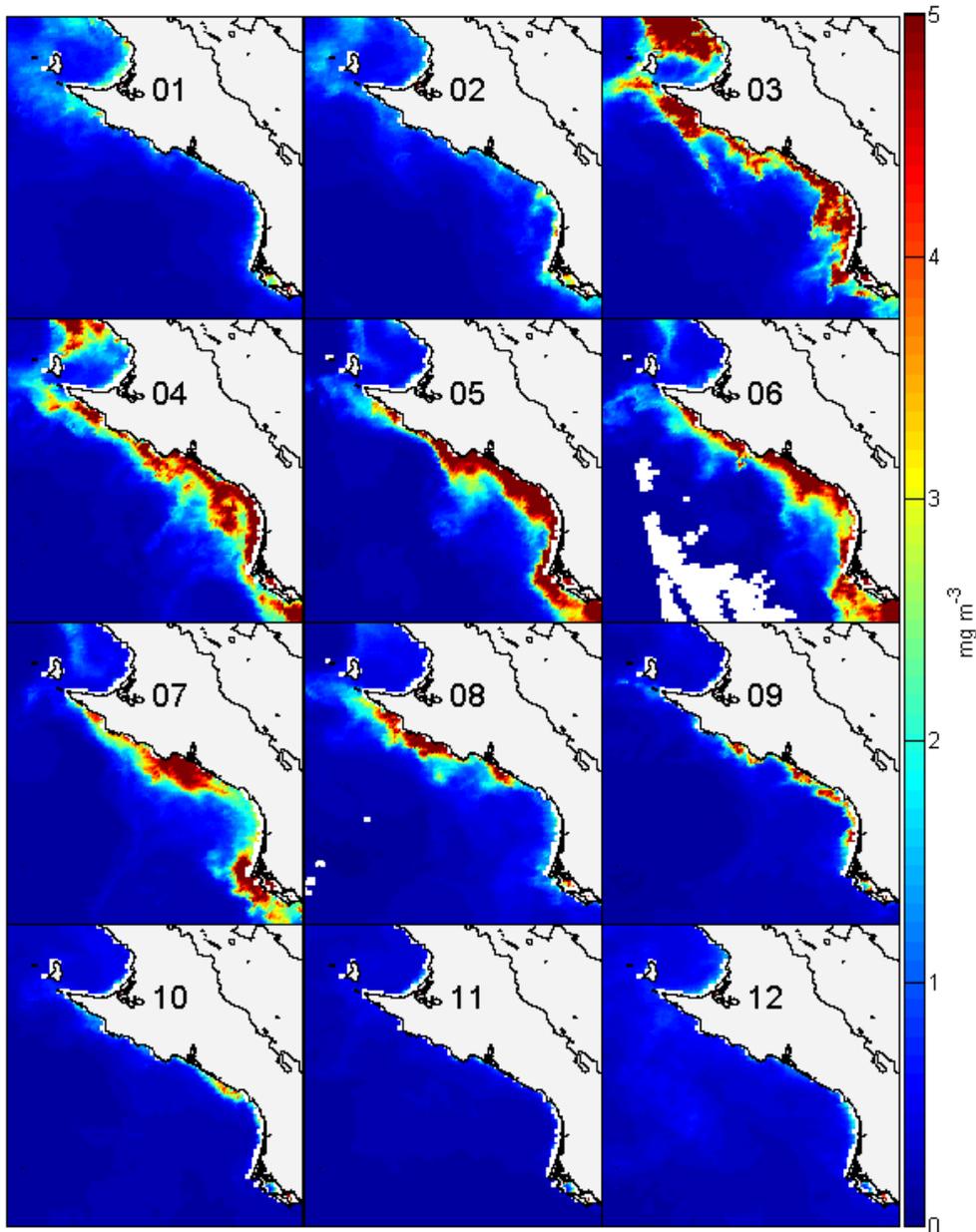


Figura 6. Promedios mensuales de la Cla durante 2006.

En octubre (figura 6, 10) el rango de Cla fue de 0 a 4 mg m⁻³. Los valores entre 2 y 4 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 26.5°N. Los valores entre 1 y 2 mg m⁻³ se localizaron en el resto de la costa, los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con octubre de 2005 el valor máximo de Cla fue 2 mg m⁻³ mayor.

En noviembre (figura 6, 11) los valores de Cla disminuyeron a 1.5 mg m⁻³. Los valores entre 0.5 y 1.5 mg m⁻³ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27°N. Los valores menores a 0.5 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con noviembre de 2005 el valor máximo de Cla fue igual.

En diciembre (figura 6, 12) los valores de Cla se mantuvieron en 1.5 mg m⁻³. Los valores entre 1 y 1.5 mg m⁻³ se localizaron en la costa entre 25 y 27°N. Los valores menores a 1 mg m⁻³ se distribuyeron en el resto del área. En comparación con noviembre de 2005 el valor máximo de Cla fue igual.

Los mapas de Cla para 2006 muestran un patrón similar a los de los años anteriores, excepto que las concentraciones son las más altas del periodo examinado. Las concentraciones de clorofila son consistentes con la ocurrencia de las posibles surgencias observadas en las imágenes de TSM durante los meses de marzo a junio. Se siguen observando valores relativamente altos de Cla a pesar de que ya no hay condiciones de surgencia que proporcionen condiciones favorables en julio, agosto y septiembre. Al igual que en 2004 y 2005 en el mes de septiembre es cuando la Cla desciende notoriamente, y que coincide con la invasión de toda la región de aguas tropicales de muy altas temperaturas. En los tres años examinados cuando la Cla es transportada hacia mar afuera lo hace sobre estructuras de mesoescala, principalmente meandros, filamentos y remolinos. Los valores más altos de Cla se siguen observando en la parte central del GU, principalmente de marzo a junio, no en la zona costera norte donde ocurren las surgencias más intensas.

Temperatura superficial del mar (TSM)

Se obtuvo el mismo número de imágenes que las de Cla y se organizaron también en mapas con promedios mensuales en una sola figura para cada año. Los números del 01 al 12 representan los meses del año, se seleccionó una escala de 0 a 55 mg m^{-3} acorde a la concentración de clorofila (Cla) presente en el área.

Los promedios mensuales de TSM de 2004 se muestran en la figura 7. En enero (figura 7, 01) el rango fue de 16 a 22°C, con el agua más fría, menor a los 18°C, al norte de los 27°N y la más cálida, mayor a los 20°C, al sur de los 25°N, frente a Bahía Magdalena. Se nota una separación de las masas de agua, la más fría al norte y la cálida en el sur. En febrero (figura 7, 02) encontramos temperaturas más bajas, entre 13.5 y 21.5°C. Las menores a 15°C se localizaron principalmente en una franja a lo largo de la costa entre 26.5° y 28°N. El agua más cálida, mayor a los 19°C, se localizó al sur de los 25°N tanto en la costa como mar afuera.

Marzo (figura 7, 03), comparado con el resto del año, fue el mes más frío con un rango entre 12 y 21.5°C, el agua más fría se localizó, al igual que el mes pasado en la zona costera, entre 26.5° y 28°N. Más al sur la TSM fue relativamente homogénea ubicándose entre 17 y 19°C. La TSM más alta, mayor a 19°C, se localizó en la zona oceánica entre 24 y 25°N.

En abril (figura 7, 04) la TSM muestra un ligero con un rango entre 13 y 22.5°C. La TSM mas fría (13 a 17°C) se localizó a lo largo de la costa, pero los valores más bajos, menores de 15°C, se observaron entre 26.5° y 28°N. Los valores de TSM más altos, mayores de 20°C, se localizaron en aguas oceánicas entre 24 y 25°N. En promedio abril es el mes más frío del año, aunque las temperaturas más bajas ocurren en marzo.

En mayo (figura 7, 05) se nota un aumento en la TSM con un rango entre 13.5 y 24.5°C; los valores más bajos, entre 14 y 16°C, se localizaron a lo largo de la costa entre 27 y 28°N, que es indicativo de una surgencia muy localizada. Los valores más altos, entre 20 y 22°C, se localizan en aguas oceánicas entre 24 y 25.5°N, aunque hay un núcleo costero entre 25 y 26°N (Al norte de Bahía Magdalena) con valores de 21°C.

En Junio (figura 7, 06) sigue el aumento en la TSM, en este mes rango fue entre 14 y 26.5°C. Los valores más bajos, entre 14 y 18°C, se localizan en la costa o frente a ésta, entre 26 y 28°N, esto indica la presencia de una gran surgencia en esta zona. Más allá

de las aguas frías, mar afuera, los valores varían entre 18 y 20°C (temperatura media), ocupando una gran parte de la zona oceánica. Finalmente los valores más altos, mayores de 21°C, se localizaron en la zona oceánica entre 24 y 25°C, envolviendo las aguas con temperatura media.

En julio (figura 7, 07) los valores de TSM aumentaron notoriamente, se localizaron entre 17 y 28.5°C. Los valores más bajos de TSM, entre 17 y 20°C, se localizaron en la zona costera entre 27 y 28°N. Aguas con TSM media, entre 20 y 24°C, se localizaron en la zona oceánica entre 24 y 27°N. Los valores más altos de TSM, mayores de 24°C, se localizaron en la zona costera al sur de 26.5°N. En este mes los valores de TSM más altos se observaron en el sur y los más bajos en el norte.

En agosto (figura 7, 08) los valores de TSM continuaron aumentando en comparación de los meses anteriores, su rango fue de 17.5 a 28°C. Los valores más bajos, entre 17.5 y 20°C, están limitados a una pequeña franja costera entre 27 y 28°N. Hay aguas con TSM media, entre 23 y 26°C en la zona oceánica y que envuelve la zona con valores menores. Los valores más altos, mayores de 26°C, se localizan en la zona costera al sur de los 26°N. La presencia de los valores altos de TSM en la costa sur indica la intrusión de aguas cálidas provenientes del sur.

En septiembre (figura 7, 09) siguió el incremento de la TSM con valores entre 21°C y 30°C. Los valores mínimos, entre 22 y 24°, se localizan en la zona oceánica al oeste de los 114°O. Los valores altos, entre 27 y 30°C, se localizan desde la costa hasta los 114°O. Esto indica aguas cálidas en la zona costera y las frías en la oceánica.

En octubre (figura 7, 10) los valores de TSM comenzaron a disminuir, con un rango entre 19.5 y 28°C. Se nota un descenso de la TSM en toda la zona al norte de 27°N con valores entre 19.5 y 21.5°C. Los valores medios, entre 22 y 25°C, se localizan en una franja latitudinal entre 25 y 27°N. Los valores más altos, mayores de 25°C, se localizaron desde la zona costera hasta 113°O y al sur de 26°N. Se nota una disminución en la intrusión de aguas cálidas provenientes del sur.

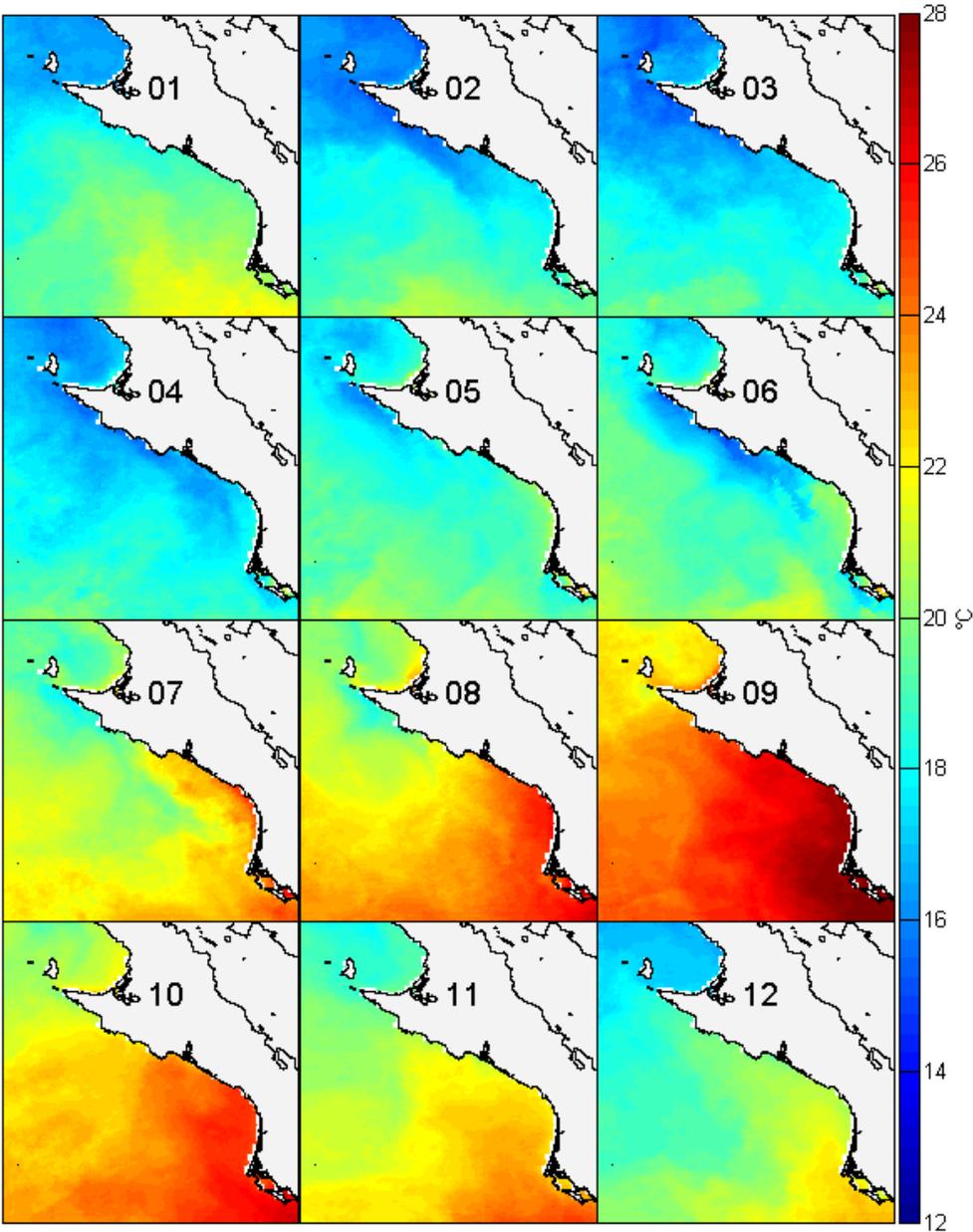


Figura 7. Promedios mensuales de la TSM durante 2004.

En noviembre (figura 7, 11) se inicia la transición al invierno. La TSM disminuyó notoriamente con respecto a octubre, variando entre 17 y 25°C. Los valores bajos, entre 17 y 19°C se localizaron al norte de los 27.5°N. Los valores medios, entre 19 y 22°C, se localizaron al oeste de los 113.5°O incluyendo las zonas costera y oceánica. Los valores altos, mayores de 22°C, se localizaron al sur de los 26°N, entre la costa y los 113°O.

En diciembre (figura 7, 12) la temperatura continuó disminuyendo respecto a los 2 meses anteriores, los valores de TSM variaron entre 16.5 y 23°C. Los valores bajos, entre 16.5 y 19°C, se extendieron casi en la totalidad de la zona oceánica, al norte de los 25°N. Los valores altos de TSM, mayores de 20°C, se localizaron principalmente en la costa y hasta los 113°O.

Las imágenes de 2004 muestran claramente dos fenómenos que modifican las temperaturas superficiales. Uno es la surgencia costera que es la responsable de los gradientes intensos hacia fuera de la costa en los meses de febrero a junio. El otro es la llegada de aguas cálidas desde el sur que se observa en julio como una lengua delgada a lo largo de la costa de la mitad sur de la región de interés. Y que para septiembre ya invadió todo el Golfo de Ulloa con temperaturas superiores a los 25°C, es decir de características tropicales. En este año en particular el mes de noviembre es cuando ocurre la transición entre las condiciones cálidas y las invernales.

Los promedios mensuales de TSM de 2005 mostraron que en enero (figura 8, 01) el rango de temperatura fue de 15 a 22.5°C, con el agua más fría, menor a los 19°C, al norte de 26.5°N y la más cálida, mayor a 20°C, al sur de 26°N, principalmente en la zona costera y frente a Bahía Magdalena. Las aguas frías se ubican al norte y las cálidas en el sur.

En febrero (figura 8, 02), en términos generales, la TSM disminuyó, aunque el valor mínimo, 16.5°C fue mayor que el de enero, mientras que el valor máximo fue de 21.5°C. El agua más fría, menor a 19°C, se localizó al norte de los 26°N. El agua más cálida, mayor a los 20°C, se localizó al sur de 26°N tanto a nivel costero como oceánico.

En Marzo (figura 8, 03) los valores de TSM se localizaron entre tuvieron un rango de 15 a 21°C. El agua más fría, menor a 18°C, se localizó al norte de 26.5°N; aunque se nota una concentración de agua fría en la costa, entre 26.5 y 28°N que puede asociarse a una surgencia. Hacia el sur la TSM fue relativamente homogénea sobre los 19°C y se localizó en la zona oceánica entre 24 y 25°N.

En abril (figura 8, 04) la TSM muestra un ligero descenso en el extremo mínimo y un ligero aumento en el máximo con un rango entre 13.5 y 22°C. La TSM mas fría, entre 13 y 15°C, se localizó en una franja costera entre 26.5 y 28°N, que podría estar

asociada a una surgencia. Los valores entre 15 y 18°C se localizaron en toda la zona al norte de 25°N, excepto en la costa mencionada. Al sur de 25°N se localizaron los valores de TSM más altos, mayores de 20°C. Este mes presentó los valores de TSM promedio más bajos del año, aunque mayo presentó los valores más bajos en zonas aisladas.

En mayo (figura 8, 05) la TSM muestra un ligero descenso en el extremo mínimo y un aumento en el máximo con un rango entre 13 y 22°C. Los valores más bajos, entre 13 y 15°C, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N, que puede ser indicativo de una surgencia. Los valores más altos, mayores de 22°C, se localizan en aguas oceánicas entre 24 y 25.5°N. Este mes presentó los valores de TSM más bajos del año.

En Junio (figura 8, 06) se nota un aumento en la TSM, los valores tuvieron un rango entre 13 y 25°C. Los valores más bajos, entre 13 y 15°C, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N, que, al igual que los 2 meses anteriores puede ser indicativo de una surgencia en la zona. Más allá de esta zona, mar afuera, los valores de TSM se establecieron entre 16 y 22°C (temperatura media) ocupando la mayor parte de la zona oceánica. Finalmente los valores más altos, mayores de 21°C, se localizaron en la zona costera cercana a Bahía Magdalena.

En julio (figura 8, 07) los valores de TSM aumentaron notoriamente, su rango fue de 16 a 28°C. Los valores más bajos, entre 16 y 20°C, se localizaron en la zona costera entre 26.5 y 28.5°N. Aguas con TSM media, entre 20 y 24°C, se localizaron en la zona oceánica entre 25 y 28°N. Los valores más altos, mayores de 24°C, se localizaron en la zona costera al sur de 26.5°N.

En agosto (figura 8, 08) los valores de TSM continuaron aumentando en comparación de los meses anteriores, variaron entre 18.5 y 30.5°C. Los valores más bajos, entre 18.5 y 22°C, están limitados a una pequeña franja costera entre 27 y 28°N. Hay aguas con TSM media, entre 23 y 26°C en la zona oceánica y que envuelve la zona anteriormente mencionada. Los valores más altos, mayores de 26°C, se localizan en la zona costera al sur de los 26°N. La presencia de los valores altos de TSM en la costa sur del área de estudio sugiere la intrusión de aguas cálidas provenientes del sur.

En septiembre (figura 8, 09) siguió el incremento de la TSM respecto al mes anterior. Los valores variaron entre 19°C y 31°C. Los valores mínimos, entre 19 y 22°, se

localizan en la zona oceánica al norte de 27.5°N. Los valores medios, entre 22 y 26°C, se localizan en la zona oceánica al oeste de 113°O. Los valores altos, mayores de 26°C, se localizan desde la costa hasta los 113°O. Al igual que el mes anterior se aprecia la intrusión de agua cálida proveniente del sur a lo largo de la costa.

En octubre (figura 8, 10) los valores de TSM comenzaron a disminuir con un rango entre 18.5 y 28.5°C. Se nota un descenso de la TSM en toda la zona al norte de los 26.5°N con valores entre 19 y 22°C. Los valores medios se ubican entre 22 y 25°C, localizándose en una franja longitudinal al oeste de los 113°O. Los valores más altos, mayores de 25°C, se localizaron desde la zona costera hasta los 113°O y al sur de los 26°N. Se nota una disminución en la intrusión de aguas cálidas del sur.

En noviembre (figura 8, 11) la TSM disminuyó notoriamente con respecto a octubre con valores entre 17 y 24.5°C. Los valores bajos, entre 17 y 19°C se localizaron al norte de los 27°N. Los valores medios, entre 19 y 22°C, se localizaron al oeste de los 113.5°O incluyendo las zonas costera y oceánica. Los valores altos, mayores de 22°C, se localizaron al sur de los 25.5°N, entre la costa y los 113.5°O.

En diciembre (figura 8, 12) la temperatura continuó disminuyendo, los valores de TSM variaron entre 16 y 23°C. Los valores bajos, entre 16 y 19°C, se extendieron al norte de los 26°N, tanto en la zona costera como oceánica. Los valores altos, mayores de 20°C, se localizaron al sur de 26°N entre la zona costera y los 114°O.

Al igual que las imágenes de 2004, las de 2005 muestran claramente dos fenómenos que modifican la TSM. Uno es la presencia de las surgencias costera en los meses de marzo a junio (en 2004 se presentaron a partir de febrero). El otro es la llegada de una corriente de aguas cálidas con características tropicales proveniente del sur que se presenta en julio como una lengua delgada a lo largo de la costa y que se desvanece en noviembre. En este año en particular en el mes de octubre se inició la transición entre las condiciones cálidas y las invernales.

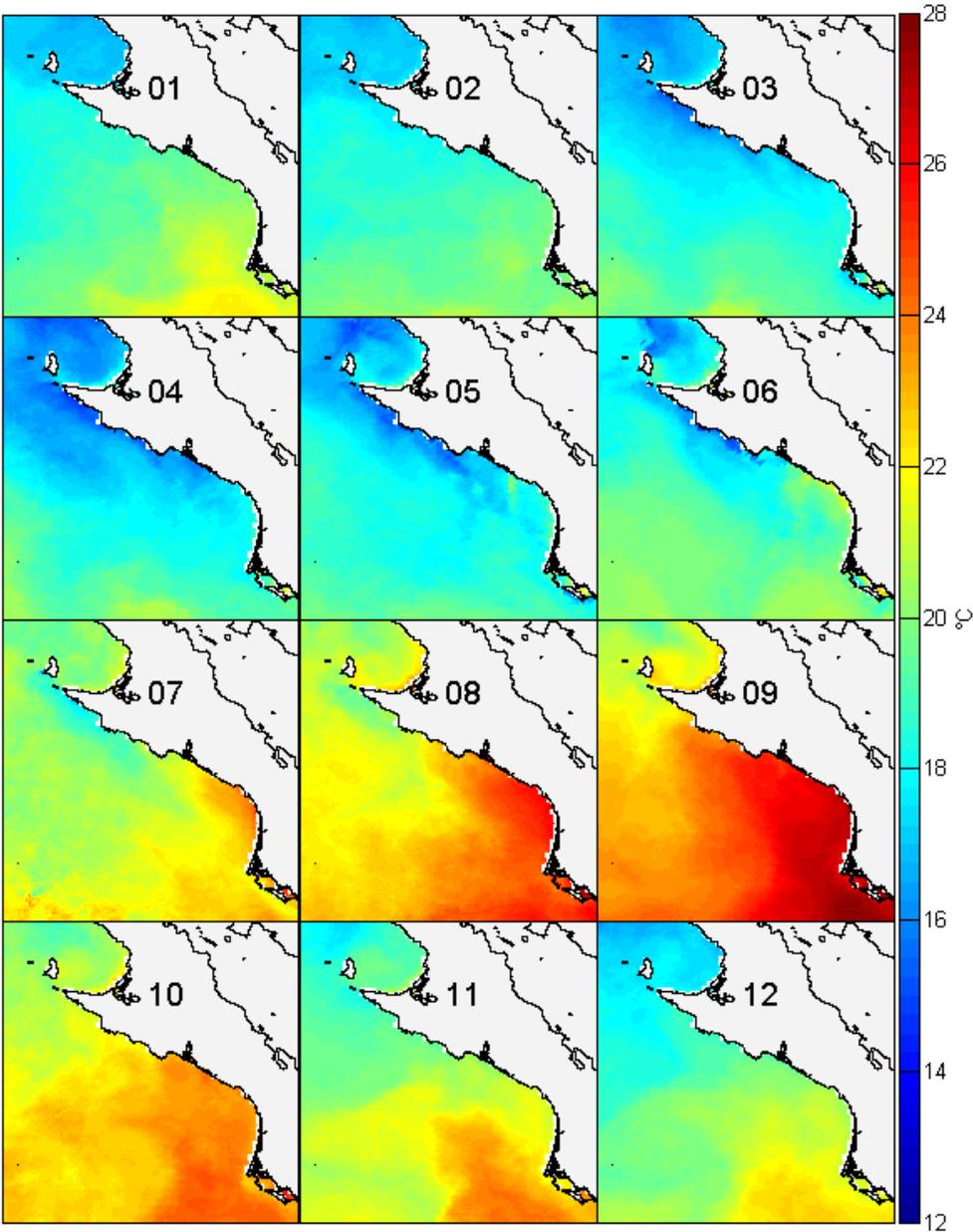


Figura 8. Promedios mensuales de la TSM durante 2005.

Los promedios mensuales de TSM de 2006 mostraron que en enero (figura 9, 01) el rango de temperatura fue de 15 a 21.5°C. El agua más fría, menor a los 17°C, se localizó al norte de los 27°N. Los valores medios, entre 17 y 20°C se localizaron entre 25 y 27°N, mientras que los valores altos, mayores a los 20°C, se localizaron al sur de 25°N, frente a Bahía Magdalena, entre la costa y 114.5°O.

En febrero (figura 9, 02) la temperatura disminuyó 1°C respecto a enero con un rango entre 14 y 21.5°C. El agua más fría, menor a los 16°C, se localizó al norte de los

26.5°N. Los valores medios, entre 16 y 20°C se localizaron entre 25 y 26°N y los valores altos, mayores a los 20°C, al sur de 25°N.

En marzo (figura 9, 03) los valores de TSM variaron entre 13 y 20°C. El agua más fría, menor a 15°C, se localizó al norte de los 26.5°N; aunque se nota una concentración de agua fría en la costa, entre 26.5 y 28°N, que puede asociarse a una surgencia. Hacia el sur, entre 26.5 y 25°N en la zona oceánica, la TSM fue relativamente homogénea con un rango entre 16 y 18°C. Los valores mayores a 18°C se localizaron en la zona oceánica al sur de 25°N.

En abril (figura 9, 04) la TSM muestra un ligero descenso en el extremo mínimo y un ligero aumento en el máximo con un rango entre 12 y 22°C. La TSM mas fría, entre 12 y 14.5°C, se localizó en una franja costera entre 26.5 y 28°N, que puede estar asociado a una surgencia. Hacia el sur, entre 26.5 y 25°N en la zona oceánica, la TSM fue relativamente homogénea con un rango entre 14.5 y 19°C. Al sur de 25°N se localizaron los valores más altos, mayores de 19°C. Este mes fue el más frío del año.

En mayo (figura 9, 05) la TSM muestra un aumento con un rango entre 13.5 y 24.5°C. Los valores más bajos, entre 13.5 y 16°C, se localizaron a lo largo de toda la costa entre 24 y 28°N, que sugiere la presencia de varias surgencias. Los valores medios, entre 16 y 19°C, se localizan en una franja oceánica paralela a la costa inmediatamente después del agua más fría. Los valores más altos, mayores de 19°C, se localizan en aguas oceánicas entre 24 y 25.5°N.

En Junio (figura 9, 06) se nota un aumento en la TSM, los valores varían entre 14.5 y 27°C. Los valores más bajos, entre 14.5 y 17°C, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N, que, al igual que los 2 meses anteriores puede ser indicativo de surgencias en esta zona. Más allá de esta zona, en la zona oceánica, los valores medios variaron entre 17 y 21°C. Los valores más altos, mayores de 21°C, se localizaron en la zona costera al sur de 26°N. Esto último puede estar asociado a la intrusión de agua cálida proveniente del sur.

En julio (figura 9, 07) los valores de TSM continuaron aumentando su rango fue de 17.5 a 29.5°C. Los valores más bajos, entre 17.5 y 20°C, se localizaron en la zona costera entre 26 y 28°N. Los valores medios, entre 20 y 24°C, se localizaron en la zona oceánica entre 25 y 28°N, inmediatamente después de los valores fríos. Los valores

más altos, mayores de 24°C, se localizaron en la zona costera al sur de 26.5°N. En este mes se nota claramente la presencia de aguas cálidas.

En agosto (figura 9, 08) los valores de TSM continuaron aumentando con un rango entre 18.5 y 30.5°C. Los valores más bajos, entre 18.5 y 22°C, están limitados a una pequeña franja costera entre 27 y 28°N. Hay aguas de TSM media, entre 22 y 25°C en la zona oceánica al sur de los 27°N y al oeste de los 113.5°O. Los valores más altos, mayores de 25°C, se ubican en la zona costera al sur de los 26°N.

En septiembre (figura 9, 09) se notó un gran incremento de la TSM, de 2.5°C, con respecto al mes anterior, los valores tuvieron un rango de 21°C a 33°C. Los valores mínimos, entre 21 y 24°, se localizaron al norte de los 27°N. Los valores medios, entre 24 y 28°C, se localizaron al oeste de 113°O. Los valores altos, mayores de 28°C, se localizaron desde la costa hasta 113°O. Este mes fue el más cálido en todo el periodo de estudio.

En octubre (figura 9, 10) los valores de TSM comenzaron a disminuir con un rango entre 20 y 29°C. Se nota un descenso de la TSM en toda la zona al norte de 27°N con valores menores a 22°C. Los valores medios se ubican entre 22 y 25°C, localizándose en una franja longitudinal al oeste de 114°O. Los valores más altos, mayores de 25°C, se localizaron desde la zona costera hasta 114°O y al sur de 26.5°N. Se nota una disminución en la intrusión de aguas cálidas provenientes del sur.

En noviembre (figura 9, 11) la TSM disminuyó con respecto a octubre el rango fue de 19 a 27.5°C. Los valores bajos, entre 19 y 21°C se localizaron al norte de 27°N. Los valores medios, entre 21 y 24°C, se localizaron al oeste de 114°O incluyendo las zonas costera y oceánica. Los valores altos, mayores de 24°C, se localizaron al sur de 26.5°N, entre la costa y los 114°O.

En diciembre (figura 9, 12) la temperatura continuó disminuyendo, los valores de TSM variaron entre 16 y 25°C. Los valores bajos, entre 16 y 19°C, se extendieron al oeste de 114.5°N, tanto en la zona costera como en la oceánica. Los valores medios, entre 20 y 22°C, se localizaron entre 113°O y 114.5°O. Los valores mayores de 22°C, se localizaron al sur de 26.5°N.

