

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISIÓN DE OCEANOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA MARINA

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA
FRENTE A BAJA CALIFORNIA POR SENSORES
REMOTOS

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener
el grado de DOCTOR en Ciencias en ECOLOGÍA MARINA,
presenta:

M. en C. RAMÓN SOSA AVALOS

Ensenada, Baja California, Agosto del 2002

TESIS DEFENDIDA POR
RAMÓN SOSA AVALOS
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Gilberto Gaxiola Castro
Director del Comité

Dr. Saúl Álvarez Borrego
Miembro del Comité

Dr. B. Greg Mitchell
Miembro del Comité

Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Miembro del Comité

Dr. Raúl Aguirre Gómez
Miembro del Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Jefe del Departamento de Ecología

Dr. Luis Alberto Delgado Argote
Director de Estudios de Posgrado

Ensenada, Baja California, Agosto del 2002

RESUMEN de la tesis de RAMÓN SOSA AVALOS presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA MARINA, Ensenada, Baja California, México. Agosto de 2002.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA POR SENSORES REMOTOS

Resumen aprobado por:

Dr. Gilberto Gaxiola Castro
Director de Tesis

Durante 1999 se realizaron cuatro cruceros oceanográficos en invierno, primavera, verano y otoño frente a Baja California, dentro del programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL). En cada crucero se determinaron la concentración de clorofila, el coeficiente de absorción de luz por partículas, producción primaria a partir de experimentos *in situ* con el método de carbono catorce, además, se realizaron experimentos fotosíntesis-irradiancia (curvas P-E) y se midió la irradiancia a través de la columna de agua.

La producción primaria integrada en la zona eufótica (P_{Peu}) fue estimada por los modelos semianalítico (MPS) y empírico (VGPM) utilizando información derivada del SeaWiFS junto con mediciones *in situ*. Los valores promedio de la P_{Peu} estimada por ambos modelos durante primavera fueron $1.4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $1.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente, mientras que el valor promedio de la P_{Peu} *in situ* fue $0.88 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La P_{Peu} estimada por el MPS fue similar a la calculada por el VGPM. En general, la P_{Peu} calculada es semejante a la P_{Peu} *in situ*, lo que indica que ambas producciones son comparables. En este trabajo se calculó una contribución de la P_{Peu} de $\sim 1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en promedio para la región sur de la Corriente de California durante 1999. La mayor variabilidad de la P_{Peu} medida y la modelada fue observada entre las estaciones costeras y oceánicas, debido a las diferencias en el gradiente de concentración de la clorofila, ocasionadas por fuertes eventos de surgencias locales. Las altas concentraciones de clorofila causaron, además, bajos valores de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton y altos valores de los parámetros fotosintéticos y de la cosecha cuántica máxima, principalmente en la zona costera. Esto determinó que los valores más altos de P_{Peu} se registraran en las estaciones costeras de cada crucero.

Las propiedades bio-ópticas medidas en el presente trabajo (coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton y coeficientes de atenuación vertical) fueron ajustadas a una función de poder con respecto a la clorofila, las cuales no mostraron diferencias importantes con los valores promedios reportados en la Ensenada del Sur de California (ESC). Estas propiedades bio-ópticas pueden ser utilizadas en algoritmos bio-ópticos o ser estimadas por medio de la clorofila derivada de sensores de color del océano. La similitud en las propiedades bio-ópticas entre ambas zonas sugiere además que los parámetros fotosintéticos propuestos en este estudio puedan ser extrapolados

hacia otras regiones del Sistema de la Corriente de California (SCC), para que sean utilizados junto con información derivada del SeaWiFS en la estimación de la producción primaria. Además, los algoritmos regionales desarrollados en la ESC para calcular la clorofila superficial a partir de las mediciones del SeaWiFS también podrán ser extrapolados hacia nuestra área de estudio. De tal forma que al conocer la PPeu en el SCC, permitirá entender mejor el flujo de carbono y su importancia dentro de esta región.

Palabras clave: Coeficientes de absorción de luz por partículas y fitoplancton, Coeficientes de atenuación vertical, Parámetros fotosintéticos, Producción primaria, Sensores remotos.

ABSTRACT of the Thesis of RAMON SOSA AVALOS presented as partial requirement to obtain the DOCTOR OF SCIENCE degree in MARINE ECOLOGY, Ensenada, Baja California, Mexico. August of 2002.

THE ESTIMATION OF PRIMARY PRODUCTION OFF BAJA CALIFORNIA BY REMOTE SENSING

In 1999, four oceanographic surveys cruises were carried out during winter, spring, summer and autumn off Baja California, through the Mexican Investigations of the Current of California Program (IMECOCAL). For each cruise the chlorophyll concentration, light absorption coefficient by particles, and primary production from *in situ* experiments with the C-14 method were determined, as well as the experiments in photosynthesis-irradiance (P-E curves).

The integrated primary production in the euphotic zone (P_{Peu}) was estimated through considered by the semianalytical (MPS) and empirical (VGPM) models with information derived from the SeaWiFS, along with *in situ* measurements. Average values of P_{Peu} estimated by both models during spring were $1.4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ and $1.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectively, whereas the average value of the *in situ* P_{Peu} was $0.88 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. P_{Peu} calculated by the MPS was similar to the VGPM estimates. In general, the calculated P_{Peu} is similar to the P_{Peu} *in situ*, which indicates that both productions are comparable. In this work, an average contribution of $\sim 1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ to the P_{Peu} for the Southern region of the California Current during 1999 was calculated. The largest variability of the measured and the modeled P_{Peu} was observed between the coastal and oceanic stations due to the differences in the gradient of the chlorophyll concentration caused by strong upwelling events. In addition, high chlorophyll concentrations caused the a_{ϕ}^* low values and high values of the photosynthetic parameters and the phytoplankton maximum quantum yield mainly in the coastal zone. Hence determined that the highest values of P_{Peu} were registered in the coastal stations of each cruise.

The bio-optical properties measured in the present work (absorption coefficients by particles and phytoplankton, and vertical attenuation coefficients) were adjusted to a power function with respect to the chlorophyll concentration, that did not show differences with the average values reported for the Southern California Bight (SCB). These bio-optical properties can be used in bio-optical algorithms or can be derived from the remote sensed chlorophyll concentration. The similarity in the bio-optical properties between both zones suggests, in addition, that the proposed photosynthetic parameters can be extrapolated towards other regions of the Current California System (CCS). These parameters along with the information derived from the SeaWiFS can be used in the estimation of primary production. Furthermore, the regional algorithms developed in the SCB to calculate the surface chlorophyll from the SeaWiFS could be also extended towards our study area. Therefore, knowledge of the P_{Peu} in the SCC will provide a better understanding of global carbon flux and its importance within this region.

Key words: Light absorption coefficients by particles and phytoplankton, Vertical attenuation coefficient, Photosynthetic parameters, Primary production, Remote sensing.

DEDICATORIA

Con todo mi AMOR para:

*Mi esposa, LIDIA por su AMOR, APOYO, COMPRENSION y
PACIENCIA durante el tiempo que hemos estado juntos.*

A mis hijos:

*Isay
Ramón Alejandro
Karelia Betsabé*

Que son el amor de mi vida y por quienes luchó para seguir adelante

A mis Padres por darme la vida y sus enseñanzas

A mis hermanos: Adriana, Emilio, Flor, Rosa, Omar y Gema

A mis suegros:

*Alejandro (Descanse en paz)
Teresa*

A Paco, Esther, Teresa y demás cuñados (as)

A la familia Iñiguez Martínez por su apoyo

A Dios Todopoderoso por permitirme vivir

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente al Dr. Gilberto Gaxiola Castro, por haber aceptado dirigir este trabajo, por sus enseñanzas, consejos y su valioso apoyo en la realización del mismo, el cual sin su ayuda no hubiera sido posible llevarlo a cabo.

Al Dr. Greg Mitchell y su equipo de trabajo por su valiosa ayuda en el análisis de las muestras de absorción y de carbono catorce, así como su importante contribución en el desarrollo del trabajo.

A los Drs. Saúl Álvarez Borrego, Reginaldo Durazo A. y Raúl Aguirre G., miembros del comité de tesis por sus importantes comentarios y sugerencias, los cuales sin duda fueron muy valiosos para que mejorara el trabajo.

A la Universidad de Colima por todo el apoyo brindado para que pudiera realizar los estudios de Doctorado, especialmente al Dr. Carlos Salazar Silva rector de la misma.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por la Beca otorgada para realizar el doctorado con numero de convenio UCOL-98-05-01.

Al Programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) dentro del cual se realizaron los cruceros del presente trabajo, con apoyo del CONACYT y CICESE bajo el proyecto G0041-T9607. Además, el proyecto de CONACYT G-35326T otorgó una beca por un año.

Al proyecto Oceanografía por satélite: Fase I, DAJJ002/750/00 del CONACYT por el apoyo proporcionado para asistir a cursos y congresos.

A Sila, Beny, Jose Luis, Dantenoc y Lety por su amistad sincera. Victor Macías y Javier Tello por su apoyo en el trabajo de campo.

A Joaquín García por su apoyo con los datos de IMECOCAL, a Daniel Loya por el apoyo logístico durante la realización de los cruceros, Juan Francisco Igareda, a todos y cada uno de los participantes de los cruceros de IMECOCAL durante el año de 1999.

A la tripulación del B. O. Francisco de Ulloa y de El Puma por todo su apoyo durante los cruceros.

Cesar Almeda y Enrique Elenes por su apoyo técnico en los equipos de cómputo, y a todas aquellas personas que de alguna u otra forma hicieron posible este trabajo.

Deseo agradecer de manera muy especial a Carmen Bazán por su amistad y apoyo durante mi estancia en el Doctorado, alentándome siempre para seguir adelante.

A Hugo Sánchez Gijón por su ayuda en la elaboración de figuras y Erick Liera en el procesamiento de los datos del PRR-600.

A J. M. Domínguez y F. Ponce por su apoyo en la elaboración de mapas y figuras.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
	I.1. Antecedentes	7
	I.2. Área de estudio	12
	I.3. Objetivos.....	18
II.	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN POR PARTÍCULAS Y FITOPLANCTON FRENTE A BAJA CALIFORNIA.....	20
	II.1. INTRODUCCIÓN	20
	II.2. MÉTODOS	23
	II.2.1. Determinación de clorofila	25
	II.2.2. Absorción de luz por partículas	26
	II.2.3. Fitoplancton	29
	II.2.4. Perfiles de irradiancia	29
	II.3. RESULTADOS	30
	II.3.1. Concentración de clorofila	30
	II.3.2. Coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton	32
	II.3.3. Variabilidad espacial y estacional del coeficiente específico de absorción	43
	II.3.4. Variabilidad en la forma del espectro	56
	II.3.5. Estimación de $K_{bio}(\lambda)$	58
	II.4. DISCUSIÓN	58
	II.4.1. Clorofila superficial e integrada en la columna de agua	58
	II.4.2. Variabilidad de los coeficientes de absorción	63
	II.4.2.1. Estudio de caso	65
	II.4.3. Variabilidad de los coeficientes específicos de absorción	66
	II.4.4. Coeficiente de atenuación vertical de luz difusa	69
III.	PARÁMETROS FOTOSINTÉTICOS DEL FITOPLANCTON, PRODUCCIÓN PRIMARIA MEDIDA Y MODELADA FRENTE A BAJA CALIFORNIA	73
	III.1. INTRODUCCIÓN	73
	III.2. MÉTODOS Y DATOS	76
	III.2.1. Experimentos <i>in situ</i>	77
	III.2.2. Mediciones de irradiancia	78
	III.2.3. Relaciones fotosíntesis-irradiancia	78
	III.3. RESULTADOS	82
	III.3.1. Parámetros fotosintéticos y cosecha cuántica máxima	82
	III.3.2. Estimación de los perfiles de los parámetros e irradiancia	87
	III.3.3. Producción primaria medida y modelada	91
	III.4. DISCUSIÓN	95
	III.4.1. Parámetros fotosintéticos y cosecha cuántica máxima del fitoplancton.....	95
	III.4.2. Producción primaria	103
IV.	PRODUCCIÓN PRIMARIA ESTIMADA A PARTIR DE MEDICIONES DE COLOR DEL OCÉANO POR SENSORES REMOTOS	108

IV.1. INTRODUCCIÓN	108
IV.2. MÉTODOS Y OBTENCIÓN DE DATOS	112
IV.2.1. Parámetros fotosintéticos	113
IV.2.2. Adquisición de datos de color del océano	114
IV.3. RESULTADOS	120
IV.4. DISCUSIÓN	127
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
LITERATURA CITADA	142
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Localización de estaciones donde se realizaron experimentos de producción primaria. Los números indican las líneas de la red de estaciones del programa IMECOCAL.	13
2. Contornos de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) medida a 10m de profundidad, junto con imágenes promedio mensuales de clorofila superficial medida por el SeaWiFS en enero (a), abril (b), agosto (c) y octubre (d) de 1999. El intervalo de contorno es 0.3 mg m^{-3}	33
3. Espectros promedios del coeficiente de absorción de luz del fitoplancton (m^{-1}) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero. Invierno (a,b); Primavera (c,d); Verano (e,f) y Otoño (g,h).....	36
4. Relación lineal entre los coeficientes de absorción de luz por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 440 y 674 nm como una función de la concentración de clorofila a durante invierno (círculos), primavera (cuadrado), verano (triángulo) y otoño (hexágono). Los datos de absorción por partículas y fitoplancton fueron graficados en escala logarítmica. La línea continua se refiere a la regresión lineal y la línea punteada son los límites del intervalo de predicción al 95% de confianza. N representa el total de datos. $a_{p(440)}$ (a); $a_{p(674)}$ (b); $a_{\phi(440)}$ (c) y $a_{\phi(674)}$ (d).....	40
5. Coeficientes de absorción de luz por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 440 y 674 nm de IMECOCAL 1999 (Ime-99), del programa CalCOFI de 1998 a 2000 (Cal-98-00), ajustados a una función de poder con respecto a la clorofila y comparados con el modelo de Bricaud et al. (1998). $a_{p(440,674)}$ (a y b) y $a_{\phi(440,674)}$ (c y d). Los círculos corresponden a los datos de Ime-99 y la línea continua se refiere al ajuste de estos datos. La línea discontinua corresponde al ajuste de los datos de CalCOFI 98-00 y la línea discontinua con puntos se refiere al modelo de Bricaud et al. (1998).....	42
6. Coeficientes de absorción por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 490 nm ajustados a una función de poder en función de la clorofila. $a_{p(490)}$ (a) y $a_{\phi(490)}$ (b). Los círculos representan los datos de todos los cruceros y la línea se refiere al ajuste de estos datos.....	44
7. Variabilidad de los promedios espectrales de los coeficientes específicos de absorción por partículas ($\text{m}^2 \text{ mgChl}^{-1}$) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas durante invierno, primavera, verano y otoño.....	48

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
8. Variabilidad de los promedios espectrales de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas durante invierno, primavera, verano y otoño.....	49
9. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de la zona eufótica durante invierno. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).....	51
10. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de la zona eufótica durante primavera. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).....	52
11. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de la zona eufótica durante verano. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).....	53
12. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de la zona eufótica durante otoño. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).....	54
13. Variabilidad en la forma espectral del promedio del coeficiente específicos de absorción del fitoplancton normalizado por su máxima absorción ($a_{\phi(440)}^*$) en las estaciones costeras y oceánicas de invierno, primavera, verano y otoño. Se muestran dos ejemplos por zona en cada crucero; 100% y 1% $E_{0(PAR)}$	57
14. Coeficientes de atenuación vertical (m^{-1}) de la capa de mezcla de las estaciones costeras y oceánicas, ajustados a una función de poder en diferentes longitudes de onda (412, 443, 490, 510, 555 y 565 nm) y comparados con el modelo de Morel y Maritorena (2001). La línea continua representa el ajuste de poder de todos los datos de lme-99. La línea discontinua se refiere al modelo de Morel y Maritorena (2001). Los círculos son los datos de las estaciones costeras y los triángulos representan a las estaciones oceánicas.....	60
15. Distribución espectral promedio de los coeficientes de absorción por partículas y detritos de las muestras de la superficie de las estaciones	

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
costeras (a) y oceánicas (b) de los cruceros de invierno, primavera, verano, y otoño frente a Baja California.....	66
16. Ejemplos de curvas fotosíntesis-irradiancia de la zona costera (a,c,e,g) y oceánica (b,d,f,h) ajustadas a una función hiperbólica de Jassby y Platt (1976) para cada crucero. Invierno (a,b); Primavera (c,d); Verano (e,f) y Otoño (g,h).....	86
17. Perfiles promedio del coeficiente de máxima utilización de la luz ($\alpha_{(z)}^*$) [$\text{mg C (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) $^{-1}$] por zona y región durante invierno, primavera, verano y otoño. C-N (círculos) y O-N (cuadros) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.....	89
18. Perfiles promedio de la tasa fotosintética máxima ($P_{m(z)}^*$) [$\text{mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$] por zona y región durante invierno, primavera, verano y otoño. C-N (círculos) y O-N (cuadros) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.....	90
19. Perfiles promedio de la radiación fotosintéticamente activa ($E_{z(PAR)}$) ($\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) por zona y región durante invierno, primavera, verano y otoño. C-N (círculos) y O-N (cuadros) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.....	92
20. Relación del coeficiente de máxima utilización de luz (α_{inc}^* , $\text{mg C (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) $^{-1}$), tasa fotosintética máxima (P_m^* , $\text{mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y cosecha cuántica máxima (ϕ_m , mol C/mol fotones) con la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa medida al 50% $E_{PAR(50\%)} \cdot \alpha_{inc}^*$ (a,b), P_m^* (c,d) y ϕ_m (e,f).....	97
21. Datos del coeficiente de máxima utilización de luz (a), tasa fotosintética máxima (b), y cosecha cuántica máxima (d) sin normalizar por la clorofila, ajustados a una función cuadrática con respecto a la concentración de	