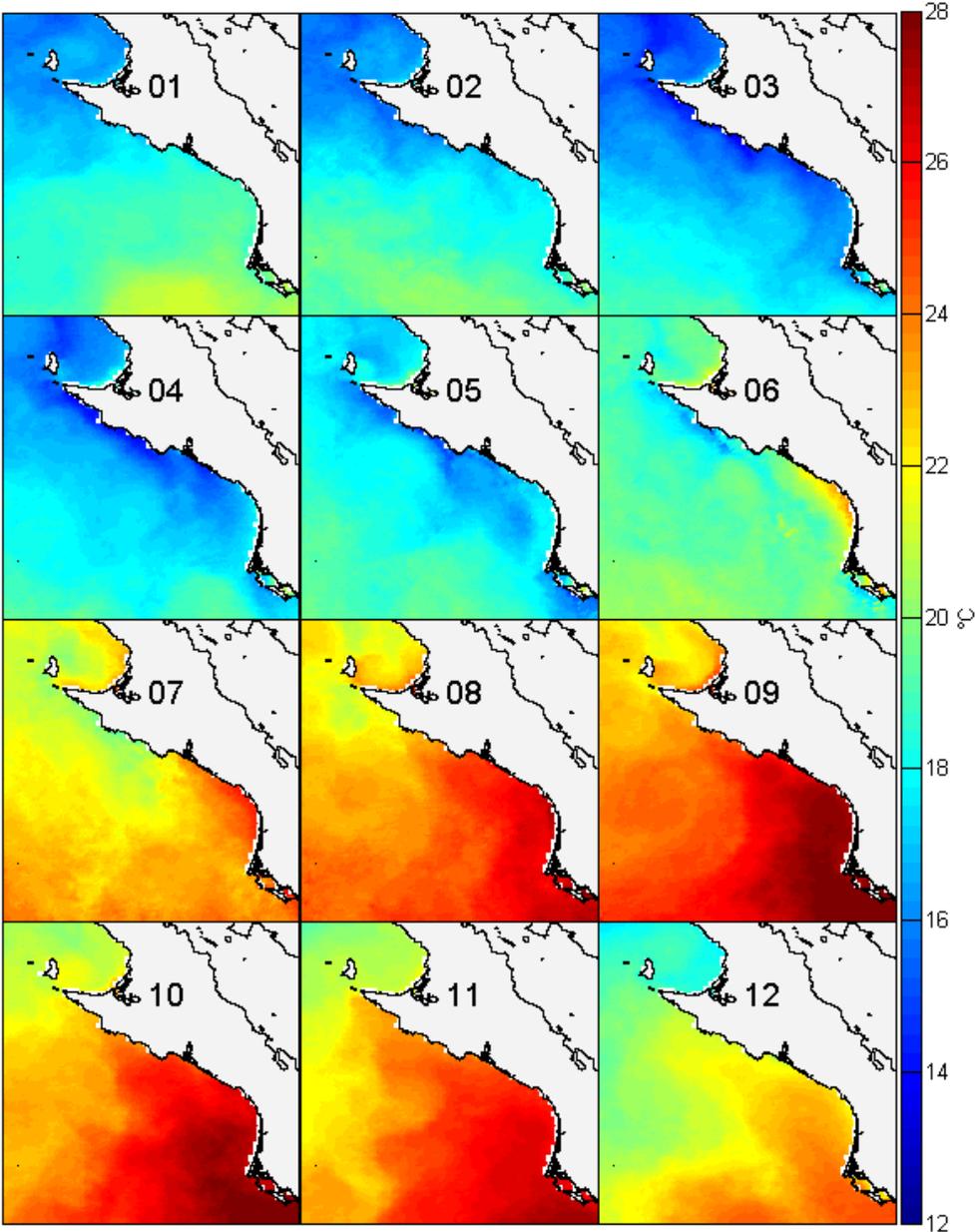


Figura 9. Promedios mensuales de la TSM durante 2006.

Al igual que en 2004 y 2005, las imágenes de 2006 muestran claramente los dos fenómenos que modifican la TSM. La presencia de las surgencias costera en los meses de marzo a junio (similar a 2005) y la llegada de la corriente cálida con características tropicales proveniente del sur, presente de julio a noviembre. La gran diferencia son las temperaturas mínimas que se observan en los meses de surgencia. Este año fueron las más bajas de todo el periodo examinado. En este año, también en octubre se inició la transición entre las condiciones cálidas y las invernales.

Capa de mezcla (CM)

Los datos de la capa de mezcla (CM) que se utilizaron para modificar el modelo de PPN fueron proporcionados por la armada de Estados Unidos por medio del Dr. Luis Zamudio del centro para estudios predictivos COAPS de la Universidad de Florida en archivos diarios de 2004 a 2006, generados mediante el modelo hidrodinámico global HYCOM. Se extrajo la zona de cada uno de los 1096 archivos, se generaron compuestos mensuales para cada uno de los tres años y se hicieron los mapas correspondientes. Los mapas con promedios mensuales de cada año se incluyeron en una sola figura por año, se seleccionó una escala de 10 a 80 m acorde a la profundidad de la CM presente en el área durante el período.

El comportamiento de la CM 2004 se muestra en la figura 10. En enero (figura 10, 01) los valores de CM se localizaron entre 10 y 80 m. La distribución de la capa no es homogénea, se notan zonas con diferente profundidad. En la zona costera entre 26.5 y 28°N el rango de valores está entre 50 y 60 m, la zona costera entre 24.5 y 26.5 presentó valores entre 40 y 45 m. Sobre la plataforma continental se nota la presencia de un núcleo entre 25 y 26°N con valores entre 20 y 30 m. En los límites de la plataforma continental los valores de CM se localizaron entre 40 y 50 m, mientras que para la zona oceánica fueron entre 60 y 80 m.

En febrero (figura 10, 02) los valores de CM aumentaron respecto a enero, su rango estuvo entre 10 y 90 m. La distribución de la capa no es homogénea, en la zona costera los valores estuvieron entre 40 y 50 m. Sobre la plataforma continental se sigue notando un núcleo entre 25 y 26°N con valores entre 20 y 30 m. Al igual que el mes anterior, en los límites de la plataforma continental los valores de CM se estuvieron entre 40 y 50 m, mientras que para la parte fueron de 60 a 90 m.

En marzo (figura 10, 03) los valores de CM disminuyeron en casi toda la zona, excepto en una parte oceánica, aunque el rango de valores se mantuvo entre 10 y 90 m. La distribución de la capa se homogenizó principalmente a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental con valores entre 15 y 20 m. En la zona oceánica, en los límites de la plataforma continental entre 24.5 y 26.5 °N los valores estuvieron entre 30 y 35 m. En una pequeña zona oceánica entre 24 y 24.5 °N se presentaron los valores más altos entre 80 y 90 m.

En abril (figura 10, 04) los valores de CM continuaron disminuyendo, su rango fue de 10 a 80 m. La distribución de la capa se comportó de manera similar a la del mes anterior, a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental los valores se ubicaron entre 10 y 15 m. En la zona oceánica, en los límites de la plataforma continental entre 24.5 y 26.5 °N los valores estuvieron entre 20 y 25 m. La zona oceánica con altos valores en el mes anterior, entre 24 y 24.5 °N, se presentaron valores entre 60 y 80 m.

En mayo (figura 10, 05) los valores de CM continuaron disminuyendo, su rango estuvo entre 10 y 30 m. La distribución fue similar a la del mes anterior, a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental los valores fueron de 10 m. En la zona oceánica, en los límites de la plataforma continental los valores estuvieron entre 10 y 20 m. En la zona oceánica más alejada los valores fueron de 20 a 30 m.

En junio (figura 10, 06) los valores de CM se mantuvieron en los mismos niveles del mes anterior, entre 10 y 30 m. La distribución fue similar a la del mes anterior, a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental los valores fueron de 10 m. En la zona oceánica, en los límites de la plataforma continental los valores estuvieron entre 10 y 20 m. En el resto de la zona oceánica los valores estuvieron entre 20 y 30 m.

En julio (figura 10, 07), agosto (figura 10, 08) y septiembre (figura 10, 09) no se detectó una CM bien definida, los valores de CM fueron menores a los 5 m.

En octubre (figura 10, 10) los valores de CM aumentaron respecto a los tres meses anteriores, pero se mantienen relativamente homogéneos, el rango de valores estuvo entre 10 y 60 m. A lo largo de la costa entre 26 y 27 °N los valores fueron de 30 a 40 m y entre 25 y 26 °N fueron de 20 a 30 m. En la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 10 y 20 m. En la zona oceánica más alejada, entre 24 y 24.5 °N, se presentaron los valores más altos, entre 40 y 60 m.

En noviembre (figura 10, 11) los valores de CM aumentaron ligeramente respecto a octubre, los valores fueron de 10 a 70 m. A lo largo de la costa entre 26 y 28 °N los valores estuvieron entre 40 y 50 m y entre 24 y 26°N de 30 a 40 m. En la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores fueron entre 30 y 50 m. En la zona oceánica más alejada se presentaron los valores más altos, entre 50 y 70 m.

En diciembre (figura 10, 12) los valores de CM aumentaron ligeramente respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 80 m. A lo largo de la costa entre 26.5 y 28 °N

los valores fueron de 60 a 70 m, en el resto de la costa estuvieron entre 40 y 50 m. En la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 40 y 60 m, tampoco en este mes las zonas son homogéneas. En la zona oceánica más alejada de la costa se presentaron los valores más altos, entre 60 y 80 m.

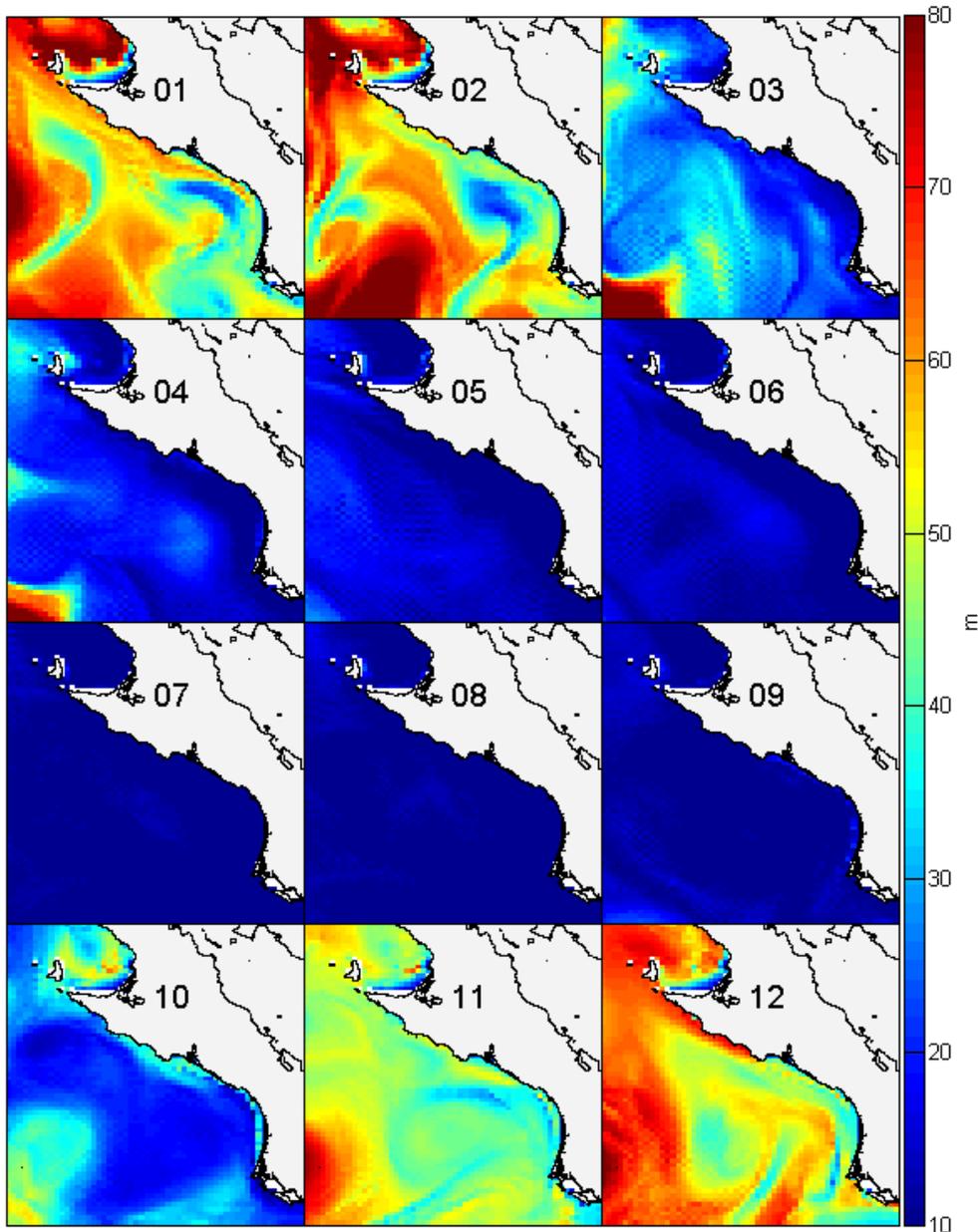


Figura 10. Promedios mensuales de la CM durante 2004.

Los mapas de CM para 2004 muestran que, contrario a lo se pensaba encontrar, los valores de CM durante las épocas de surgencia (marzo a junio) disminuyen, justo

cuando los valores de Cla fueron los más altos del año. A pesar de esto, la aplicación de estos valores de CM en el modelo de PPN fue consistente con los de otros modelos (ver más adelante, en el desempeño del modelo). En los meses de julio y agosto, cuando los valores de CM fueron los más bajos del año, los valores de Cla no fueron tan bajos. Por otro lado en los meses con los valores más bajos de Cla (enero, noviembre y diciembre) la profundidad de la CM fue mayor, pero esto no se tradujo en mayores concentraciones de Cla.

El comportamiento de la CM 2005 se muestra en la figura 11. En enero (figura 11, 01) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 90 m. La distribución no es homogénea, en la zona costera entre 26.5 y 28°N los valores estuvieron entre 60 y 70 m, mientras que el resto de la zona costera presentó valores entre 40 y 50 m. Sobre la plataforma continental y una parte de la zona oceánica los valores fueron de 60 a 70 m. En la parte norte de la zona oceánica se nota la presencia de un núcleo con valores entre 45 y 55 m, el resto de la zona oceánica, presentó los valores más altos entre 75 y 90 m.

En febrero (figura 11, 02) los valores de CM se mantuvieron en el mismo nivel del mes anterior, entre 10 y 90 m y la distribución de los valores es ligeramente más homogénea. En la zona costera, entre 26 y 27 °N los valores estuvieron entre 65 y 75 m, el resto de la zona costera presentó valores entre 30 y 50 m. Sobre la plataforma continental y en los límites de ésta, los valores fueron de 20 a 30 m. En la zona oceánica adyacente a la plataforma continental, entre 24.5 y 26.5 °N, los valores fueron de 50 a 70 m, mientras que para la zona oceánica más alejada fueron de 70 a 90 m.

En marzo (figura 11, 03) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango fue de 10 a 100 m. La distribución de la capa se homogenizó más que el mes anterior, principalmente a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental. En la zona costera entre 26 y 27 °N los valores fueron de 40 a 50 m, entre 24.5 y 26 °N 30 a 40 m, en el resto de la costa y en la plataforma continental estuvieron entre 15 y 25 m. En la zona oceánica, en el límite de la plataforma continental los valores fueron de 40 a 60 m. En la zona oceánica más alejada, entre 24 y 26.5 °N se presentaron los valores más altos, entre 80 y 100 m.

En abril (figura 11, 04) los valores de CM disminuyeron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 70 m y la distribución de la capa es más homogénea. En la zona costera, sobre la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 10 y 20 m. En la zona oceánica más alejada los valores fueron de 10 y 70 m.

En mayo (figura 11, 05) los valores de CM se localizaron en el mismo nivel que el mes anterior, se localizaron entre 10 y 70 m. La distribución de la capa es muy homogénea, principalmente a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental, con valores entre 10 y 15 m. En gran parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 25 y 35 m, en la zona oceánica más alejada, entre 24 y 26.5 °N se presentaron los valores más altos, entre 50 y 70 m.

En junio (figura 11, 06) los valores de CM disminuyeron drásticamente respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 30 m. La distribución de la capa se comportó de manera similar a la del mes anterior, a lo largo de la costa, sobre la plataforma continental y una parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 10 y 15 m. En la zona oceánica más alejada los valores fueron de 20 a 30 m.

En julio (figura 11, 07), agosto (figura 11, 08) y septiembre (figura 11, 09) no se detectó una CM bien definida, los valores fueron menores a los 5 m.

En octubre (figura 11, 10) los valores de CM aumentaron respecto a los tres meses anteriores y se mantienen relativamente homogéneos, su rango fue de 10 a 40 m. A lo largo de la costa, sobre la plataforma continental y la mayor parte de la zona oceánica los valores fueron de 10 a 20 m. En la zona oceánica más alejada al sur, entre 24 y 24.5 °N, se presentaron los valores más altos, entre 30 y 40 m.

En noviembre (figura 11, 11) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango fue de 10 a 60 m con una distribución relativamente homogénea. A lo largo de la costa entre 26 y 27 °N los valores estuvieron entre 30 y 40 m. En el resto de la zona costera, la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores fueron de 20 a 30 m. En la zona oceánica más alejada se presentaron los valores más altos, entre 50 y 60 m.

En diciembre (figura 11, 12) los valores de CM aumentaron ligeramente respecto al mes anterior, su rango fue de 10 a 70 m. A lo largo de la costa entre los 26 y 28 °N los

valores estuvieron entre 50 y 60 m y en el resto de la costa de 30 a 40 m. En la plataforma continental los valores estuvieron entre 20 y 30 m. En el límite de la plataforma continental se nota una franja con valores entre 50 y 60 m, en la zona oceánica adyacente a esta franja los valores fueron de 20 y 30 m. En el resto de la zona oceánica se presentaron los valores más altos, entre 60 y 70 m.

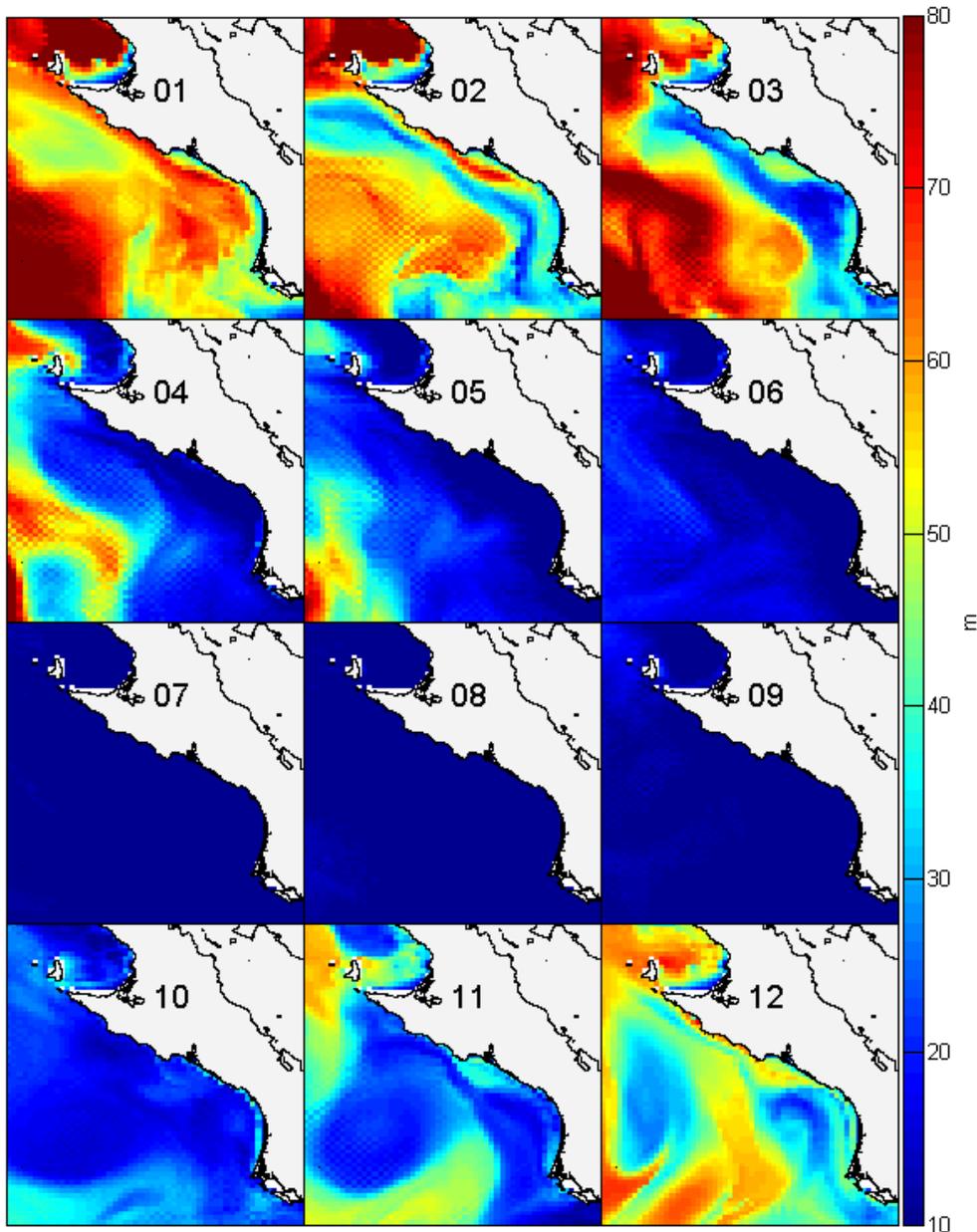


Figura 11. Promedios mensuales de la CM durante 2005.

Los mapas de CM para 2005 muestran, al igual que para 2004, que contrario a lo cabría de esperarse, los valores de CM durante las épocas de surgencia (marzo a junio) descienden, justo cuando los valores de Cla fueron los más altos del año. En el mes de junio se notó un descenso drástico en el valor de la CM y es en este mes cuando se presentan los valores más altos de Cla para 2005. Al igual que en 2004 en los meses de julio y agosto, cuando los valores de CM fueron los más bajos del año, los valores de Cla no fueron tan bajos.

El comportamiento de la CM 2006 se muestra en la figura 12. En enero (figura 12, 01) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango fue de 10 a 80 m. La distribución de la capa no es homogénea, en la zona costera entre 26 y 28°N los valores son de 40 a 50 m, mientras que el resto de la zona costera presentó valores entre 30 y 40 m. Sobre la plataforma continental y una parte de la zona oceánica los valores estuvieron entre 20 y 30 m. En el límite de la plataforma continental se nota una franja con valores entre 50 y 60 m, en la zona oceánica adyacente a esta franja los valores fueron de 30 a 40 m. En el resto de la zona oceánica se presentaron los valores más altos, entre 60 y 80 m.

En febrero (figura 12, 02) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango fue de 10 a 90 m, la distribución de la capa es ligeramente más homogénea. En la zona costera y la mayor parte de la plataforma continental los valores estuvieron entre 20 y 40 m. En el límite de la plataforma continental, los valores fueron de 40 a 50 m, mientras que en la zona oceánica adyacente estuvieron entre 60 y 70 m. En la zona oceánica, entre -114 y -115 °O se nota una franja con valores entre 10 y 50 m, que separa la zona más oceánica con los valores más altos entre 70 y 90 m.

En marzo (figura 12, 03) los valores de CM se mantuvieron en el mismo nivel que el mes anterior, su rango fue de 10 a 90 m y la distribución de la capa se hizo más homogénea, principalmente a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental. En la zona costera y en la plataforma continental los valores estuvieron entre 10 y 20 m. En los límites de la plataforma continental y una parte de la zona oceánica los valores fueron de 40 a 50 m. En el resto de la zona oceánica se presentaron los valores más altos, entre 70 y 90 m.

En abril (figura 12, 04) los valores de CM disminuyeron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 60 m y la distribución de la capa es más homogénea. En la zona costera y sobre la plataforma continental los valores estuvieron entre 10 y 15 m. En la zona oceánica, entre 25 y 26 °N se nota la presencia de un núcleo con valores entre 30 y 50 m, alrededor de este núcleo los valores estuvieron entre 20 y 30 m. En el resto de la zona oceánica los valores fueron de 40 a 60 m.

En mayo (figura 12, 05) los valores de CM disminuyeron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 40 m. La distribución de la capa se comportó de manera similar a abril, a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental los valores estuvieron entre 10 y 15 m. En el límite de la plataforma continental los valores fueron de 15 a 20 m, mientras que en la zona oceánica entre 20 y 40 m.

En junio (figura 12, 06), julio (figura 12, 07) y agosto (figura 11, 08) no se detectó una CM definida, los valores fueron menores a los 5 m.

En septiembre (figura 11, 09) los valores de CM aumentaron a 20 m. En la costa y sobre la plataforma continental el rango de valores estuvo entre 10 y 15 m, en el límite de la plataforma continental entre 15 y 20 m y en la zona oceánica entre 10 y 15 m.

En octubre (figura 11, 10) los valores de CM aumentaron notoriamente respecto a los meses anteriores, se mantienen relativamente homogéneos con un rango entre 10 y 50 m. A lo largo de la costa entre 26 y 27.5 °N los valores fueron de 30 a 40 m, en el resto de la costa, sobre la plataforma continental y la mayor parte de la zona oceánica su rango estuvo entre 15 y 20 m. En la zona oceánica al sur, entre 24 y 25 °N se presentaron los valores más altos, entre 30 y 50 m.

En noviembre (figura 12, 11) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 60 m con una distribución relativamente homogénea. A lo largo de la costa entre 26 y 27.5 °N los valores estuvieron entre 30 y 40 m. En el resto de la zona costera, la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores fueron de 20 a 30 m. En la zona oceánica más alejada, entre 24.5 y 26 °N se presentaron los valores más altos, entre 50 y 60 m.

En diciembre (figura 12, 12) los valores de CM aumentaron respecto al mes anterior, su rango estuvo entre 10 y 80 m. A lo largo de la costa entre 26 y 28 °N los valores fueron de 60 a 70 m y en el resto de la costa entre 40 y 50 m. En la plataforma continental los

valores se mantuvieron entre 50 y 60 m. En el límite de la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica estuvieron entre 30 y 40 m, en la zona oceánica más alejada, entre 24 y 25 °N, se presentaron los valores más altos, entre 60 y 80 m.

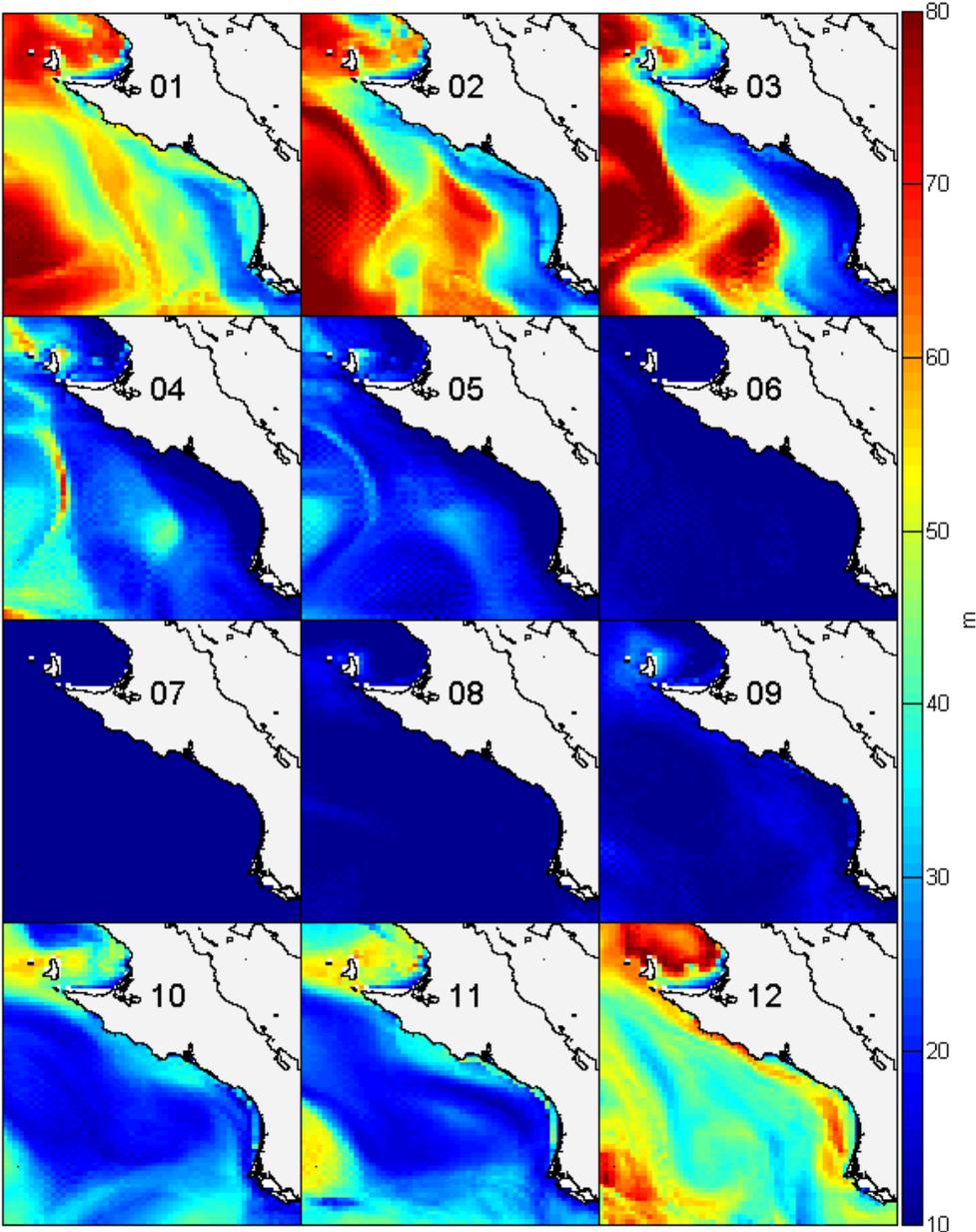


Figura 12. Promedios mensuales de la CM durante 2006.

Los mapas de CM para 2006 muestran, al igual que para 2004 y 2005, que los valores de CM durante las épocas de surgencia (marzo a junio) descienden, justo cuando se presentan los valores de Cla más altos del año. En los meses de junio, julio y agosto,

cuando los valores de CM fueron los más bajos del año, los valores de Cla no fueron tan bajos, incluso se mantuvieron hasta septiembre.

Modelo de PPN.

Ahora se muestran los resultados de los mapas mensuales del modelo modificado de Behrenfeld y Falkowski (1997a).

Se incluyeron los datos de cada año en una sola figura y se seleccionó una escala de 100 a 1200 mg C m⁻² d⁻¹ acorde a la producción primaria neta (promedio diario en cada mes) durante todo el período.

Los promedios mensuales de PPN mostraron que en enero (figura 13, 01) el rango de valores estuvo entre 0 y 850 mg C m⁻² d⁻¹, aunque para efectos de escala estos se establecieron de 500 a 2000 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores más altos, entre 500 y 850 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en una pequeña franja costera entre 26 y 27°N. El resto de la costa, así como la plataforma continental presentaron valores entre 200 y 300 mg C m⁻² d⁻¹. En la zona oceánica los valores fueron menores a 100 mg C m⁻² d⁻¹.

En febrero (figura 13, 02) los valores de PPN aumentaron, presentaron un rango entre 50 y 3000 mg C m⁻² d⁻¹, los más altos de todo el año. Los valores altos, entre 1500 y 3000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N. El resto de la costa, así como la plataforma continental tuvieron valores entre 100 y 500 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores menores a 100 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en la zona oceánica.

En marzo (figura 13, 03) los valores de PPN disminuyeron y presentaron un rango entre 25 y 2150 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores altos, mayores de 1000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron sobre la costa entre 26.5 y 27°N. Al igual que los 2 meses anteriores, los valores medios, entre 500 y 1000 mg C m⁻² d⁻¹, se localizaron en el resto de la costa y sobre la plataforma continental. En la zona oceánica los valores fueron menores a 100 mg C m⁻² d⁻¹.

En abril (figura 13, 04) los valores de PPN aumentaron a 2700 mg C m⁻² d⁻¹, el segundo mes en importancia respecto a valores altos en el año después de febrero. Los valores altos, mayores a 1000 mg C m⁻² d⁻¹, se distribuyeron a lo largo de la costa entre 26 y 27°N, aunque los más altos (mayores a 200 mg C m⁻² d⁻¹) se localizaron alrededor de los 27°N. Los valores entre 500 y 1000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en la plataforma continental. Los valores menores a 100 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en la zona oceánica.

En mayo (figura 13, 05) los valores de PPN disminuyeron a un máximo de $1500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos, mayores a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se localizaron en dos zonas a lo largo de la costa, la primera entre 27.5 y 28°N y la segunda al sur de Bahía Magdalena, entre 24 y 24.5°N . Los valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la plataforma continental mientras que los menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona oceánica.

En junio (figura 13, 06) los valores de PPN continuaron disminuyendo al llegar a $1200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 25.5 y 26.5°N y frente a Bahía Magdalena. Los valores entre 500 y $800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y sobre una parte de la plataforma continental. Los valores menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona oceánica.

En julio (figura 13, 07) los valores de PPN disminuyeron drásticamente a niveles de $800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron sobre la costa alrededor de los 27°N . Los valores entre 100 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y la plataforma continental. La zona oceánica presentó valores menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En agosto (figura 13, 08) los valores de PPN se mantuvieron en el mismo nivel de julio, a $800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 500 y $800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona costera entre 26.5 y 27°N . El resto de la costa y gran parte de la plataforma continental presentaron valores entre 100 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la zona oceánica los valores fueron menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En septiembre (figura 13, 09) los valores de PPN disminuyeron a niveles de $550 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona costera entre 27 y 28°N . El resto de la zona presentó valores menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Este mes, presentó los valores más bajos de PPN de todo el año.