FiguraPágina

clorofila. Relación lineal de α_{inc}^* medido con $\alpha_{(z=50\%)}^*$ estimado al 50% $E_{PAR(50\%)}$ (c). Los dos valores representados por cuadros corresponden a la línea 130 del crucero de otoño, los cuales no fueron usados para la relación lineal.....	98
22. Parámetros característicos que describen el perfil vertical de clorofila ajustados a una distribución Gausiana (tomada de Platt et al., 1988).....	117
23. Promedio de los perfiles verticales de clorofila calculados a partir de la clorofila superficial medida para cada crucero y ajustados a una curva Gausiana. a) Costa-Norte; b) Océano-Norte; c) Costa-Central y d) Océano-Central.....	121
24. Promedio de los perfiles verticales de clorofila calculados a partir de la clorofila superficial derivada de una imagen mensual compuesta del SeaWiFS para cada crucero de 1999 y ajustados a una curva Gausiana. a) Costa-Norte; b) Océano-Norte; c) Costa-Central y d) Océano-Central.....	123
25. Producción primaria integrada en la zona eufótica ($\text{mgC m}^{-2} \text{h}^{-1}$) estimada por los modelos: (a) semianalítico (Platt y Sathyendranath, 1988); (b) VGPM (Behrenfeld y Falkowski, 1997), utilizando información derivada de sensores de color del océano para el crucero de primavera frente a Baja California.....	125
26. Perfiles verticales de: a) irradiancia medida con un PRR-600 y b) irradiancia estimada a partir de datos del SeaWiFS para cada región durante el crucero de primavera.....	132

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I. Promedio de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) superficial de las estaciones costeras y oceánicas para cada crucero frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.....	31
II. Promedio de la concentración de clorofila integrada (mg m^{-2}) en la columna de agua en las estaciones costeras y oceánicas frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.....	31
III. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm (m^{-1}) frente a Baja California durante 1999. Los números en paréntesis representan el error estándar de la media.....	34
IV. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 440 y 674 nm, entre las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero frente a Baja California.....	35
V. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones costeras de cada crucero. Los valores de absorción están dados en m^{-1}	37
VI. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones oceánicas de cada crucero. Los valores de absorción están dados en m^{-1}	38
VII. Coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton de 440 y 674 nm, ajustados a una función de poder de la forma, $y = a[\text{Chl}]^b$, en la cual se muestran los coeficientes obtenidos en el ajuste y de determinación de los datos de Imecocal-99 y CalCOFI-99 y su comparación con los modelos de Bricaud et al. [1998].....	41
VIII. Promedio de los coeficientes específicos de absorción ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm frente a Baja California. Los números en paréntesis representan el error estándar de la media.....	44
IX. Promedio de los coeficientes específicos de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm, entre las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero frente a Baja California. Los valores de los coeficientes de absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$	45
X. Promedio del coeficiente específico de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones costeras en cada crucero. Los valores de absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl a})^{-1}$. El asterisco significa normalización	

Tabla

Página

por la concentración de clorofila a	46
XI. Promedio del coeficiente específico de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones oceánicas en cada crucero. Los valores de absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl } a)^{-1}$. El asterisco significa normalización por la concentración de clorofila a	47
XII. Promedio de los coeficientes específicos de absorción por partículas ($a_{p(440,674)}^*$, $\text{m}^2(\text{mgChl})^{-1}$) y fitoplancton ($a_{\phi(440,674)}^*$, $\text{m}^2(\text{mgChl})^{-1}$) en función de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) para cada crucero.....	55
XIII. Ajuste de los datos de $K_{bio}(\lambda)$ de la capa mezclada a una regresión lineal, función de poder y función cuadrática, en donde se comparan los coeficientes obtenidos por cada función y para cada banda de $K_{bio}(\lambda)$, frente a Baja California.....	59
XIV. Valores promedios de los parámetros fotosintéticos (α^* , P_m^* y E_k), coeficiente de absorción específico del fitoplancton ($\bar{a}_{\phi L}^*$) normalizado por $E_d(\lambda)$, cosecha cuántica máxima del fitoplancton (ϕ_m) y profundidad de la capa de mezcla (PCM), para cada zona, región y crucero durante 1999 frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media. C-N= costa norte, O-N= océano norte, C-C= costa central y O-C= océano central.....	83
XV. Promedio de la producción primaria integrada en la zona eufótica medida y estimada [$\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$] para cada zona, región y crucero, utilizando perfiles promedio de $\alpha_{(z)}^*$, $P_{m(z)}^*$ y $E_{z(PAR)}$. Los valores en paréntesis se refieren al error estándar de la media.....	94
XVI. Promedio de la producción primaria integrada en la zona eufótica medida y estimada [$\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$] para cada zona, región y crucero, utilizando perfiles promedio de $\alpha_{(z)}^*$, $P_{m(z)}^*$ y $E_{z(PAR)}$. La producción primaria estimada fue calculada usando perfiles promedios de primavera. Los valores en paréntesis se refieren al error estándar de la media.....	94
XVII. Parámetros característicos de la curva Gausiana que describen el perfil de clorofila ($\text{Chl}_{(z)}$, mg m^{-3}) para cada región y crucero calculados con base en las ecuaciones propuestas por Millán-Núñez et al. (1997), a partir de la clorofila superficial <i>in situ</i>	115

TablaPágina

- XVIII. Parámetros característicos de la curva Gausseana que describen el perfil de clorofila ($\text{Chl}_{(z)}$, mg m^{-3}) para cada región y crucero calculados con base en las ecuaciones propuestas por Millán-Núñez et al. (1997), a partir de la clorofila superficial derivada de mediciones de satélite (SeaWiFS).....116
- XIX. Valores promedios de la producción primaria integrada en la zona eufótica ($\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) estimada por modelos semianalíticos (Platt y Sathyendranath, 1988) y empíricos (Behrenfeld y Falkowski, 1997) durante primavera de 1999 frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.....124
- XX. Valores promedio para abril de 1999 de la clorofila (Chl sat , mg m^{-3}) y temperatura (TSM sat , $^{\circ}\text{C}$) superficiales medidas por sensores remotos. Tasa máxima de fijación de carbono calculada para la columna de agua (P_{opt}^* , $\text{mgC}(\text{mgChl}^{-1}) \text{ h}^{-1}$) a partir de la TSM y P_{opt}^* *in situ* es obtenido como el valor máximo de las incubaciones *in situ*. Profundidad de la zona eufótica ($Z_{eu sat}$, m) derivada de Chl sat y Z_{eu} Secchi calculado por medio de la lectura del disco de Secchi para cada zona y región. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.....128

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA POR SENSORES REMOTOS

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso de los sensores remotos para pasar de una estimación de la producción primaria de escala local a grandes escalas regionales y globales permite tener un mejor entendimiento del flujo de bióxido de carbono (CO_2) entre la atmósfera y el océano (IOCCG, 1999). La producción fotoautotrófica derivada del fitoplancton oceánico es un proceso clave para entender el ciclo del carbono en el océano, en donde los organismos fotosintéticos son extremadamente eficientes en la fijación del carbono comparados con las plantas terrestres, lo que ocasiona que exista un gran flujo de carbono orgánico de la superficie hacia el interior del océano (Falkowski *et al.*, 1998). De tal forma que algunos autores (Sarmiento *et al.*, 1990; Antoine *et al.*, 1996) afirman que este flujo es suficiente para mantener la concentración superficial de CO_2 más baja como resultado de la “bomba biológica”. Sarmiento y Siegenthaler (1992) mencionaron que los cambios de largo período del CO_2 antropogénico no tuvieron un impacto significativo sobre el flujo de éste en el océano. Por lo tanto, es difícil argumentar que un mejor conocimiento de la magnitud de la “bomba biológica” tendrá una contribución importante acerca del entendimiento actual del destino del CO_2 antropogénico.

En la época moderna el ciclo biogeoquímico global del carbono no está balanceado. La oxidación neta del carbono orgánico como resultado principalmente de la combustión del petróleo excede la tasa de fijación neta de carbono por los organismos fotosintéticos (Houghton *et al.*, 1990). Aún cuando los procesos fotosintéticos ocurren tanto en la tierra como en el océano, hay un 30% de incertidumbre en la tasa de fijación neta del carbono y la biomasa en los dos ambientes (Falkowski, 1998). Algunos

científicos creen que una posible solución a este problema sería fertilizar con hierro soluble las aguas de los mares del Sur, las cuales estimularían el aumento de la producción primaria, lo que consumiría entre un tercio y la mitad del CO₂ antropogénico (Liebes, 1992; Falkowski y Raven, 1997).

Por consiguiente, es muy importante realizar estimaciones precisas de la producción primaria que ayuden a entender mejor la problemática del ciclo del CO₂ a nivel global. El desarrollo de una nueva generación de satélites con sensores remotos del color del océano ha estimulado el uso de imágenes sinópticas de la biomasa del fitoplancton para realizar estimaciones globales de la tasa de fijación de carbono por las microalgas (Platt y Sathyendranath, 1988; Behrenfeld y Falkowski, 1997), además de la incorporación de información sobre la clorofila y la penetración de la luz a través de la columna de agua. De ésta manera, los sensores remotos representan una herramienta indispensable para el monitoreo a gran escala horizontal del océano, con las ventajas de una importante cobertura sinóptica y la posibilidad de tener los datos casi en tiempo real (Sathyendranath y Platt, 1989).

Las determinaciones de producción primaria a partir de información derivada de sensores remotos requiere de estimaciones de parámetros fotosintéticos y variables bio-ópticas (Platt y Sathyendranath, 1988; Platt *et al.*, 1991; Sathyendranath *et al.*, 1996). Es también necesario considerar la dependencia espectral de la radiación fotosintéticamente activa (por sus siglas en inglés PAR, 400-700 nm) a través de la columna de agua, así como también la variabilidad espacial y vertical del coeficiente de absorción específico del fitoplancton (a_{ϕ}^*) (Behrenfeld y Falkowski, 1997). Por lo tanto, el uso de modelos empíricos y semi-analíticos para transformar las imágenes sinópticas de biomasa de fitoplancton colectadas por sensores de color del océano en mapas de producción

primaria de gran escala, requieren de conocer la variabilidad en espacio y tiempo de las propiedades bio-ópticas y fisiológicas del fitoplancton, así como las variables físico-químicas que influyen en ellas (Platt *et al.*, 1991; Sathyendranath *et al.*, 1995). Debido a esto, se han hecho importantes esfuerzos para obtener información de la magnitud y variación de los parámetros fisiológicos, de las propiedades de absorción del fitoplancton y de las variables ambientales que puedan ser utilizadas como predictores de ésta variación (Bouman *et al.*, 2000a).

La variabilidad espacial y temporal de la fotofisiología del fitoplancton es una importante fuente de incertidumbre en los modelos para estimar la producción primaria (Sosik, 1996). Ryther y Yentsch (1957) reconocieron que factores como la luz, la temperatura y la composición de especies afectan a los parámetros fotosintéticos del fitoplancton y la estimación de estos efectos deberá mejorar la aplicación de simples algoritmos clorofila-luz. En un intento por resolver este problema, los modelos han aumentado la complejidad de las correlaciones relativamente simples con aplicabilidad limitada. Además de la luz han sido incorporadas algunas variables ambientales (Eppley *et al.*, 1985; Balch *et al.*, 1989a, b). Aunque se han hecho esfuerzos para separar la parametrización de procesos tales como la penetración de la luz a través de la columna de agua, absorción de luz por el fitoplancton y la fotoquímica incluida en la fotosíntesis (Kiefer y Mitchell, 1983; Platt y Sathyendranath, 1988; Morel, 1991); así como también han sido identificados procesos espectralmente dependientes, incorporando la dependencia espectral de la luz a estos modelos (Sathyendranath *et al.*, 1989).

Por lo anterior, se espera que la variabilidad espacial y estacional de los parámetros fotosintéticos sea explicada por la abundancia y tipo de células fitoplanctónicas (como diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y proclorofitas), coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton, temperatura del mar y por la aclimatación de las células del fitoplancton a diferentes niveles de irradiancia.

El problema principal de la estimación de la producción primaria usando información derivada de sensores remotos es la extrapolación de las mediciones locales de los parámetros fotosintéticos y bio-ópticos a grandes áreas del océano, lo que constituye una importante contribución a esta tarea de la oceanografía biológica (Sathyendranath *et al.*, 1995; Longhurst *et al.*, 1995).

Sathyendranath *et al.* (1995) sugieren dos métodos principales para llevar a cabo la extrapolación de los parámetros fotosintéticos: Asumir que los océanos pueden ser tratados como procesos biológicos continuos, o que se reconozcan las discontinuidades espaciales entre entidades ecológicas. De tal forma, que proponen algunos pasos para dividir el océano:

- i) Que existan criterios sensibles a las diferencias regionales en la ecología de las algas y discontinuidades en la circulación cerca de la superficie.
- ii) Analizar los perfiles de clorofila entre las regiones.

- iii) Establecer relaciones entre la concentración de clorofila en la superficie y su distribución vertical en las regiones.

Además, estos autores proponen también algunos argumentos que permiten dividir las regiones en función de los siguientes criterios:

- 1) La cantidad de datos y su cobertura espacial y estacional, lo cual limitará las posibles escalas de extrapolación.
- 2) Si no hay suficientes datos biológicos para hacer las divisiones biogeográficas, buscar otras fuentes de información para identificar las fronteras; divergencias, convergencias y otras características de circulación como son la difusión turbulenta, estabilización termal y ajuste geostrófico, que afecten el suministro de nutrientes para el crecimiento de las algas.
- 3) Debido a la variabilidad espacial y estacional de los eventos biológicos, la división del océano en diferentes regiones debe estar basada en fronteras dinámicas que representen cambios en el forzamiento oceanográfico. Principalmente, que estas fronteras correspondan a características observables por sensores remotos, tales como discontinuidades de la pendiente y elevación de la superficie del mar, o de la clorofila superficial del mar.
- 4) Si la falta de información disponible de observaciones de los parámetros fotosintéticos y perfiles de clorofila son insuficientes para describir las condiciones estacionales promedio de una región determinada. Un criterio es extrapolar los parámetros fotosintéticos y la clorofila de una región a otra con características similares.

Sin embargo, no todos los parámetros requeridos en los modelos bio-ópticos se encuentran disponibles píxel por píxel para los cálculos por sensores remotos (Platt y Sathyendranath, 1988).

De tal forma, que es necesario realizar mediciones locales de los parámetros fotosintéticos para extrapolarlos a grandes escalas y poder estimar la producción primaria en el océano. Por lo tanto, una manera de resolver este problema es dividiendo el océano en regiones o zonas con características oceanográficas similares (Longhurst *et al.*, 1995; Sathyendranath *et al.*, 1995), donde los parámetros fotosintéticos derivados de las curvas fotosíntesis-irradiancia (P-E) y de los datos medidos por sensores de color del océano permanezcan constantes para toda una región al menos en esa época del año. Los satélites proporcionan la clorofila cercana a la superficie (Chl) y la

irradiancia superficiales ($E_{0(PAR)}$), pero no proporcionan valores de los parámetros fotosintéticos.

Por consiguiente, para calcular la producción primaria se requiere de la combinación de datos medidos por sensores remotos junto con observaciones *in situ* (Sathyendranath *et al.*, 1995).

Además de la variabilidad en los parámetros fotosintéticos, otro problema importante en la estimación de la producción primaria son las diferencias regionales en la distribución vertical de Chl.

El propósito del presente trabajo es conocer la variabilidad espacial y estacional de la producción primaria integrada en la columna de agua estimada a partir de observaciones medidas *in situ*, combinadas con datos derivados de sensores remotos de color del océano utilizados por modelos semianalíticos y empíricos. De tal forma que esto permita entender mejor el flujo de carbono entre la atmósfera y el océano, así como el papel fundamental que juega el fitoplancton en la fijación de carbono dentro de la zona eufótica.

Uno de los objetivos de la oceanografía biológica es determinar y entender sobre una escala global los procesos que controlan a través del tiempo la variación en los flujos de carbono y elementos biogénicos asociados en el océano. Por lo tanto, la producción primaria juega un papel importante en el comportamiento global del ciclo biogeoquímico del carbono, la cual puede ser estimada a partir de las determinaciones de las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos del océano en conjunto con datos medidos por sensores remotos. Sin embargo, tanto las propiedades bio-ópticas como los parámetros fotosintéticos han sido poco conocidos en los océanos mundiales. Por consiguiente, en el presente trabajo se pretende determinar la variabilidad espacial y estacional de estas propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos para que sean extrapolados desde escalas locales a regionales frente a Baja California y sirvan como herramientas en la estimación de la producción primaria, para contribuir en un mejor entendimiento del flujo de carbono a escala global.

Se espera que la producción primaria integrada en la columna de agua medida y modelada sean mayores en la zona costera que en el océano, lo cual podría ser el resultado del aumento en la concentración de clorofila, disponibilidad de nutrientes y abundancia del fitoplancton en la zona eufótica, debido al forzamiento físico ocasionado por vientos, procesos de mezcla y eventos de surgencias, los cuales también podrían afectar a las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos del fitoplancton, contribuyendo a la variabilidad de la producción primaria entre ambas zonas. Además, se espera que también dichas propiedades y parámetros puedan representar de la mejor manera posible los procesos bio-ópticos y fisiológicos del fitoplancton que ocurren en la zona de estudio. De esta manera, es más recomendable estimar valores promedios de estas propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos por regiones, los cuales permanezcan constantes al menos en una estación del año determinada, que considerar un solo valor promedio para todo el año, lo que ocasionaría un importante error en la estimación de la producción primaria.

I.1. Antecedentes

Se han hecho grandes esfuerzos para estimar la producción primaria en escala global con el propósito fundamental de entender mejor los procesos que intervienen en el ciclo biogeoquímico del carbono. Steeman Nielsen y Jensen (1957) fueron los primeros en intentar calcular la producción primaria anual a partir de mediciones con ^{14}C realizadas a bordo de la expedición Galatea por todos los océanos, con un estimado de 12-15 Gigatoneladas C año⁻¹ (Gigatoneladas, Gt; 1Gt=10¹⁵ g). Koblentz-Mishke (1965) calculó una producción primaria total global de 23 Gt C año⁻¹. Más tarde Eppley y Peterson (1979) también calcularon la producción primaria global (27.1 Gt C año⁻¹) basada en estimaciones gruesas de la concentración de clorofila. Sin embargo, con la llegada de los sensores remotos de color del océano como el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) a finales

de la década de los 70's, se descubrió el potencial que representaban las mediciones de este sensor para la Oceanografía Biológica. Fue hasta la década de los 90's cuando Longhurst *et al.* (1995) estimaron la producción primaria en escala global utilizando mediciones locales de perfiles de clorofila y parámetros fotosintéticos junto con observaciones derivadas de sensores remotos que fueran característicos de una región determinada. Los autores antes mencionados dividieron a los océanos en 57 regiones y estimaron una producción primaria total global de $50.2 \text{ Gt C año}^{-1}$. Estas divisiones regionales de los océanos se hicieron de acuerdo a los ciclos estacionales característicos del crecimiento del fitoplancton, propiedades ópticas de los componentes del agua de mar y transporte vertical de nutrientes. Además, se consideraron cambios estacionales, anuales y decadales de la circulación oceánica. Las fronteras entre las regiones fueron delimitadas por características que pudieran ser observadas por los sensores remotos. Por otra parte, Antoine *et al.* (1996) calcularon la producción primaria global total anual entre 36.5 y $45.6 \text{ Gt C año}^{-1}$ (cuando se consideró la relación clorofila activa entre clorofila más feopigmentos, ρ igual a 0.80 y 1.0 , respectivamente) a partir de imágenes mensuales de clorofila superficial derivadas del CZCS.

Behrenfeld y Falkowski (1997) también calcularon la producción primaria integrada en la zona eufótica en escala global a partir de observaciones medidas junto con datos derivados del CZCS, la cual fue de $43.5 \text{ Gt C año}^{-1}$. Estos últimos autores encontraron que la producción primaria estimada por su modelo explicó el 86% de la variabilidad de la producción primaria medida.

Balch *et al.* (1992) estimaron la producción primaria en el hemisferio norte con información de pigmentos medidos desde la década de los 50's hasta 1988, junto con datos de clorofila superficial derivados del CZCS. La producción primaria integrada en la columna de agua fue calculada por varios algoritmos (Bannister, 1974; Smith y Baker, 1978; Eppley *et al.*, 1985), los cuales explicaron el 65% de la variabilidad de la producción primaria medida, mientras que el modelo de Banse y Yong (1990) explicó el 67% de esta variabilidad. Por otro lado, el modelo de Balch *et al.* (1989b) basado en pigmentos, temperatura y luz logró explicar el 58% de la variabilidad de la producción primaria medida integrada en la zona eufótica.

El Océano Atlántico constituye una de las cuencas más estudiadas en la estimación de la producción primaria con información derivada de sensores remotos del color del océano combinado con observaciones medidas. Platt *et al.* (1991) estimaron la producción primaria del fitoplancton desde los 20°S hasta los 70°N , cuyo valor fue de $9 \pm 3 \text{ Gt C año}^{-1}$, dividiendo el área de estudio en 12 regiones en función de la latitud y la batimetría. En estas regiones calcularon valores promedio de los parámetros fotosintéticos, así como los parámetros que caracterizan el perfil de la biomasa. Sathyendranath *et al.* (1995) calcularon la producción primaria en $10.5 \text{ Gt C año}^{-1}$ desde los 10°S a 70°N en el Océano Atlántico, el cual fue dividido en 19 regiones biogeoquímicas sin importar la latitud. Estos autores observaron que la zona costera contribuye con el 27% de la producción primaria total.

El Sistema de la Corriente de California (SCC) es quizás la región más ampliamente estudiada en el océano mundial desde el punto de vista hidrográfico y pesquero. También han sido estudiadas las propiedades bio-ópticas principalmente de la Ensenada Sur de California (ESC) por Mueller y Lange (1989), Sosik y Mitchell (1991, 1994, 1995) y Schofield *et al.* (1991, 1993), así como los parámetros fotosintéticos por Schofield *et al.* (1991, 1993), Sosik (1996) y Valdez-Holguín *et al.* (1998). Últimamente Mitchell y Kahru (1998) y Kahru y Mitchell (1999) han desarrollado algoritmos empíricos para calcular la concentración de clorofila a partir de relaciones de reflectancia de sensores remotos (R_{rs}) y de mediciones de radiancia del agua (L_{WN}) derivada de sensores de color del océano (SeaWiFS) en la Corriente de California. Estos algoritmos regionales pueden ser extendidos hacia la región sur de la Corriente de California para calcular la concentración de clorofila derivada de sensores remotos debido a las características bio-ópticas similares entre ambas regiones. Sosa-Avalos *et al.* (en preparación) observaron que los valores

promedio de los coeficientes de absorción de luz por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm son muy similares entre los datos de IMECOCAL de 1999 (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California) con los de CalCOFI (California Cooperative Fisheries Investigation) medidos en la ESC de 1998 al 2000. Peláez y McGowan (1986) mostraron patrones de distribución de pigmentos en la zona a partir de datos derivados del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y Balch *et al.*

(1989a, b) desarrollaron algoritmos semianalíticos para estimar la producción primaria en la Ensenada Sur de California utilizando información generada en los cruceros del programa CalCOFI. Carr (2002) estimó la producción primaria del fitoplancton derivada de las mediciones del Ocean Color and Temperature Sensor (OCTS) y del Sea-viewing Wide Field of view Sensor (SeaWiFS) durante tres años (1996-1999) para todo el SCC, en donde la producción primaria contribuyó con una tasa promedio de fijación de carbono del orden de $1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Sin embargo, las aguas del Océano Pacífico frente a Baja California, México han sido pobremente estudiadas en sus propiedades oceanográficas, bio-ópticas y fotofisiológicas. Algunos de los trabajos realizados en la región son los de Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego (1991) quienes determinaron los números de asimilación relativos de las curvas fotosíntesis-irradiancia entre San Diego, CA. y San Quintín, BC., en julio de 1985. Observaron valores bajos de clorofila en ambos lados del "Frente Ensenada", aunque el máximo subsuperficial de clorofila fue más somero en el lado frío del frente. Por otro lado, no encontraron diferencias significativas en los números de asimilación relativos en ambos lados del frente, mientras que la producción primaria integrada en la columna de agua fue entre 2-3 veces mayor al norte que al sur del frente. González-Morales *et al.*

(1993) estimaron parámetros fotosintéticos de muestras fraccionadas en dos tamaños de fitoplancton en una estación costera de Baja California, durante el verano de 1986 (26 de junio al 10 de julio). Estos autores midieron altos valores de clorofila al inicio y al final del periodo de muestreo (2 mg m^{-3}) y valores menores de 1 mg m^{-3} en la mitad del muestreo, donde el fitoplancton pequeño $<8\mu\text{m}$ contribuyó en general con el 80% del contenido total de clorofila. Sin embargo, la tasa fotosintética máxima (P_m^*) tuvo gran variabilidad con valores altos [$>4 \text{ mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$]

para el fitoplancton $>8\mu\text{m}$, lo mismo que el coeficiente de máxima utilización de luz (α^*). Valdez-Holguín *et al.* (1998) determinaron parámetros fotosintéticos del fitoplancton (α^* y P_m^*), cosecha

cuántica máxima (ϕ_m) y coeficientes de absorción por fitoplancton en una estación costera localizada a 7 km al oeste de la Isla Todos Santos, durante verano de 1994 (20 de julio al 8 de agosto). Los valores de α^* , ϕ_m y P_m^* fueron variables durante el periodo de muestreo, siendo ligeramente mayores los valores de superficie que los del 10% $E_{0(PAR)}$. En general los promedios de α^* , ϕ_m y P_m^* fueron $0.039 [\text{mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1} (\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$, $0.051 \text{ mol C/mol fotones}$ y $9.6 \text{ mg C (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. La mayoría de estos trabajos han sido irregulares en el tiempo y no han caracterizado todas las escalas espaciales y temporales característicos de la región.

Se ha mostrado por diversos autores (por ejemplo; Hayward *et al.*, 1999; Bograd *et al.*, 2000; Durazo y Baumgartner, 2002; Lavaniegos *et al.*, 2002; Hernández-de-la-Torre *et al.*, sometido) que el Sistema de la Corriente de California presenta fuerte variabilidad interanual ocasionada por los eventos El Niño y La Niña, así como variabilidad estacional y regional sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual podría afectar la extrapolación de las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos desde escalas locales a regionales para estimar la producción primaria. Sin embargo, los valores promedios de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton descritos por Sosik y Mitchell (1995) en la Ensenada del Sur de California durante el evento El Niño 1991-92 son muy similares a los reportados por Sosa-Avalos *et al.* (en

preparación) frente a Baja California durante el evento La Niña 1999 y a los medidos de 1998 a 2000 por el programa CalCOFI.

I.2. Área de estudio

El Sistema de la Corriente de California (SCC) es una de las regiones más ampliamente estudiadas de los océanos mundiales por numerosos investigadores. Sverdrup y Fleming (1941) hicieron una de las primeras interpretaciones dinámicas de las corrientes en el área, estableciendo una fuerte conexión entre la circulación oceánica y los vientos superficiales. El área de estudio se localiza frente a Baja California entre los 24° y 32° de latitud norte y 112° a 120° de longitud oeste y forma parte del SCC cubriendo la red de estaciones del programa IMECOCAL (Figura 1). El SCC está formado por la Corriente de California (CC), Contracorriente Costera (IC, por

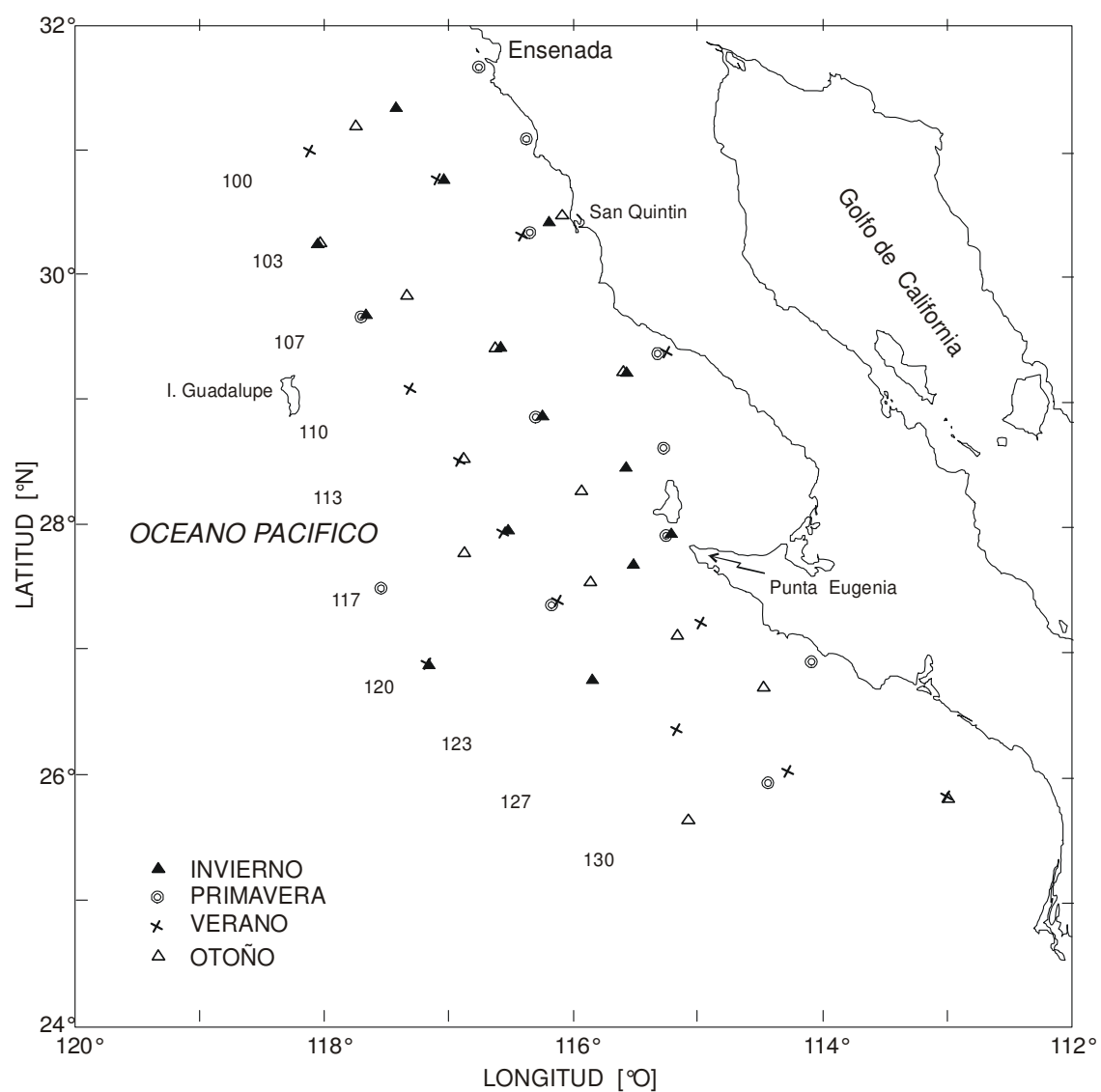


Figura 1. Localización de estaciones donde se realizaron experimentos de producción primaria. Los números indican las líneas de la red de estaciones del programa IMECOCAL.

sus siglas en inglés), la cual al norte de Punta Concepción es referida como Corriente de Davidson y por la Contracorriente sub-superficial de California (CU, por sus siglas en inglés).

El SCC está delimitado al norte y al sur por la Corriente Subártica y la Corriente Norecuatorial, respectivamente. La transición de uno a otro sistema se produce en regiones de frentes y mezclas de características muy dinámicas. La frontera sur de la CC es particularmente compleja pues sus aguas se mezclan con las del Golfo de California que inyecta aguas más calientes y densas a la zona de transición. De acuerdo a Vélez-Muñoz (1981) y Gómez y Vélez-Muñoz (1982) la Corriente de California se puede dividir en tres zonas con respecto al tipo de masas de agua: zona del dominio de la masa de agua subártica, zona de transición y zona de dominio de masa de agua ecuatorial. Estos autores sugieren que la zona de influencia Subártica se localiza de San Francisco a Cabo Mendocino, la zona de transición se encuentra frente a Baja California y sur de California (aproximadamente entre 30 y 35°N) y la zona de influencia ecuatorial está frente a Baja California Sur desde Cabo San Lucas hasta Punta Eugenia.

La frontera oeste del SCC está formada por la continuación de la Zona Frontal Subártica (Lynn y Simpson, 1987) marcando una transición abrupta hacia aguas del giro del Pacífico Norte más saladas y con mayor temperatura.

La CC es una de las grandes corrientes limítrofes orientales del giro anticiclónico del Pacífico Norte (Hickey, 1979), que resultan de la asimetría termal en las grandes cuencas oceánicas. La CC es una corriente superficial (0-300 m de profundidad) la cual fluye hacia el ecuador durante todo el año a lo largo de la costa oeste de América del Norte, formando posteriormente parte de la Corriente Nor-ecuatorial (NEC, por sus siglas en inglés) (Lynn y Simpson, 1987). La velocidad promedio de la CC fuera de la costa de California es típicamente menor de 25 cm s^{-1} (Reid y Schwartzlose, 1962).

El flujo más fuerte de la CC hacia el ecuador es en primavera y verano, debilitándose en otoño e invierno, mientras que el flujo más fuerte hacia el polo norte (contracorriente) se presenta entre otoño e invierno y prácticamente desaparece en primavera y verano (Reid y Schwartzlose, 1962; Hickey, 1979; Chelton, 1984). Este flujo hacia los polos es llamado IC, localizándose a lo largo de Baja California, sur de California hasta Punta Concepción (Lynn y Simpson, 1987).

Entre las profundidades de 150 a 600 m, por debajo del núcleo de salinidad de la CC hay una masa de agua con alta salinidad (>34.3) asociada con temperaturas entre 8 y 15°C, la cual fluye hacia el polo a lo largo de las costa de Norteamérica. Este flujo es conocido como CU y se origina en el este del Pacífico Ecuatorial (Sverdrup y Fleming, 1941; Reid *et al.*, 1958), se extiende desde el sur de Baja California hacia el norte de Columbia Británica. Reid (1962) y Reid *et al.* (1963) fueron los primeros en sugerir que este flujo puede ser concentrado en un estrecho núcleo de alta velocidad frente a Punta Concepción y Punta Eugenia. Hickey (1979) concluyó que la CU muestra considerable variabilidad estacional en posición, fuerza y profundidad del núcleo desde San Francisco hasta Baja California. Hickey (1979) mostró que el fuerte flujo que se dirige hacia el ecuador corresponde a la CC que aparece en primavera-verano, mientras que el contraflujo costero (CU) hacia los polos aparece en otoño-invierno. Lynn y Simpson (1987) mostraron que el núcleo de CU es normalmente confinado a distancias de 60 km fuera de la costa frente a Baja California. Durante la primavera e inicios del verano los vientos prevalecientes cerca de la costa de Norteamérica son de dirección norte-noroeste, desarrollando eventos de surgencias (y con característica de variabilidad espacial) desde marzo hasta julio (Sverdrup *et al.*, 1942). Hacia el final del verano, cuando cambia la dirección del viento, los afloramientos generalmente cesan. En el otoño se desarrolla la contracorriente costera en la superficie, mientras que en noviembre,

diciembre y enero fluye hacia el norte a lo largo de la costa hasta casi 48°N. Lynn y Simpson (1987) describen que en esta época se desarrollan remolinos ciclónicos cerca de la costa.

La CC es sensible a los cambios climáticos interanuales, especialmente a los cambios asociados con el fenómeno de El Niño (Bograd *et al.*, 2001). Los efectos de El Niño dentro de la CC incluyen calentamiento de las aguas locales, cambios en la salinidad, disminución en las surgencias costeras y nivel del mar relativamente alto (Durazo y Baumgartner, 2002).