En octubre (figura 13, 10) los valores de PPN se establecieron en los $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 400 y $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron sobre la zona costera entre los 26 y 27°N . El resto de la zona presentó valores menores a $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En Noviembre (figura 13, 11) los valores se mantuvieron en $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 400 y $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la costa entre los 26 y 27°N . El resto de la zona presentó valores menores a $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En diciembre (figura 13, 12) los valores de PPN se mantuvieron en $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 400 y $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona costera entre 26.5 y 28°N . El resto de la zona presentó valores menores a $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

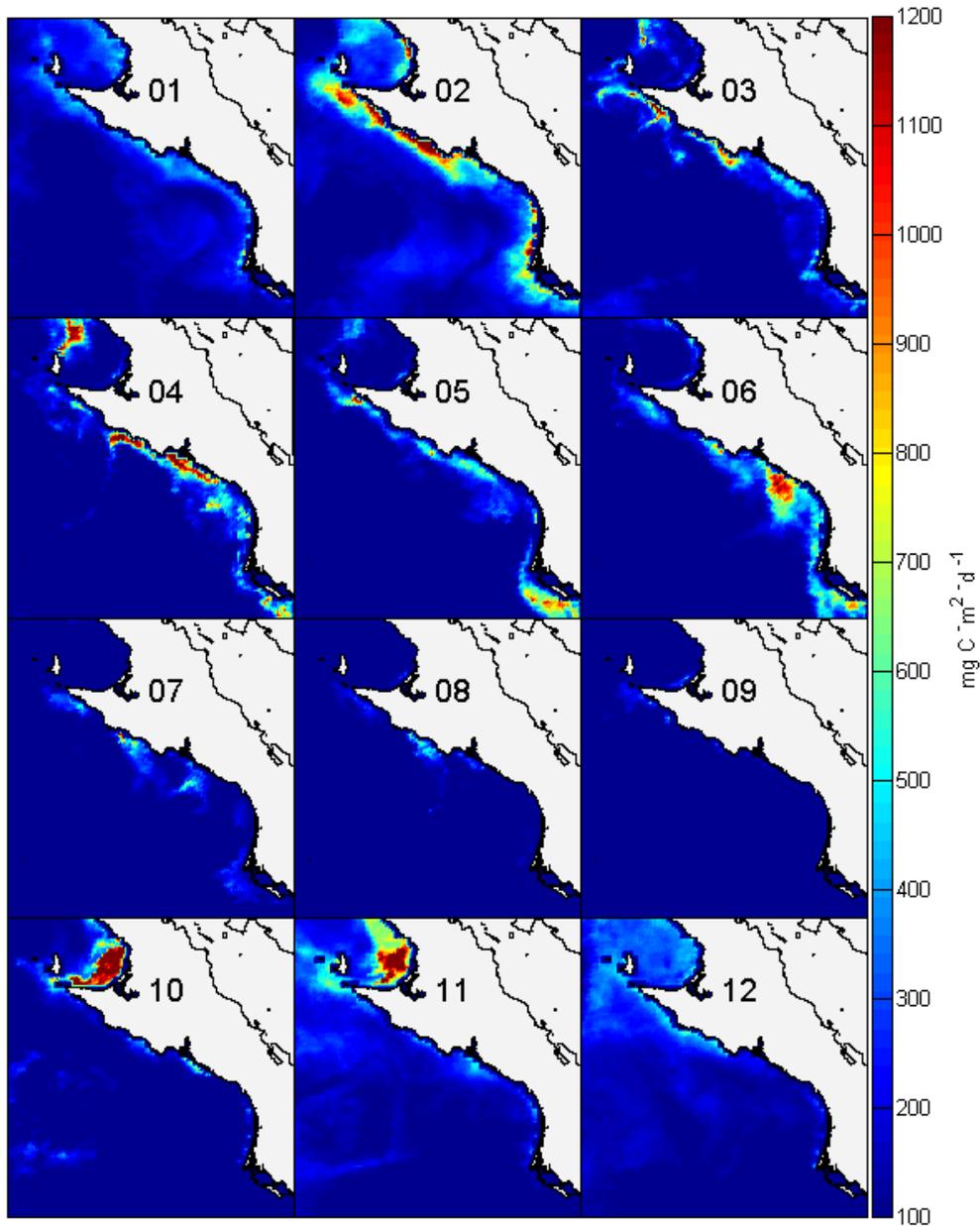


Figura 13. Promedios mensuales de la PPN durante 2004.

En los mapas de TSM y Cla las condiciones de surgencia se presentaron desde marzo hasta junio para 2004, incluso los valores de Cla fueron lo suficientemente elevados (mayores a 20 mg m^3), pero esto no se reflejó en valores muy altos de PPN. Los meses con los valores más altos de PPN fueron febrero y abril, en este último mes destaca el hecho de esto suceda no sólo en la zona de surgencia sino también en la parte central del GU. Esto último sugiere que las condiciones necesarias para la producción de PPN son transportadas de la zona de surgencias al centro del GU, muy probablemente por la corriente hacia el ecuador que estuvo presente durante los meses de febrero a junio. Los promedios mensuales de PPN de 2005 se muestran en la figura 14. En enero (figura 14, 01) los valores aumentaron respecto a diciembre al alcanzar $1400 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos, mayores a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N . El resto de la costa, así como la plataforma continental presentaron valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la zona oceánica los valores estuvieron por debajo de $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En febrero (figura 14, 02) los valores de PPN aumentaron a $1700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos, mayores a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 28°N . El resto de la costa, así como la plataforma continental presentaron valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores menores a $200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en la zona oceánica.

En marzo (figura 14, 03) los valores de PPN se incrementaron notoriamente hasta los $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos, entre 4000 y $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N . Los valores entre 1000 y $300 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la costa. Sobre la plataforma continental los valores tuvieron un rango entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la zona oceánica los valores fueron menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Este mes fue el que presentó los valores más altos de PPN de todo el año.

En abril (figura 14, 04) los valores de PPN disminuyeron a $4000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos entre 3000 y $4000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en tres zonas costeras, la primera alrededor de los 27.5°N , la segunda entre 26.5 y 27°N y la tercera al norte de Bahía Magdalena entre 24.5 y 25°N . Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se

distribuyeron en el resto de la costa y una parte de la plataforma continental. En la zona oceánica los valores fueron menores a $200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En mayo (figura 14, 05) los valores de PPN mostraron una ligera disminución respecto a abril, su valor máximo fue de $3500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos, entre 2000 y $3500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27.5°N y frente a bahía Magdalena. Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y la plataforma continental y los valores menores a $200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona oceánica.

En junio (figura 14, 06) los valores de PPN mostraron una ligera disminución respecto a mayo con niveles máximos de $3000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron sobre la costa entre 26.5 y 27°N . Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y sobre la plataforma continental. Los valores menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en la zona oceánica.

En julio (figura 14, 07) los valores de PPN disminuyeron notoriamente respecto a los 3 meses anteriores, con niveles máximos de $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron sobre la costa entre 26.5 y 28°N . Los valores entre 500 y $700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron frente a Bahía Magdalena y en una parte de la plataforma continental. La zona oceánica presentó valores menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En agosto (figura 14, 08) los valores de PPN disminuyeron ligeramente hasta $950 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 700 y $950 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la zona costera entre 26.5 y 28°N . El resto de la costa, así como la plataforma continental presentaron valores entre 100 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la zona oceánica los valores fueron menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En septiembre (figura 14, 09) los valores de PPN disminuyeron por debajo de los $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 250 y $480 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 28°N . La plataforma continental presentó valores entre 100 y $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El resto de la zona presentó valores menores a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En octubre (figura 14, 10) los valores de PPN tuvieron un comportamiento similar al de septiembre con valores máximos por debajo de los $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre

250 y 480 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la toda la zona costera. El resto de la zona presentó valores menores a 150 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

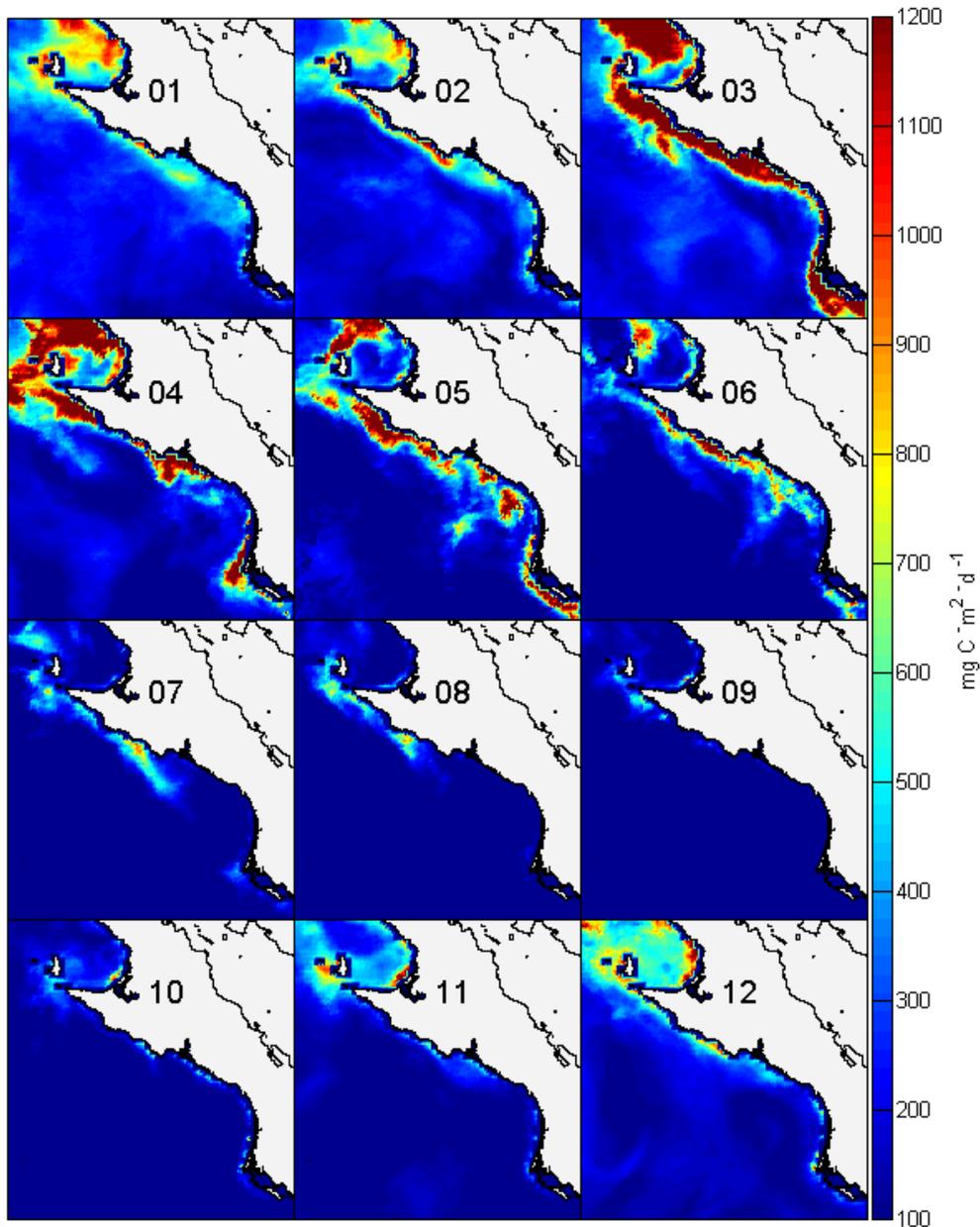


Figura 14. Promedios mensuales de la PPN durante 2005.

En Noviembre (figura 14, 11) los valores máximos aumentaron ligeramente hasta niveles de 700 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Los valores entre 500 y 700 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26.5 y 27°N. La plataforma continental presentó valores entre

250 y 500 mg C m⁻² d⁻¹ y en la zona oceánica los valores fueron menores a 150 mg C m⁻² d⁻¹.

En diciembre (figura 14, 12) los valores de PPN aumentaron ligeramente a 750 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores entre 500 y 750 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en la zona costera entre 26.5 y 28°N. La plataforma continental presentó valores entre 250 y 500 mg C m⁻² d⁻¹. El resto de la zona presentó valores menores a 250 mg C m⁻² d⁻¹.

Al igual que en 2004, en 2005 en los mapas de TSM y Cla las condiciones de surgencia se presentaron desde marzo hasta junio, lo que se reflejó en valores altos de PPN en estos meses. Los meses con los valores más altos de PPN son de marzo a junio y destaca el hecho de esto suceda en toda la costa a lo largo del GU, no sólo en la zona de surgencias, situación que está acorde con lo observado en los mapas de Cla. Esto sugiere que hay un transporte de la zona de surgencias al GU, muy probablemente por la corriente hacia el ecuador que estuvo presente durante los meses de marzo a junio.

Los promedios mensuales de PPN de 2006 se muestran en la figura 15. En enero (figura 15, 01) los valores se incrementaron notoriamente respecto a diciembre, tuvieron un máximo de 2000 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores altos, entre 1000 y 2000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron a lo largo de la costa entre 25 y 28°N. El resto de la costa, así como la plataforma continental presentaron valores entre 500 y 1000 mg C m⁻² d⁻¹. En la zona oceánica los valores fueron menores a 500 mg C m⁻² d⁻¹.

En febrero (figura 15, 02) los valores de PPN aumentaron a niveles de 2500 mg C m⁻² d⁻¹. Los valores altos, entre 1500 y 2500 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron a lo largo de la costa entre 24.5 y 26.5°N. Los valores entre 1000 y 2000 mg C m⁻² d⁻¹ se presentaron en la costa al norte de los 26.5°N y en la plataforma continental, mientras que los valores menores a 500 mg C m⁻² d⁻¹ se presentaron en la zona oceánica.

En marzo (figura 15, 03) los valores de PPN se incrementaron notoriamente hasta alcanzar valores de 7000 mg C m⁻² d⁻¹, los valores más altos no sólo del año sino de todo el periodo. Los valores altos, mayores a 4000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron a lo largo de toda la costa, desde los 24 hasta los 28°N y en gran parte de la plataforma continental. Los valores entre 500 y 1000 mg C m⁻² d⁻¹ se localizaron en el resto de la plataforma continental hasta unos 50 km de la costa. En la zona oceánica los valores fueron menores a 500 mg C m⁻² d⁻¹.

En abril (figura 15, 04) los valores de PPN disminuyeron a $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores altos entre 2000 y $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de toda la costa y la mayor parte de la plataforma continental. Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la plataforma continental. En la zona oceánica los valores estuvieron por debajo de los $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En mayo (figura 15, 05) los valores de PPN disminuyeron a $4000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 2000 y $4000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se localizaron en tres zonas a lo largo de la costa, una entre 26.5 y 27°N , otra entre 26 y 26.5°N y por último la zona frente a Bahía Magdalena. Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y sobre la plataforma continental, mientras que en la zona oceánica los valores fueron menores a $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En junio (figura 15, 06) los valores de PPN disminuyeron a $2500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 1000 y $2500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en la costa entre 26 y 29°N y frente a Bahía Magdalena. Los valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en el resto de la zona costera y en la plataforma continental, mientras que los menores a $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en la zona oceánica.

En julio (figura 15, 07) los valores de PPN disminuyeron a $1700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores mayores a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en dos zonas sobre la costa, la primera entre 26 y 27°N y la segunda frente a Bahía Magdalena, entre 24.5 y 25°N . Los valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en el resto de la costa y la plataforma continental. La zona oceánica presentó valores menores a $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En agosto (figura 15, 08) los valores de PPN aumentaron a $3000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, aunque esto sólo en una pequeña franja costera entre 26.5 y 27.5°N . El resto de la costa, así como la plataforma continental se presentaron valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la zona oceánica los valores fueron menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En septiembre (figura 15, 09) los valores de PPN disminuyeron a $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 27°N . El resto de la costa y la plataforma continental presentaron valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La zona oceánica presentó valores menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

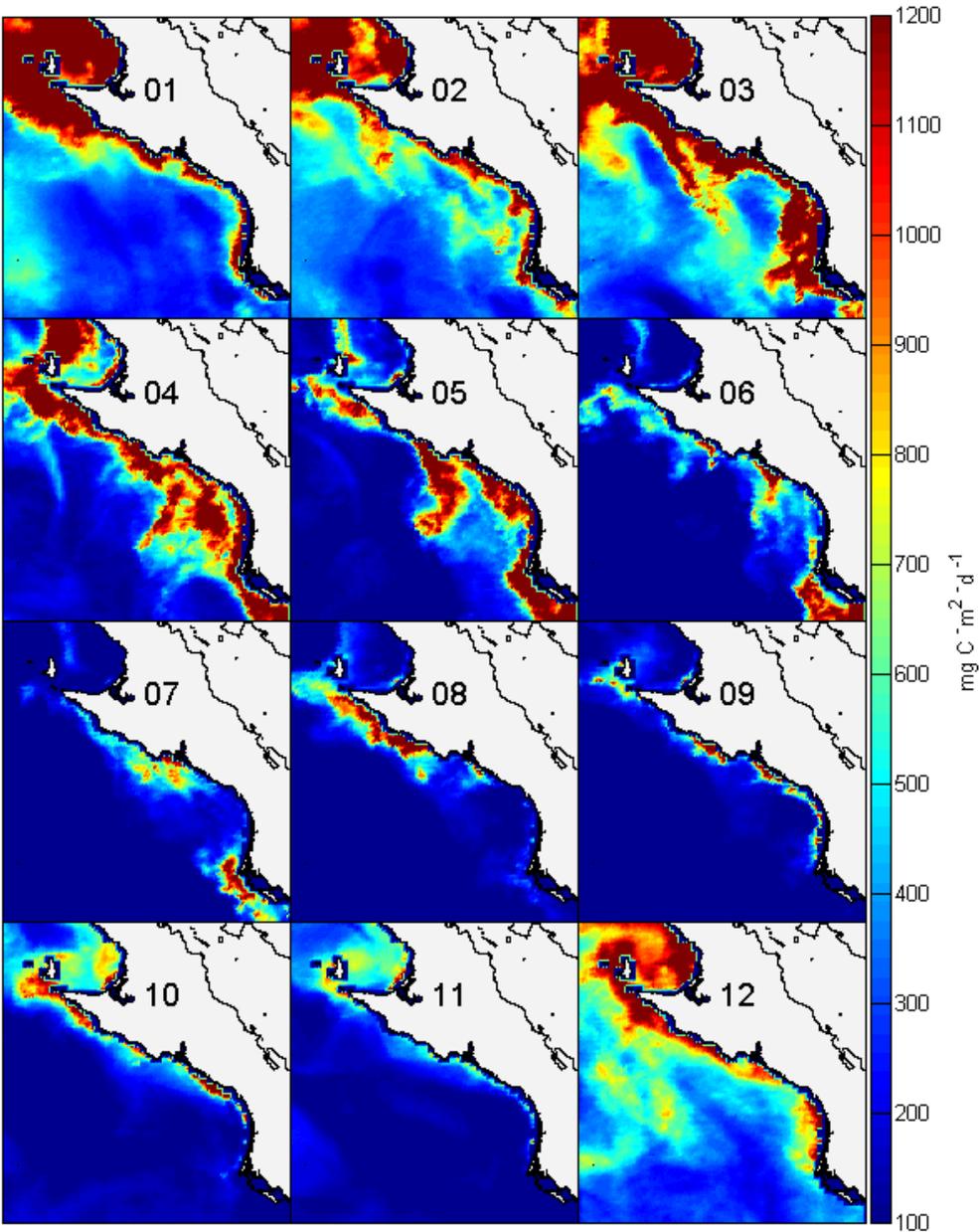


Figura 15. Promedios mensuales de la PPN durante 2006.

En octubre (figura 15, 10) los valores de PPN aumentaron ligeramente respecto a septiembre con valores de $2500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 1000 y $2500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron en una pequeña franja costera entre 26 y 26.5°N . El resto de la zona costera presentó valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La plataforma continental presentó valores entre 250 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mientras que en la zona oceánica los valores fueron menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En Noviembre (figura 15, 11) los valores descendieron a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de la costa entre 26 y 28°N . El resto de la zona costera y la plataforma continental presentaron valores entre 250 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en la zona oceánica fueron menores a $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En diciembre (figura 15, 12) los valores de PPN aumentaron respecto a noviembre con niveles de $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores entre 1000 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se localizaron a lo largo de toda la zona costera entre 24.5 y 28°N . La plataforma continental presentó valores entre 500 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, mientras que en la mayor parte de la zona oceánica los valores fueron menores a $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Al igual que en 2004 y 2005, en 2006 en los mapas de TSM y Cla las condiciones de surgencia se presentaron desde febrero hasta junio, lo que se reflejó en valores altos de PPN en estos meses. Aunque los meses con los valores más altos de PPN son de marzo a mayo, se destaca el hecho de esto suceda en toda la costa a lo largo del GU, no sólo en la zona de surgencias. Esto está acorde con lo observado en los mapas de Cla donde se observa la presencia de ésta a lo largo de toda la costa. Esto sugiere que hay un transporte de la zona de surgencias hacia todo el GU, muy probablemente por la corriente hacia el ecuador que estuvo presente durante los meses de enero a junio.

Desempeño del modelo.

Se descargaron de internet los archivos con los promedios mensuales para el periodo entre 2004 y 2006 para cada uno de los 3 modelos (<http://web.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>) y se hicieron las extracciones correspondientes. Con los compuestos mensuales se generó la imagen climatológica con el promedio mensual de los tres años para cada uno de ellos.

Los modelos se numeraron de la siguiente forma:

- 1 El modelo usado en este trabajo, es decir el **modificado** de Behrenfeld y Falkowski.
- 2 El modelo **original** de Behrenfeld y Falkowski.
3. El modelo de Behrenfeld y Falkowski usando la función propuesta por **Eppley**.
4. El modelo basado en estimaciones de **carbono**.

Nos referiremos a ellos como: 1 Modificado, 2 Original, 3, Eppley y 4 Carbono.

El resultado de las imágenes climatológicas para los cuatro modelos se muestra en la figura 16. Indudablemente el modelo modificado se parece bastante al de Eppley, tanto en la distribución de la PPN como en el rango de valores, aunque el modelo modificado parece tener una mejor resolución de la zona costera. Por su parte los modelos de original y carbono presentaron mayores y menores valores respecto al modificado, es decir, el modelo modificado estima por debajo del original y por encima del de carbono, principalmente en la zona costera y la plataforma continental.

En términos generales la zona costera el modelo modificado proporciona una mejor resolución en comparación con los otros 3 al definir con mayor claridad las zonas con mayor o menor PPN. En la zona oceánica el modelo modificado presenta los valores más bajos de los 4 (azul más intenso), esto sugiere que el modelo modificado tiene mejores resultados en la zona costera. La mejor resolución se nota al mostrar con mayor claridad las áreas en donde se presentaron los valores máximos de PPN, sin embargo, en términos generales el desempeño del modelo modificado en comparación con los otros 3 en toda la zona es adecuado.

Para ver estadísticamente la relación de los modelos original, Eppley y carbono en comparación del modificado, se llevó a cabo una correlación cruzada. El modelo con máxima correlación fue el de Eppley con un valor de 0.69 seguido del original con 0.65

y finalmente el de carbono con 0.62. Esto confirma lo observado visualmente en la figura 16 en el sentido de que el modelo de Eppley es el más parecido al modificado.

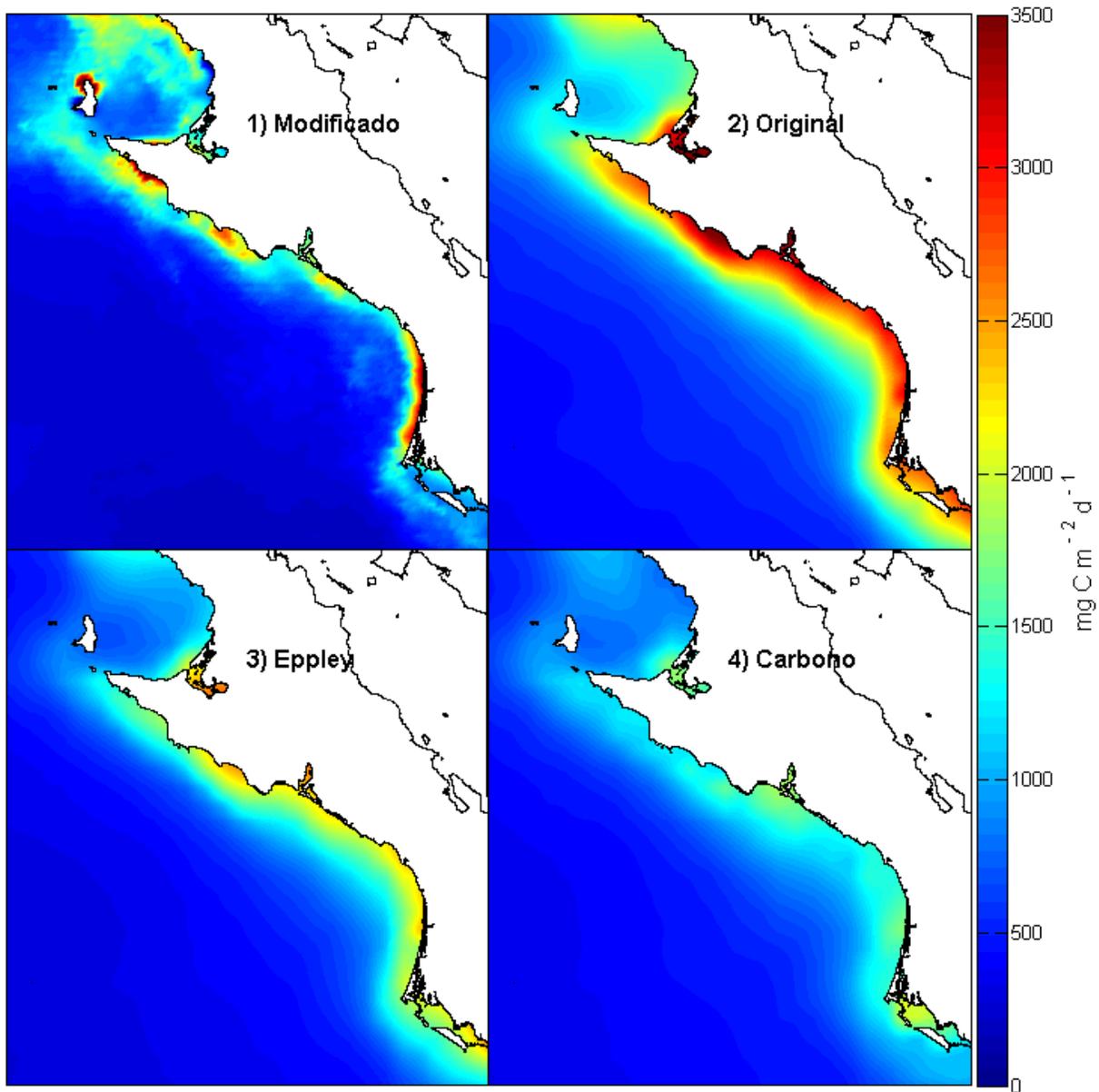


Figura 16. Comparación de las imágenes climatológicas de PPN de los modelos 1) Modificado, 2) Original, 3) Eppley, y 4) Carbono.

Comparación entre zonas.

La comparación entre zonas se hizo con la intención de ver los diferentes niveles de PPN en el GU, la zona 1, al norte, frente a la zona de surgencias, la zona 2 en el centro del GU y la zona 3 en el sur, cerca de Cabo San Lázaro al norte de Bahía Magdalena.

Se estimó la media de las tres zonas para hacer comparaciones, además se generaron curvas con las series con las series generadas. El resultado de esto se muestran en la figura 17, la media general (línea horizontal) para las zonas fue de $301 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

La zona 1 (figura 17, 1), tuvo una media de $313 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, presentó dos épocas claras con valores sobre la media, una durante la primavera – verano de 2005 con dos máximos, uno en marzo con valores de $601 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y otro en junio con valores de $510 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La segunda época se presentó en invierno - primavera de 2006, con un valor en enero de $1170 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y en marzo el máximo de todo el periodo con $1837 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En esta zona destaca la ausencia de valores por encima de la media en 2004, en comparación con las otras dos zonas, ésta fue la segunda más productiva detrás de la zona 2.

La zona 2 (figura 17, 2), con media de $368 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, la más alta de las tres zonas, presentó tres épocas con valores sobre la media en todo el periodo, la primera en verano de 2004, en junio, con un máximo de $961 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La segunda de invierno a verano de 2005, de enero a junio, con valores máximos en este último mes de $655 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La tercera de invierno a verano de 2006, de enero a julio, con valores máximos de 1330 y $1233 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en abril y mayo respectivamente. Esta zona fue la que presentó los valores más altos de las tres, esto ocurrió para cada uno de los tres años, lo que la sitúa como la más productiva.

La zona 3 (figura 17, 3), con media de $221 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, presentó solamente una época con valores claramente sobre la media en todo el periodo, esto en invierno-primavera de 2006, de febrero a mayo, con un máximo de $1346 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en marzo. Esta zona fue la que presentó los valores más bajos en comparación con las otras dos.

Cabe mencionar que en las tres zonas se presentaron valores sobre la media en diciembre de 2006 con valores de 730 , 546 y $647 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente para las zonas 1, 2 y 3.

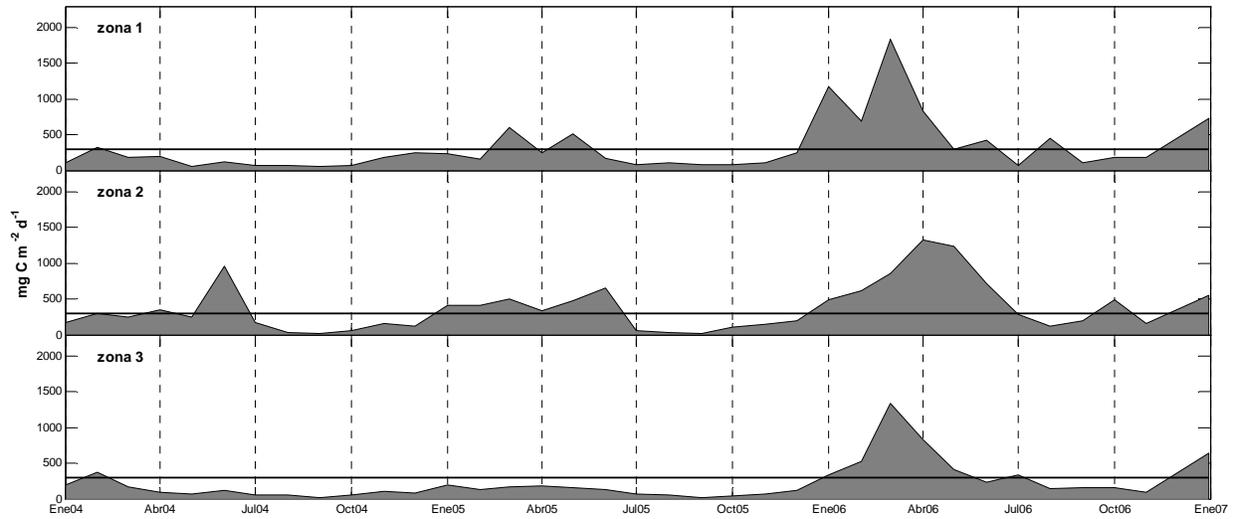


Figura 17. Comparación de los valores de PPN en las tres zonas de 2004 a 2006.

El resultado de las tres zonas confirma un hecho interesante que ya se había percibido en los mapas mensuales de PPN, que la zona 2 ubicada en el centro del GU, directamente bajo la influencia de las surgencias, es igual o más productiva que la zona 1. También se nota claramente que los años 2004 y 2005 fueron menos productivos que el 2006.

VII.II Rotacional del esfuerzo del viento y altura dinámica.

Rotacional del esfuerzo del viento (Rot)

Los datos del rotacional del esfuerzo del viento (Rot) se estimaron de manera diaria a través de los 1096 archivos de los componentes v y u obtenidos de los datos de vientos de Quikscat. Se construyeron los compuestos mensuales para cada uno de los tres años y se generaron las imágenes correspondientes.

Los mapas con los promedios mensuales se incluyeron en una sola figura por año con números del 01 al 12 para los meses. Se seleccionó una escala de -0.5 a $2 \text{ m s}^{-2}10^6$ acorde a los valores presentes. Con la finalidad de hacer más evidente los valores de rotor, los valores negativos se localizaron en una escala de azules y los positivos (que indican un valor favorable a las surgencias) en una escala del amarillo al rojo.

El comportamiento del Rot en 2004 mostró que en enero (figura 18, 01) los valores estuvieron entre -0.30 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se localizaron a lo largo del límite de la plataforma continental y en la zona costera entre 25 y 26 °N. La zona oceánica presentó valores negativos.

En febrero (figura 18, 02) los valores del Rot aumentaron ligeramente con un rango entre -0.30 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos entre 0.50 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$ se localizaron en la costa entre 26.5 y 27.5 °N. En el límite de la plataforma continental el rango estuvo entre 0.20 y $0.30 \text{ m s}^{-2}10^6$. En la zona oceánica se presentaron valores positivos y negativos sin un patrón claro.

En marzo (figura 18, 03) los valores del Rot aumentaron a un rango entre -0.30 y $1 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos entre 0.80 y $1 \text{ m s}^{-2}10^6$ se localizaron en la costa entre 26.5 y 27 °N. En el resto de la zona costera, sobre la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica los valores fueron todos positivos con un rango entre 0.20 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. En la zona oceánica se presentaron valores positivos y negativos sin un patrón claro.

En abril (figura 18, 04) los valores del Rot disminuyeron notoriamente a un rango entre -0.20 y $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos entre 0.10 y $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$ se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y una parte de la zona oceánica, principalmente entre 24 y 26 °N. En la zona oceánica se presentaron mayormente valores negativos.

En mayo (figura 18, 05) los valores del Rot aumentaron nuevamente a un rango entre -0.40 y 0.80 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.30 y 0.80 $\text{m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron exclusivamente valores negativos. En este mes se observó un patrón bien definido entre valores positivos (costa plataforma continental) y negativos (zona oceánica).

En junio (figura 18, 06) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que mayo, entre -0.40 y 0.80 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.30 y 0.80 $\text{m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron mayormente valores negativos. En este mes también se observó el patrón bien definido entre valores positivos y negativos del mes anterior.

En julio (figura 18, 07) los valores del Rot aumentaron notoriamente a un rango entre -0.30 y 1.20 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.30 y 1.20 $\text{m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron mayormente valores negativos. En este mes nuevamente se observó el patrón bien definido entre valores positivos y negativos similar al de los dos meses anteriores.

En agosto (figura 18, 08) los valores del Rot disminuyeron, su rango fue de -0.40 a 1 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos entre, 0.30 y 1 $\text{m s}^{-2}10^6$, se localizaron en la zona costera y sobre la plataforma continental. En la zona oceánica se presentaron valores negativos. En este mes se observó un patrón bien definido entre valores positivos y negativos, aunque la zona con valores positivos disminuyó en comparación de los tres meses anteriores.

En septiembre (figura 18, 09) los valores del Rot disminuyeron a un rango entre -0.30 y 0.50 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.10 y 0.50 $\text{m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera y sobre la plataforma continental. En la zona oceánica se presentaron valores mayormente negativos. En este mes ya no se observó un patrón bien definido entre valores positivos y negativos.

En octubre (figura 18, 10) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que septiembre, entre -0.30 y 0.50 $\text{m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos mayores a 1 $\text{m s}^{-2}10^6$, se

presentaron en la zona costera y la parte sur de la plataforma continental. El resto de la plataforma continental y toda la zona oceánica presentaron valores negativos. En este mes el área con valores positivos es mínima.

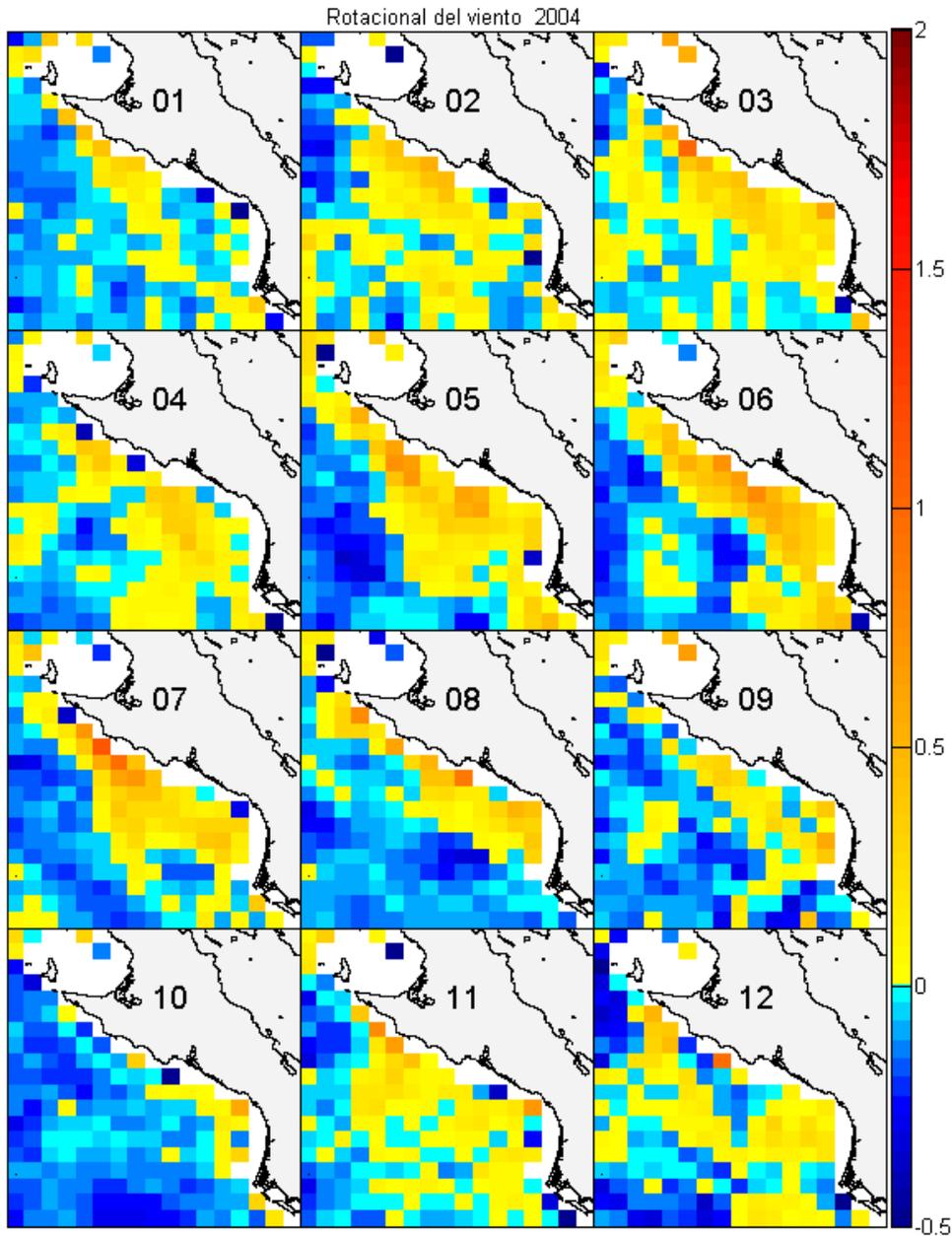


Figura 18. Promedios mensuales del Rot en 2004.

En noviembre (figura 18, 11) los valores del Rot aumentaron notoriamente a un rango entre -0.30 y $0.80 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, mayores a $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona

oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos sin un patrón definido.

En diciembre (figura 18, 12) los valores del Rot disminuyeron a un rango entre -0.40 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.30 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en dos franjas de la zona costera, una entre 26.5 y 27.5 °N y otra entre 25 y 26 °N, así como en la plataforma continental. En la zona oceánica se presentaron valores negativos y positivos sin un patrón claro de distribución.

El rotacional producido por el esfuerzo del viento ofrece una respuesta a los niveles relativamente altos de la concentración de clorofila en los meses de julio y agosto de 2004. El viento puede tener la intensidad y dirección adecuadas para generar altos índices de surgencia, pero si el rotacional no es positivo y constante no se presentarán las condiciones adecuadas de transporte vertical en la columna de agua necesarias para el mantenimiento de altos valores de Cla. Esto queda de manifiesto con los patrones bien definidos a lo largo de la costa y en la plataforma continental con un Rot fuertemente positivo en los meses de marzo a agosto y con los valores más altos de intensidad entre mayo y julio, coincidente con lo observado en los mapas de Cla. La zona en donde se presentaron los máximos valores de Rot se ubicaron entre Punta Eugenia y Punta Abreojos.

El comportamiento del Rot en 2005 se muestra en los mapas de la figura 19. En enero (figura 19, 01) los valores del Rot se mantuvieron en los mismos niveles que diciembre de 2004, en un rango entre -0.30 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Las zonas con valores positivos son pocas y muy dispersas, se localizan principalmente a lo largo de zona costera con valores entre 0.10 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. La plataforma continental y la zona oceánica presentaron valores mayormente negativos sin un patrón claro.

En febrero (figura 19, 02) los valores del Rot disminuyeron a un rango entre -0.40 y $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.10 y $0.20 \text{ m s}^{-2}10^6$, se localizan en forma dispersa en la zona oceánica. El resto de la zona, incluyendo la zona costera y la plataforma continental presentó valores negativos.

En marzo (figura 19, 03) los valores del Rot aumentaron notoriamente a un rango entre -0.30 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$, se localizaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y la parte de la zona oceánica

aledaña a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron sólo valores negativos.

En abril (figura 19, 04) los valores del Rot se mantuvieron en los mismos niveles que marzo, entre -0.30 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y una parte de la zona oceánica entre 24.5 y 27°N . En la zona oceánica se presentaron mayormente valores negativos. En este mes se nota un patrón entre valores positivos (zona costera y plataforma continental) y negativos (zona oceánica).

En mayo (figura 19, 05) los valores del Rot aumentaron ligeramente respecto a abril, su rango estuvo entre -0.30 y $0.70 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.70 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica aledaña a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron exclusivamente valores negativos. En este mes se observó el mismo patrón bien definido entre valores positivos y negativos del mes anterior.

En junio (figura 19, 06) los valores del Rot aumentaron notoriamente respecto a mayo, su rango fue entre -0.40 y $1.30 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en gran parte de la zona oceánica, aledaña a estas. En la zona oceánica más alejada se presentaron mayormente valores negativos. En este mes también se observó el patrón bien definido entre valores positivos y negativos de los dos meses anteriores.

En julio (figura 19, 07) los valores del Rot disminuyeron notoriamente respecto a junio, su rango estuvo entre -0.40 y $0.80 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica aledaña a éstas. En el resto de la zona oceánica se presentaron mayormente valores negativos. En este mes continúa el patrón bien definido entre valores positivos y negativos.

En agosto (figura 19, 08) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que julio, entre -0.40 y $0.80 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica aledaña a éstas. En el resto de la zona oceánica se presentaron mayormente valores negativos. El patrón bien definido de los tres meses anteriores entre valores positivos y negativos comienza a perderse.

En septiembre (figura 19, 09) los valores del Rot disminuyeron respecto a agosto, su rango estuvo entre -0.30 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica, principalmente entre 25 y 27 °N. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores mayormente negativos. En este mes ya no se observó el patrón claramente definido entre valores positivos y negativos de los meses anteriores.

En octubre (figura 19, 10) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que septiembre, entre -0.30 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron entre 25 y 27.5 °N de la zona costera, la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica aledaña a éstas. El resto de la zona presentó valores negativos. En este mes tampoco se observó un patrón claramente definido entre valores positivos y negativos.

En noviembre (figura 19, 11) los valores del Rot aumentaron notoriamente, su rango fue de -0.20 a $0.70 \text{ m s}^{-2} 10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en gran parte de la zona oceánica aledaña a estas. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos.

En diciembre (figura 19, 12) los valores del Rot disminuyeron respecto a noviembre, su rango fue de -0.20 a $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.02 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$ se presentaron en gran parte de la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica aledaña a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos sin un patrón definido.

Al igual que en los mapas del Rot de 2004, los niveles relativamente altos de la concentración de clorofila en los meses de julio y agosto de 2005 pueden ser explicados con los valores claramente positivos y constantes del Rot en estos meses, provocando las condiciones adecuadas de velocidad vertical en la columna de agua necesarias para el mantenimiento de la Cla.

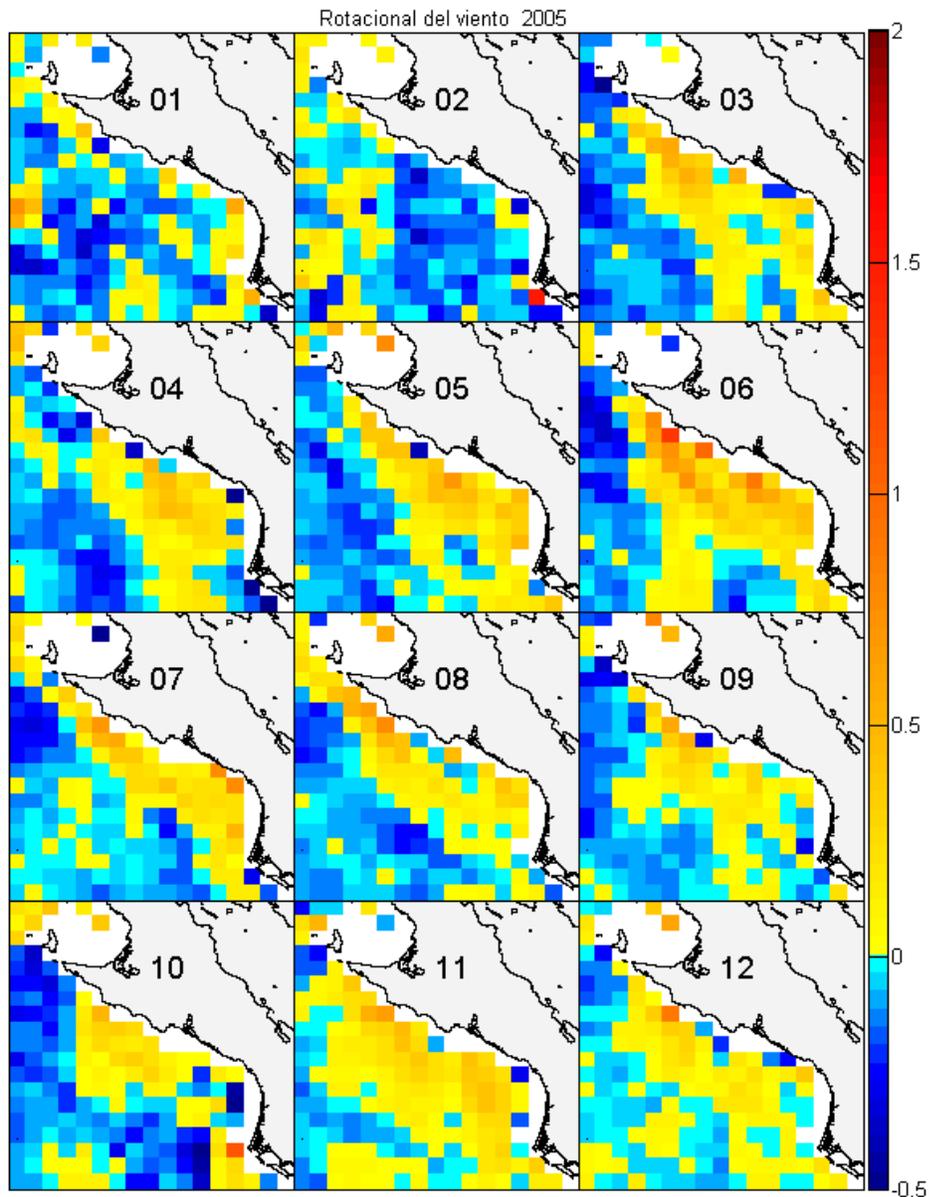


Figura 19. Promedios mensuales del Rot en 2005.

El comportamiento del Rot en 2006 se muestra en los mapas de la figura 20. En enero (figura 20, 01) los valores del Rot aumentaron respecto a diciembre de 2005, su rango estuvo entre -0.50 y $0.70 \text{ m s}^{-2} 10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.70 \text{ m s}^{-2} 10^6$, se localizaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y la mayor parte de la zona oceánica. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos. En este mes se observó un patrón bien definido entre valores positivos y negativos. Al igual que en 2004 la zona en donde se presentaron los máximos valores se ubicó entre Punta Eugenia y Punta Abreojos.

En febrero (figura 20, 02) los valores del Rot disminuyeron respecto a enero, su rango estuvo entre -0.40 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$, se localizaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica. En la zona oceánica más alejada se presentaron sólo valores negativos. En este mes se observó el patrón bien definido entre valores positivos y negativos del mes anterior.

En marzo (figura 20, 03) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que febrero, entre -0.30 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$, se localizaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y gran parte de la zona oceánica. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos. En este mes el patrón entre valores positivos y negativos no estuvo tan claramente definido, en comparación con los dos meses anteriores.

En abril (figura 20, 04) los valores del Rot aumentaron notoriamente respecto a marzo, su rango estuvo entre -0.50 y $0.90 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.30 y $0.90 \text{ m s}^{-2}10^6$, se localizaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y la zona oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos. En este mes se observó nuevamente un patrón bien definido entre valores positivos y negativos.

En mayo (figura 20, 05) los valores del Rot disminuyeron respecto a abril, su rango fue de -0.40 a $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.20 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la parte de la zona oceánica adyacente a éstas. En la zona oceánica se presentaron exclusivamente valores negativos. En este mes continuó el patrón bien definido entre valores positivos y negativos similar al del mes anterior.

En junio (figura 20, 06) los valores del Rot aumentaron notoriamente respecto a mayo, su rango estuvo entre -0.20 y $0.90 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, entre 0.50 y $0.90 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en una parte de la zona oceánica entre 26 y 27°N . En la zona oceánica se presentaron valores negativos y positivos. El patrón de distribución no fue tan claro como los dos meses anteriores.

En julio (figura 20, 07) los valores del Rot disminuyeron respecto a junio, su rango estuvo entre -0.40 y $0.70 \text{ m s}^{-2}10^6$. En la zona costera se presentaron sólo valores positivos entre 0.10 y $0.30 \text{ m s}^{-2}10^6$, mientras que sobre la plataforma continental y en la zona oceánica se presentaron tanto valores positivos como negativos sin ningún patrón definido.

En agosto (figura 20, 08) los valores del Rot fueron los más altos de todo el periodo, su rango estuvo entre -0.40 y $1.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en la zona oceánica adyacente a éstas. Los valores mayores a $1 \text{ m s}^{-2}10^6$ se localizaron en una franja costera entre 26.5 y 27°N . En el resto de la zona oceánica los valores fueron mayormente negativos. En este mes se observó un patrón bien definido entre valores positivos y negativos.

En septiembre (figura 20, 09) los valores del Rot disminuyeron notoriamente respecto a agosto, su rango fue de -0.30 a $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se presentaron en una pequeña zona oceánica adyacente a la plataforma continental entre 25 y 27°N . En el resto del área los valores fueron mayormente negativos. En este mes ya no se observó patrón alguno entre valores positivos y negativos como en el mes anterior.

En octubre (figura 20, 10) los valores del Rot se mantuvieron en el mismo rango que septiembre, entre -0.30 y $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos se localizaron en la zona oceánica adyacente a la plataforma continental entre 25 y 27.5°N . En el resto del área los valores fueron mayormente negativos y tampoco se observó un patrón definido entre valores positivos y negativos.

En noviembre (figura 20, 11) los valores del Rot aumentaron respecto a octubre, su rango estuvo entre -0.20 y $0.60 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, mayores a $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$, se presentaron en la zona costera, sobre la plataforma continental y en gran parte de la zona oceánica. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos.

En diciembre (figura 20, 12) los valores del Rot disminuyeron respecto a noviembre, su rango fue de -0.30 a $0.50 \text{ m s}^{-2}10^6$. Los valores positivos, mayores a $0.40 \text{ m s}^{-2}10^6$ se localizaron entre 26 y 27°N , el resto de la zona presentó valores entre 0.1 y $0.30 \text{ m s}^{-2}10^6$. En la zona oceánica más alejada se presentaron valores negativos y positivos sin un patrón definido.

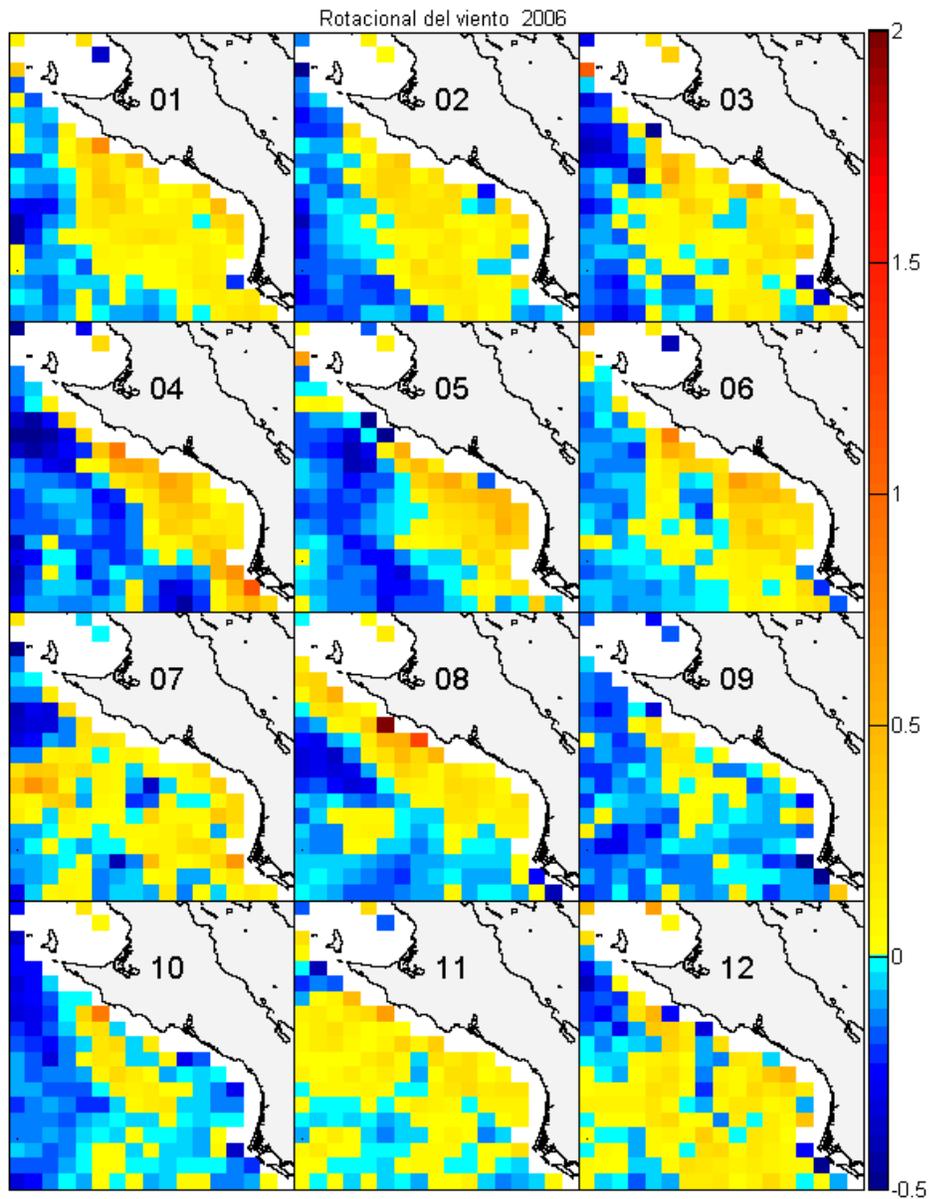


Figura 20. Promedios mensuales del Rot en 2006.

Al igual que en los mapas del Rot de 2004 y 2005, los niveles relativamente altos de la concentración de clorofila en los meses de julio y agosto de 2006 se justifican con los valores claramente positivos y constantes del Rot en estos meses. Un hecho importante es que en noviembre de los tres años se presentaron valores homogéneos y constantes de Rot que no se reflejaron de manera alguna en valores altos de Cla, quizás la presencia de agua cálida observada en los mapas de TSM inhibe el desarrollo de la Cla a pesar de las condiciones aparentemente favorables del Rot. Al igual que en

2004 y 2005 la zona en donde se presentaron los máximos valores de Rot se ubicó entre Punta Eugenia y Punta Abreojos.

Corrientes geostróficas (Geo)

Con los datos de altimetría se calcularon las corrientes geostróficas (Geo). Debido a la forma en que ha ido evolucionando el proyecto AVISO y a la incorporación de nuevos satélites, se ha ido aumentando la frecuencia de la información hasta tener un dato diario en la actualidad. Esto ocurrió a partir del 6 de julio de 2006, por lo que los datos no estuvieron de forma diaria para todo el periodo, para 2004 y 2005 la frecuencia de los datos fue de 4 y 3 días respectivamente, con lo que se tuvo un total de 104 y 105 archivos respectivamente. Para 2006 la frecuencia aumento a 2 y 1 días con un total de de 232 archivos. Una vez obtenidos todos los archivos se extrajo la zona de cada uno, tanto para el componente u como el v y se generaron los vectores. Con estos se construyeron los mapas mensuales para cada uno de los tres años y se generaron los mapas correspondientes. Los mapas de promedios mensuales se incluyeron en una sola figura por año y se seleccionó una escala de 0 a 0.5 m s^{-1} acorde a la intensidad de las corrientes durante el período de estudio. Con la finalidad de hacer más claro el graficado de las corrientes en los mapas, a los vectores se les agregó una escala de color de menor a mayor intensidad, de azul a rojo es decir, de débiles (azul fuerte) a intensas (rojo intenso) respectivamente.

El comportamiento de las corrientes geostróficas de 2004 mostró que en enero (figura 21, 01) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.25 m s^{-1} . No se observan patrones bien definidos de corrientes.

En febrero (figura 21, 02) las velocidades de las corrientes continuaron en 0.25 m s^{-1} . Se nota una corriente hacia el ecuador fluyendo paralela a la costa, esta corriente es costera y no extiende mar afuera.

En marzo (figura 21, 03) las velocidades de las corrientes continuaron en 0.25 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador se hizo más evidente y fluye ahora siguiendo la forma de la línea de costa sobre la plataforma continental.

En abril (figura 21, 04) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.30 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador se hizo más intensa y fluye ahora más allá de la plataforma continental. Se nota la presencia de una corriente proveniente del oeste que se une a la primera entre 24.5 y 25.5°N .

En mayo (figura 21, 05) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador ya no fluyó paralelo a la costa, al llegar a los 26.5°N se desvía mar afuera y se incorpora a un remolino.. Otra porción de la corriente hacia el ecuador fluye por la costa al sur de los 26°N hacia Bahía Magdalena.

En junio (figura 21, 06) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.25 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador fluye del oeste entre 26.5 y 27.5°N , al llegar a la costa se dirige hacia el sur para incorporarse a un remolino entre 24.5 y 26°N . En la zona oceánica se nota la presencia de otro remolino, también entre 24.5 y 26°N con velocidades de corriente menores a 0.15 m s^{-1} .

En julio (figura 21, 07) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.30 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador fluye del oeste entre 27 y 28°N , al llegar a la costa se dirige hacia el sur, donde continúa siendo desviada hacia el oeste por un remolino que se localiza entre 25 y 26.5°N . La corriente hacia el ecuador fluye hacia la zona oceánica y vuelve a dirigirse hacia la costa entre 24.5 y 25°N .

En agosto (figura 21, 08) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.35 m s^{-1} . Ya no se nota de forma clara la corriente hacia el ecuador. Destaca la presencia de 3 giros, uno anticiclónico en la zona oceánica entre 26.5 y 27.5°N y dos ciclónicos sobre la plataforma continental, uno entre 26 y 27°N y el otro entre 24.5 y 25.5°N .

En septiembre (figura 21, 09) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.40 m s^{-1} . Ya no está presente la corriente hacia el ecuador, por el contrario hay una corriente hacia el polo que fluye a lo largo de la costa. Esta corriente se separa de la costa con dirección al oeste entre 27 y 27.5°N . En la zona oceánica se nota la presencia de un giro ciclónico entre 24.5 y 25.5°N .

En octubre (figura 21, 10) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.40 m s^{-1} . La corriente hacia el polo perdió intensidad, pero su presencia a lo largo de la costa se ve claramente. Se nota la presencia de dos giros en la zona oceánica, uno anticiclónico entre 25 y 26°N y otro ciclónico entre 24 y 25°N . También se nota la presencia de una corriente intensa del oeste entre 25.5 y 26°N con velocidades entre 0.35 y 0.40 m s^{-1} .

En noviembre (figura 21, 11) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s^{-1} . La corriente hacia el polo sólo llega hasta los 26°N . Destaca la presencia de tres

giros, uno ciclónico al norte en la zona oceánica entre 26.5 y 27.5°N, el segundo anticiclónico al sur de la zona oceánica entre 24.5 y 26.5°N y el tercero ciclónico entre la plataforma continental y la zona oceánica entre 25 y 26°N.

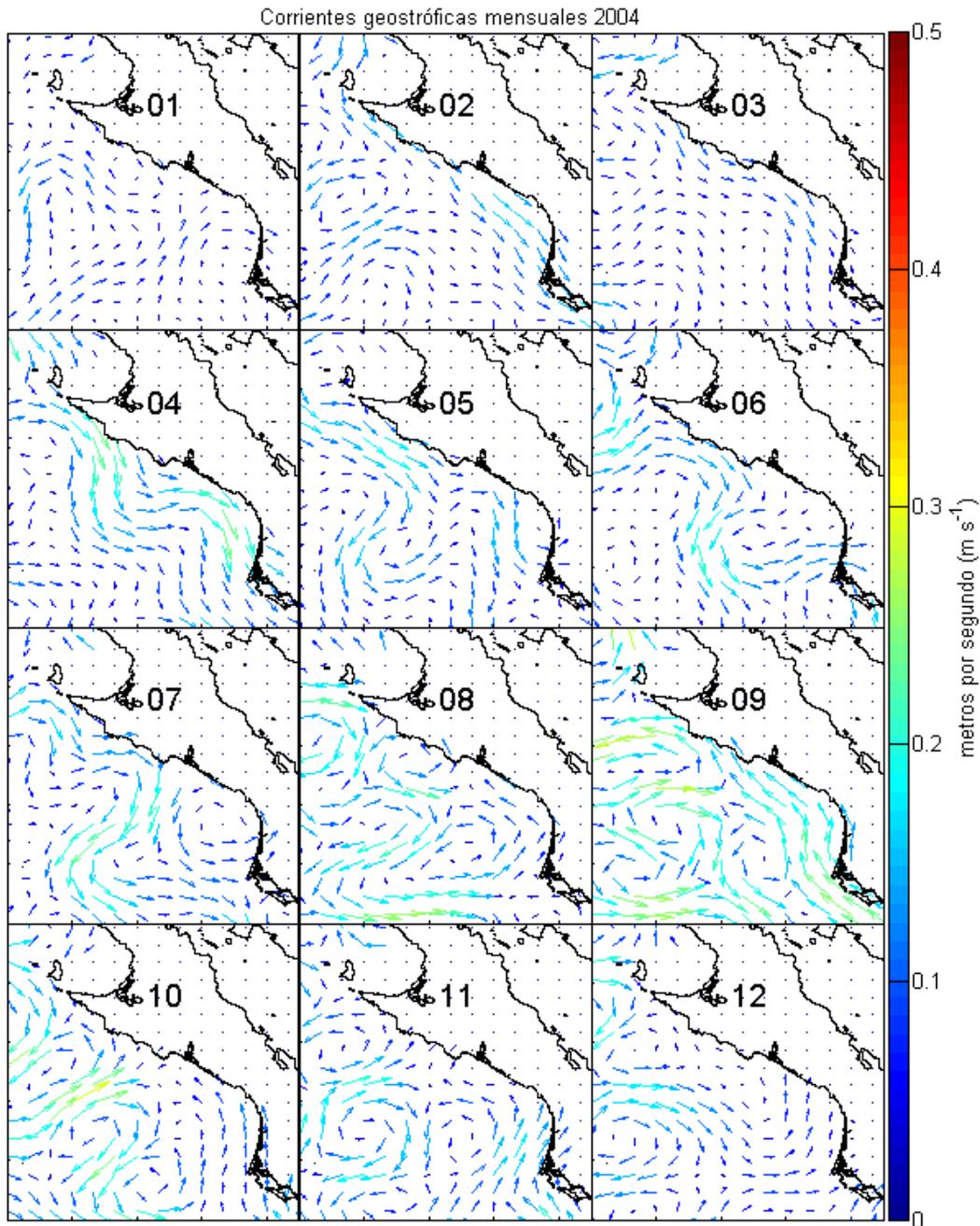


Figura 21. Promedios mensuales de Geo durante 2004

En diciembre (figura 21, 12) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en $0.25 m s^{-1}$. No se nota la presencia de corrientes a lo largo de la costa, ni hacia el polo o

hacia el ecuador. Destaca la presencia de dos giros en la zona oceánica, uno ciclónico entre 26.5 y 27.5 °N y otro anticiclónico entre 24.5 y 26°N. Este último alimenta una corriente proveniente del oeste con dirección a la costa entre 24.5 y 25.5°N.

Los mapas de corrientes geostróficas de 2004 muestran claramente dos hechos, el primero que la corriente hacia el ecuador a lo largo de la costa está presente desde febrero hasta julio, consistente con los datos de TSM menores a 20°C observados en 2004 y también acordes con los datos de Cla mayores a 5 mg m⁻³ para 2004 en la zona costera. El segundo hecho es que el inicio de la llegada de la corriente hacia el polo en agosto y su clara permanencia hasta noviembre, coincide con el aumento de la TSM mayor a 20°C, así como la disminución de los valores de Cla. La presencia de esta corriente hacia el polo, con características tropicales, también puede explicar porque en noviembre no se presentan altos valores de Cla a pesar de las aparentes condiciones favorables observadas en los mapas del rotacional del esfuerzo del viento para 2004. Otro factor a mencionar es que la Geo muestra claramente la presencia de remolinos, tanto ciclónicos como anticiclónicos, principalmente entre agosto y diciembre. Aunado a lo anterior la corriente que fluye paralela a la costa se presenta en una zona donde el rotacional del esfuerzo del viento es el más intenso principalmente en mayo y junio de manera consistente con la ocurrencia de las surgencias en esos meses (figura 18).

El comportamiento de las corrientes geostróficas de 2005 se muestra en la figura 22. En enero (figura 22, 01) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.30 m s⁻¹. No se observan patrones bien definidos de corrientes, ni hacia el ecuador ni hacia el polo. Destaca la presencia de un giro ciclónico en la zona oceánica entre 25.5 y 27.5°N.