Las propiedades del agua de la CC observadas frente a Baja California son generalmente atribuidas a la presencia de tres masas de agua, cada una distinguida por características propias de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y contenido de nutrientes (Lynn y Simpson, 1987). Estas masas de agua son: Agua Subártica del Pacífico (Subarctic Water, SAW), Agua Superficial Subtropical (Subtropical Surface Water, StSW) y Agua del Pacífico Ecuatorial (Equatorial Pacific Water). El Agua Subártica del Pacífico entra al SCC en el norte alrededor de los 48°N y forma un núcleo de agua de baja temperatura y salinidad pero altamente oxigenada, la cual es encontrada entre la superficie y los 100m de profundidad frente a California (Hickey, 1979; Lynn, 1986). El amplio flujo hacia el ecuador de SAW fuera de la costa gira hacia el oeste a 25° de latitud norte y entra a formar parte de la Corriente Nor-Ecuatorial (Reid *et al.*, 1958). Frente a Baja California el SAW incrementa la temperatura y salinidad debido a la mezcla con aguas más cálidas y saladas a lo largo de su trayectoria hacia el ecuador (Durazo y Baumgartner, 2002).

El Agua del Pacífico Ecuatorial es una masa de agua subsuperficial cálida, salada, baja en oxígeno y con alta concentración de nutrientes que aflora al norte en la CU (Lynn

y Simpson, 1987). Esta se extiende hacia el Este del Pacífico Tropical desde aproximadamente 10°S a 20°N y en profundidad desde la parte baja de la termoclina hasta los 800 m. El flujo hacia el norte de esta agua entra a CU entre las profundidades de 150 y 500 m en la región sur frente a Baja California (Reid *et al.*, 1958).

La región sur del SCC frente a Baja California es considerada como una zona de transición ecológica entre las aguas subtropicales del Pacífico Central y templadas de la Corriente de California, en donde las especies del norte son reemplazadas por especies de aguas cálidas del Pacífico Central y Ecuatorial (Moser y Smith, 1993; McGowan *et al.*, 1996).

Lavaniegos *et al.* (2002) concluyeron que la clorofila superficial y la integrada en la columna de agua mostraron variabilidad estacional e interanual con valores muy altos en abril, particularmente cerca de la costa. Después de la primavera la zona fuera de la costa presentó baja biomasa de fitoplancton, aunque cerca de la costa permanecieron los valores relativamente altos. Las altas concentraciones de clorofila superficial e integrada en la columna de agua fueron asociadas con aguas superficiales de menor temperatura y salinidad, y una capa de mezcla más somera, características de eventos de surgencias.

Por el contrario, la biomasa de zooplancton disminuyó durante las condiciones frías de 1999, a pesar de la disponibilidad de alimento (fitoplancton). Además observaron variabilidad interanual en las poblaciones de zooplancton. Lavaniegos *et al.* (2002) dividieron el área de estudio en dos regiones; norte (Líneas 100-110) y central (Líneas 113-133) de acuerdo a la concentración de clorofila, en las cuales se encontraron diferencias significativas entre ambas zonas con respecto a la clorofila superficial e integrada, biomasa y estructura de la comunidad zooplanctónica, registrándose los valores más altos en la región central.

El SCC presenta impactos claros de eventos interanuales tales como los fenómenos El Niño-La Niña (Bograd y Lynn, 2001). Hernández-de-la-Torre *et al.* (sometido) encontraron variabilidad interanual de anomalías de temperatura dentro y fuera de la costa en la Ensenada Sur de California (Línea 90, CalCOFI) y frente a Baja

California (Líneas 107 y 120, IMECOCAL). Estas regiones presentaron valores negativos desde el inicio hasta mediados de la década de los 70's, excepto durante el evento El Niño 1972-73. Las anomalías cambiaron a positivas en 1976-77. El periodo de 1977-98 mostró fuertes anomalías positivas con mayor impacto en la costa, mientras que las anomalías negativas estuvieron relacionadas con eventos La Niña en 1988-89, 1992 y 1999-2000. Estos mismos autores también encontraron variabilidad interanual, estacional y regional en los cálculos de la producción total y producción nueva en seis regiones, en las cuales se observaron valores bajos de ambas producciones durante eventos El Niño.

I.3. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es estimar la producción primaria del fitoplancton a partir de las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos medidos *in situ*, junto con información derivada de sensores remotos del color del océano, la cual pueda ser comparada con la producción primaria medida durante 1999 frente a Baja California, México.

Objetivos Particulares:

- a) Determinar la variabilidad espacial y estacional de la concentración de clorofila y de algunas propiedades bio-ópticas (coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton y coeficientes de atenuación vertical de luz difusa), característicos del área de estudio y que puedan ser utilizados como herramientas en modelos bio-ópticos de producción primaria.
- b) Conocer la variabilidad espacial y estacional de los parámetros fotosintéticos de la relación fotosíntesis-irradiancia y proponer perfiles promedios de estos parámetros para estimar la producción primaria por medio de modelos semianalíticos.
- c) Estimar la producción primaria del fitoplancton por medio de modelos semianalíticos y empíricos utilizando datos de color del océano derivados del SeaWiFS.

II. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN POR PARTÍCULAS Y FITOPLANKTON FRENTE A BAJA CALIFORNIA

II.1. INTRODUCCIÓN

La absorción de luz por material particulado incluyendo fitoplancton es una importante fuente de variabilidad óptica dentro de la zona eufótica de los océanos (Mitchell y Kiefer, 1988a; Bricaud *et al.*, 1995; Sosik y Mitchell, 1995). La variabilidad de las propiedades ópticas del fitoplancton en el océano afectan la penetración de la luz, la producción primaria, la biomasa de los pigmentos medidos por sensores remotos y el calentamiento de la capa mezclada (Sosik y Mitchell, 1995). Por ello, existe la necesidad fundamental de conocer la magnitud y fuentes de variabilidad de las propiedades ópticas del

material particulado, las cuales puedan ser usadas por modelos bio-ópticos junto con información derivada de sensores remotos de color del océano en la estimación de la producción primaria.

Las propiedades ópticas del agua son convenientemente divididas dentro de dos clases: inherentes y aparentes. La magnitud de las propiedades ópticas inherentes (POI) dependen sólo de las sustancias que componen el medio acuático y por lo tanto son independientes de la estructura geométrica del campo de luz dentro del medio. Las dos POI's fundamentales son el coeficiente de absorción y la función de volumen del esparcimiento (Mobley, 1994; Kirk, 1994). Las propiedades ópticas aparentes (POA)

son las que dependen del medio y de la estructura geométrica del campo de luz, mostrando características bastante regulares y estabilidad para ser útiles como descriptores de un cuerpo de agua. Las POA's más comunes son la irradiancia, el coseno promedio y el coeficiente de atenuación de luz difusa. La teoría de transferencia radiativa proporciona la conexión entre las POI's y POA's (Moble, 1994; Kirk, 1994).

Los sensores remotos de color del océano ofrecen el potencial de estimar, en forma sinóptica la concentración de los pigmentos del fitoplancton y la producción primaria, pero esto requiere que la variabilidad de las propiedades de absorción por

partículas deba ser incorporado dentro de modelos ópticos y algoritmos de producción primaria sobre una variedad de escalas espaciales y temporales (Sosik y Mitchell, 1995).

Los modelos bio-ópticos pueden ser usados para determinar la producción primaria y el crecimiento del fitoplancton a partir de datos de luz y clorofila. La variabilidad en la relación luz-clorofila puede ser causada por cambios en el coeficiente específico de absorción del fitoplancton ($a_{\phi}^*(\lambda)$), en la capacidad de adaptación a la luz de las células vivas (Platt y Sathyendranath, 1988; Morel, 1991; Anderson, 1993) y en los cambios en la cosecha cuántica máxima (ϕ_m)

(Kiefer y Mitchell, 1983; Dubinsky *et al.*, 1984; Mitchell y Kiefer, 1988b).

En cultivos de fitoplancton se han observado diferencias en $a_{\phi}^*(\lambda)$ entre las especies (Bricaud *et al.*, 1988; Mitchell y Kiefer, 1988a) y dentro de las especies que crecen con diversas condiciones ambientales. Los efectos dentro de las especies han sido bien documentados por cambios en la irradiancia de crecimiento, con valores más altos de $a_{\phi}^*(\lambda)$ observados para altas intensidades de luz. En un crecimiento limitado por los nutrientes, $a_{\phi}^*(\lambda)$ varía inversamente con la tasa de crecimiento (Chalup y Laws, 1990; Sosik y Mitchell, 1991). Adicionalmente,

evidencias recientes muestran una relación inversa similar a la anterior entre $a_{\phi}^*(\lambda)$ y la tasa de crecimiento para células limitadas por temperatura (Sosik y Mitchell, 1994; Moisan *et al.*, 1994). También en poblaciones naturales de fitoplancton ha sido bien documentado la variabilidad de $a_{\phi}^*(\lambda)$ dentro de las especies, la cual es causada por cambios en la irradiancia de crecimiento (Mitchell y Kiefer, 1988b; Bricaud y Stramski, 1990; Sosik y Mitchell, 1991; Bricaud *et al.*, 1995). Recientemente Sosik y Mitchell (1995) reportaron que la variabilidad en $a_{\phi}^*(\lambda)$ depende de los nutrientes y la temperatura. Esta variabilidad en $a_{\phi}^*(\lambda)$ es atribuida en parte al efecto de paquete (Kirk,

1975), el cual varía con el tamaño de la célula, concentración intracelular de pigmentos y la composición de pigmentos por célula (Morel y Bricaud, 1981; Mitchell y Kiefer, 1988a; Hoepffner y Sathyendranath, 1992; Sosik y Mitchell, 1995), así como también debido a cambios en la abundancia de pigmentos accesorios con respecto a la clorofila a (Bricaud *et al.*, 1983; Sathyendranath *et al.*, 1987; Berner *et al.*, 1989). El efecto paquete ocurre cuando las moléculas de pigmentos son contenidas dentro de paquetes discretos en los cloroplastos, en lugar de estar distribuidos uniformemente dentro de los cloroplastos. Además de la variabilidad en $a_{\phi}^*(\lambda)$ hay

diferencias en ϕ_m entre las especies como una función de la irradiancia de crecimiento para especies de fitoplancton, con los valores más altos de ϕ_m observados para altas irradiancias (Kiefer y Mitchell, 1983; Falkowski *et al.*, 1985; Dubinsky *et al.*, 1986; Sakshaug *et al.*, 1989).

Uno de los mayores problemas para modelar la producción primaria es la extrapolación de las propiedades bio-ópticas y parámetros fisiológicos del fitoplancton sobre regiones escasamente muestreadas (Longhurst *et al.*, 1995; Sathyendranath *et al.*, 1995).

Las propiedades fotosintéticas y bio-ópticas del fitoplancton, así como las variables físicas y químicas

que influyen sobre ellas son conocidas que varían en espacio y tiempo. Por lo tanto, se debe hacer un esfuerzo para obtener información de la magnitud y variación de los parámetros fisiológicos del fitoplancton, propiedades de absorción de luz y de las variables ambientales que pueden ser usadas como predictores de la variabilidad de estos parámetros fotosintéticos y propiedades bio-ópticas del fitoplancton (Bouman *et al.*, 2000a).

El objetivo del presente capítulo es determinar la variabilidad espacial y estacional de la concentración de clorofila, los coeficientes específicos de absorción por partículas y fitoplancton, así como su relación con el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa, los

cuales puedan ser utilizados en modelos bio-ópticos de producción primaria.

Se esperan valores altos de clorofila ($\text{Chl-}a$) cerca de la costa de Baja California, los cuales estarán relacionados con eventos de surgencias locales, principalmente durante primavera y verano. Estos altos valores de $\text{Chl-}a$ estarán relacionados con altos coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton, con altos coeficientes de atenuación vertical de luz difusa y con bajos coeficientes específicos de absorción por partículas y fitoplancton en las estaciones costeras. Lo anterior es debido a que las células grandes como diatomeas y dinoflagelados tienen altos valores de clorofila y de absorción.

Mientras que en las estaciones oceánicas se espera obtener bajas concentraciones de clorofila asociadas con altos valores del coeficiente específico de absorción por partículas y bajos valores de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton y de los coeficientes de atenuación vertical de la luz difusa.

II.2. MÉTODOS

Durante 1999 se realizaron cuatro cruceros oceanográficos en invierno, primavera, verano y otoño en la región sur de la Corriente de California dentro del programa IMECOCAL (Figura 1). Tres de los cruceros se hicieron a bordo del B. O. Francisco de

Ulloa del CICESE, mientras que el otro crucero fue a bordo del B. O. El Puma de la UNAM. La red de estaciones de IMECOCAL se basa en la red original de estaciones CalCOFI. Las líneas se encuentran paralelas entre sí y la distancia que existe entre ellas es de 74 km, mientras que la distancia entre las estaciones es de aproximadamente 36 km. De acuerdo a las características físicas y biológicas el área de estudio fue dividida en dos zonas siguiendo el criterio descrito por Lynn y Simpson (1987); estaciones costeras (36 a 145 km de la costa) y estaciones oceánicas (180 a 290 km de la costa).

En cada crucero se colectaron muestras de agua cerca del mediodía local en una estación diaria para

determinar la concentración de clorofila ($\text{Chl-}a$), para absorción de luz por partículas y alícuotas para identificar y cuantificar el fitoplancton. Además, se hicieron mediciones de luz en la misma estación utilizando un Perfilador de Radiancia de la Reflectancia (Profiling Reflectance Radiometer, PRR-600) de Biospherical Instruments. En cada estación se calculó el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa (K_d) por medio de la lectura de un disco de Secchi (LDS) de 30 cm de diámetro; $K_d = 1.7 / \text{LDS}$. De tal forma, que a partir de la ecuación de Lambert-Beer se calcularon las profundidades de muestreo que correspondieran a 100, 50, 30, 20, 10 y 1% de

irradiancia superficial ($E_{0(PAR)}$, PAR es la radiación fotosintéticamente activa entre los 400-700 nm) de la siguiente manera:

$$E_{z(PAR)} = E_{0(PAR)} e^{-K_d(PAR)Z} \quad (1)$$

$$Z = \frac{\ln(E_{0(PAR)} / E_{z(PAR)})}{K_d(PAR)} \quad (2)$$

donde $E_{z(PAR)}$ es la irradiancia a la profundidad Z, $E_{0(PAR)}$ es la irradiancia en la superficie del agua, $K_d(PAR)$ es el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa y Z es la profundidad a la que corresponden los porcentajes de irradiancia determinados.

Las muestras de agua fueron colectadas con botellas Niskin de 5 l de capacidad con ligas de silicón para evitar dañar las células del fitoplancton, debido a que las ligas de silicón no son tóxicas para las células como las ligas convencionales de hule. Estas botellas fueron acopladas en una roseta General Oceanics integrada con un CTD marca Sea Bird Electronics modelo SBE 911 PLUS. El CTD cuenta con una unidad submarina modelo SBE 9 y una unidad de control en cubierta SBE 11 plus, la cual permite la comunicación, control de la operación y monitoreo de la señal de los sensores en la unidad SBE 9 con una computadora personal vía cable conductor eléctrico en el malacate del CTD. El agua de cada botella Niskin se colocó en botes de plástico totalmente oscuros para evitar la influencia directa de la luz solar.

II.2.1. Concentración de clorofila

Se filtraron dos litros de agua de cada profundidad a través de un sistema de presión usando filtros Whatman GF/F de 0.45 μm de tamaño de poro y 25 mm de diámetro, los cuales fueron congelados inmediatamente en nitrógeno líquido para su análisis posterior. Los pigmentos fueron extraídos con acetona al 90% en frío y oscuridad por 24 horas (Venrick y Hayward, 1984). Las concentraciones de clorofila y feopigmentos antes y después de acidificar con ácido clorhídrico al 10% fueron determinadas por el método fluorimétrico con un Fluorómetro Turner Designs (Yentsch y Menzel, 1963; Holm Hansen *et al.*, 1965).

La clorofila determinada en las estaciones de

producción primaria fueron de seis profundidades ópticas (100, 50, 30, 20, 10 y 1%), mientras que la Chl-*a* determinada en todas las estaciones de la red IMECOCAL fueron a profundidades estándar de 0, 10, 20, 50, 100 y 150 m en los tres primeros cruceros y hasta 200 m en otoño. La concentración de pigmentos fue calculada de la siguiente expresión:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg m}^{-3} \text{)} = (\text{LFC-LFAC}) \text{ FACTOR (v) (V}^{-1} \text{)} \quad (3)$$

$$\text{Feopigmentos (mg m}^{-3} \text{)} = (r \text{ LFAC-LFC}) \text{ FACTOR (v) (V}^{-1} \text{)} \quad (4)$$

donde LFC es la lectura de la fluorescencia de la clorofila sin acidificar, corregida por testigo y dilución; LFAC es la lectura de la fluorescencia de la clorofila después de acidificar, corregida por dilución; FACTOR es obtenido de la calibración clorofila *a* pura libre de feopigmentos dependiendo del nivel de sensibilidad del fluorímetro y de la concentración de clorofila; v es el volumen de extracción con acetona (ml); V es el volumen de la muestra filtrada (l); r es la razón de las lecturas sin acidificar y acidificadas (LFC/LFAC) para clorofila *a* libre de feopigmentos.

II.2.2. Absorción de luz por partículas

El coeficiente de absorción total de la luz dentro de un cuerpo de agua natural es descrito en función de la suma parcial de sus componentes:

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_p(\lambda) + a_g(\lambda)$$

(5)

donde w , p , y g se refieren a la componente del agua, material particulado y material orgánico soluble (gelvin), respectivamente y λ es la longitud de onda.

La componente por partículas puede ser descompuesta

como:

$$a_p(\lambda) = a_\phi(\lambda) + a_d(\lambda) + a_i(\lambda)$$

(6)

donde ϕ , d e i se refieren a los componentes debido al fitoplancton, partículas no pigmentadas (detritos) y material inorgánico (seston), respectivamente.