En febrero (figura 22, 02) las velocidades de las corrientes continuaron en 0.25 m s⁻¹. Se nota la entrada de una corriente proveniente del oeste entre 27.5 y 28°N con dirección a la costa, este corriente no es muy ancha y alimenta un giro ciclónico oceánico entre 26 y 27°N. Al sur, entre 25 y 26°N se nota otro flujo proveniente del oeste que al acercarse a la costa se dirige al sur.

En marzo (figura 22, 03) las velocidades de las corrientes alcanzaron 0.30 m s⁻¹. Se nota claramente la corriente hacia el ecuador, fluye a lo largo de la costa y sobre la plataforma continental desde los 28 hasta los 24°N. Parte de esta corriente se separa hacia el océano a la altura de los 26°N para volverse a reincorporar en los 24.5°N.

En abril (figura 22, 04) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.35 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador se hizo más intensa y ancha, fluye ahora más allá de la plataforma continental. Se nota la presencia de dos flujos provenientes del oeste que se unen a la corriente hacia el ecuador, uno al norte entre 27 y 28°N y otro al sur entre 24 y 26°N .

En mayo (figura 22, 05) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.35 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador fluye a lo largo costa, pero al llegar a los 26°N se desvía hacia el océano por la aparente presencia de un pequeño remolino, al pasar los 24.5°N la corriente hacia el ecuador fluye nuevamente a lo largo de la costa.

En junio (figura 22, 06) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.35 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador fluye del oeste entre 25.5 y 27.5°N , es ancha e intensa y al llegar a la costa fluye paralela a ésta. Al pasar por los 25.5°N se desvía hacia el océano por la presencia de un pequeño remolino.

En julio (figura 22, 07) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.40 m s^{-1} . La corriente hacia el ecuador fluye del oeste entre 26 y 27°N , al llegar a la plataforma continental se dirige al sur, aunque ya no de forma paralela a la línea de costa. Se nota la presencia de un giro ciclónico entre 26.5 y 27.5°N . En la parte costera sur entre 24 y 24.5°N se nota la presencia de la corriente hacia el polo que se desvía al oeste.

En agosto (figura 22, 08) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.35 m s^{-1} . Ya no se nota de la corriente hacia el ecuador. Se nota la presencia de 2 giros, uno anticiclónico en la zona oceánica entre 26 y 27°N y el segundo ciclónico sobre la plataforma continental entre 25 y 26.5°N . La corriente hacia el polo fluye a lo largo de la costa hasta los 26.5°N donde se incorpora a un giro ciclónico.

En septiembre (figura 22, 09) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.35 m s^{-1} . Ya no está presente la corriente hacia el ecuador. Por el contrario, la corriente hacia el polo se nota claramente y fluye a lo largo de la costa alimentando un giro ciclónico. Este giro se localiza en los límites de la plataforma continental entre 25 y 26.5°N . En la zona oceánica un poco más al norte se nota la presencia de otro giro anticiclónico entre 26 y 27.5°N .

En octubre (figura 22, 10) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.40 m s^{-1} . Destaca la presencia de un giro ciclónico entre 24.5 y 26.5°N que es alimentado por la

corriente hacia el polo que fluye a lo largo de la costa. Otro flujo proveniente del oeste entre 24.5 y 25°N también alimenta al giro ciclónico, que abarca tanto la plataforma continental como la zona oceánica.

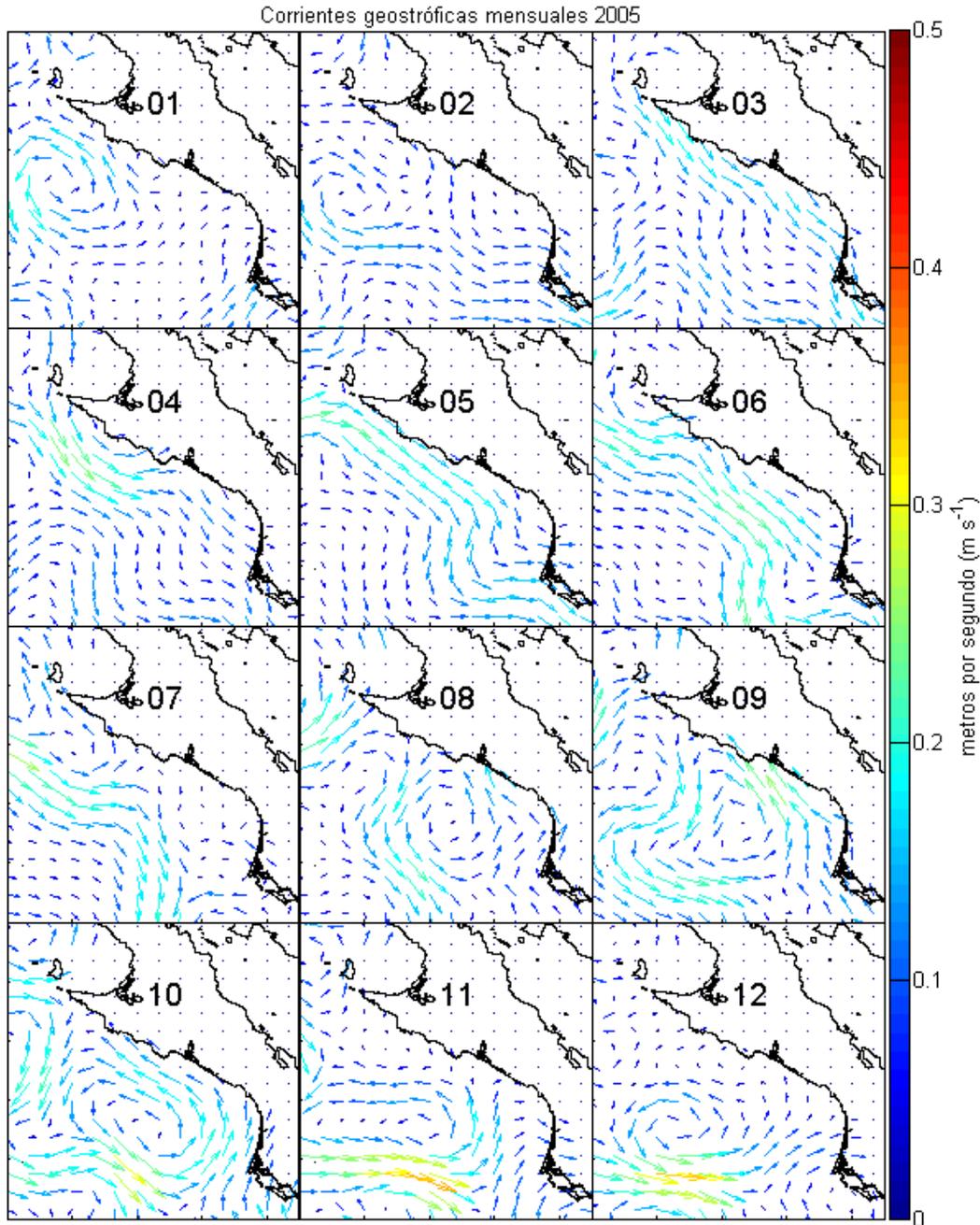


Figura 22. Promedios mensuales de Geo durante 2005.

En noviembre (figura 22, 11) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.45 m s^{-1} . La corriente hacia el polo disminuyó su intensidad y ahora sólo llega hasta los 26°N .

Destaca la presencia de un flujo intenso del oeste entre 24.5 y 25.5°N que al acercarse a la costa se divide en dos ramas, una hacia el polo y otra hacia el ecuador.

En diciembre (figura 22, 12) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.40 m s⁻¹. No se nota la presencia de corrientes a lo largo de la costa. Destaca la presencia de un giro ciclónico en la zona oceánica entre 25 y 26°N. Este giro es alimentado por un flujo de gran intensidad del oeste entre 24.5 y 25°N que al llegar a la costa se divide en dos ramas, una hacia el polo y otra hacia el ecuador.

Al igual que los mapas de corrientes geostróficas de 2004, los mapas de 2005 confirman los dos hechos señalados para 2004. Uno, que la corriente hacia el ecuador, presente desde marzo hasta julio, es consistente con los valores menores a 20°C de TSM observados en 2004 y también son acordes con los datos de Cla, mayores a 5 mg m⁻³, de marzo a agosto para 2005 en la zona costera. Dos, el inicio de la llegada de la corriente hacia el polo en agosto y su clara permanencia hasta noviembre, coincide con el aumento de la TSM mayor a 20°C, así como la disminución de los valores de Cla en 2005. La presencia de la corriente hacia el ecuador sigue presente en noviembre, al parecer inhibiendo las supuestas condiciones favorables que se vieron en los mapas del Rot para 2005. Las estructuras de mesoescala son claramente visibles en los mapas de Geo, su presencia es más clara entre agosto y diciembre. Similar a 2004 la ocurrencia de la corriente que fluye paralela a la costa se presenta en junio en una zona donde el rotacional del esfuerzo del viento es el más intenso (figura 19Figura 18).

El comportamiento de las corrientes geostróficas de 2006 se muestra en la figura 23. En enero (figura 23, 01) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.35 m s⁻¹ respecto a diciembre de 2005. Se nota la entrada de un flujo del oeste entre 27.5 y 28°N, que podría ser el arribo de la corriente hacia el ecuador en la zona. Este flujo no es muy ancho y se extiende a lo largo de la costa por la plataforma continental hacia el sur. También se nota la presencia de tres giros, uno pequeño anticiclónico al norte entre 27 y 28°N, otro ciclónico más grande al sur entre 24.5 y 26.5°N que es alimentado por un flujo del oeste y un tercero anticiclónico entre la plataforma continental y la zona oceánica entre 24.5 y 26°N.

En febrero (figura 23, 02) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s⁻¹. La corriente hacia el ecuador se nota claramente a lo largo de la costa y cubre toda la

plataforma continental, alimenta un giro ciclónico oceánico entre 25 y 26.5°N. Junto a este giro se nota la presencia de otro anticiclónico más pequeño al sur entre 24 y 25°N. Un flujo proveniente del oeste entre 25 y 26°N alimenta los dos giros y en la parte norte se une a la corriente hacia el ecuador.

En marzo (figura 23, 03) las velocidades de las corrientes se mantuvieron en 0.25 m s⁻¹. Destaca la corriente hacia el ecuador, que es ancha a lo largo de la costa, fluye desde los 29 hasta los 24°N pegada a la costa y sobre la plataforma continental. Al oeste entre 24 y 25°N fuera de la influencia de la corriente hacia el ecuador se nota la presencia de un pequeño giro ciclónico.

En abril (figura 23, 04) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.30 m s⁻¹. La corriente hacia el ecuador ya no fluye de forma paralela a la costa sobre la plataforma continental, se divide en dos flujos uno pegado a la costa y otro más intenso afuera de la plataforma continental. Al oeste del flujo intenso, en la zona oceánica, se nota la presencia de un giro ciclónico entre 24.5 y 26°N.

En mayo (figura 23, 05) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s⁻¹. La corriente hacia el ecuador ya no fluye a lo largo de la costa, serpentea de oeste a este y de sur a norte desde los 27.5 a los 24°N. El flujo más intenso está presente en la zona oceánica, entre 24.5 y 26°N. En la plataforma continental la corriente hacia el ecuador es desviada hacia la zona oceánica, aparentemente por la presencia de un giro que no está claramente definido.

En junio (figura 23, 06) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.35 m s⁻¹. La corriente hacia el ecuador fluye nuevamente paralela a la costa sobre los límites de la plataforma continental. Al parecer no puede pegada a lo largo de la costa por la presencia de un giro que no está bien definido. Al oeste, entre 25.5 y 26°N un flujo alimenta la corriente hacia el ecuador provocando que las velocidades sean mayores. Al sur de este flujo y al oeste del flujo principal de la corriente hacia el ecuador, entre 24 y 25°N, se nota la presencia de un giro ciclónico.

En julio (figura 23, 07) las velocidades de las corrientes aumentaron a 0.45 m s⁻¹. La presencia de la corriente hacia el ecuador es clara en la zona oceánica aledaña a la plataforma continental. Esta corriente ya no fluye paralela a la costa, sino que serpentea entre 26.5 y 28 °N.

En agosto (figura 23, 08) las velocidades de las corrientes fueron ligeramente mayores a 0.50 m s^{-1} , los registros más alto en todo el periodo. Estas velocidades se localizan en la parte sur de un giro ciclónico localizado entre 25 y 27.5°N . Ya no se nota la presencia de la corriente hacia el ecuador. En cambio se nota la presencia de la corriente hacia el polo que fluye a lo largo de la costa desde los 24 hasta los 26.5°N donde choca con el gran giro ciclónico.

En septiembre (figura 23, 09) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.45 m s^{-1} . Destaca la presencia del giro ciclónico entre 25 y 27°N . También se nota la corriente hacia el polo a lo largo de la costa y que, al llegar a los 25.5°N , se divide en dos flujos, uno costero que alimenta el giro ciclónico y otro que se aleja de la costa en dirección sureste.

En octubre (figura 23, 10) se observa el mismo patrón del mes anterior, las velocidades de las corrientes se mantuvieron en los 0.45 m s^{-1} . Continúa la presencia del gran giro ciclónico entre 25 y 27°N . Al sur, la presencia de corriente la hacia el polo que fluye a lo largo de la costa, pero ahora con mayor intensidad y que sigue alimentando al giro ciclónico.

En noviembre (figura 23, 11) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s^{-1} . Destaca la presencia de dos giros. El gran giro ciclónico que se observa al oeste dejando la región y un giro anticiclónico débil en la esquina suroeste. La corriente hacia el polo sigue presente aunque más débil que el mes anterior.

En diciembre (figura 23, 12) las velocidades de las corrientes disminuyeron a 0.25 m s^{-1} . No se nota la presencia de corrientes a lo largo de la costa. Destaca la presencia de un gran giro ciclónico que abarca toda la plataforma continental así como una buena parte de la zona oceánica desde 24.5 hasta 27°N y desde -115.5 hasta 112.5°W .

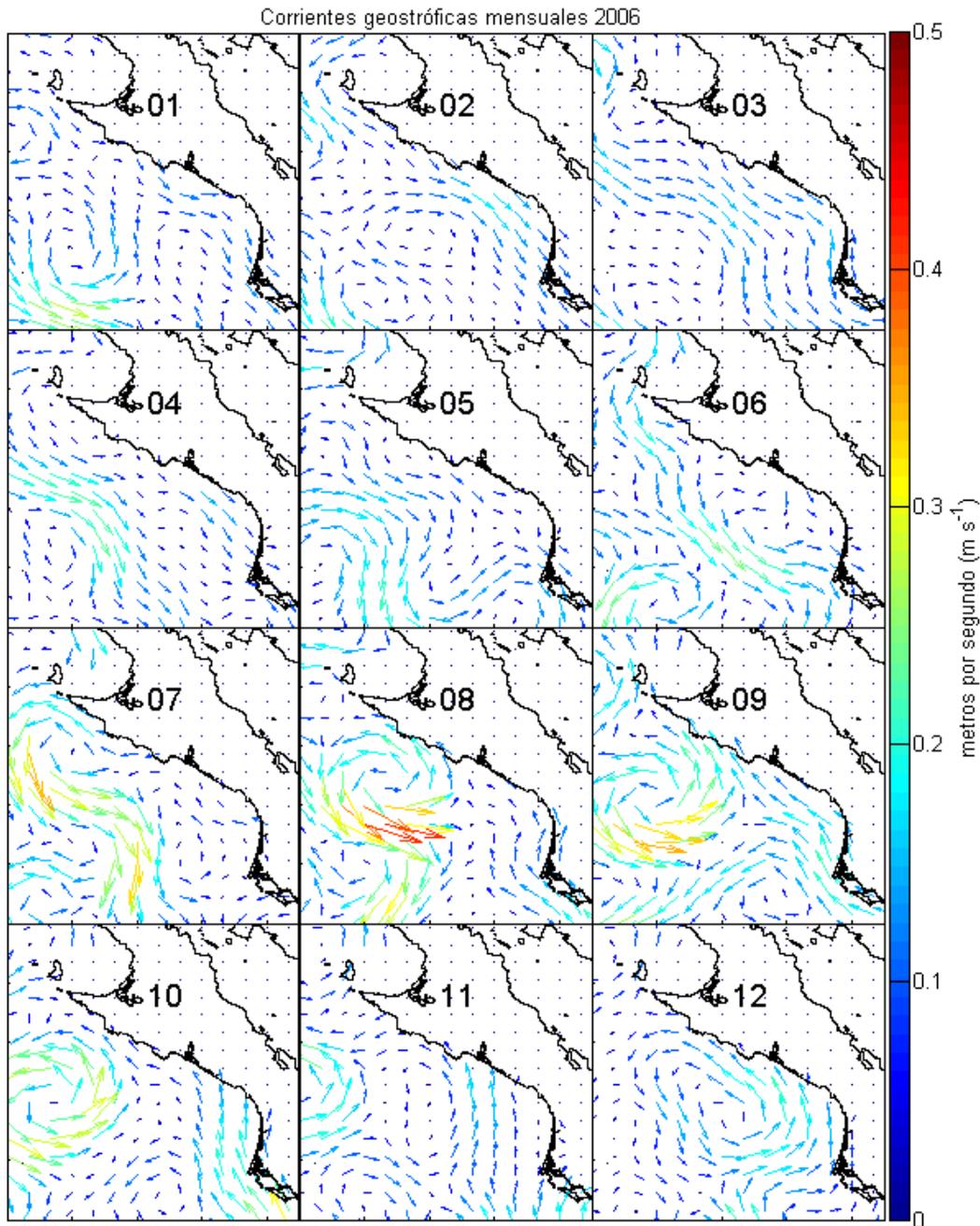


Figura 23. Promedios mensuales de Geo durante 2006.

Al igual que los mapas de corrientes geostróficas de 2004 y 2005, los mapas de 2006 confirman los hechos señalados para esos años. Uno, que la corriente hacia el ecuador está acoplada con los valores menores a 20°C de TSM, así como a los valores de Cla, mayores a 5 mg m^{-3} . En este año la presencia de la corriente en marzo fue claramente más intensa que los años anteriores, lo que aparentemente explica los altos valores de

Cla en este mes. Dos, el inicio de la llegada de la corriente hacia el polo también parece estar acoplado a la disminución de los valores de la Cla ya que su llegada coincide con este fenómeno. En este año destaca la presencia de un gran giro ciclónico que estuvo presente a lo largo de los meses de agosto a diciembre. Es posible que la presencia de este giro haya ayudado a mantener los altos valores de Cla en los meses de agosto y septiembre, fenómeno que no se presentó en los dos años anteriores. Similar a 2004 y 2005 la ocurrencia de la corriente que fluye paralela a la costa se presenta en junio en una zona donde el rotacional del esfuerzo del viento es el más intenso (figura 20Figura 19Figura 18).

VII.III Series de tiempo.

Se generaron series de tiempo con los compuestos semanales de 8 días para el modelo modificado PPN, para las variables incluidas dentro del modelo, Cla, TSM y CM, así como de variables independientes del modelo K_{490} , Geo y Rot. Estas series se construyeron con el promedio de los 6 puntos de la sección paralela a la línea de costa (figura 3). Una vez generadas las series, se calcularon los componentes armónicos por medio de la técnica del descenso cíclico para generar curvas ajustadas con períodos, amplitudes y fases conocidas para cuatro componentes armónicos. Con estos parámetros se hizo una caracterización de las series para ver cuáles de ellas tienen periodos similares.

PPN.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para la PPN se muestran en la tabla 1. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud indican que la PPN está dominada por un ciclo anual (376 días), seguido de uno aproximadamente semestral (158 días), uno de 9.3 meses (281 días) y por último uno bimensual (58 días). Los desfases, por su parte, son positivos para los tres primeros componentes armónicos, con un máximo de 120 días para el tercero y negativo para el último.

Tabla 1. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la PPN.

Periodo	Amplitud	Fase
376	10.43	47
158	5.46	120
281	5.40	33
58	3.69	-28

Las curvas de PPN se muestran en la figura 24, la clara es la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de $356 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Durante los tres años de estudio los meses donde la PPN fue mayor a la media (figura 24.) fueron: en 2004, enero y febrero con valores máximos de 646 y $555 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente; en junio, con $505 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y, en noviembre, con $436 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

En 2005, de marzo a junio, con valores máximos de $900 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en mayo. En 2006, de enero a junio, con valores máximos de $1100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en marzo, y en noviembre y diciembre con 505 y $625 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente.

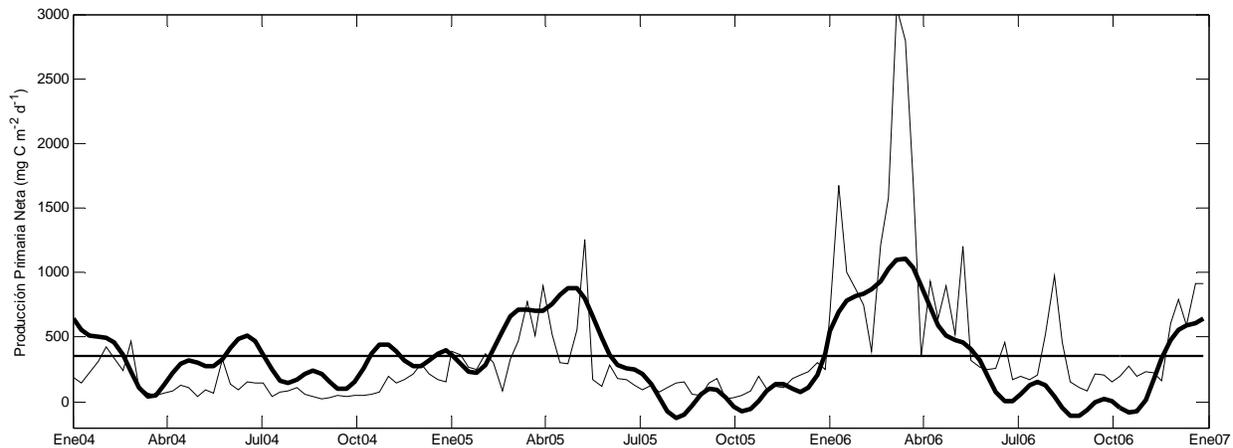


Figura 24. Serie de tiempo de la PPN del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

Cla.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para la Cla se muestran en la tabla 2. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud, los periodos son de un año (348 días), de 5.2 meses (155 días), mes y medio (50 días) y estacional (124 días). La fase del primer componente armónico es negativa, de -72 días, al igual que la del cuarto componente, de -41 días, mientras que los componentes 2 y 3 presentaron fase positivas de 22 y 14 días respectivamente.

Tabla 2. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la Cla.

Periodo	Amplitud	Fase
348	0.42	-72
155	0.19	22
50	0.11	14
124	0.11	-41

Las curvas de Cla se muestran en la figura 25, la clara es la original y la oscura es el ajuste estimado por medio del descenso cíclico, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de 0.63 mg m^{-3} .

La Cla (figura 25) no mostró ciclos tan bien definidos como la TSM, pero si mostró épocas claras en cada uno de los tres años en donde la Cla fue mayor a su valor medio a lo largo del periodo. Estas épocas se presentaron consistentemente en primavera, aunque con inicios diferentes para cada año. En 2004 los valores mayores a la media se presentaron entre abril y agosto, en 2005 entre marzo y agosto y para 2006 entre febrero y septiembre. Los valores de Cla fluctuaron entre 0.25 y 2.25 mg m^{-3} .

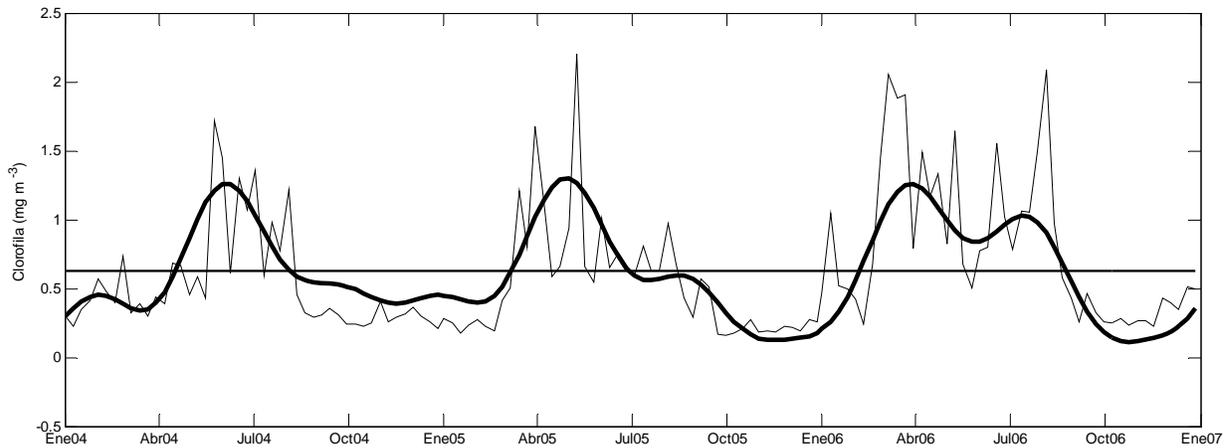


Figura 25. Serie de tiempo de la Cla del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

TSM.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para la TSM se muestran en la tabla 3. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud, los periodos son de un año (364 días), año y medio (539 días), semestral (175 días) y estacional (120 días). Las fases son positivas y con valores mayores a 180 días para los 2 primeros componentes armónicos, mientras que el tercero presentó una fase negativa de 45 días, por último el cuarto componente tuvo una fase positiva de 19 días.

Tabla 3. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la TSM.

Periodo	Amplitud	Fase
364	3.81	182
539	0.78	210
175	0.70	-45
120	0.33	19

Las curvas TSM se muestran en la figura 26, la clara es la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de 20.16 °C.

La TSM (figura 26) mostró ciclos anuales bien definidos con valores por debajo de la media desde enero hasta julio y con valores sobre la media de julio hasta enero, de forma constante para los tres años del periodo de estudio. Los valores de TSM fluctúan en los ciclos en el rango de 16 a 26 °C.

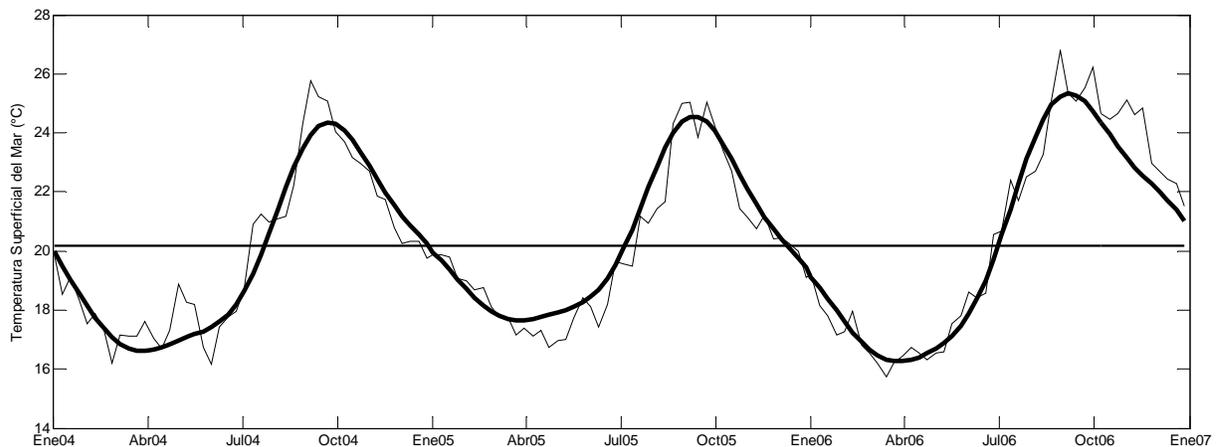


Figura 26. Serie de tiempo de la TSM del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

CM.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para la CM se muestran en la tabla 4. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud indican que la CM está dominada por un ciclo anual (372 días), seguido de uno semestral (189 días), uno de 5.5 meses (164 días) y por último uno de 8.5 meses (246 días). Por su parte las fases son positivas para los tres primeros componentes, con un desfase máximo de 89 días en el primer componente, mientras que el armónico número 4 fue el único que presentó un desfase negativo de aproximadamente 8 días.

Tabla 4. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la CM.

Periodo	Amplitud	Fase
372	19.96	89
189	5.38	54
164	2.76	17
246	2.22	-8

Las curvas de CM se muestran en la figura 27, la clara la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de 23.70 m.

La CM presentó ciclos anuales bien definidos (figura 27), en enero de 2004 se aprecia la continuación de un ciclo que inició en 2003 con valores sobre la media desde enero hasta marzo y con valores por debajo de la media de marzo a octubre. En octubre de 2004 inicia un nuevo ciclo, con valores sobre la media de octubre de 2004 a marzo de 2005, donde los valores caen por debajo de la media hasta el mes de noviembre. En este mes de noviembre da inicio un nuevo ciclo con valores positivos hasta abril de 2006, donde los valores son menores a la media hasta noviembre. En este mes de noviembre da inicio un nuevo ciclo con valores mayores a la media, que se continúa hasta 207. Los valores de CM fluctúan en los ciclos en el rango de 50 a -15 m de forma constante durante los tres años del periodo de estudio.

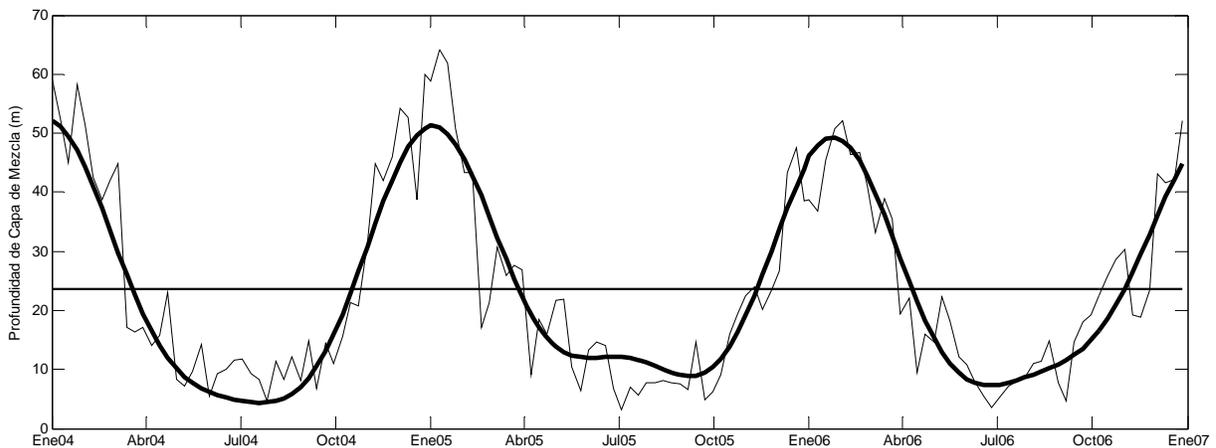


Figura 27. Serie de tiempo de la CM del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

K₄₉₀.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para el K₄₉₀ se muestran en la tabla 5. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud, los periodos son de un año (352 días), de 5 meses (153 días), estacional (129 días) y de 1.7 meses (50 días). Las fases fueron negativas para el primer y tercer componentes armónicos, con -74 y -18 días respectivamente, los componentes segundo y cuarto presentaron fases positivas de 16 días.

Tabla 5. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para el K_{490} .

Periodo	Amplitud	Fase
352	0.030	-74
153	0.010	16
129	0.008	-18
50	0.005	16

Las curvas de K_{490} se muestran en la figura 28, la clara es la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de 0.079 m^{-1} .

El coeficiente de atenuación K_{490} (figura 28) mostró ciclos anuales definidos con épocas en donde el coeficiente K_{490} fue mayor que su valor medio a lo largo del periodo. Estas épocas se presentaron consistentemente en primavera-verano para cada año, en 2004 los valores mayores a la media se presentaron entre abril y agosto, en 2005 entre marzo y septiembre y para 2006 entre febrero y septiembre. Los valores de K_{490} fluctuaron entre 0.05 y 0.15 Los valores mínimos de K_{490} oscilaron entre 0.03 y 0.06 m^{-1} y se presentaron consistentemente entre septiembre y febrero, es decir en otoño - invierno.

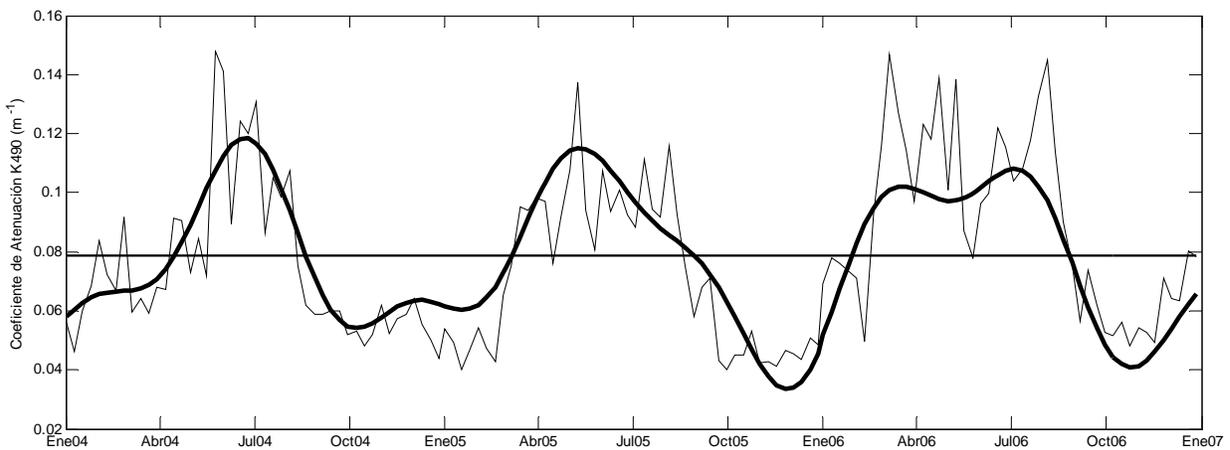


Figura 28. Serie de tiempo de la K_{490} del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

Geo.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para la Geo se muestran en la tabla 6. En orden de importancia de acuerdo a

su amplitud, los periodos son anual (351 días), 4.7 meses (141 días), 2.5 meses (77 días) y de 3.3 (100 días). Destaca la diferencia en las amplitudes de los componentes 3, 4 y 5, que son muy similares, lo que indica que su aportación a la curva final es similar. Por su parte, las fases fueron positivas para los tres primeros componentes armónicos, con un máximo de 135 días para el primer componente.

Tabla 6. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para la Geo.

Periodo	Amplitud	Fase
351	0.095	135
141	0.025	60
77	0.021	1
100	0.020	-41

Las curvas de la Geo se muestran en la figura 29, la clara es la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de -0.013 m s^{-1} , el signo negativo indica la dirección de la corriente (paralela a la línea de costa con dirección sur).

La Geo (figura 29) mostró ciclos anuales bien definidos en donde las corrientes cambiaron de dirección, hacia el ecuador y hacia el polo alternativamente a lo largo del periodo. La época en donde la corriente fluyó con dirección sur en 2004 fue de enero a julio, en 2005 de febrero a julio y para 2006 de enero a julio. Los valores de intensidad de la Geo fluctuaron entre -0.2 y 0.2 m s^{-1} .

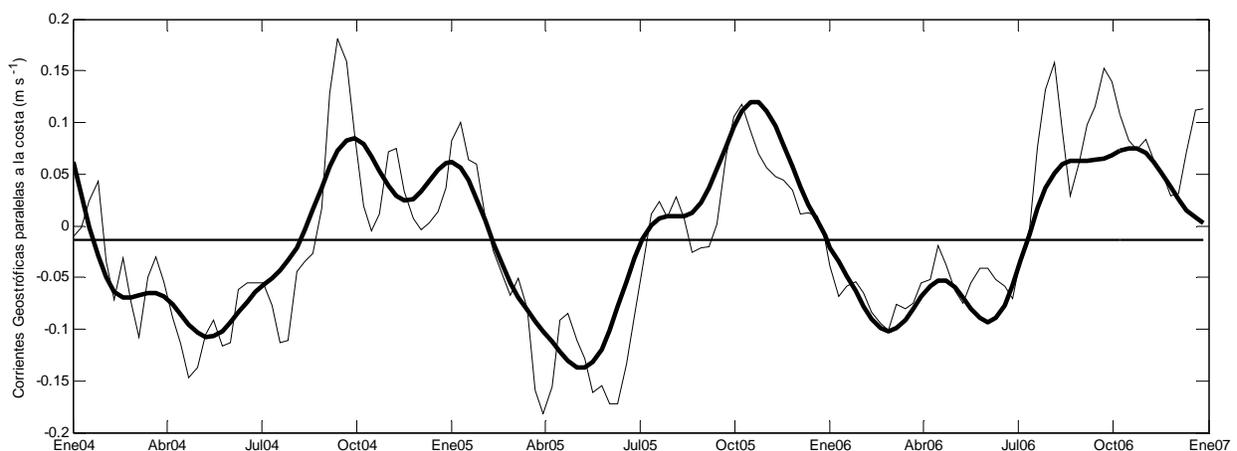


Figura 29. Serie de tiempo del promedio de los 6 puntos, a lo largo de la costa, de las corrientes geostroficas, el signo indica la dirección de la corriente, positivo hacia el norte. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

Rot.

Los resultados de los períodos (en días), amplitudes y fases de cada componente armónico para el Rot se muestran en la tabla 7. En orden de importancia de acuerdo a su amplitud, los periodos son anual (344 días), estacional (127 días), semestral (176 días) y de año y medio (507 días), cabe señalar que la diferencia en las amplitudes entre componentes armónicos 2 y 3 es mínima, lo que indica que su aportación es similar a la serie final. Por su parte las fases fueron negativas para los armónicos 1 y 3 con -88 días y -36 días y positivas para el 2 y 4 con 52 y 5 días respectivamente.

Tabla 7. Parámetros estimados por medio del descenso cíclico para el Rot.

Periodo	Amplitud	Fase
344	0.163	-88
127	0.074	52
176	0.073	-36
507	0.061	5

Las curvas del Rot se muestran en la figura 30, la clara es la original y la oscura es la generada con los datos de los componentes armónicos, la línea horizontal es el valor de la media, que fue de $0.1842 \text{ m s}^{-2} 10^6$.

El Rot (figura 30) mostró ciclos bien definidos, con una época en donde fue mayor que su valor medio a lo largo del periodo y otra, que aunque fue menor al valor medio, presenta un incremento. Estas épocas se presentaron consistentemente en primavera-verano (más intensos) y otoño (menos intensos) para cada año. En 2004 los valores mayores a la media se presentaron de abril a julio y de octubre a noviembre; en 2005 de abril a agosto y de octubre a diciembre; y para 2006 de marzo a junio y de octubre a diciembre. Los valores de intensidad de Rot fluctuaron entre -0.2 y $0.7 \text{ m s}^{-2} 10^6$.

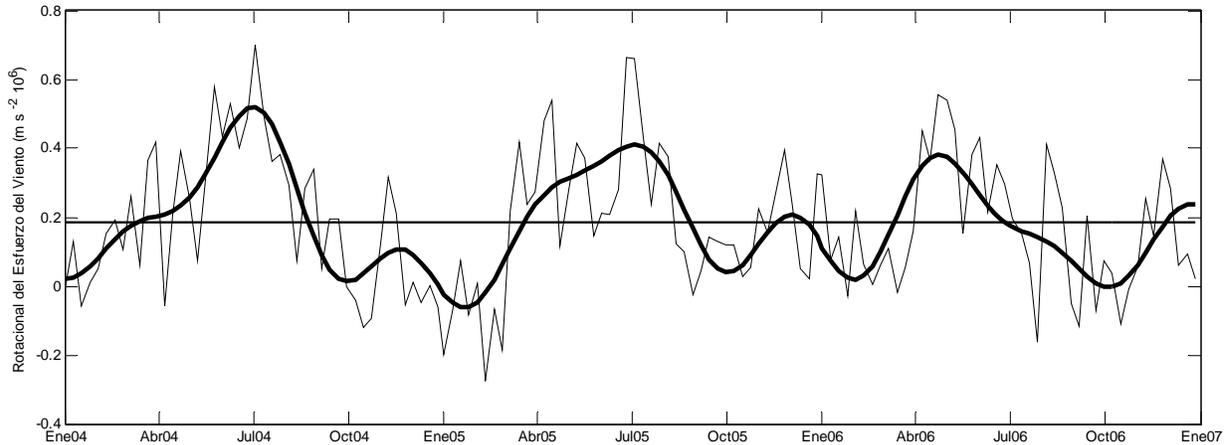


Figura 30. Serie de tiempo del promedio de los 6 puntos paralelos a la línea de costa del rotacional del viento. Los valores positivos indican surgencias. La línea oscura es la curva estimada por medio del descenso cíclico.

En la tabla 8 se presenta un resumen de los periodos encontrados para el primer componente armónico. En términos generales todas las variables que alimentaron el modelo presentaron un periodo anual o muy cercano al anual, similar al de la PPN. De las variables independientes del modelo, la Geo fue la que presentó el periodo más cercano al de la PPN, con una diferencia de 12 días, mientras que el más alejado fue el Rot con 1 mes de diferencia.

Tabla 8. Resumen de los periodos en días del primer componente armónico.

	Periodo (en días)
PPN	376
CM	372
TSM	364
Cla	348
K₄₉₀	352
Rot	344
Geo	364

Para darnos una idea de la forma en que se va presentando el primer componente armónico para las diferentes variables sus posiciones de inicio se muestran en la figura 31. Es importante hacer notar que, excepto, la CM todas las otras variables son anteriores al inicio del ciclo de la PPN. Esto indica que hay una respuesta que se

manifiesta en los niveles de producción a los eventos físicos que se fueron presentando anteriormente, incluso en el orden de meses (inicio del ciclo del rotacional). No sorprende la ubicación casi simultánea en el tiempo de la PAR, K_{490} y Cla que son variables estrechamente relacionadas.

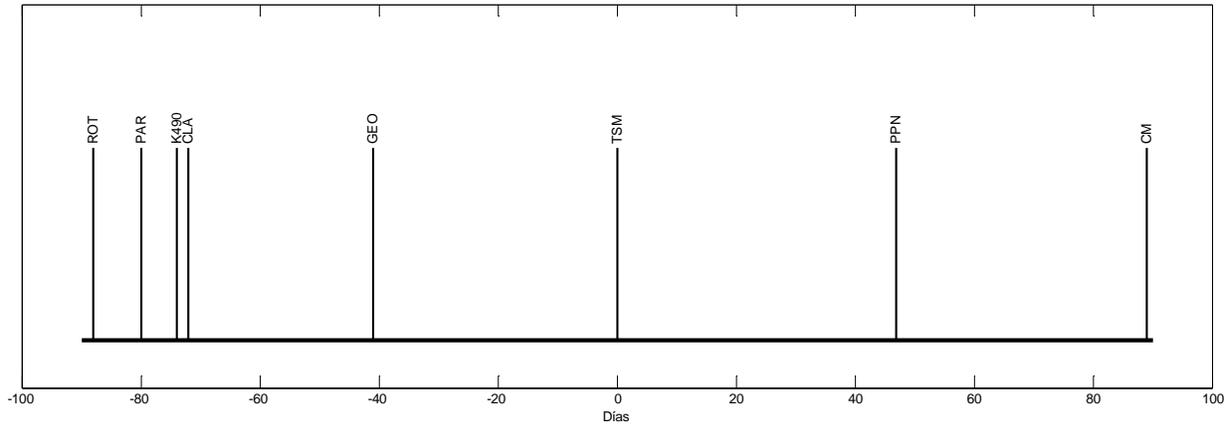


Figura 31. Posición en el tiempo del inicio de los ciclos de las variables con periodo anual, producción primaria neta (PPN), capa de mezcla (CM), clorofila-a (Cla), temperatura superficial del mar (TSM), radiación fotosintéticamente activa (PAR), coeficiente de atenuación a 490 nm (K_{490}), rotacional del esfuerzo del viento (Rot) y corrientes geostroficadas (Geo).

Correlación cruzada

Los resultados de la correlación cruzada con desfase de las variables que forman parte del modelo, así como de las independientes del modelo se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Resumen de la correlación entre diferentes variables contra la PPN (Cla, TSM y CM son variables que forman parte del modelo, K_{490} , Geo y Rot son independientes).

	Correlación
Cla	0.61
CM	0.59
TSM	0.56
K_{490}	0.49
Geo	0.48
Rot	0.47

De las variables que componen el modelo, la Cla es la que tiene la mayor correlación, seguida de la CM y finalmente la TSM. Es claro que la Cla es la variable más importante del modelo de PPN. Por otro lado, de las variables ajenas al modelo todas presentaron niveles de correlación muy parecidos, separados por una décima, lo que los ubica casi en el mismo nivel de relación con la PPN. Si no consideramos el K_{490} , que es una variable sinónimo de la Cla, la Geo es la que, entonces, tiene la mayor correlación con la PPN.

Este último nos da una idea de la importancia que tiene la advección en la producción primaria neta, al ubicar a la geostrofia con una mayor correlación (marginal) que el rotacional del esfuerzo del viento. En términos prácticos los valores de correlación no son muy altos, pero sirven para darnos cuenta que el Rot y la Geo tienen, al menos, la misma importancia en los niveles de PPN.

VII.IV Cruceros:

Los cruceros se llevaron a cabo en el barco BIP XII, por medio de una invitación del CIBNOR. Fueron programados para llevarse a cabo en dos semanas saliendo de Puerto San Carlos, B. C. S. En las estaciones se hicieron lances de CTD hasta donde la profundidad lo permitió (desde 20 hasta 330 m según la estación), arrastres de plancton y lances con una red de fondo. Los lances de PNF y nutrientes fueron solicitados de acuerdo a la hora del día y a la posición del barco.

El primer crucero se llevó a cabo del 13 al 24 de noviembre de 2005 (otoño) y el segundo del 8 al 23 de marzo de 2006 (primavera), se hicieron cuarenta y siete estaciones con lances de CTD en cada uno de ellos con posiciones geográficas muy similares (figura 32) y nueve con lances de PNF (figura 34).

El diseño de los cruceros está enfocado a cubrir estaciones no muestreadas en los cruceros anteriores, el orden en que se cubren las líneas no es determinante.

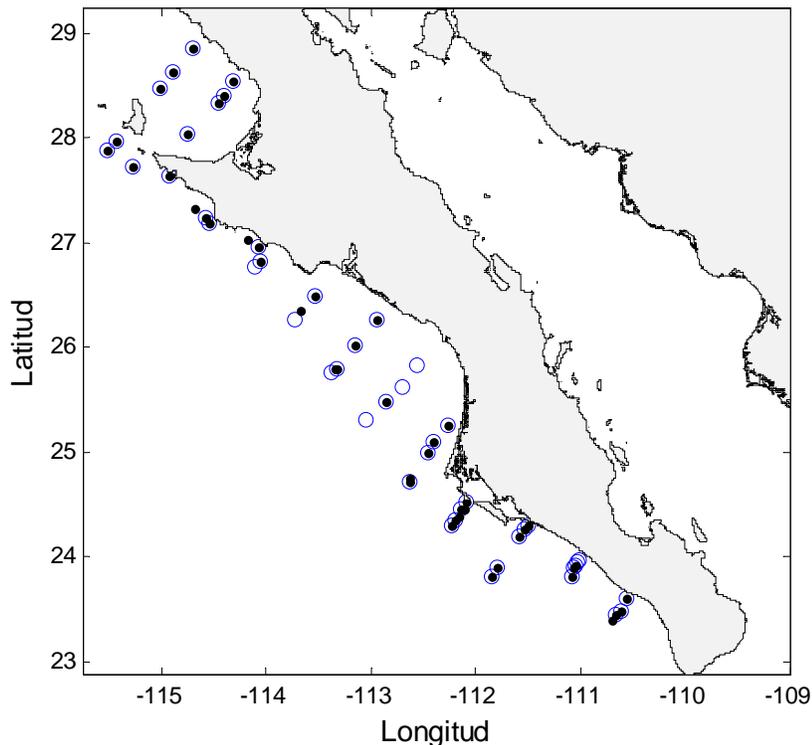


Figura 32. Estaciones hidrográficas de los 2 cruceros. En círculos azules las estaciones del crucero de otoño de 2005 y con punto negros las del crucero de primavera de 2006.

CTD

Con la información de los 47 lances del crucero de otoño se construyó el diagrama T-S que se muestra en la figura 33 con puntos negros. El rango de temperatura para este crucero fue de 9.5 a 24.10 °C, mientras que el de la salinidad fue de 33.15 a 34.75 ppm, la profundidad máxima fue de 330 m. Para el crucero de primavera se construyó el diagrama T-S de la figura 33 con puntos grises. El rango de temperatura para este crucero fue de 9.5 a 17.5 °C y el de la salinidad fue de 33.4 a 34.70 ppm, la profundidad máxima fue de 310 m.

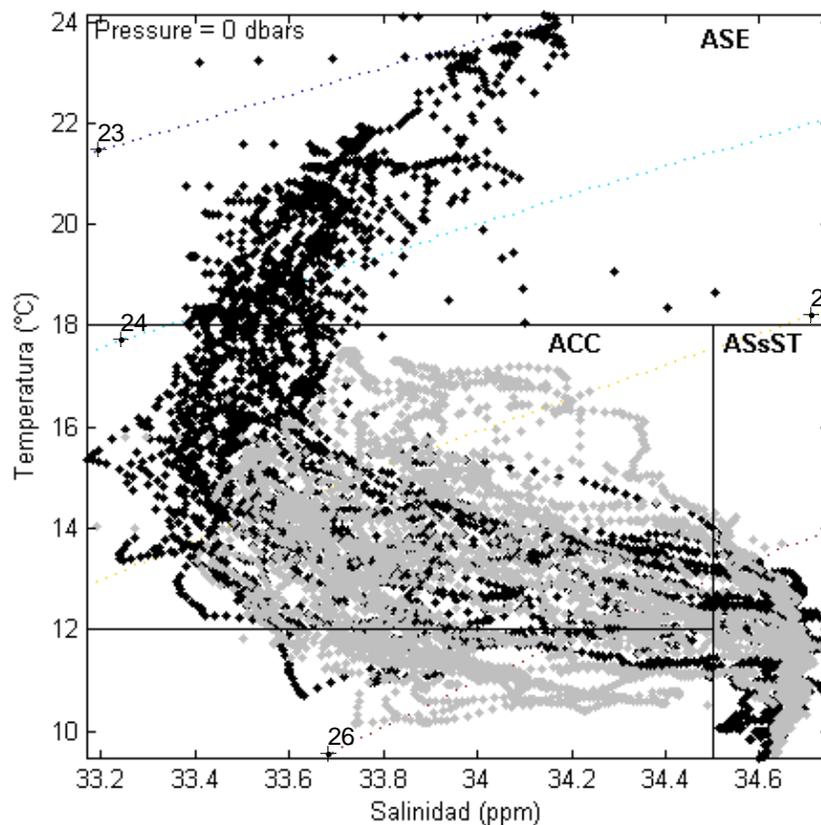


Figura 33. Diagramas T-S. Los puntos negros corresponden al crucero de otoño y los grises al de primavera. Las anotaciones corresponden a: ASE, Agua Superficial Ecuatorial; ACC, Agua De La Corriente De California; y ASsST, Agua Subsuperficial SubTropical.

De acuerdo a la caracterización y nomenclatura de Torres-Orozco (1993) las masas de agua presentes en la zona y que se ubican en estos rangos son las siguientes:

- | | |
|--|--|
| Agua Superficial Ecuatorial (ASE) | $S < 35.0 \text{ ppm}, T \geq 18.0 \text{ }^\circ\text{C}.$ |
| Agua de la Corriente de California (ACC) | $S < 34.5 \text{ ppm}, 12 \leq T \text{ }^\circ\text{C} < 18.0.$ |

Agua Subsuperficial Subtropical (ASsST) $34.5 < S \text{ ppm} < 35.0$, $9.0 \leq T \text{ }^\circ\text{C} < 18.0$.

Por lo tanto las diferentes masas de agua presentes en la zona para el crucero de otoño fueron ASE, ACC y ASsST y para el crucero de primavera ACC y ASsST según el diagrama que se observa en la figura 33.

Estimación de concentración de clorofila por fluorescencia natural (PNF).

Debido a la naturaleza de los cruceros, se hicieron estaciones con lances de PNF en donde hubiera las condiciones propicias, esto es, que fuera entre las 9 y 16 hrs. En lo posible se trató de abarcar lo máximo posible de la zona de estudio de forma latitudinal. Se realizaron 9 perfiles de PNF, tanto para el crucero de otoño, círculos verdes, como para el de primavera, círculos azules (figura 34).

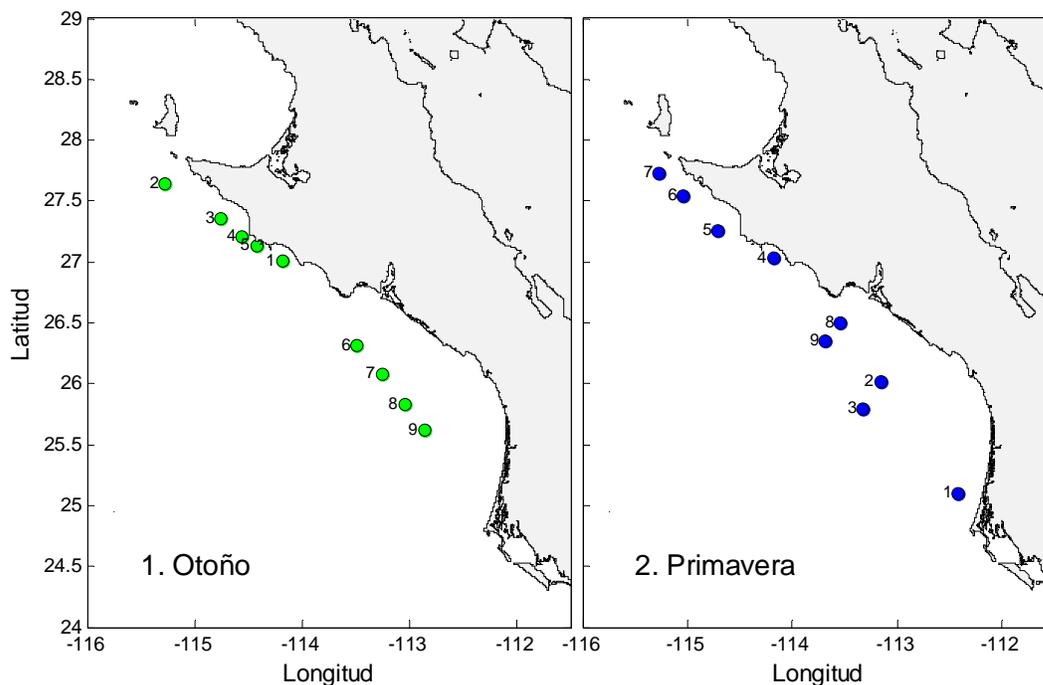


Figura 34. Estaciones para estimaciones de clorofila por fluorescencia natural, en el panel de la izquierda, en verde, las del crucero de otoño y en el de la derecha, en azul, las de primavera. Los números corresponden al orden en que se hicieron los lances.

Los resultados gráficos de los 9 lances de PNF para el crucero de otoño se muestran en la figura 35, las líneas negras representan los perfiles de temperatura, mientras que las líneas azules los perfiles de clorofila.

De acuerdo al PNF la temperatura para el crucero de otoño estuvo entre 12 y 22 °C, mientras que los valores de clorofila estuvieron entre 0 y 8 mg m³. Aunque los valores de clorofila para el PNF están limitados a profundidades mayores a 10 m, esto no fue suficiente para algunas estaciones, ya que se reflejó la influencia de la luz solar en valores muy altos de clorofila (figura 35, E1, E3, E4, E7).

Los perfiles obtenidos por el PNF en el crucero de otoño muestran que en algunas estaciones hay una clara relación entre el máximo de clorofila y la termoclina (figura 35, E3, E4, E6 y E8).

En la estación E1 (figura 35, E1) no se aprecia una termoclina definida, ni tampoco un valor máximo de clorofila, el rango de temperatura estuvo entre 14 y 19° C, mientras que los valores de clorofila fueron mayores a 10 mg m³.

En la estación E2 (figura 35, E2) el rango de temperatura estuvo entre 12 y 17° C, se aprecia el inicio de una termoclina, aunque no tan claramente definida, alrededor de los 20 m. El inicio de esta termoclina coincide con un pico de máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 6 mg m³ en los 27 m.

En la estación E3 (figura 35, E3) el rango de temperatura se estuvo entre 13 y 18.5° C, se aprecia una termoclina, relativamente bien definida, entre 25 y 40 m. En esta termoclina se ubica un segundo máximo de clorofila de 4 mg m³ en los 40 m.

En la estación E4 (figura 35, E4) el rango de temperatura estuvo entre 14 y 19° C, se aprecia una termoclina, relativamente bien definida, entre 27 y 50 m. En esta termoclina se ubica un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 6.1 mg m³ en los 30 m.

En la estación E5 (figura 35, E5) el rango de temperatura estuvo entre 15 y 20° C, no se aprecia una termoclina bien definida, aunque hay un descenso escalonado de la temperatura entre 10 y 50 m. En el primer descenso escalonado a los 10 m se ubica un máximo de clorofila de 5 mg m³.

En la estación E6 (figura 35, E6) el rango de temperatura estuvo entre 13 y 19.5° C, no se aprecia una termoclina bien definida y hay un descenso gradual de la temperatura desde los 30 hasta los 70 m. En el inicio de este descenso se ubica un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 2 mg m³ en los 33 m.

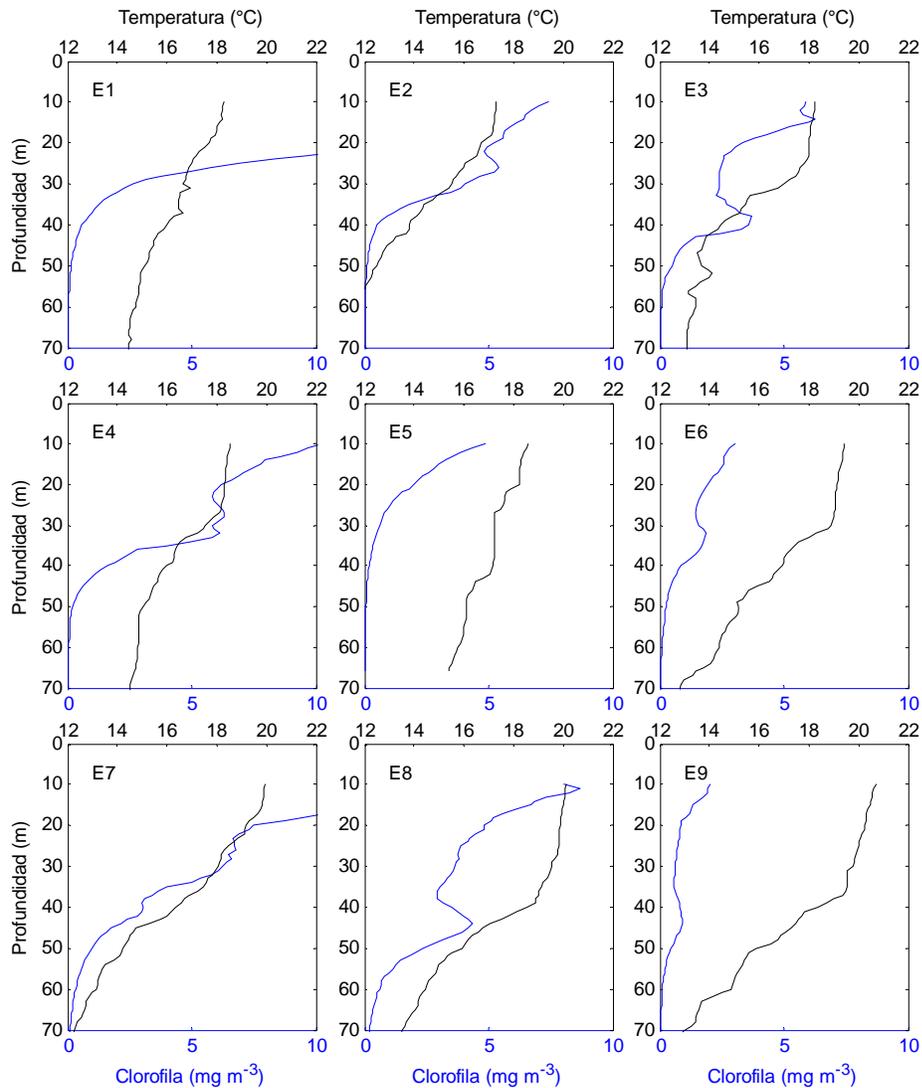


Figura 35. Estaciones de PNF para el crucero de otoño, en azul los perfiles de clorofila y en negro los perfiles de temperatura.

En la estación E7 (figura 35, E7) el rango de temperatura estuvo entre 12 y 20° C, no se aprecia una termoclina bien definida y hay un descenso gradual de la temperatura desde los 20 hasta los 70 m. En el inicio de este descenso se ubica un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 7 mg m³ en los 28 m.

En la estación E8 (figura 35, E8) el rango de temperatura estuvo entre 13.5 y 20° C, se aprecia una termoclina, relativamente bien definida, entre 40 y 50 m. En esta termoclina

se ubica un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 4.4 mg m^3 en los 45 m.

En la estación E9 (figura 35, E9) el rango de temperatura estuvo entre 13 y 21°C , no se aprecia una termoclina bien definida y hay un descenso escalonado de la temperatura entre 30 y 70 m. En general en esta estación los valores de clorofila fueron los más bajos de todos (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie), menores a 1 mg m^3 , hay un máximo de clorofila en los 43 m que coincide con un descenso de la temperatura.

Los resultados gráficos de los 9 lances de PNF para el crucero de primavera se muestran en la figura 36, las líneas negras representan los perfiles de temperatura, mientras que las líneas azules los perfiles de clorofila.

De acuerdo al PNF la temperatura para el crucero de primavera se ubicó entre 11 y 16°C , mientras que los valores de clorofila estuvieron entre 0 y 10 mg m^3 . Aunque los valores de clorofila para el PNF están limitados a profundidades mayores a 10 m, esto no fue suficiente para algunas estaciones, ya que se reflejó la influencia de la luz solar con valores muy altos de clorofila (figura 36, E4, E5, E6, E7 y E8).

Los perfiles obtenidos por el PNF en el crucero de primavera muestran que en esta época del año hay termoclinas bien definidas en la mayoría de las estaciones y que hay una clara relación entre el máximo de clorofila y la termoclina en algunas de ellas (figura 35, E1, E3 y E9).

En la estación E1 (figura 36, E1) el rango de temperatura estuvo entre 12.5 y 15.5°C , no se aprecia una termoclina definida, aunque la temperatura muestra un descenso de forma escalonada hasta los 45 m donde se incrementa nuevamente. Se nota un máximo de clorofila de 2.5 mg m^3 (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) en los 28 m, que está asociado con un descenso de la temperatura.

En la estación E2 (figura 36, E2) el rango de temperatura estuvo entre 13.5 y 15°C , se aprecia una termoclina claramente definida entre 45 y 55 m. Los valores de clorofila disminuyen continuamente desde la superficie hasta la termoclina, pero se nota un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 9 mg m^3 en los 17 m, que no está relacionado con la termoclina por ser muy superficial.

Entre 35 y 45 m se notan valores constantes de clorofila de 2.4 mg m^3 que coinciden con la termoclina.

En la estación E3 (figura 36, E3) el rango de temperatura estuvo entre 12.5 y 15.5°C , no se aprecia una termoclina claramente definida, más bien la temperatura desciende de forma escalonada a lo largo de todo el perfil, desde la superficie hasta los 50 m. Los valores de clorofila disminuyen continuamente, pero se nota claramente un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 7.6 mg m^3 en los 23 m. Este máximo de clorofila se relaciona con un descenso de la temperatura.

En la estación E4 (figura 36, E4) el rango de temperatura estuvo entre 11 y 14°C , se aprecia una termoclina claramente definida entre 15 y 25 m. Los valores de clorofila son muy elevados en la superficie y disminuyen rápidamente hacia el fondo, pero se nota claramente un máximo de clorofila (sin tomar en cuenta los valores altos asociados a la superficie) de 2 mg m^3 en los 35 m. Este máximo de clorofila no se relaciona con la termoclina.

En la estación E5 (figura 36, E5) el rango de temperatura estuvo entre 11 y 14°C , se aprecia una termoclina relativamente definida entre 25 y 50 m. Los valores de clorofila son muy elevados en la superficie y disminuyen rápidamente hacia el fondo, no se nota un máximo de clorofila.

En la estación E6 (figura 36, E6) el rango de temperatura estuvo entre 11 y 14°C , se aprecia una termoclina claramente definida entre 23 y 30 m. Los valores de clorofila son muy elevados en la superficie y disminuyen rápidamente hacia el fondo, no se nota un máximo de clorofila.

En la estación E7 (figura 36, E7) el rango de temperatura estuvo entre 12.5 y 14.5°C , no se aprecia una termoclina definida, más bien la temperatura desciende de forma escalonada a lo largo de todo el perfil, desde la superficie hasta los 45 m. Los valores de clorofila son muy elevados en la superficie y disminuyen rápidamente hacia el fondo, no se nota un máximo de clorofila.

En la estación E8 (figura 36, E8) el rango de temperatura estuvo entre 11 y 13°C , se aprecia una termoclina claramente definida entre 25 y 30 m. Los valores de clorofila son muy elevados en la superficie y disminuyen rápidamente hacia el fondo, no se nota un máximo de clorofila.

En la estación E9 (figura 36, E9) el rango de temperatura estuvo entre 11 y 16° C, se nota una termoclina claramente definida entre 25 y 35 m. Los valores de clorofila son elevados en la superficie y disminuyen hacia el fondo, se nota la presencia de un máximo de clorofila de 2 mg m³ en 30 m claramente asociado a la termoclina.