Para las estimaciones cuantitativas de los coeficientes de absorción por partículas las muestras de agua fueron

filtradas con filtros Whatman GF/F de 0.45 μm de tamaño de poro y 25 mm de diámetro e inmediatamente congeladas en nitrógeno líquido. Las muestras de agua fueron extraídas de seis profundidades ópticas descritas previamente (100, 50, 30, 20, 10 y 1%). La absorción de la trayectoria geométrica l_s del material en suspensión filtrado es

$$l_s = \frac{V}{A}$$

(7)

donde V es el volumen de agua filtrada y A es el área del filtro determinada por el diámetro medido de la porción del filtro con partículas concentradas sobre éste. En este trabajo V fue de 1 litro de agua de mar y A fue en promedio 2.10 cm^2 .

Las mediciones de la densidad óptica de los filtros de las muestras se hicieron con un espectrofotómetro Varian Cary 1E Uv-Visible con doble haz de luz en la *Scripps Institution of Oceanography*. Se prepararon dos filtros como blancos de referencia, los cuales fueron saturados con agua de mar filtrada por 0.2 μm y se midió el espectro de los dos filtros al mismo

tiempo. Uno de los blancos fue removido del espectrofotómetro, mientras que el otro filtro del blanco fue mantenido dentro del espectrofotómetro durante las mediciones de las muestras. La densidad óptica (OD) fue registrada en el intervalo espectral desde 300 a 800 nm. A cada una de las longitudes de onda de los espectros de las muestras se les restó el valor de OD de los filtros de los blancos entre 750 a 800 nm de acuerdo a Mitchell (1990) y Mitchell *et al.* (2000). Esto es para corregir las diferencias espectrales entre los filtros de las muestras y los de referencia, las cuales ocurren durante las determinaciones de rutina y que sean constantes las diferencias durante estas determinaciones.

$$a_p(\lambda) = \frac{2.303A}{\beta V} [OD_f(\lambda) - OD_{null}]$$

(8)

$OD_f(\lambda)$ es la absorbancia del filtro de la muestra medida y OD_{null} es la absorbancia del blanco de referencia totalmente hidratado, A es el área filtrada, V es el volumen filtrado y β es la amplificación de la trayectoria debido al esparcimiento múltiple.

Los espectros de absorción fueron corregidos por la amplificación de la trayectoria (factor β) usando la Técnica Cuantitativa de Filtro (QFT) (Mitchell, 1990; Mitchell *et al.*, 2000). El factor β se estimó empíricamente a través de una función cuadrática que puede ser expresada de la siguiente forma

$$\beta = [C_1 + C_2 (OD_f(\lambda) - OD_{null}(\lambda))]^{-1}$$

(9)

donde C_1 y C_2 son los coeficientes del ajuste de regresión por mínimos cuadrados de los datos medidos.

Después de determinar los espectros de absorción de partículas totales, los pigmentos fueron extraídos en metanol frío de acuerdo al método descrito por Kishino *et al.* (1985). Los blancos de referencia fueron también tratados con metanol frío. Esto produce la componente de absorción por partículas no pigmentadas (a_d) más absorción por seston (a_i),

algunas veces referidas como detritos total ($a_{dT} = a_d + a_i$). La absorbancia de los datos crudos fueron usadas para calcular los coeficientes de absorción por partículas totales y por detritos totales (a_p y a_d) y la diferencia de ambos produce los coeficientes de absorción por fitoplancton ($a_\phi = a_p - a_d$).

Los coeficientes específicos de absorción por partículas ($a_p^*(\lambda)$), detritos ($a_d^*(\lambda)$), y fitoplancton ($a_\phi^*(\lambda)$) fueron calculados normalizándolos por la concentración de clorofila a medida con el método fluorimétrico.

II.2.3. Fitoplancton

Las muestras de agua para fitoplancton fueron colectadas de las profundidades correspondientes al 100, 50, 30 y 1% de $E_{0(PAR)}$ las cuales fueron fijadas con 2 ml de Lugol neutralizado con ácido acético. De cada una de las muestras se utilizaron 50 ml para formar una submuestra integrada en la zona eufótica, de la cual se tomó una alícuota de 50 ml en cámaras de sedimentación. Las muestras se dejaron sedimentar por 24 horas y posteriormente fueron analizadas en un microscopio invertido de acuerdo con la técnica de Utermöhl (1958).

II.2.4. Perfiles de Irradiancia

El radiómetro (Profiling Reflectance Radiometer; PRR-600) de Biospherical Instruments mide la irradiancia descendente y la radiancia ascendente a diferentes longitudes de onda. Consta de un sensor de superficie (PRR-610) que sirve como referencia y que mide la irradiancia descendente en los canales 412, 443, 490, 510, 555, 665 nm de longitud de onda. El sensor sumergible consta de dos

celdas planas; una que mide la irradiancia descendente en los canales 412, 443, 490, 510, 555, 565 nm de longitud de onda junto con la PAR (400-700 nm) y la otra que mide la radiancia ascendente en los canales 412, 443, 490, 510, 555, 665 y 683 nm de longitud de onda. Cuenta además con un sensor de la temperatura del agua y otro que mide la profundidad (presión).

Se hicieron mediciones de luz a través de la columna de agua con el PRR-600 en cada una de las estaciones donde se colectaron muestras de agua para determinar el coeficiente de absorción por partículas. De los datos generados se calcularon la irradiancia espectral descendente ($E_d(\lambda)$) y el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa ($K_d(\lambda)$) en la columna de agua. Los valores de K_d de cada una de las longitudes de onda fueron obtenidos a 100, 50, 30, 20 10 y 1% $E_{0(PAR)}$ utilizando el software del PRR-600. Los datos de K_d fueron corregidos por el coseno promedio ($\bar{\mu}_d$) del ángulo que forma la irradiancia descendente con un punto sobre el océano cerca del medio día local, el cual fue tomado igual a 0.72, de acuerdo a Giles-Guzmán y Alvarez Borrego (2000). A los valores de $K_d(\lambda)$ se les restó el valor del coeficiente de atenuación de la luz debida al agua pura ($K_w(\lambda)$) propuesto por Pope y Fry (1997), de tal forma que $K_{bio}(\lambda)$ fue calculada de la siguiente expresión:

$$K_{bio}(\lambda) = K_d(\lambda) - K_w(\lambda) \quad (10)$$

donde $K_{bio}(\lambda)$ es el coeficiente de atenuación de la luz debido a la contribución de todos los componentes biogénicos como fitoplancton, organismos no-algales (tales como virus,

bacterias heterotróficas y otros heterótrofos pequeños), detritos, materia orgánica disuelta coloreada y quizás burbujas (Morel y Maritorena, 2001).

II.3. RESULTADOS

II.3.1. Concentración de clorofila

En general el intervalo de variación promedio de la clorofila superficial (0 m) fue de 0.41 mg m^{-3} en otoño a 1.35 mg m^{-3} en primavera, siendo la clorofila de este último crucero más de dos veces mayor que la registrada en los otros tres cruceros (Tabla I). Mientras que la clorofila integrada en la columna de agua (hasta 150 m en los tres primeros cruceros y 200 m en el último) presentó los valores más bajos en invierno y los más altos en primavera (Tabla II).

Tabla I. Promedio de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) superficial de las estaciones costeras y oceánicas para cada crucero frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.

Crucero	Costa	Océano
Invierno	0.77 (0.12)	0.39 (0.02)
Primavera	2.34 (0.42)	0.35 (0.04)
Verano	0.66 (0.10)	0.24 (0.02)
Otoño	0.56 (0.08)	0.25 (0.02)

Tabla II. Promedio de la concentración de clorofila integrada (mg m^{-2}) en la columna de agua en las estaciones costeras y oceánicas frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.

Crucero	Costa	Océano
Invierno	57.42 (6.52)	49.72 (5.75)
Primavera	108.00 (14.36)	56.25 (7.04)
Verano	70.21 (5.70)	63.80 (7.82)
Otoño	65.38 (5.51)	54.16 (8.58)

La clorofila superficial en general mostró alta variabilidad en las estaciones costeras, siendo 72% más alta que las estaciones costeras. Además, la clorofila integrada en la columna de agua también presentó el mismo comportamiento que la clorofila superficial con 24% más alta en la zona costera en todo el año (Tabla I y II). La clorofila superficial y la integrada en la columna de agua fueron significativamente más altas en las estaciones costeras durante el crucero de primavera. Los contornos de la concentración de clorofila medida a 10 m de profundidad con respecto al promedio mensual de las imágenes de clorofila medidas por sensores de color del océano (SeaWiFS) fueron similares (Figura 2) con intervalos de concentración desde 0.3 mg m⁻³ a 6.0 mg m⁻³. Los valores más altos medidos y los observados por el sensor de color del océano se registraron durante primavera en las estaciones costeras (Figura 2b). Durante verano también se observaron valores de clorofila mayores a 1.0 mg m⁻³ cerca de la costa, los cuales fueron similares a los medidos por el sensor de color (Figura 2c). Mientras que en invierno y otoño se presentaron los valores más bajos de clorofila de 10 m tanto *in situ* como los medidos por el sensor remoto (Figura 2a, d).

II.3.2. Coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton

Los valores promedios de los coeficiente de absorción por partículas ($a_{p(440,674)}$) considerando toda la zona eufótica fueron más altos en primavera y más bajos durante otoño

(Tabla III). El promedio de $a_{p(440)}$ del crucero de otoño fue calculado sin considerar los datos de superficie debido a valores sumamente altos ($>0.20 \text{ m}^{-1}$) de los coeficientes de absorción por partículas y detritos. Este problema será tratado aparte como un caso especial en el presente capítulo. Los valores promedios de los coeficientes de absorción por fitoplancton ($a_{\phi(440,674)}$) presentaron el mismo comportamiento que $a_{p(440,674)}$ con valores máximos en primavera y mínimos en otoño (Tabla III). Sin embargo, no se observaron variaciones importantes en los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton entre los cruceros.

Los valores de $a_{p(440)}$ y $a_{p(674)}$ de las estaciones costeras fueron 49% y 60% más altos que en las estaciones oceánicas, mientras que los datos de $a_{\phi(440)}$ y $a_{\phi(674)}$ fueron

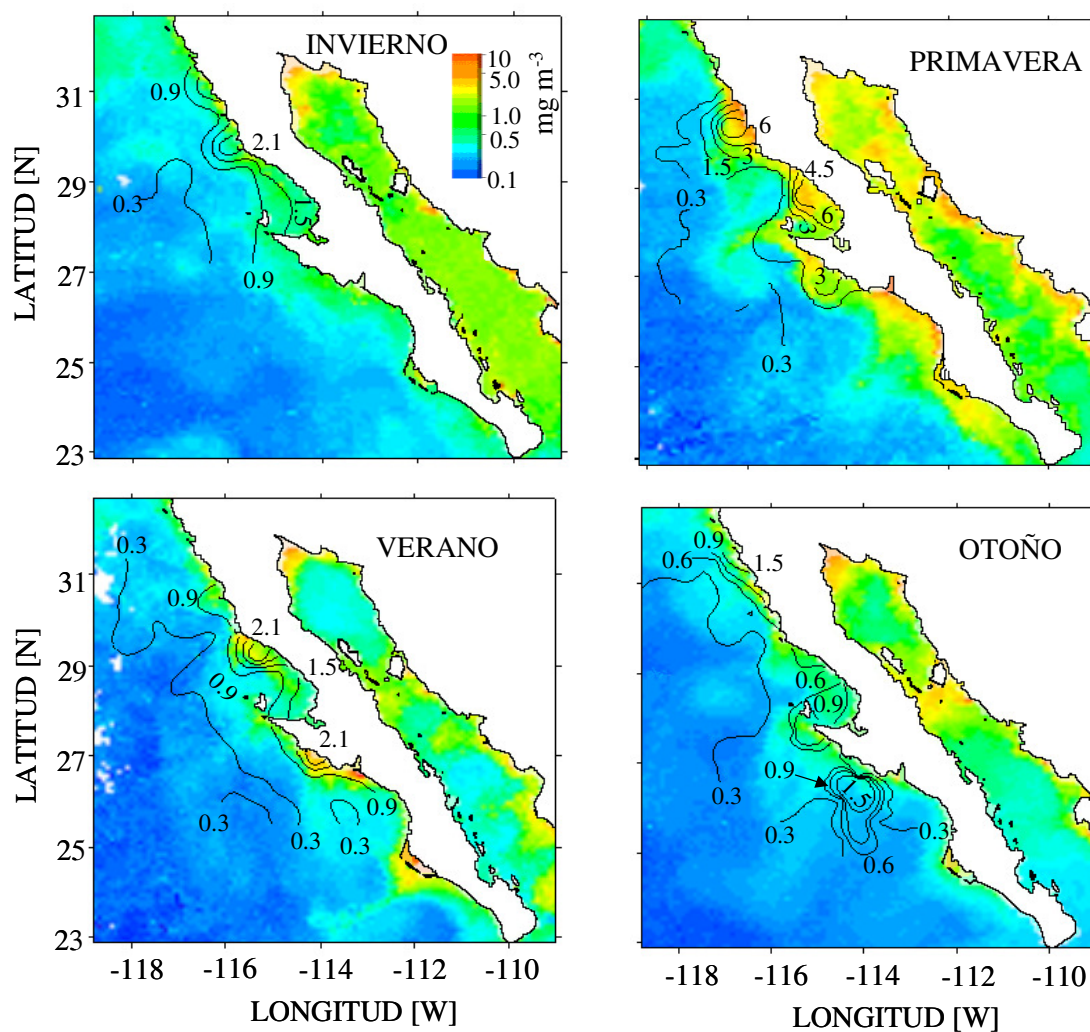


Figura 2. Contornos de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) medida a 10m de profundidad, junto con imágenes promedio mensuales de clorofila superficial medida por el SeaWiFS en enero (a), abril (b), agosto (c) y octubre (d) de 1999. El intervalo de contornos es 0.3 mg m^{-3} .

Tabla III. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm (m^{-1}) frente a Baja California durante 1999. Los números en paréntesis representan el error estándar de la media.

Crucero	$a_{p(440)}$	$a_{p(674)}$	$a_{\phi(440)}$	$a_{\phi(674)}$
Invierno	0.036 (0.0020)	0.010 (0.0009)	0.028 (0.0020)	0.009 (0.0008)
Primavera	0.044 (0.0040)	0.016 (0.0020)	0.039 (0.0040)	0.015 (0.0020)
Verano	0.035 (0.0050)	0.009 (0.0020)	0.026 (0.0050)	0.008 (0.0020)
Otoño	0.030 (0.0030)	0.008 (0.0007)	0.022 (0.0020)	0.006 (0.0007)
Todos	0.037 (0.0040)	0.010 (0.0010)	0.029 (0.0030)	0.010 (0.0010)

55% y 64% mayores en la zona costera (Tabla IV). En general, los valores de $a_{p(440,674)}$ y $a_{\phi(440,674)}$ fueron más altos en primavera y verano cerca de la costa, asociados con altas concentraciones de clorofila debido a los eventos de surgencias registrados en la zona de estudio. Los espectros promedios de los coeficientes de absorción por fitoplancton de las estaciones costeras a diferentes profundidades y para cada crucero (Figura 3a, c, e, g) muestran con más detalle lo descrito anteriormente. Los valores bajos de $a_{p(440,674)}$ y $a_{\phi(440,674)}$ se registraron en las estaciones oceánicas como resultado de la baja concentración de clorofila (Figura 3b, d, f, h).

La mayor variabilidad de los coeficientes de absorción fue observada entre las estaciones costeras y oceánicas a partir del análisis de las medianas por Kruskal-Wallis, las cuales fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) en cada estación del año. También se encontró variabilidad de $a_{p(440,674)}$ y $a_{\phi(440,674)}$ a través de la columna de agua utilizando el análisis

de Mann-Whitney, con tendencias a incrementarse por debajo de la profundidad del 50% de luz en las estaciones costeras (Tabla V) y oceánicas (Tabla VI) durante los cuatro cruceros.

Tabla IV. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 440 y 674 nm, entre las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero frente a Baja California.

Crucero	Estaciones Costeras				Estaciones Oceánicas			
	$a_{p(440)}$	$a_{p(674)}$	$a_{\phi(440)}$	$a_{\phi(674)}$	$a_{p(440)}$	$a_{p(674)}$	$a_{\phi(440)}$	$a_{\phi(674)}$
Invierno	0.044	0.013	0.035	0.012	0.023	0.006	0.017	0.005
Primavera	0.059	0.022	0.052	0.021	0.025	0.007	0.020	0.007
Verano	0.049	0.014	0.039	0.013	0.021	0.004	0.014	0.004
Otoño	0.037	0.009	0.027	0.008	0.027	0.006	0.018	0.005
Todos	0.047	0.015	0.038	0.014	0.024	0.006	0.017	0.005

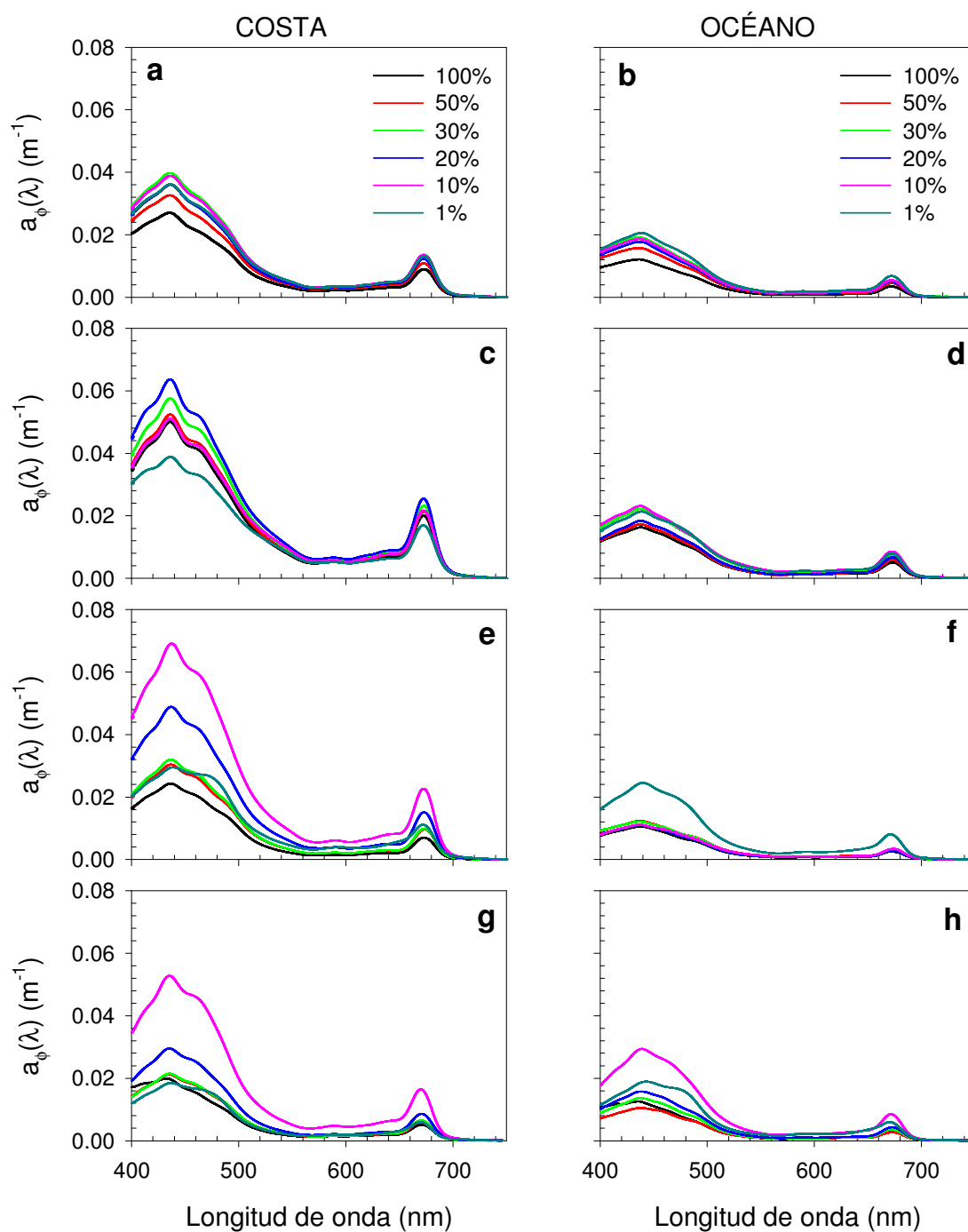


Figura 3. Espectros promedios del coeficiente de absorción de luz del fitoplancton (m^{-1}) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero. Invierno (a,b); Primavera (c,d); Verano (e,f) y Otoño (g,h).

Tabla V. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones costeras de cada crucero. Los valores de absorción están dados en m^{-1} .

Cruceros	Nivel	$a_{p(440)}$	$a_{p(674)}$	$a_{\phi(440)}$	$a_{\phi(674)}$
Invierno	100%	0.034	0.010	0.027	0.009
Primavera		0.056	0.021	0.050	0.020
Verano		0.037	0.008	0.024	0.007
Otoño		0.014	0.008	0.020	0.005
Invierno	50%	0.042	0.012	0.032	0.011
Primavera		0.060	0.022	0.052	0.021
Verano		0.038	0.010	0.030	0.010
Otoño		0.028	0.007	0.021	0.006
Invierno	30%	0.048	0.014	0.038	0.013
Primavera		0.064	0.024	0.057	0.023
Verano		0.039	0.011	0.032	0.010
Otoño		0.029	0.007	0.021	0.007
Invierno	20%	0.046	0.014	0.036	0.012
Primavera		0.071	0.027	0.063	0.026
Verano		0.058	0.016	0.049	0.015
Otoño		0.037	0.009	0.030	0.009
Invierno	10%	0.048	0.015	0.039	0.014
Primavera		0.057	0.023	0.051	0.022
Verano		0.079	0.024	0.069	0.023
Otoño		0.064	0.018	0.053	0.017
Invierno	1%	0.045	0.014	0.036	0.013
Primavera		0.047	0.018	0.039	0.017
Verano		0.039	0.012	0.030	0.011
Otoño		0.026	0.007	0.019	0.006

Tabla VI. Promedio de los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones oceánicas de cada crucero. Los valores de absorción están dados en m^{-1} .

Cruceros	Nivel	$a_{p(440)}$	$a_{p(674)}$	$a_{\phi(440)}$	$a_{\phi(674)}$
Invierno	100%	0.017	0.004	0.012	0.004
Primavera		0.020	0.005	0.016	0.005
Verano		0.020	0.003	0.011	0.003
Otoño		0.105	0.006	0.014	0.003
Invierno	50%	0.021	0.005	0.016	0.004
Primavera		0.023	0.006	0.017	0.006
Verano		0.018	0.004	0.012	0.003
Otoño		0.015	0.003	0.011	0.003
Invierno	30%	0.027	0.006	0.019	0.005
Primavera		0.027	0.008	0.022	0.007
Verano		0.019	0.004	0.012	0.003
Otoño		0.022	0.004	0.015	0.004
Invierno	20%	0.023	0.006	0.018	0.005
Primavera		0.024	0.007	0.018	0.007
Verano		0.017	0.003	0.011	0.003
Otoño		0.032	0.008	0.024	0.007
Invierno	10%	0.025	0.006	0.019	0.005
Primavera		0.028	0.009	0.023	0.009
Verano		0.018	0.004	0.011	0.003
Otoño		0.038	0.009	0.029	0.009

Invierno	1%	0.023	0.007	0.018	0.006
Primavera		0.026	0.008	0.021	0.008
Verano		0.032	0.009	0.025	0.008
Otoño		0.028	0.007	0.019	0.006

Los datos de $a_{p(440,674)}$ y $a_{\phi(440,674)}$ se distribuyeron a través de la línea de regresión con límites de confianza del 95% (Figura 4a, b, c y d). Además, se ajustaron a una función de poder de la forma $y = a[Chl]^b$ como una primera aproximación para representar las variaciones mostradas por estos coeficientes de absorción durante 1999 con respecto a la concentración de clorofila. Los coeficientes de $a_{p(440)}$ y $a_{\phi(440)}$ se ajustaron adecuadamente a la función de poder, la cual explicó en ambos casos el 82% de la variabilidad. La Chl-*a* explicó el 86% y 85%, respectivamente de la variabilidad mostrada por $a_{p(674)}$ y $a_{\phi(674)}$ (Tabla VII). Sin embargo, cuando la concentración de Chl-*a* fue mayor que 3.0 mg m^{-3} , los coeficientes de absorción tienden a disminuir quizás debido al efecto paquete de las células de fitoplancton y a la presencia de otros pigmentos diferentes a la clorofila (Figura 5a, b, c y d). Esta tendencia fue más intensa en los coeficientes de absorción registrados en las estaciones costeras de primavera (datos no mostrados).

Los pigmentos de las células de fitoplancton como divinil-clorofila *b*, α y β carotenos y otros pigmentos accesorios absorben fuertemente la luz en el intervalo de

470-500 nm de longitud de onda, contribuyendo de manera importante en la variabilidad de los coeficientes de absorción. Para probar esto se hizo una comparación entre $a_{p(490)}$ y la Chl-*a*, ajustando todos los datos a una función de poder de la misma forma como se describió anteriormente. El 80% de los valores de $a_{p(490)}$ fueron explicados adecuadamente por la Chl-*a*. Por lo tanto, los pigmentos no fotosintéticos contribuyeron débilmente (20%) a la absorción total de la luz (Figura 6a). De manera similar se ajustaron los datos de $a_{\phi(490)}$ en donde la Chl-*a* explicó el 82% de la variabilidad de los

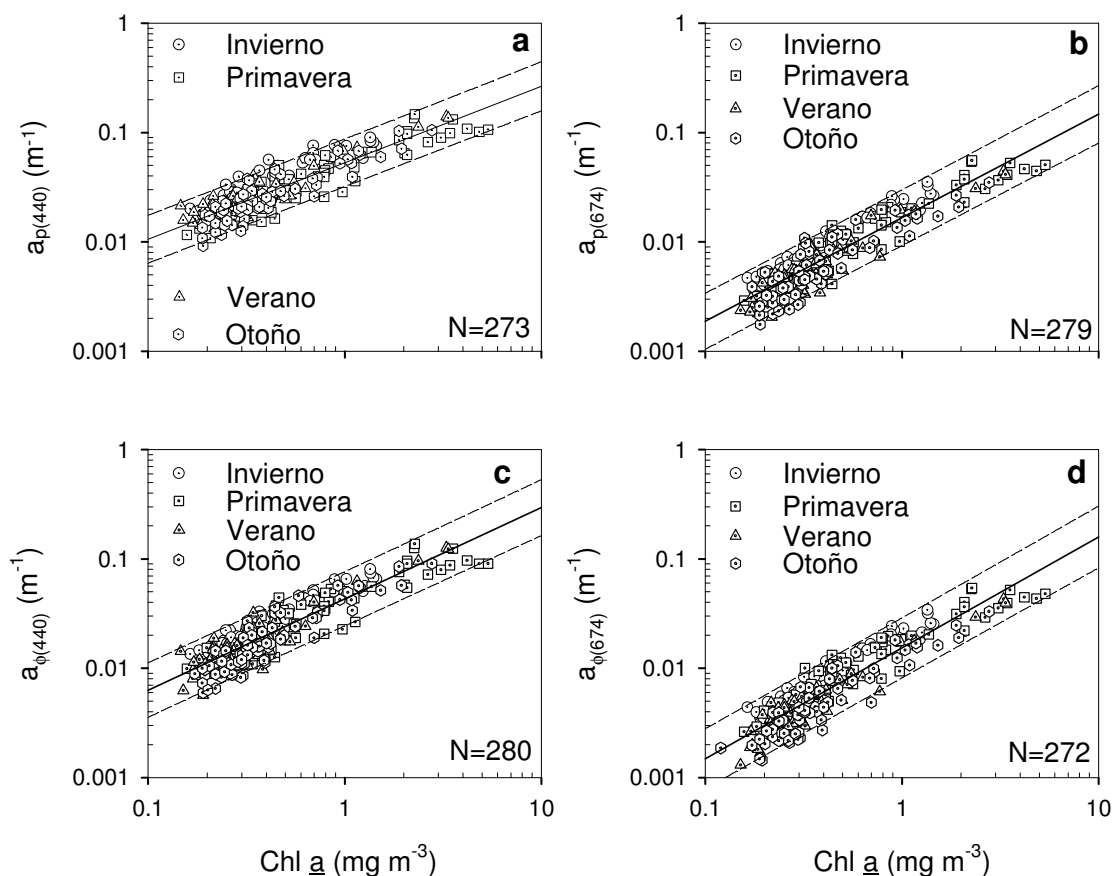


Figura 4. Relación lineal entre los coeficientes de absorción de luz por partículas (m⁻¹) y fitoplancton (m⁻¹) a 440 y 674 nm como una función de la concentración de clorofila *a* durante invierno (círculos), primavera (cuadrado), verano (triángulo) y otoño (hexágono). Los datos de absorción por partículas y fitoplancton fueron graficados en escala logarítmica. La línea

continua se refiere a la regresión lineal y la línea punteada son los límites del intervalo de predicción al 95% de confianza. N representa el total de datos. $a_{p(440)}$ (a); $a_{p(674)}$ (b); $a_{\phi(440)}$ (c) y $a_{\phi(674)}$ (d).

Tabla VII. Coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton de 440 y 674 nm, ajustados a una función de poder de la forma, $y = a[Chl]^b$, en la cual se muestran los coeficientes obtenidos en el ajuste y de determinación de los datos de Imecocal-99 y CalCOFI-99 y su comparación con los modelos de Bricaud *et al.* (1998).

Crucero	Parámetros	a	b
r^2 N			
Imecocal-99	$a_{p(440)}$	0.0534	0.6220
0.82 273			
	$a_{p(674)}$	0.0167	0.7787
0.86 279			
CalCOFI-98-00	$a_{p(444)}$	0.0545	0.6244
0.84 715			
	$a_{p(674)}$	0.0196	0.7129
0.91 715			
Bricaud <i>et al.</i> (1998)	$a_{p(440)}$	0.0520	0.0635
0.91 1166			
Bricaud <i>et al.</i> (1998)	$a_{p(674)}$	0.0200	0.8200

0.92	1166			
Imecocal-99		$a_{\phi(440)}$	0.0435	0.6985
0.82	280			
		$a_{\phi(674)}$	0.0155	0.8076
0.85	272			
CalCOFI-98-00		$a_{\phi(440)}$	0.0453	0.6196
0.80	715			
		$a_{\phi(674)}$	0.0182	0.7129
0.89	715			
Bricaud <i>et al.</i> (1998)		$a_{\phi(440)}$	0.0378	0.6270
0.90	1166			
Bricaud <i>et al.</i> (1998)		$a_{\phi(674)}$	0.0180	0.8200
0.94	1166			

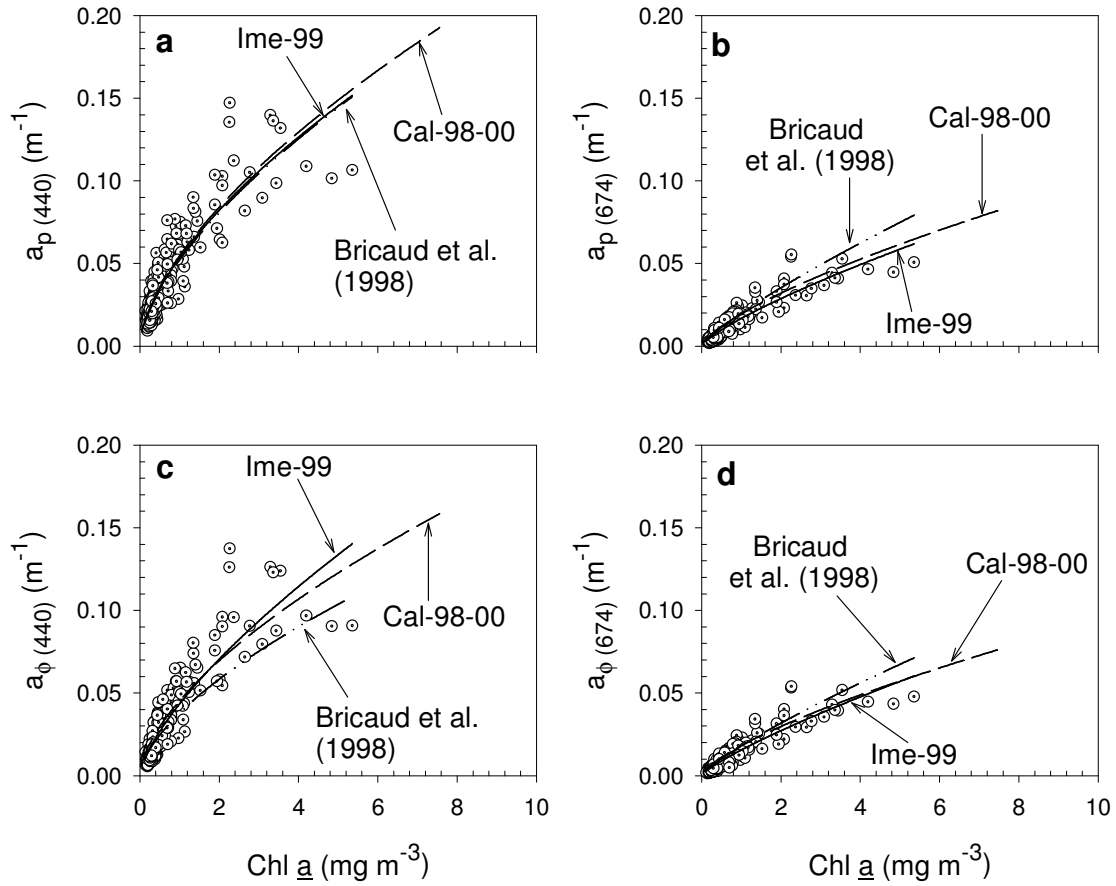


Figura 5. Coeficientes de absorción de luz por partículas (a_p , m^{-1}) y fitoplancton (a_ϕ , m^{-1}) a 440 y 674 nm de IME-COAL 1999 (Ime-99), del programa CalCOFI de 1998 a 2000 (Cal-98-00), ajustados a una función de poder con respecto a la clorofila y comparados con el modelo de Bricaud *et al.* (1998). $a_{p(440,674)}$ (a y b) y $a_{\phi(440,674)}$ (c y d). Los círculos corresponden a los datos de Ime-99 y la línea continua se refiere al ajuste de estos datos. La línea discontinua corresponde al ajuste de los datos de CalCOFI 98-00 y la línea discontinua con puntos se refiere al modelo de Bricaud *et al.* (1998).

valores (Figura 6b). En otoño, los pigmentos no fotosintéticos tuvieron mayor efecto sobre la absorción de la luz que en los otros cruceros (datos no mostrados).

II.3.3. Variabilidad espacial y estacional del coeficiente específico de absorción

Los valores promedios más altos de los coeficientes específicos de absorción por material particulado ($a_{p(440)}^*$) se registraron en invierno y los más bajos en primavera, mientras que $a_{p(674)}^*$ fue más alto en invierno y más bajo en verano y otoño (Tabla VIII). Por otro lado, los promedios de $a_{\phi(440)}^*$ y $a_{\phi(674)}^*$ presentaron comportamientos similares a los descritos para $a_{p(440)}^*$ y $a_{p(674)}^*$ (Tabla VIII).