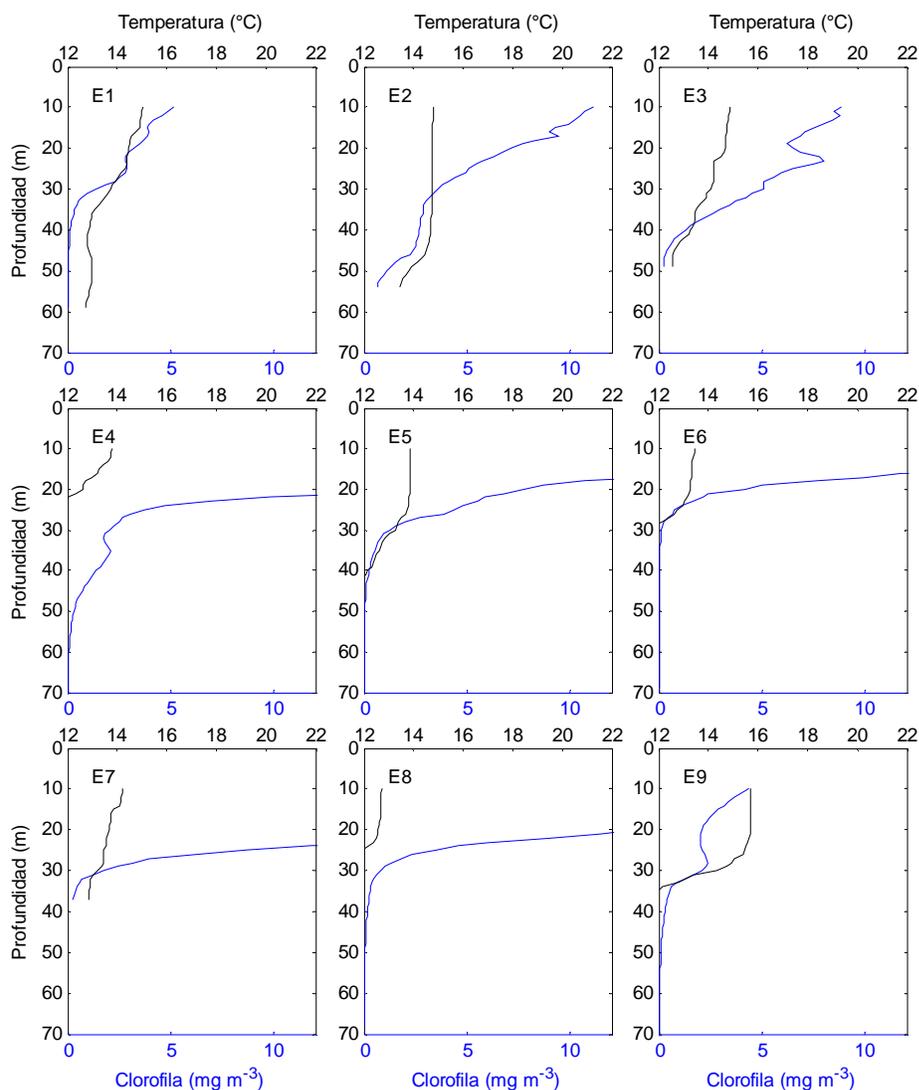


Figura 36. Estaciones de PNF para el crucero de primavera, en azul los perfiles de clorofila y en negro los perfiles de temperatura.

Los resultados de temperatura indican que en otoño (noviembre de 2005) no se encontraba una termoclina bien definida, más bien se observan gradientes a lo largo del perfil. En la mayoría de las estaciones (E1, E2, E3, E4 E6 E7 E8 y E9) el inicio de este gradiente se localiza entre 20 y 40 m y está ubicado entre 18 y 19 °C (figura 35).

En las estaciones sobre la plataforma continental (E6 a E9) el gradiente de temperatura es ligeramente más pronunciado que en las estaciones costeras (E1 a E5).

En lo que respecta a la primavera (marzo de 2006), excepto las estaciones E1 E3 y E7 todas las demás muestran claramente una termoclina. De estas últimas estaciones, en la estación E2 la termoclina inicia en los 40 m, mientras que en el resto (E4, E5, E6, E8 y E9) inicia a partir de los 20 m, es decir es somera (figura 36). No se aprecia diferencia en el comportamiento entre las estaciones costeras y las que se ubican sobre la plataforma continental.

Los rangos de temperatura en los perfiles para los cruceros, son de 12 a 22 °C para el de otoño y de 11 a 16 °C para el de primavera. Confirman que en cada crucero había masas de agua de diferentes características, principalmente ASE en otoño y ACC en primavera, de acuerdo con los datos de CTD.

En lo que respecta a los datos de los perfiles de clorofila del PNF los datos fueron de mejor calidad para el crucero de otoño, los valores se localizaron entre 0 y 8 mg m³, pero si sólo consideramos los valores del máximo de clorofila estos se ubican en los 6 mg m³, estaciones E3 y E4 (costeras en el norte) y E7 (sobre la plataforma continental). No hay diferencia entre las estaciones costeras y las ubicadas sobre la plataforma continental.

Para el crucero de primavera los valores se localizaron entre 0 y 10 mg m³ con máximo de clorofila de 8 mg m³ en la estación E3. Desafortunadamente los datos de las estaciones E4 a E8 no fueron de calidad y no se puede hacer una interpretación adecuada.

En términos generales los datos de PNF fueron útiles para determinar que en crucero de invierno (de primavera) los máximos de clorofila están muy ligados a la termoclina, capa que en este crucero estuvo mejor definida que en el crucero de otoño (de otoño).

Nutrientes

Crucero de otoño.

Los resultados de NO₂ para el crucero de otoño se muestran en la tabla10, el valor mínimo de superficie se ubicó en la estación E1, el del máximo de clorofila en la estación E2 y el del 1% en la estación E7. Los valores máximos se localizaron en las estaciones E2, E1 y E5 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 10. Concentraciones de NO₂ por estación en el crucero de otoño.

	Sup	Max	1%
E1	0.01	0.23	0.19
E2	0.01	0.01	0.12
E3	0.06	0.06	0.10
E4	0.03	0.23	0.04
E5	0.03	0.03	0.49
E6	0.01	0.03	0.16
E7	0.01	0.02	0.04
E8	0.03	0.02	0.09
E9	0.02	0.01	0.06

Los valores de NO₂ aumentan, en términos generales, después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz, excepto en las estaciones E1 y E4. Estas estaciones están ubicadas en la costa norte alrededor de los 27 °N, entre ambas se localiza la estación E5 que presenta los valores máximos de NO₂, también es la estación más cercana a la costa y la somera más. Las estaciones costeras al norte (E1 a E5) presentaron valores mayores a los 0.1 µM, mientras que las que se localizan sobre la plataforma continental no sobrepasaron este valor, además no se notó un aumento destacable entre el máximo de clorofila y el 1% de luz.

Los valores de NO₃ se muestran en la tabla11, el valor mínimo de superficie se ubicó en la estación E2, el del máximo de clorofila en la estación E6 y el del 1% en la

estación E8. Mientras que los valores máximos se localizaron en las estaciones E7, E7 y E3 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 11. Concentraciones de de NO₃ por estación en el crucero de otoño.

	Sup	Max	1%
E1	0.308	0.924	6.741
E2	0.363	1.252	10.141
E3	1.60	1.56	12.71
E4	0.73	1.96	8.20
E5	1.27	1.98	4.96
E6	0.36	0.37	8.53
E7	4.45	2.14	12.88
E8	0.13	0.56	3.03
E9	2.63	1.42	9.64

Los datos de NO₃ aumentan después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz, indicando la presencia de una nutriclina bien definida. La estación E5, la más somera y costera fue la única en donde no se notó la nutriclina, a pesar de ello los valores de NO₃ fueron en aumento desde la superficie hasta el fondo. Tampoco se nota un comportamiento diferente entre las estaciones costeras del norte (E1 a E5) y las ubicadas sobre la plataforma continental (E6 a E9). En términos generales todas las estaciones presentan un comportamiento similar.

Los valores de PO₄ muestran que el valor mínimo de superficie se ubicó en la estación E9, el del máximo de clorofila en la estación E7 y el del 1% en la estación E4. Mientras que los valores máximos se localizaron en las estaciones E1, E4 y E3 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 12. Concentraciones de de PO₄ por estación en el crucero de otoño.

	Sup	Max	1%
E1	0.50	0.54	1.12
E2	0.37	0.38	1.13
E3	0.33	0.45	1.76
E4	0.39	0.58	0.13
E5	0.36	0.45	0.80
E6	0.38	0.39	1.00
E7	0.35	0.37	1.43
E8	0.35	0.49	0.53
E9	0.32	0.42	1.11

Los valores de PO₄ muestran, en términos generales, un aumento después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz, indicando la presencia de una nutriclina bien definida, excepto en la estación E5, la más costera y somera. Esta estación fue la única en donde los valores disminuyeron a partir del máximo de clorofila. Además de la estación E5, la E8 tampoco presentó una nutriclina bien definida, a pesar de ellos los valores de PO₄ fueron en aumento desde la superficie hasta el fondo. No se nota un comportamiento diferente entre las estaciones costeras del norte (E1 a E5) y las ubicadas sobre la plataforma continental (E6 a E9).

Crucero de primavera.

Los resultados de NO₂ se muestran en la tabla 13, el valor mínimo de superficie se ubicó en la estación E9, el del máximo de clorofila en la estación E2 y el 1% de luz en la estación E9. Mientras que los valores máximos se localizaron en las estaciones E8, E4 y E3 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 13. Concentraciones de NO₂ por estación en el crucero de primavera.

	Sup	Max	1%
E1	0.01	0.05	0.45
E2	0.02	0.18	0.15
E3	0.03	0.09	0.21
E4	0.16	0.33	0.27
E5	0.02	0.01	0.17
E6	0.03	0.24	0.15
E7	0.01	0.07	0.27
E8	0.21	0.18	0.26
E9	0.01	0.10	0.11

Los datos de NO₂ muestran que no hay un patrón en el comportamiento de los valores a lo largo de la columna de agua. Hay estaciones en donde los valores aumentan después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz (E1, E3, E5, E7 y E8) y otras en donde disminuyen entre el máximo de clorofila y el 1% de luz (E2, E4, E6 y E9). Tampoco se nota un comportamiento diferente entre las estaciones costeras al norte (E1 a E5) y las que se localizan sobre la plataforma continental (E6 a E9).

Los datos de NO₃ se muestran en la tabla 13, los valores del mínimo de superficie y el del máximo de clorofila se ubicaron en la estación E1 y el del 1% de luz en la estación E6. Mientras que los valores máximos se localizaron en las estaciones E8, E6 y E4 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 14. Concentraciones de NO₃ por estación en el crucero de primavera.

	Sup	Max	1%
E1	0.01	0.66	10.92
E2	0.29	0.61	6.04
E3	0.48	1.14	10.05
E4	2.42	7.34	15.87
E5	1.32	0.78	6.21
E6	1.11	7.92	14.03
E7	1.54	0.91	9.38
E8	4.53	3.98	13.78
E9	0.72	1.48	12.46

Los datos de NO₃ muestran un aumento en los valores después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz, indicando la presencia de una nutriclina. Las estaciones E5 y E7 mostraron un descenso en los niveles de NO₃ entre la superficie y el máximo de clorofila, situación que se revirtió entre el máximo de clorofila y el 1% de luz. No se nota un comportamiento diferente entre las estaciones costeras del norte (E1 a E5) y las ubicadas sobre la plataforma continental (E6 a E9). En términos generales todas las estaciones presentan un comportamiento similar.

Los resultados de PO₄ para el crucero de primavera se muestran en la tabla15, el valor mínimo de superficie y el del máximo de clorofila se localizaron en la estación E2 y el del 1% de luz en la estación E4. Mientras que los valores máximos se localizaron en las estaciones E8, E6 y E1 para superficie, máximo de clorofila y 1% de luz respectivamente.

Tabla 15. Concentraciones de PO₄ por estación en el crucero de primavera.

	Sup	Max	1%
E1	0.379	0.412	2.050
E2	0.002	0.241	0.839

E3	0.382	0.427	1.036
E4	0.636	1.113	1.739
E5	0.188	0.173	0.708
E6	0.326	1.234	1.669
E7	0.325	0.471	0.983
E8	0.641	0.736	1.441
E9	0.320	0.458	1.219

Los datos de PO_4 para el crucero de primavera muestran claramente que los valores aumentan después del máximo de clorofila y hasta el 1% de luz, indicando una nutriclina. El comportamiento de los valores es similar en todas las estaciones excepto en la E2 y la E7. En la estación E5, la más somera y costera fue la única en donde no se nota una nutriclina bien definida, aunque los valores fueron en aumento desde la superficie hasta el 1% de luz. No se nota un comportamiento diferente entre las estaciones costeras del norte (E1 a E5) y las ubicadas sobre la plataforma continental (E6 a E9).

Si consideramos los valores de los nutrientes en la profundidad del máximo de clorofila, los resultados muestran que hubo una mayor concentración de estos en el crucero de primavera en comparación con el de otoño y que la zona en donde se encuentran las mayores concentraciones está ubicada en las estaciones costeras en la zona norte, entre 25.75 y 27.75 °N.

Los niveles de NO_2 fueron inferiores en el crucero de otoño, con media de 0.08 μM y máximo de 0.23 μM , a los del de primavera con media de 0.16 μM y máximo de 0.33 μM . En otoño los valores sólo estuvieron por encima de los 0.05 μM al norte de los 27 °N mientras que en primavera todas las estaciones estuvieron por encima de este valor. Así mismo en otoño solo 2 estaciones al norte de los 27 °N presentaron valores superiores a los 0.2 μM .

Al igual que los NO_2 , los niveles de NO_3 fueron inferiores en el crucero de otoño, con media de 1.35 μM y máximo de 2.14 μM , a los de primavera con media de 2.76 μM y máximo de 7.92 μM . En otoño los valores estuvieron entre 0.92 y 2.14 μM excepto para

2 estaciones con valores menores ubicadas al sur de los 26.5 °N, mientras que en primavera no hubo un comportamiento definido respecto a la latitud con 4 estaciones con valores por encima de 1 μM entre 25.5 y 27.5 °N, tanto al sur como al norte hubo estaciones con valores menores.

Al igual que los NO_2 y los NO_3 , los niveles de PO_4 fueron inferiores en el crucero de otoño, con media de 0.45 μM y máximo de 0.58 μM , a los de primavera con media de 0.58 μM y máximo de 1.23 μM . En otoño el rango de valores fue de 0.35 a 0.60 μM con 4 estaciones con valores sobre los 0.4 μM al norte de los 27 °N, mientras que en primavera no hubo un comportamiento definido respecto a la latitud con estaciones con valores por encima de 0.5 μM tanto al sur como al norte.

Todo lo anterior consistente con lo que se espera en una zona de surgencias, donde los valores de nutrientes son mayores en primavera en comparación con el otoño.

VIII Discusión

El Golfo de Ulloa se comportó como un sistema influenciado por surgencias estacionales y una corriente de frontera oriental. Las imágenes de Cla muestran la presencia de valores altos (mayores a 10 mg m^{-3}) desde marzo hasta julio (figuras 4, 5 y 6) y esto coincide con la época en que la TSM presenta valores por debajo de los $18 \text{ }^\circ\text{C}$. También es cierto que el rotacional cerca de la costa durante esta época (figuras 18, 19 y 20). En estos meses también hay mayor disponibilidad de luz según los datos de irradiancia diaria (datos no mostrados), siendo un factor indispensable para el desarrollo del fitoplancton. Los valores máximos de Cla fueron de 17 mg m^{-3} , esto en junio de 2005 y 2006, estos valores son superiores a los reportados por Zuria-Jordan *et al.* (1995) quienes reportaron concentraciones de 7 mg m^{-3} para verano. Los valores máximos de Cla para los tres años coinciden con la época de surgencias, el incremento en la irradiancia y con la presencia de la corriente hacia el polo. También es claro que la disminución de Cla a partir del mes de septiembre coincide con la llegada de la corriente hacia el polo de características tropicales con temperatura superior a los $28 \text{ }^\circ\text{C}$, una mayor estratificación en la columna de agua y una disminución en la concentración de nutrientes. La Cla permite apreciar una marcada estacionalidad con altos valores en primavera – verano, disminución en el otoño y un mínimo en invierno.

Es claro que 2004 fue el año que presentó los valores más bajos de Cla, y 2006 el que presentó los más altos. Estos resultados están acordes con los obtenidos por Gaxiola-Castro *et al.* (2008), quienes al estudiar las anomalías de clorofila-a frente a Baja California entre 2001 y 2007 encontraron que un incremento en el periodo cálido de la oscilación decadal del Pacífico (ODP) coincidió con las anomalías negativas de clorofila-a de 2003 hasta el verano de 2006. Estos autores sugieren, además, que las anomalías negativas de clorofila-a están acopladas a la fase cálida de la ODP

En las imágenes de Cla destaca otra característica, el que la Cla se distribuya y acumule a lo largo de todo el Golfo de Ulloa, donde se presentaron las máximas concentraciones, y no solamente en las regiones principales de surgencias (Zaytsev *et al.* 2003) al norte entre Punta Eugenia y Punta Abreojos y al sur en Cabo San Lazaro afuera de Bahía Magdalena. Por su parte, Martínez-López (1993) y Hernández-Trujillo *et al.* (1987) sugieren que este efecto de acumulación en la región costera es inducido

por el transporte y la convergencia de las corrientes, lo que contribuye a incrementar la biomasa de fitoplancton posterior al periodo de intensas surgencias.

De las imágenes de TSM destacaron dos hechos, que la temperatura superficial es influenciada por las surgencias y las corrientes costeras. Las surgencias se distinguieron claramente y con mayor intensidad entre febrero y junio, acorde a lo reportado por Parker (1996), Lluch-Belda (2000) y Zaytsev *et al.* (2003), sin embargo, estos mismo autores reportan surgencias no tan intensas entre octubre y noviembre. Estas últimas no pudieron apreciarse en las imágenes mensuales de TSM, quizás esta escala no es la adecuada ya que la permanencia de las surgencias en esta época queda enmascarada en el promedio mensual. En la escala temporal, en 2006 se notó una mayor intensidad de las surgencias en comparación con 2004 y 2005 (figuras 7, 8 y 9).

Por su parte, las corrientes identificadas de acuerdo a la TSM son dos flujos costeros, uno hacia el ecuador que enfría la zona entre febrero y junio ($< 20^{\circ}\text{C}$) y otro hacia el polo que calienta la zona entre agosto y diciembre ($>20^{\circ}\text{C}$). La presencia de las corrientes costeras se nota entre los meses de enero a julio para la que fluye hacia el ecuador, asociada a la Corriente de California, y la que fluye hacia el polo (contracorriente) está presente en el Golfo de Ulloa entre agosto y noviembre (figuras 7, 8 y 9). Estas corrientes coinciden con las reportados por Goericke *et al.* (2004), Goericke *et al.* (2005), Peterson *et al.* (2006), Goericke *et al.* (2007) para la zona durante el periodo de estudio (2004-2006).

Por su parte, el rotacional del esfuerzo del viento (Rot) resultó ser una variable más robusta que los índices de surgencia costera (analizados pero no incluidos en el presente trabajo) al considerar el transporte vertical. El Rot fue claramente positivo y homogéneo en los meses de marzo a agosto de los tres años (figuras 18, 19 y 20), esto coincide con los meses (marzo a junio) de máximos valores de Cla (figuras 4, 5 y 6) y con las temperaturas superficiales más bajas (identificadas previamente en las imágenes de TSM). Lo anterior confirma que hay un acoplamiento estrecho entre el transporte vertical (surgencia) y el desarrollo de altos valores de Cla en primavera - verano. Esto último confirma lo reportado por otros autores (Hernández-Rivas, *et al.*

2000; Lluch-Belda, 2000) en el sentido que las surgencias son el principal mecanismo para los altos valores de Cla en la zona.

Las imágenes de Rot también muestran valores positivos, consistentes con surgencias, aunque no tan intensas en octubre y noviembre (figuras 18, 19 y 20). Estas surgencias en otoño ya han sido reportadas por Parker (1996) y Zaytsev *et al.* (2003), así como por el Pacific Fisheries Environment Laboratory (<http://www.pfeg.noaa.gov/>). Cabe hacer notar que estas surgencias de otoño no se pudieron percibir en las imágenes de TSM (figuras 7,8 y 9), es posible que hayan sido enmascaradas por la escala manejada en dichas imágenes.

Al comparar las imágenes de octubre y noviembre de Cla y Rot no se aprecia un aumento tan significativo en la Cla, los valores máximos alcanzaron 2 y 3 mg m⁻³. Este aumento en la Cla en otoño parece indicar que las surgencias en esta época son más débiles. Esto último se ve confirmado por los niveles de los nutrientes obtenidos de los cruceros, las medias de las muestras, tanto NO₂, NO₃ y PO₄ fueron mayores en el crucero de primavera (surgencias intensas) al de otoño (surgencias moderadas), esto para los tres niveles de muestreo, superficie, máximo de clorofila y 1% de luz. Gaxiola-Castro *et al.* (2008) encontraron que las surgencias fueron menos intensas en 2004 y 2005 en comparación con 2006, esto debido a la fase cálida de la ODP, aunque esto no se apreció en este trabajo de acuerdo a la serie de tiempo del Rot (figura 30).

En lo que respecta a las corrientes geostroficadas (Geo) las imágenes (figuras 21, 22 y 23) muestran patrones bien definidos de dos flujos costeros, uno hacia el ecuador entre febrero y julio y otro hacia el polo entre agosto y noviembre. Estos flujos coinciden con los reportados por Goericke *et al.* (2004), Goericke *et al.* (2005), Peterson *et al.* (2006), Goericke *et al.* (2007) derivados del programa IMECOCAL para el mismo periodo. La presencia del flujo hacia el polo se puede asociar claramente a la Corriente de California y se hace presente en el GU por dos vías, una por el oeste y otra por el norte de forma costera. La CC está claramente presente y puede estar asociada a los valores máximos de Cla observados y, por el contrario, la presencia del flujo hacia el polo está asociada con una disminución y/o ausencia de valores altos (mayores a 3 mg m⁻³ de Cla). Esto último sugiere que la presencia de aguas con características tropicales, con temperaturas mayores a 28 °C presentan condiciones que pueden limitar el desarrollo

del fitoplancton. Además de los dos flujos de corrientes costeras, las imágenes de Geo mostraron la presencia de estructuras de mesoescala, por ejemplo en los meses de agosto a septiembre de 2006 (figura 23) se nota claramente un giro ciclónico, que no estuvo presente en 2004 y 2005. Estas estructuras de mesoescala al parecer favorecen altos valores de Cla al proporcionar condiciones de retención de nutrientes que le permiten al fitoplancton desarrollarse por más tiempo. Esto se desprende de los altos valores de Cla observados mar afuera precisamente sobre frentes, meandros y/o brazos de remolinos, por ejemplo en junio de 2004 (figura 6, 06).

Estas estructuras proporcionan condiciones adecuadas al transportar y concentrar aguas frías y ricas en nutrientes afuera de la zona costera que son aprovechadas por el fitoplancton.

En lo que respecta a la PPN, los meses con los valores más altos de PPN son de febrero a julio, acorde con los datos de clorofila, los días de mayor luz en el año, con la época de surgencias y con la presencia de la corriente hacia el ecuador. La PPN se localiza a lo largo de toda la zona costera del GU, siguiendo la distribución observada en la Cla. En la escala temporal, la PPN siguió el mismo patrón que la Cla, siendo el 2006 el año con más PPN en comparación de 2004 y 2005.

Los resultados del modelo PPN no fueron comparados con valores de campo, pero respecto a otros modelos que usan datos de telemetría el comportamiento fue similar (figura 16), principalmente al de Eppley.

Para analizar la sensibilidad del modelo con los principales parámetros que lo alimentan, la Cla, CM y TSM (a través del Pb opt) se hizo una prueba de correlación entre cada una de estas variables y la PPN resultante. De acuerdo a los resultados la Cla es la más correlacionada con un valor de 0.62 seguida de la CM con 0.59 y finalmente de la TSM con 0.57. El que la Cla haya tenido la mayor correlación era de esperarse, ya que es el parámetro base del modelo, sin embargo fue interesante que la CM estuviera en segundo lugar, antes que la TSM, esto sugiere que la utilización de CM tuvo un efecto importante en el modelo.

El que la TSM haya mostrado una correlación por debajo de la CM fue sorprendente ya que este parámetro es el que está involucrado de manera importante en la fisiología del fitoplancton debido a que el Pb opt depende de ella. Suponemos que el Pb opt del

fitoplancton de la región a temperaturas mayores de 29 °C puede tener un efecto adverso en la PPN por ser especies de régimen templado y con aguas con menores concentraciones de nutrientes y sobresaturación de luz cerca de la superficie, condiciones presentes hacia el final del verano. Estas condiciones son extremas para el fitoplancton y no le permiten una aclimatación adecuada. Aunado a lo anterior, también se presenta el relajamiento de las surgencias y la presencia de agua con características tropicales (con cantidades escasas de nutrientes), lo que provoca que las estimaciones de PPN disminuyan.

Por su parte los valores de CM fueron muy bajos en primavera - verano, incluso por debajo de los 10 m, pero aún así los valores de PPN fueron suficientemente elevados en esta época para ser los máximos del año. Esto sugiere que con condiciones adecuadas de Cla, luz y nutrientes, requieren de ciertas condiciones de estabilidad y que por lo tanto no se requiere de un valor elevado de CM para obtener altos valores de PPN.

Con la finalidad de ver de forma particular el comportamiento de cada una de estas variables en comparación con la PPN, se generaron las series correspondientes que se muestran en la figura 37. Para evitar los problemas de escala, los valores de las variables están referidos a su valor medio a lo largo del período, que ahora es cero, donde los valores positivos y negativos indican solamente valores por debajo o sobre la media (anomalías positivas o negativas en el periodo). La escala en el eje vertical no se muestra para evitar confusión.

En la figura 37 (A) se muestran los valores de la PPN y Cla a lo largo del periodo, se aprecia claramente la relación entre ambas, hecho que está implícito en la teoría del modelo. Un aspecto importante es que las anomalías positivas de Cla no son tan diferentes en los tres años, pero en 2004 y 2005 no se tienen los niveles de PPN de 2006. Esto confirma que además de la Cla hay otros factores que determinan los altos niveles de PPN, estos factores pueden estar ligados al Pb opt por medio de la temperatura y/o a la disponibilidad de nutrientes.

En la figura 37 (B) se muestra la relación entre la PPN y la CM, los valores más altos de PPN no coinciden con los máximos valores de CM, lo que es lógico ya que una capa de mezcla muy profunda puede llevar al fitoplancton temporalmente fuera de la zona

eufónica. También se nota que el inicio en el aumento de los valores de PPN coincide con una disminución de la CM, es decir que hay estratificación. Al disminuir la profundidad de la capa de mezcla los nutrientes están en mayor disponibilidad cerca de la superficie en donde pueden ser aprovechados por el fitoplancton, sin embargo, posteriormente pueden ser un factor limitante.

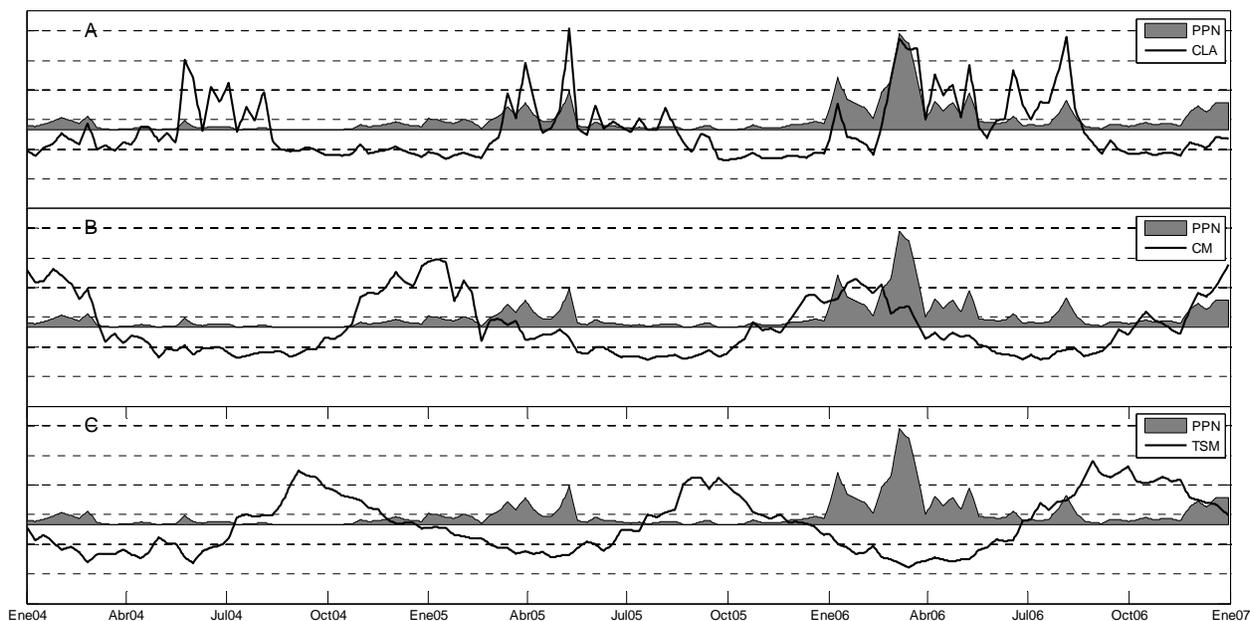


Figura 37. Comparación de la Cla, TSM y CM respecto a la PPN.

En la figura 37 (C) se muestra la relación entre la PPN y la TSM. Se nota claramente que existe una relación inversa entre estas dos variables, los altos valores de PPN ocurren cuando la temperatura es menor a su valor medio. En 2004 y 2005 los valores máximos de PPN son inferiores a los de 2006 por casi el doble, pero no se percibe ningún comportamiento diferente o anómalo de la TSM que sugiera que esta variable influye en los altos valores de PPN en este año. Un aspecto importante a destacar es que las anomalías negativas de TSM se presentaron invariablemente entre abril y julio cuando están presentes las surgencias de primavera verano y la CC, pero esto no se presentó en otoño cuando se presenta la segunda época de surgencias y está presente la corriente hacia el polo.

Con la finalidad de ver la posible relación de factores externos (no incluidos en los parámetros del modelo) con la PPN se hizo un análisis de los factores que presentaron la correlación más alta con la PPN. Estos factores fueron el K_{490} , el Rot y la Geo, con

correlaciones de 0.49, 0.48 y 0.47 respectivamente. En la figura 38 se muestra el resultado de la comparación de estos tres factores con la PPN.

Como el K_{490} puede relacionarse directamente a la turbidez del agua, altos valores de esta variable pueden asociarse a altas concentraciones de clorofila, lo que impactaría en mayores valores de PPN. En la figura (figura 38, A) anomalías positivas de K_{490} no se reflejan directamente en mayores valores de PPN, principalmente entre mayo y agosto de 2004 cuando estos fueron los más altos. Sin embargo, en 2005 hay una clara relación entre valores altos de K_{490} y los picos positivos de PPN entre marzo y mayo, mientras que entre mayo y agosto hubo valores positivos que K_{490} que no se reflejaron en la PPN. En 2006 se presentaron los valores más altos de PPN de todo el periodo entre marzo y abril, pero los valores de K_{490} no fueron sustancialmente mayores en comparación de los de 2004 y 2005. A pesar de esto se observa una similitud entre el comportamiento de las series de tiempo de del K_{490} y de la PPN a lo largo del periodo. Es decir, el comportamiento del K_{490} fue errático comparado con el de la PPN, sin mostrar una relación directa con la PPN.

Por otro lado, la Geo mostró una clara relación con la PPN (figura 38, B), los máximos valores de PPN a lo largo de todo el periodo siempre estuvieron ligados a corrientes con dirección sur (valores negativos), esto es un fuerte indicio de que la advección producida por la Corriente de California influye de manera significativa en los altos valores de PPN en esta zona, aspecto señalado por Del Monte-Luna (2004).

En la (figura 38, C) se presenta el comportamiento del esfuerzo del Rot contra la PPN. El Rot resultó ser un factor más ligado a la PPN que el ISC al tener un periodo anual, resultado interesante si consideramos que se ha señalado a las surgencias costeras como el principal factor de enriquecimiento que influye en la PPN en el GU (Hernández-Rivas, *et al.* 2000; Lluch-Belda 2000). A pesar de esto, el Rot resultó ser un factor muy variable y por eso mismo presenta oscilaciones constantes que a simple vista no tienen una relación estrecha entre este y la PPN. Sin embargo en los resultados de series de tiempo, claramente el Rot tiene un periodo anual similar al de la PPN.