La mayor variabilidad de $a_{p(440,674)}^*$ y $a_{\phi(440,674)}^*$ fue observada dentro de cada zona al comparar los valores promedios entre las estaciones del año. Los valores de $a_{p(440)}^*$ fueron 15% más bajos en las estaciones costeras, mientras que $a_{\phi(440)}^*$ fue 9% menor en la costa que en el océano, aunque $a_{p(674)}^*$ y $a_{\phi(674)}^*$ no cambiaron significativamente entre las dos zonas (Tabla IX). También se observó que los valores promedios de $a_{p(440,674)}^*$ y $a_{\phi(440,674)}^*$ aumentaron con la profundidad durante el crucero de invierno en las estaciones costeras y oceánicas (Tabla X y XI). Este mismo comportamiento se muestra en los espectros promedios de $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$ de esta estación del año (Figuras 7 y 8 a, b). Sin embargo, en primavera, verano y otoño no se observó un patrón definido en el comportamiento de $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$, siendo muy variable a través de la zona eufótica (Figuras 7 y 8 c, d, e, f, g, h).

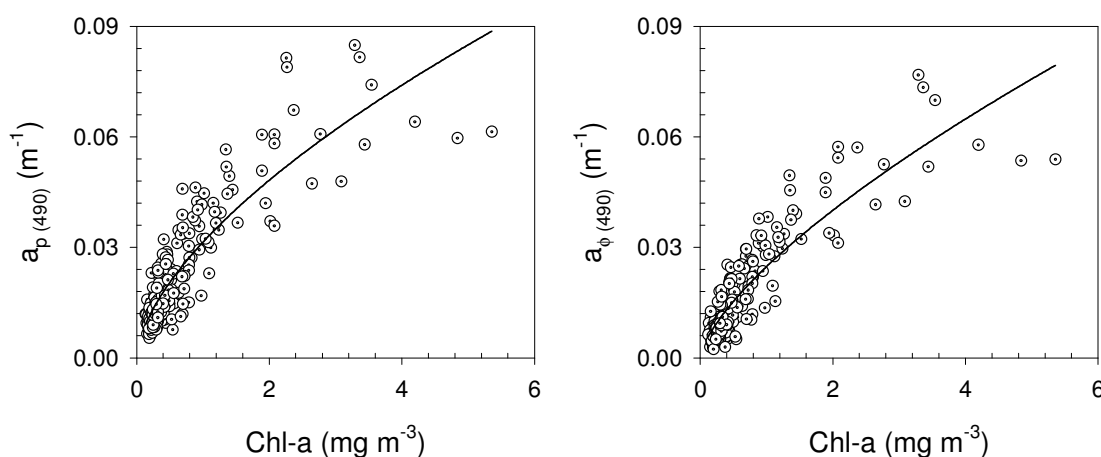


Figura 6. Coeficientes de absorción por partículas (m^{-1}) y fitoplancton (m^{-1}) a 490 nm ajustados a una función de poder en función de la clorofila. $a_{p(490)}$ (a) y $a_{\phi(490)}$ (b). Los círculos representan los datos de todos los cruceros y la línea se refiere al ajuste de estos datos.

Tabla VIII. Promedio de los coeficientes específicos de absorción ($\text{m}^2 \text{mgChl}^{-1}$) por partículas (a_p^*) y fitoplancton (a_ϕ^*) a 440 y 674 nm frente a Baja California. Los números en paréntesis representan el error estándar de la media.

Crucero	$a_{p(440)}^*$	$a_{p(674)}^*$	$a_{\phi(440)}^*$	$a_{\phi(674)}^*$
---------	----------------	----------------	-------------------	-------------------

Invierno	0.086 (0.0030)	0.023 (0.0006)	0.065 (0.0020)	0.020 (0.0006)
Primavera	0.057 (0.0030)	0.018 (0.0009)	0.047 (0.0020)	0.017 (0.0008)
Verano	0.078 (0.0030)	0.017 (0.0008)	0.052 (0.0020)	0.015 (0.0008)
Otoño	0.066 (0.0040)	0.017 (0.0010)	0.047 (0.0030)	0.013 (0.0008)
Todos	0.072 (0.0030)	0.019 (0.0008)	0.053 (0.0020)	0.016 (0.0008)

Tabla IX. Promedio de los coeficientes específicos de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm, entre las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero frente a Baja California. Los valores de los coeficientes absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$.

Crucero	Estaciones Costeras				Estaciones Oceánicas			
	$a_{p(440)}^*$	$a_{p(674)}^*$	$a_{\phi(440)}^*$	$a_{\phi(674)}^*$	$a_{p(440)}^*$	$a_{p(674)}^*$	$a_{\phi(440)}^*$	$a_{\phi(674)}^*$
Invierno	0.087	0.024	0.066	0.021	0.086	0.021	0.063	0.018
Primavera	0.050	0.017	0.043	0.016	0.066	0.019	0.053	0.018
Verano	0.073	0.018	0.051	0.015	0.082	0.017	0.052	0.014
Otoño	0.055	0.015	0.042	0.012	0.078	0.019	0.054	0.015
Todos	0.066	0.019	0.051	0.016	0.078	0.019	0.056	0.016

Tabla X. Promedio del coeficiente específico de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones costeras en cada crucero. Los valores de absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl } a)^{-1}$. El asterisco significa normalización por la concentración de clorofila a .

Cruceros	Nivel	$a_{p(440)}^*$	$a_{p(674)}^*$	$a_{\phi(440)}^*$	$a_{\phi(674)}^*$
Invierno	100%	0.075	0.020	0.056	0.018
Primavera		0.061	0.019	0.052	0.019
Verano		0.082	0.016	0.042	0.011
Otoño		-	-	0.048	0.013
Invierno	50%	0.077	0.021	0.058	0.019
Primavera		0.059	0.020	0.050	0.019
Verano		0.071	0.016	0.051	0.015
Otoño		0.052	0.012	0.038	0.010
Invierno	30%	0.082	0.022	0.061	0.020
Primavera		0.057	0.020	0.050	0.019
Verano		0.060	0.014	0.043	0.013
Otoño		0.056	0.013	0.041	0.012
Invierno	20%	0.093	0.025	0.070	0.023
Primavera		0.053	0.017	0.045	0.017
Verano		0.074	0.017	0.054	0.015
Otoño		0.059	0.015	0.045	0.013
Invierno	10%	0.095	0.026	0.073	0.024
Primavera		0.029	0.011	0.025	0.010
Verano		0.077	0.020	0.061	0.019
Otoño		0.045	0.012	0.036	0.011
Invierno	1%	0.095	0.027	0.074	0.025
Primavera		0.042	0.015	0.033	0.014
Verano		0.071	0.022	0.055	0.020

Otoño	0.061	0.017	0.042	0.014
-------	-------	-------	-------	-------

Tabla XI. Promedio del coeficiente específico de absorción por partículas y fitoplancton a 440 y 674 nm para cada profundidad óptica de las estaciones oceánicas en cada crucero. Los valores de absorción están dados en $\text{m}^2 (\text{mg Chl } a)^{-1}$. El asterisco significa normalización por la concentración de clorofila a .

Cruceros	Nivel	$a_{p(440)}^*$	$a_{p(674)}^*$	$a_{\phi(440)}^*$	$a_{\phi(674)}^*$
Invierno	100%	0.069	0.017	0.049	0.015
Primavera		0.064	0.017	0.053	0.016
Verano		0.101	0.016	0.052	0.013
Otoño		-	-	0.058	0.014
Invierno	50%	0.086	0.020	0.064	0.018
Primavera		0.059	0.016	0.044	0.015
Verano		0.079	0.015	0.054	0.013
Otoño		0.060	0.013	0.042	0.011
Invierno	30%	0.120	0.026	0.084	0.022
Primavera		0.076	0.022	0.063	0.021
Verano		0.085	0.016	0.054	0.014
Otoño		0.072	0.014	0.046	0.012
Invierno	20%	0.079	0.020	0.061	0.017
Primavera		0.073	0.021	0.055	0.020
Verano		0.069	0.013	0.044	0.011
Otoño		0.081	0.018	0.058	0.016
Invierno	10%	0.090	0.022	0.066	0.019

Primavera		0.070	0.022	0.058	0.021
Verano		0.066	0.014	0.040	0.012
Otoño		0.087	0.020	0.064	0.018
Invierno	1%	0.069	0.019	0.051	0.017
Primavera		0.054	0.018	0.045	0.017
Verano		0.092	0.025	0.069	0.022
Otoño		0.089	0.022	0.056	0.017

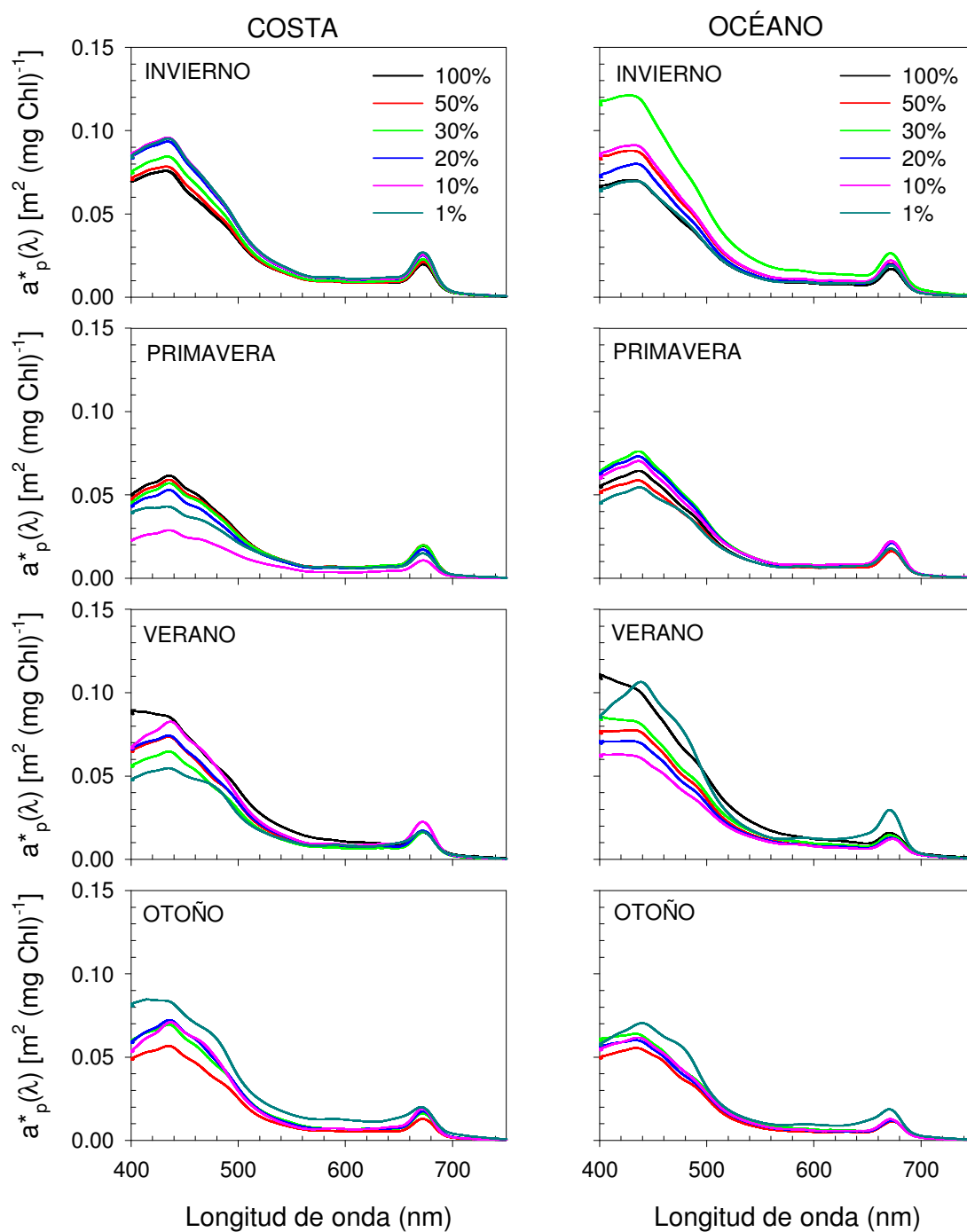


Figura 7. Variabilidad de los promedios espectrales de los coeficientes específicos de absorción por partículas

(m² mg Chl⁻¹) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas durante invierno, primavera, verano y otoño.

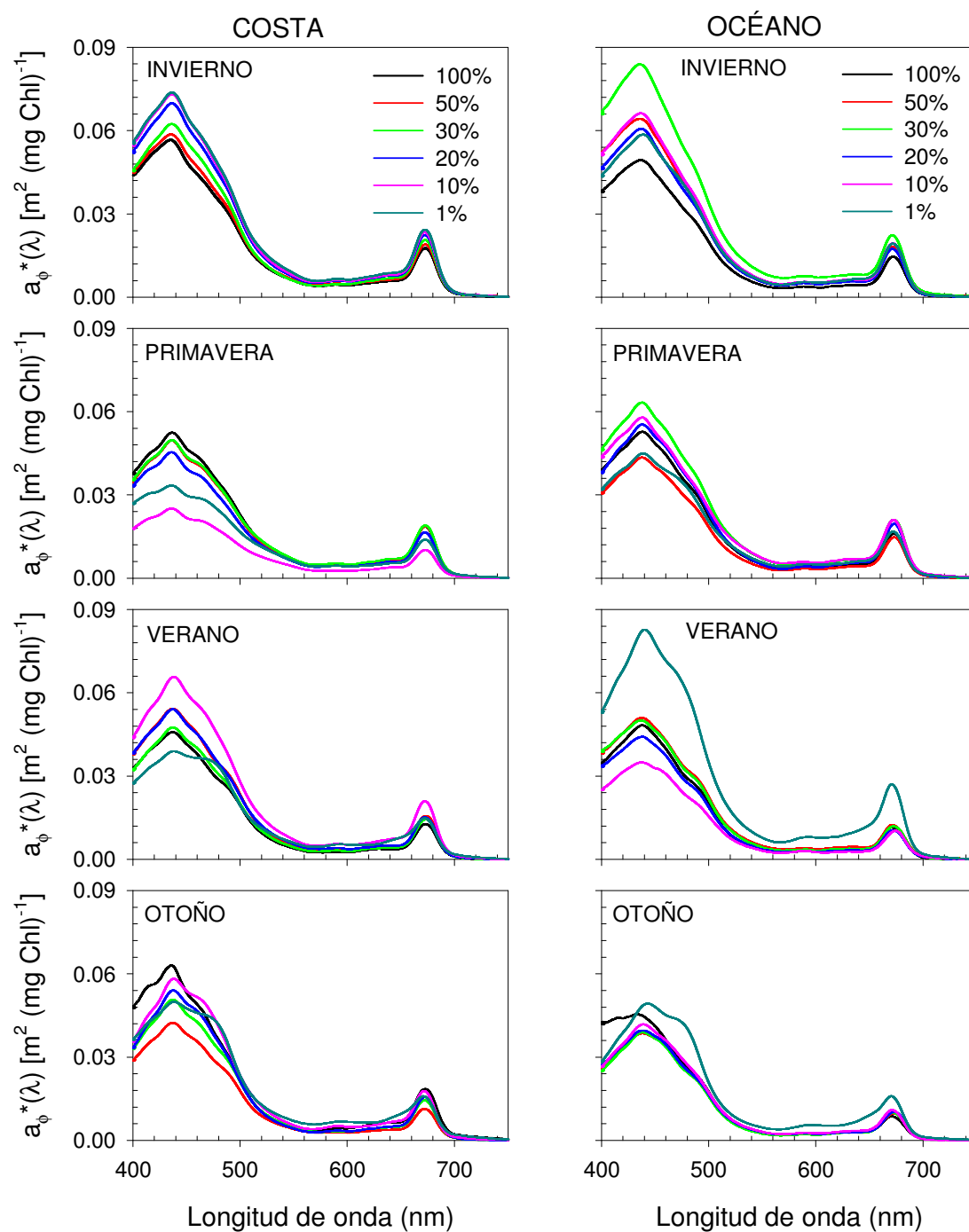


Figura 8. Variabilidad de los promedios espectrales de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{ mg Chl}^{-1}$) con respecto a la profundidad en las estaciones costeras y oceánicas durante invierno, primavera, verano y otoño.

Los coeficientes específicos de absorción por partículas y fitoplancton de cada crucero fueron divididos en tres niveles tróficos en función de la concentración de clorofila; a) $\text{Chl} < 0.4 \text{ mg m}^{-3}$; b) $0.4 \leq \text{Chl} \leq 1.0 \text{ mg m}^{-3}$ y c) $\text{Chl} > 1.0 \text{ mg m}^{-3}$, para ver la variabilidad de los coeficientes específicos de absorción con la clorofila y la presencia del efecto de paquete. Durante el crucero de invierno se observó que la magnitud del promedio de $a_{\phi}^*(\lambda)$ en la zona eufótica fue mayor en las estaciones cuya concentración de clorofila fue menor a 1.0 mg m^{-3} , mientras que la amplitud de los espectros de $a_{\phi}^*(\lambda)$ en general fueron menores cuando la Chl-*a* fue mayor de 1.0 mg m^{-3} , excepto al 1% $E_{0(\text{PAR})}$ (Figura 9a, b, c, d, e y f).

Sin embargo, en primavera el promedio de $a_{\phi}^*(\lambda)$ en toda la zona eufótica fue menor al incrementarse la concentración de clorofila ($\text{Chl} > 1.0$) (Figura 10 a, b, c, d, e y f). Aunque los promedios de $a_{\phi}^*(\lambda)$ durante verano y otoño presentan comportamiento irregular en la zona eufótica y no siempre la magnitud de $a_{\phi}^*(\lambda)$ disminuyó con el aumento de Chl-*a*, lo cual podría indicar que hay una composición fitoplanctónica diferente con menor efecto de paquete (Figuras 11 y 12 a, b, c, d, e, f). En estas figuras se observó que los espectros específicos de absorción por fitoplancton cuya clorofila es mayor a 1 mg m^{-3} tienen otros picos de absorción entre 470 y

480 nm característicos de proclorofitas, lo que podría contribuir a tener valores más altos de $a_{\phi}^*(\lambda)$ y menor efecto paquete. Por otro lado, los valores promedios de $a_{p(440,674)}^*$ y $a_{\phi(440,674)}^*$ de cada una de las estaciones del año, también fueron más altos cuando disminuyó la Chl-*a* y estos coeficientes fueron más bajos cuando la Chl-*a* se incrementó ($>1.0 \text{ mg m}^{-3}$) corroborando lo descrito anteriormente (Tabla XII).