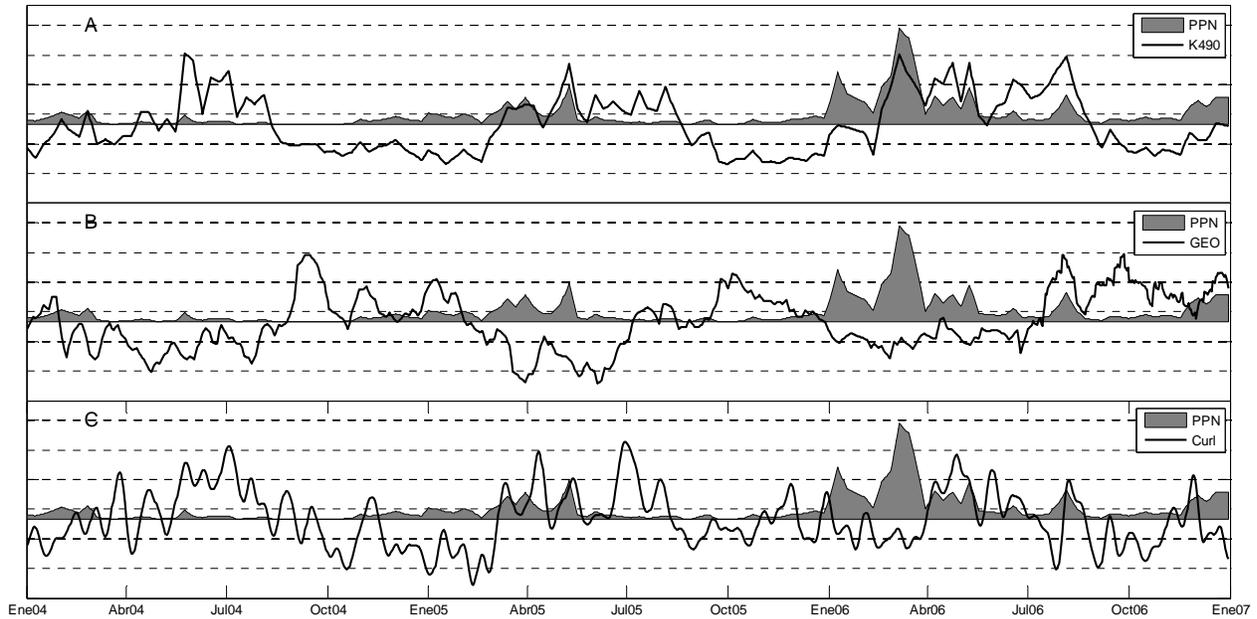


Figura 38. Comparación del K_{490} , Rot y Geo respecto a la PPN.

Geo y PPN

Para ver más de cerca la relación entre la geostrofia y la PPN en la figura 39 se muestran las corrientes geostroficas superpuestas en la producción primaria neta. Los vectores de Geo muestran que de marzo a julio hay un flujo a lo largo de la costa con dirección hacia el ecuador. En estos mismos meses se presentan los valores máximos de PPN. En agosto se presenta una transición en la circulación, se nota la presencia de un flujo con dirección hacia el polo que arriba a la zona desde Bahía Magdalena. La presencia de este flujo viene acompañada con una disminución en los valores de PPN en la parte sur del Golfo de Ulloa. En septiembre el flujo está bien establecido en todo el Golfo y los valores de PPN son más bajos que los meses anteriores, misma situación que ocurre en octubre y noviembre donde los valores de PPN son prácticamente nulos. Para diciembre la PPN comienza a incrementarse al norte del Golfo de Ulloa, dentro de Bahía Vizcaino, la presencia de un remolino ciclónico a lo largo de todo el Golfo provoca que la advección genere un aumento en la PPN hacia afuera de la costa.

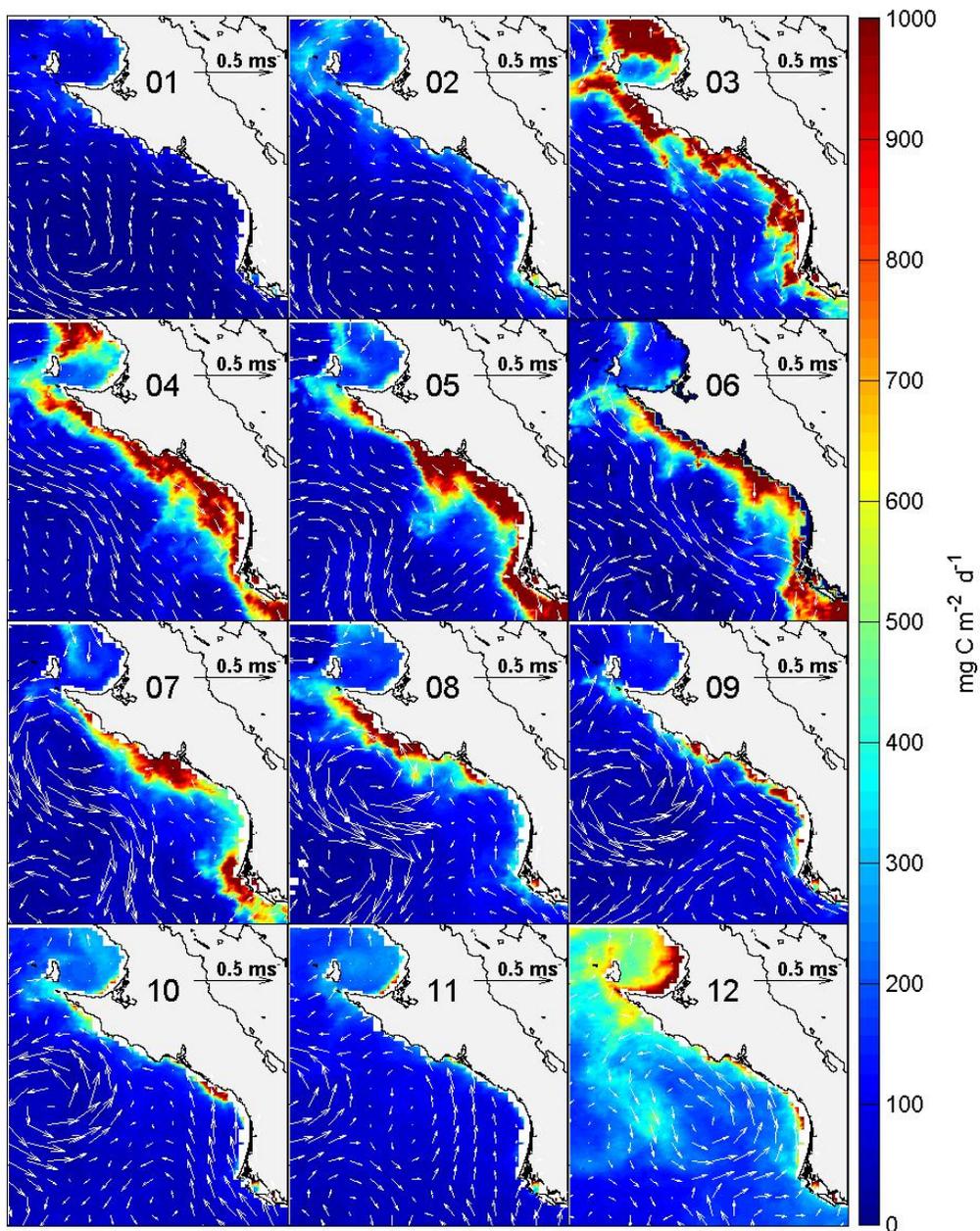


Figura 39. Corrientes geostróficas y producción primaria neta. 2006. Las flechas blancas indican la dirección y velocidad de las corrientes superficiales, la escala de colores indica el nivel de PPN.

Series de tiempo.

Las series de tiempo de las variables pudieron ser reconstruidas con cuatro componentes armónicos. Los resultados de estos componentes armónicos muestran cuales son las variables que tienen periodos similares, lo que nos da una idea de las pueden tener una mayor relación y/o influencia en la PPN. En la tabla16 se muestra un resumen del primer componente armónico de las variables con periodo anual, similar al más importante de la PPN. Como la TSM y la Geo son inversamente favorables a la PPN sus fases se calcularon nuevamente con signo contrario para ubicarlas correctamente, los nuevos valores se presentan en la tabla16.

Tabla 16. Resumen de los parámetros del primer componente armónico del descenso cíclico para las variables con periodo anual con fases calculadas nuevamente para la TSM y Geo.

	Periodo (en días)	Amplitud	Fase (en días)
PPN	376	10.46	47
Cla	348	0.420	-72
TSM	364	3.810	0
CM	372	19.96	89
K₄₉₀	352	0.03	-74
Geo	364	3.81	-41
Rot	344	0.16	-88

Además del periodo, otro factor importante a considerar es la fase presente en cada uno de los componentes armónicos ya que nos indica la diferencia del inicio de las series. Las posiciones del inicio de los ciclos en el tiempo muestran la ubicación casi simultánea en el tiempo del K₄₉₀ y Cla. Es importante hacer notar que excepto la CM todas las otras variables son anteriores al inicio del ciclo de la PPN.

Lo anterior indica claramente que los ciclos de Rot, TSM y Cla inician antes que el de PPN, esto sugiere que la secuencia para que ocurra una surgencia es la siguiente, primero un inicio en el patrón de vientos favorable (paralelo a la costa) seguido de un descenso en la temperatura superficial del mar. Si a estos dos factores le agregamos la presencia de Cla, entonces tendremos las condiciones adecuadas para el desarrollo de altos niveles de PPN.

Cruceros.

CTD

Los resultados del diagrama TS obtenido por medio del CTD (figura 33) muestran que en el crucero de otoño se encontraban en la zona aguas de tres tipos, ASE, ASsST y ACC, mientras que para el crucero de primavera se encontró principalmente ACC (Torres-Orozco, 1993). Estos resultados están acordes a los observados por el programa IMECOCAL (Peterson, *et al.* 2006). Este programa llevó a cabo cruceros en octubre de 2005 y enero de 2006, que son los más cercanos a los de este trabajo. En el crucero de octubre de 2005 el núcleo de la CC ya no estaba presente al sur de Punta Eugenia en comparación con los cruceros de IMECOCAL de abril y julio de 2005 (Peterson, *et al.* 2006) y de abril de 2004 al ser desplazado el núcleo por aguas de origen ecuatorial con salinidades mayores a 35 ppm (Goericke *et al.* 2004). Para el crucero de enero de 2006 el reporte indica que la CC era fuerte y estaba bien definida al sur de Punta Eugenia (Peterson, *et al.* 2006), en comparación con el crucero de enero 2004 donde el núcleo de la CC estaba disperso debido a la presencia de meandros (Goericke *et al.* 2004) y en enero de 2005 donde el núcleo de la CC se percibe de forma débil (Goericke *et al.* 2005).

Tanto los datos del diagrama TS (figura 33) como los reportes del programa IMECOCAL indican que en el invierno (enero a marzo) es común encontrar la presencia de la CC así como la presencia de una corriente hacia el polo con características tropicales en el otoño (octubre a diciembre).

PNF

Los perfiles de temperatura y clorofila estimados por medio del perfilador de fluorescencia natural indican claramente en los dos cruceros que en la mayoría de las estaciones donde está presente una termoclina existe un máximo de clorofila asociado a ésta. También es claro que el crucero de primavera presenta valores mayores de concentración de clorofila que el crucero de otoño, situación que está acorde con las surgencias observadas en esta época en las imágenes de satélite.

Nutrientes

Por su parte los datos de nutrientes, aunque escasos, confirmaron que en el crucero de otoño las concentraciones de NO₃, NO₂ y PO₄ fueron menores a los observados en el

crucero de primavera. También mostraron, en términos generales, que las concentraciones aumentan ligeramente de la superficie hacia la una nutriclina, a partir de ésta las concentraciones aumentan rápidamente hacia el fondo.

Los valores en las concentraciones de los nutrientes inorgánicos confirman que la advección producida por la CC es necesaria para incrementar los valores de PPN en el GU.

IX Conclusiones

Los mapas mensuales de temperatura superficial del mar identificaron claramente la época de surgencias en primavera – verano, también mostraron la presencia de 2 corrientes costeras presentes en la zona. Una con dirección hacia el ecuador presente entre marzo y julio, la otra con dirección hacia el polo entre agosto y noviembre.

Las imágenes de clorofila-a mostraron que las concentraciones fueron mayores en los meses de primavera – verano, hecho que coincide con las surgencias y la presencia de la corriente hacia el ecuador observada en las imágenes de temperatura superficial y en los mapas de corrientes geostroficas.

La profundidad de la capa de mezcla fue de alrededor de 10 m en los meses de primavera – verano que es cuando se presentan las mayores concentraciones de clorofila-a. Esto favorece el desarrollo del fitoplancton al proporcionar en una capa somera las condiciones adecuadas para su desarrollo.

Los mapas del rotacional mostraron que hay dos épocas de surgencia, una en primavera – verano y otra en otoño. La primera con valores de transporte vertical mayores que la segunda. Las surgencias de primavera – verano ya habían sido notadas en las imágenes de temperatura superficial del mar, no así las de la segunda época. Estas últimas surgencias no favorecieron el desarrollo del fitoplancton ya que las concentraciones observados en los mapas de clorofila-a para esos meses no se incrementaron sustancialmente en comparación de las de primavera – verano.

Respecto a las corrientes geostroficas, se identificaron dos flujos presentes en la zona, uno de características polares presente de febrero a julio con dirección hacia el ecuador y otro con características tropicales entre agosto y noviembre con dirección hacia el polo. Estos dos flujos ya se habían notado indirectamente en las imágenes de temperatura superficial. El primer flujo, hacia el ecuador, se identifica claramente como la corriente de california y entra a la zona por dos vías, una por el norte y otra por el oeste. La presencia de este flujo coincide con las máximas concentraciones de clorofila-a. Por su parte el flujo hacia el polo coincide con los meses en donde se presentan los valores de concentraciones más bajos de clorofila-a.

La modificación propuesta al modelo de Behrenfeld y Falkowski (1997a) de sustituir la profundidad de la zona eufótica por la de la profundidad de la capa de mezcla mejora la

resolución y/o definición de la producción primaria neta en la zona costera. De la comparación del modelo modificado respecto con el original, el de Eppley y el de carbono, el modelo modificado responde con una mejor definición en la zona costera. El uso de la estimación de la capa mezcla por medio de un modelo hidrodinámico de alta resolución tiene la ventaja de definir con mayor claridad las zonas de producción a lo largo de la costa.

A pesar de que la principal zona de surgencias se localiza al norte del Golfo de Ulloa, el análisis comparativo de zonas mostró que la más productiva es la parte central del Golfo, situación claramente observada en las imágenes de los mapas mensuales de clorofila-*a* y producción. Este zona, en donde los niveles de clorofila-*a* y producción son elevados, se caracteriza por presentar condiciones favorables al desarrollo del fitoplancton, entre ellas está la forma de la costa y la batimetría.

El resultado de los componentes armónicos mostró que el principal periodo de la producción primaria neta es anual, mismo que las variables de profundidad de capa de mezcla, clorofila-*a* y temperatura superficial del mar, que son parte del modelo. De las variables físicas ajenas al modelo, el coeficiente de atenuación K_{490} , el rotacional del esfuerzo del viento y las corrientes geostroficas fueron las que presentaron un periodo anual. Lo anterior indica que estas variables tienen gran influencia sobre la producción. Después del periodo anual, el semianual fue el segundo de mayor importancia, este mismo periodo se presentó en el índice de surgencias costeras, aunque los resultados de esta variable no fueron incluidos en este trabajo.

Los datos de los cruceros confirmaron que en primavera había una masa de agua de características polares y que en otoño había una de características tropicales. Los datos del perfilador de fluorescencia natural confirmaron la presencia de un máximo de clorofila bien definido asociado a una termoclina principalmente en el crucero de primavera donde la nutriclina estuvo mejor definida. Por su parte las concentraciones de los nutrientes NO_3 , NO_2 y PO_4 fueron menores en el crucero de otoño.

Tradicionalmente se ha asociado a las surgencias costeras el mayor impacto en la producción primaria neta, pero los resultados de este trabajo sugieren que la advección de la corriente de California tiene un peso importante, ya que el resultado de los

periodos del análisis de componentes armónicos para ambas variables mostró que son muy similares y que al combinarse con las surgencias favorece una mayor producción. En términos de escala temporal, los valores de producción primaria neta fueron mayores para el 2006 por lo que este año fue el que presentó una mayor producción en comparación con 2004 y 2005. La diferencia en los niveles de producción en estos años puede atribuirse a una modificación en señal de la oscilación decadal del Pacífico. En la escala estacional, los mapas de producción mostraron claramente que los meses con mayor producción son de marzo a junio, aunque ocasionalmente puede haber altos niveles de producción desde febrero y mantenerse hasta julio.

X Bibliografía

Antoine, D, J-M. André y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global Biogeochem. Cycles* 10: 57-69.

Antoine, D. y A. Morel. 1996. Ocean primary production, 2, Estimation at global scale from satellite (Coastal Zone Color Scanner) chlorophyll, *Global Biogeochemical Cycles*, 10, 57– 69.

Bakun A 1996. Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant/CIB. 323 pp.

Bakun, A. y C. S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California”. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.* 19: 107-127.

Balch, W. M., R. Evan, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y T. W. Esaias. 1992. The remote sensing of ocean primary productivity: Use of' new data compilation to test satellite models. *J. Geophys. Res.* 97(C2): 2279-2293.

Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997a. Photosynthetic rates derived from satellite based chlorophyll concentration. *Limn. Oceanog.* 42(1): 1-20.

Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997b. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnology and Oceanography.* 42(7): 1479-1491.

Behrenfeld, M. J., J. T. Randerson, C. R. McClain, G. C. Feldman, S. O. Los, C. J. Tucker, P. G. Falkowski, C. B. Field, R. Frouin, W. E. Esaias, D. D. Kolber, y N. H. Pollack. 2001. Biospheric Primary Production During an ENSO Transition. *Science* 30 291: 2594-2597 DOI: 10.1126/science.1055071.

Behrenfeld, M. J., E. Marañón, D. A. Siegel, & S. B. Hooker. 2002. A photoacclimation and nutrient based model of light-saturated photosynthesis for quantifying oceanic primary production, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 228, 103– 117.

Behrenfeld, M. J., Boss, E., Siegel, D. A. y Shea, D. M. 2005. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. *Glob. Biogeochemical Cycles* 19, GB1006, doi:10.1029/2004GB002299.

Bendschneider, K. y R. J. Robinson, 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. *J. mar. Res.* 11: 87–96.

Bernstein, R., L. Breaker y R Whritner. 1977. California Current Eddy Formation: Ship, Air and Satellite Results. 195 (4276): 353-359.

Bleck, R. 2002. An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-cartesian coordinates, *Ocean Model.* 4 (2002), pp. 55–88.

Bloomfield, P. 1976. *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction.* Jhon Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 428.

Bograd, S., K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt, and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *Journal Geophysical Research.* 106: 9255-9275.

Campbell, J., Antoine, D., Armstrong, R., Balch, W., Barber, R., Behrenfeld, M., Bidigare, R., Bishop, J., Carr, M.-E., Esaias, W., Falkowski, P., Hoepffner, N., Iverson, R., Kiefer, D., Lohrenz, S., Marra, J., Morel, A., Ryan, J., Vedernikov, V., Waters, K., Yentsch, C. y J. Yoder. 2002. Comparison of algorithms for estimating ocean primary production from surface chlorophyll, temperature, and irradiance. *Global Biogeochemical Cycles* 16 (3), 10.1029/ 2002GL015068.

Carr, M-E, M.A Friedrichs, M. Schmeltz, M.N. Aita, D. Antoine, K.R. Arrigo, I. Asanuma, O. Aumont, R. Barber, M. Behrenfeld, R. Bidigare, E.T. Buitenhuis, J. Campbell, A. Ciotti, H. Dierssen, M. Dowell, J. Dunne, W. Esaias, B. Gentili, W. Gregg, S. Groom, N. Hoepner, J. Ishizaka, T. Kameda, C. Le Quere, S. Lohrenz, J. Marra, F. Melin, K. Moore, A. Morel, T.E. Reddy, J. Ryan, M. Scardi, T. Smyth, K. Turpie , G. Tilstone, K. Waters, Y. y Yamanaka. 2006. A comparison of global estimates of marine primary production from ocean color. *Deep-Sea Research II* 53 (2006) 741–770.

Cervantes-Duarte, R. 1996. Componentes ópticamente activos en aguas del Golfo de California y corrientes de California. Tesis Doctoral, CICESE, Ensenada, B.C.

Cleveland, J. S., y M. J. Perry . 1994. A model for partitioning particulate absorption into phytoplanktonic and detrital components. *Deep-Sea Res.* 41: 197–221.

- Cosío, L. M. A. y A. Trasviña. 2000. Organización y visualización de datos de CTD. *GeoS, Union. A. C.* Vol. 20 (No. 4); pp 445-456 (PA: CPOFA200014-2000).
- Del Monte-Luna, P. 2004. Caracterización del Centro de Actividad Biológica del Golfo de Ulloa, BCS, bajo un enfoque de modelación ecológica. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California, 1997-1999. *Progress in Oceanography*. 54: 7-31.
- Durazo, R., G. Gaxiola-Castro, B. Lavaniegos, R. Castro-Valdez, J. Gómez-Váldes y A. Mascarenhas. 2005. Oceanographic conditions best of the Baja California coast, 2002-2003: A weak El Niño and subarctic water enhancement. *Ciencias Marinas* 31(3): 537-552.
- Eppley, R. W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fish. Bull.*, 70, 1063–1085.
- Espinosa-Carreón, T. L., P. T. Strub, E. Beier, F. Ocampo-Torres y G. Gaxiola-Castro. 2004. Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. *Journal of Geophysical Research*. Vol 109: C03039.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. *Aquatic photosynthesis*. VIII, 375 p. Blackwell Science, Malden, Mass.
- Gaxiola-Castro, G., R. Durazo, B. Lavaniegos, M. E. De la Cruz-Orozco, E. Millán-Núñez, L. Soto-Mardones y J. Cepeda-Morales. 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Ciencias Marinas*, 34(2):263-270.
- Gill, A. E. 1982. *Atmosphere-Ocean Dynamics*, Vol. 30. Academic Press Inc (New York) pp 182.
- Goericke, R., E. Venrick, A. Mantyla, S. J. Bograd, F. B. Schwing, A. Huyer, R. L. Smith, P. A. Wheller, R. Hoof, W. T. Peterson, G. Gaxiola-Castro, J. Gómez-Valdes, B. E. Lavaniegos, K. D. Hyrenbach y W. J. Sydeman. 2004. The state of the California Current, 2003-2004: a rare “Normal year”. *CALCOFI Rep.* Vol. 45, 2004.

Goericke, R., E. Venrick, A. Mantyla, R. Hoof, C. Collins, G. Gaxiola-Castro, S. J. Bograd, F. B. Schwing, W. T. Peterson, B. Marinovic, R. Durazo, A. Huyer, R. L. Smith, P. A. Wheller, F. Chavez, N. Lo, K. D. Hyrenbach y W. J. Sideman. 2005. The state of the California Current, 2004-2005: still cool?. CALCOFI Rep. Vol. 46, 2005.

Goericke, R., E. Venrick, T. Koslow, W.J. Sydeman, F.B. Schwing, S.J. Bograd, W.T. Peterson, R. Emmett, J.R. Lara-Lara, G. Gaxiola-Castro, J. Gómez-Valdés, K.D. Hyrenbach, R.W. Bradley, M.J. Weise, J.T. Harvey, C. Collins, y N.C.H. Lo. 2007. The State of the California Current, 2006-2007: Regional and Local Processes Dominate. CalCOFI Rep. Vol. 48:33-66.

Hayward, T. L., A. W. Mantyla, R. L. Lynn, P. E. Smith, y T. K. Chereskin. 1994. The state of the California Current in 1993-94. Calif. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Rep. 35: 19-35.

Hernández-Trujillo, S., A. Esquivel y R. Saldierna-M. 1987. Biomasa zooplanctónica en la costa oeste de Baja California Sur (1982-1985), 161-170. En: Ramírez, E. M. (Ed.) Mem. Simp. Invest. Biol. Ocean. Pesq. Méx. CICIMAR, La Paz, B.C.S., México. 183 p.

Hernández-Rivas, M., S. P. Jiménez-Resenberg, R. Funes-Rodríguez y R. J. Saldierna-Martínez. 2000 El Centro de Actividad Biológica de la bahía de Sebastián Vizcaino, una primera aproximación. p 65-85. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds) BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBN CONACyT.

Hernández-Vázquez, S. 1995. Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-1989. Tesis Doctoral, CICESE, Ensenada, BC.

Hickey, B. M. 1998. Coastal Oceanography of Western North America from the tip of Baja California to Vancouver Island. The Sea. Vol. 11. (Eds). Robinson, A. R. y K. H. Brinck. Chap 12: 345-393.

Hickey, B. M. y T. C. Royer. 2001. California and Alaska Currents. En: Steele J. H., K. K. Turekian, y S. A. Thorpe (Eds). En: Encyclopedia of Ocean Sciences. Academic Press. Vol. 1 368-379.

- Howard, K.L., 1995, Estimating global ocean primary productivity using satellite derived data. M.S. Thesis (University of Rhode Island, Kingston), 98pp.
- Howard, K. L., y J. A. Yoder. 1997. Contribution of the subtropical ocean to global primary production, in *Space Remote Sensing of the Subtropical Oceans*, edited by C.-T. Liu, pp. 157–168. Pergamon, New York.
- Huntsman, S. A. y R. T. Barber. 1977. Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.* 24: 25– 33.
- Huyer, A. 1983. Upwelling in the California Currents system. *Progress in Oceanography.* 12: 259-284.
- Huyer, A., P. M. Kosro, K. J. Lentz y R. C. Beardsley. 1989. The spring transition in currents over the Oregon continental shelf. *Journal of Geophysical Research.* 84(C11): 6995-7011.
- Jeffrey, S. W. y R. F. C. Mantoura. 1997. Development of pigment models for oceanography: SCOR-supported working groups and objectives. In: Jeffrey S W, Lavaniegos, B. E., G. Gaxiola-Castro, L. C. Jiménez-Pérez, M. R. González-Esparsa, T. Baumgartner y J. García-Córdova. 2003. 1997-1998 El Niño effects on the pelagic ecosystem of the California Current off Baja California Mexico. *Geos. Int.*, 42: 483-494.
- Lluch-Belda, D. 2000 Centros de Actividad Biológica en la costa de Baja California. p 49-64. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds) *BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. CIBN CONACyT.
- Longhurst, A., S. Sathyendranath, T. Platt, y C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data, *J. Plankton Res.*, 17, 1245–1271.
- Lynn, R., y J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research.* 92(C12), 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier 1996. *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans*, 2nd ed., xii, 394 p. pp., Blackwell Science, Boston.

- Martínez-López, A. 1993. Distribución espacial del fitoplancton asociado con frentes en la Costa Occidental de Baja California Sur. *Inv. Mar. CICIMAR*. 8(2): 71-86.
- McPhaden, M. J. 2004. Evolution of the 2002-2003 El Niño. *Bulletin American Society*. 85, 677, doi: 10.1175/BAMS-85-5-677.
- Millán-Núñez, R., S. Álvarez-Borrego y C. Trees. 1996. Relationship between deep chlorophyll maximum and surface chlorophyll concentration in the California Current System. *CalCOFI. Rep.* 37: 241-250.
- Morel, A. y J. F. Berthon. 1989. Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications, *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1545– 1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: A spectral model with geochemical and climatological implications. *Prog. Oceanogr.* 26: 263-306.
- Morel, A. 1994. Optics from the single cell to the mesoscale. In: R.W. Spinrad, K.L. Carder and M.J. Perry, Editors, *Ocean Optics*, Oxford Univ. Press, New York (1994), pp. 93–117.
- Morris, A. W. y J.P. Riley. 1963. The determination of nitrate in sea water. *Anal Chemical Acta*. 29: 272-279.
- Murphy, J. y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chemical Acta*. 27: 31-36.
- Ondrusek, M. E., R. R. Bidigare, K. Waters, y D. M. Karl. 2001. A predictive model for estimating rates of primary production in the subtropical North Pacific Ocean, *Deep Sea Res., Part II*, 48, 1837– 1863.
- Parés-Sierra, A., M. López, y E. Pavía. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico nororiental. En: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía N°3. Unión Geofísica Mexicana*. 1-24 pp.
- Parker, H. 1996. Interannual variability in the PFEG coastal upwelling indices. In *Proceedings of the 12th Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop*. Ed por M. Isaacs

and V.L. Tharp, Interagency Ecological Studies Program for the Sacramento-San Joaquin Estuary, Tech. Rep., 46, p 63-99.

Parsons, T.R. B. Hargrave y M. Takahashi. 1984. Biological oceanographic processes. Pergamon international library of science, technology, engineering, and social studies. Pergamon Press, Oxford, xii, 330 pp.

Perry, M. J. 1994. Measurements of phytonplankton absorption other than per unit of chlorophyll a, en: Spinrad, R.W., K. L. Carder y M. J. Perry (eds). Ocean Optics. Oxford University Press, Inc. 283 pp.

Peterson, W. T., R. Emmet, R. Goericke, E. Venrick, A. W. Mantyla, S. J. Bograd, F. B. Schwing, R. Hewitt, N. C. H. Lo, W. H. Watson, J. Barlow, M. Lowry, S. Ralston, K. A. Forney, B. E. Lavaniegos-Espejo, W. J. Sydeman, K. D. Hyrenbach, R. W. Bradley, F. P. Chávez, P. Warzybok, K. Hunter, S. Benson, M. Weise, J. Harvey, G. Gaxiola-Castro, y R. Durazo-Arvizu. 2006. The state of the California current, 2005–2006: Warm in the north, cold in the south. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 47:30–74.

Platt, T. y S. Sathyendranath. 1993. Estimators of primary production for interpretation of remotely sensed data on ocean color. Journal of Geophysical Research 98: 14,561-14,567.

Rojas de Mendiola, B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast. I: F. A. Richards (ed.), Coastal Upwelling. American Geophysical Union, Washington D. C., 348-356.

Schwing, F. B., Murphree, T., de Witt, L. y P. M. Green. 2002a. The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during El Niño and La Niña events of 1995-2001. Prog Oceanogr., 54: 459-491.

Schwing, F. B., S. J. Bograd, C. A. Collins, G. Gaxiola-Castro, J. García, R. Goericke, J. Gómez-Valdez, A. Huyer, K. D. Hyrenbach, P. M. Kosro, B. E. Lavaniegos, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, M. D. Ohman, W. T. Peterson, R. L. Smith, W. J. Sydeman, E. Venrick y P. A. Wheeler. 2002b. The state of the California Current, 2001-2002: will de CSS keep its cool, or is El Niño looming?. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 43: 31-68.

Siegel, D. A., T. K. Westberry, M. C. O'Brien, N. B. Nelson, A. F. Michaels, J. R. Morrison, d, A. Scott, E. A. Caporelli, J. C. Sorensen, S. Maritorena, S. A. Garvere, E. A. Brody, J. Ubantea y M. A. Hammer. 2001a. Bio-optical modeling of primary production on regional scales: The Bermuda BioOptics project, *Deep Sea Res., Part II*, 48, 1865– 1896.

Siegel D. A.; Westberry T.K.; O'Brien M.C.; Nelson N.B.; Michaels A.F.; Morrison J.R.; Scott A.; Caporelli E.A.; Sorensen J.C.; Maritorea S.; Garver S.A.; Brody E.A.; Ubante J.; Hammer M.A. 2001b. Bio-optical modeling of primary production on regional scales: The Bermuda BioOptics project, *Deep Sea Res., Part II*, 48, 1865– 1896.

Strickland, J. D. H. y D. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Jour. Fish. Res. Bd. Can Bull* 167:1-310.

Strub, P. T., P. M. Kosro y A. Huyer. 1991. The nature of cold filaments in the California Current System. *Jour. Geo. Res.* 96: 14743-14768.

Strub, T. S. y C. James. 2002. Altimeter-derived surface circulation in the large-scale NE Pacific Gyres. Part 1. Seasonal variability. *Progress in Oceanography* 53: 163-183.

Thomas, A. C., P. T. Strub, M. E. Carrs y R. Weatherbee. 2004. Comparison of chlorophyll variability between the four global eastern boundary currents. *Int. Journal. Remote Sensing.* Vol. 25 No. 7-8 1443-1447.

Torres Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE.

Venrick, E. L., S. J. Bograd, D. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, J. Hunter, A. Huyer, K. D. Hyrenbach, B. E. Lavaniegos, A. Mantyla, F. B. Schwing, R. L. Smith, W. J. Sydeman y P. A. Wheeler. 2003. The state of the California Current, 2002- 2003: Tropical and Subarctic influences vie for dominance. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.* 44: 28-62.

Westberry, T, M. J. Behrenfeld, D. A. Siegel y E. Boss. 2007. Carbon-based primary productivity modeling with vertically resolved photophysiology. *Global Biogeochem. Cycles.* Submitted.

Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante y A. Gallegos-García. 2003. "Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula". *Journal Oceanography*. 59: 489-502.

Zuria-Jordan, I.L., S.A. Álvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Ángel y F.E. Müller-Karger. 1995. Estimación de biomasa fitoplanctónica derivada de datos de satélite, frente a Baja California Sur. *Ciencias Marinas*, 21(3):265-280.