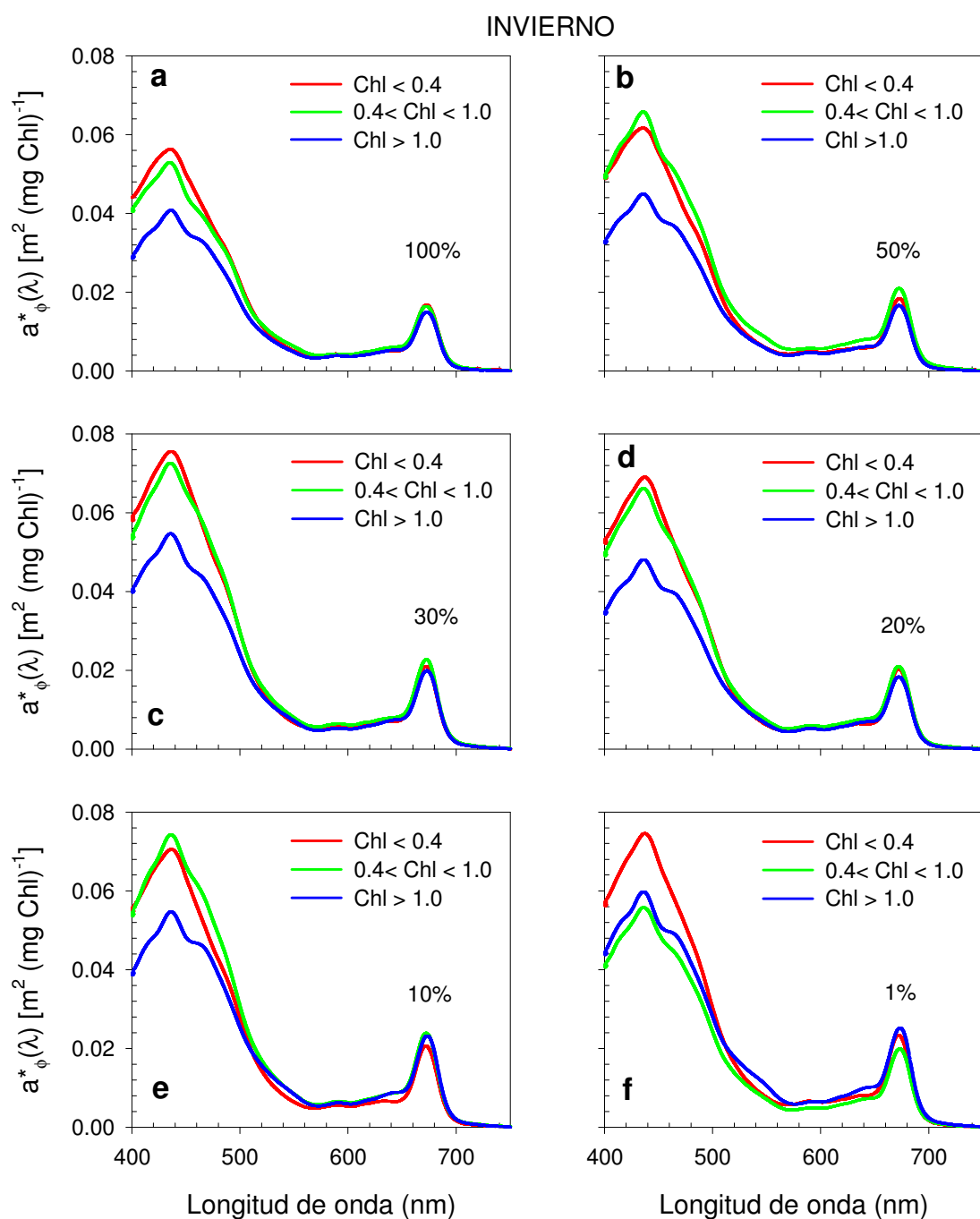


Figura 9. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mg Chl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través

de la zona eufótica durante invierno. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).

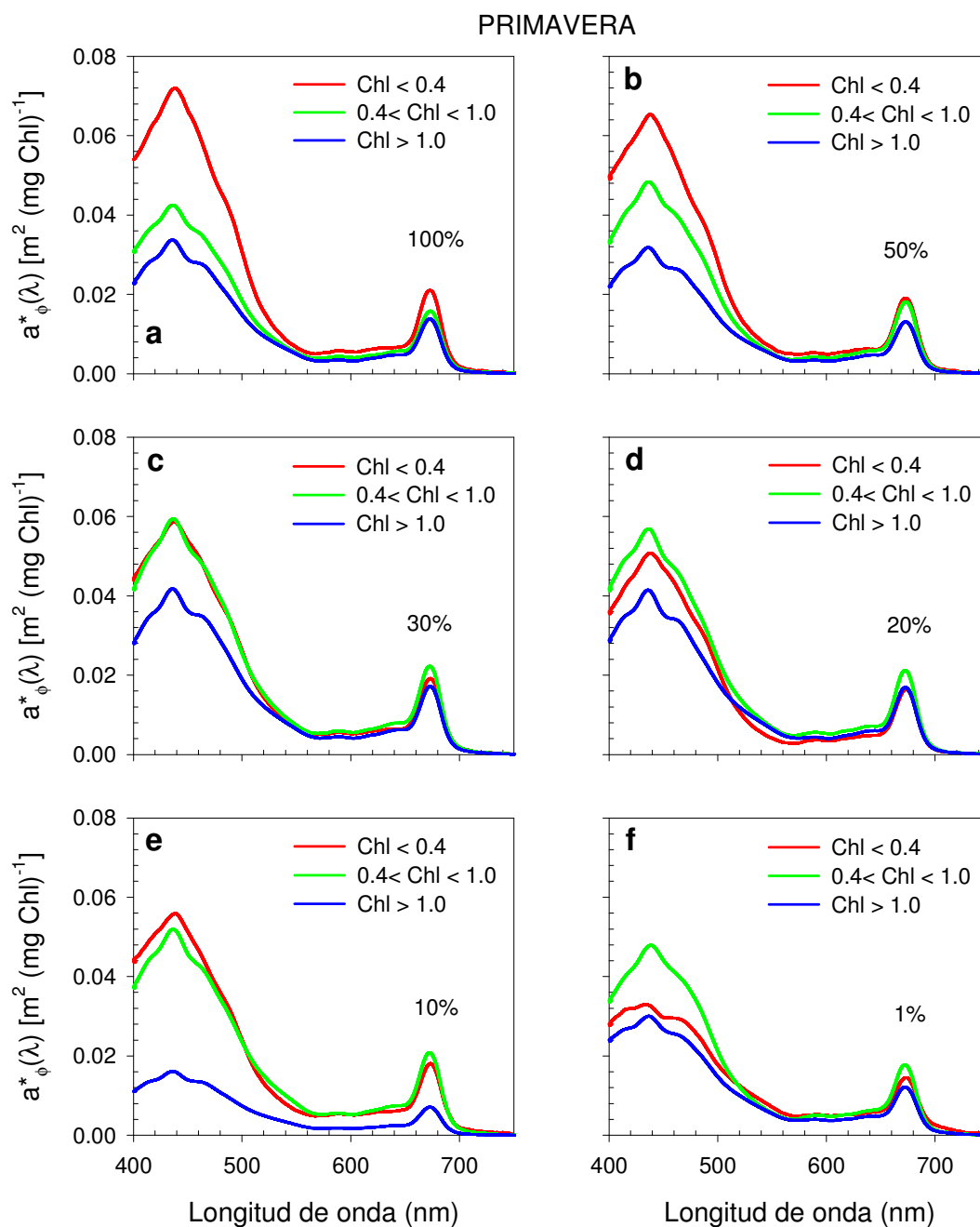


Figura 10. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mg Chl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de

la zona eufótica durante primavera. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).

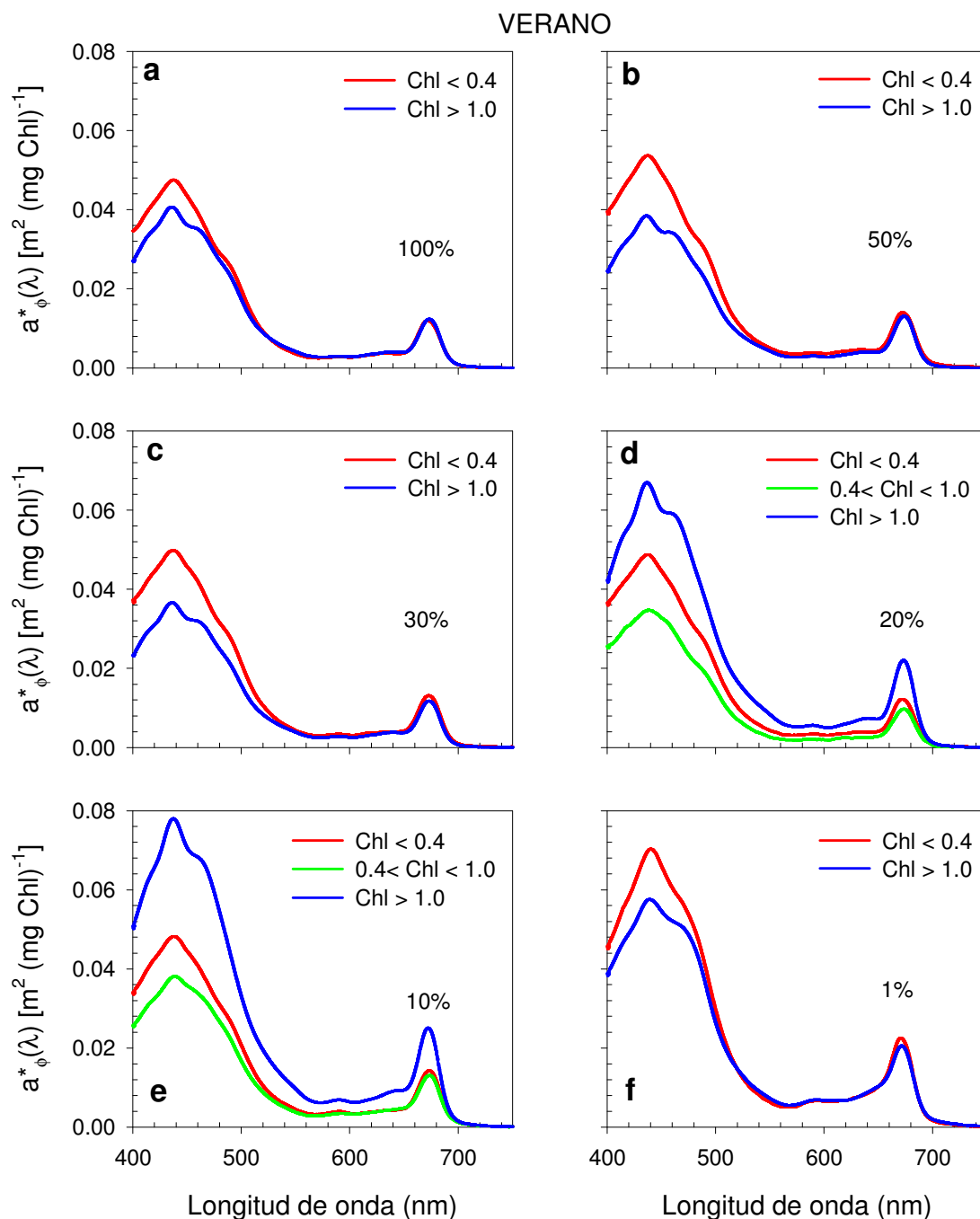


Figura 11. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton ($\text{m}^2 \text{mg Chl}^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de

la zona eufótica durante verano. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).

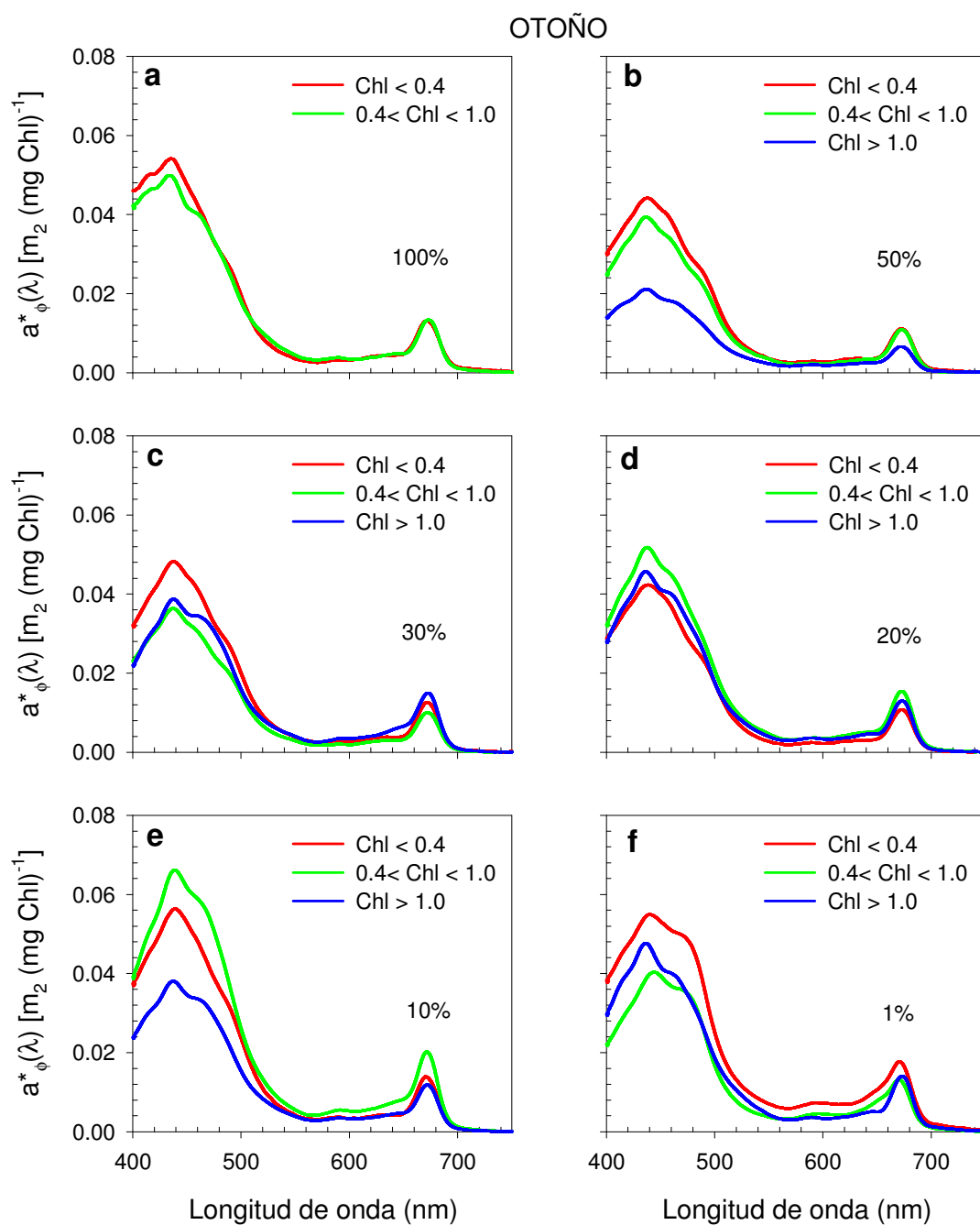


Figura 12. Espectros promedios de los coeficientes específicos de absorción del fitoplancton (m^2 mg Chl $^{-1}$) en función de la concentración de clorofila a través de

la zona eufótica durante otoño. 100% (a), 50% (b), 30% (c), 20% (d), 10% (e) y 1% $E_{0(PAR)}$ (f).

Tabla XII. Promedio de los coeficientes específicos de absorción por partículas ($a_{p(440,674)}^*$, $m^2 (mg \text{ Chl})^{-1}$) y fitoplancton ($a_{\phi(440,674)}^*$, $m^2 (mg \text{ Chl})^{-1}$) en función de la concentración de clorofila ($mg \text{ m}^{-3}$) para cada crucero.

Cruceros		Concentración de clorofila		
		< 0.4	0.4 < Chl < 1.0	Chl > 1.0
Invierno	$a_{p(440)}^*$	0.092	0.086	0.059
	$a_{p(674)}^*$	0.023	0.024	0.021
	$a_{\phi(440)}^*$	0.067	0.067	0.051
	$a_{\phi(674)}^*$	0.020	0.022	0.020
Primavera	$a_{p(440)}^*$	0.072	0.061	0.035
	$a_{p(674)}^*$	0.020	0.020	0.013
	$a_{\phi(440)}^*$	0.057	0.050	0.031
	$a_{\phi(674)}^*$	0.018	0.019	0.013
Verano	$a_{p(440)}^*$	0.081	0.069	0.062
	$a_{p(674)}^*$	0.016	0.020	0.019
	$a_{\phi(440)}^*$	0.051	0.052	0.056
	$a_{\phi(674)}^*$	0.014	0.018	0.018
Otoño	$a_{p(440)}^*$	0.160	0.068	0.044
	$a_{p(674)}^*$	0.018	0.016	0.012
	$a_{\phi(440)}^*$	0.050	0.048	0.044
	$a_{\phi(674)}^*$	0.013	0.014	0.013

II.3.4. Variabilidad en la forma del espectro

La variabilidad en la forma espectral de los componentes de absorción del fitoplancton pueden también proporcionar alguna señal de las fuentes de variación en la magnitud de $a_{\phi}^*(\lambda)$, debido a que ésta es influenciada por la taxonomía y fisiología del fitoplancton presente en el agua muestreada. Así, para examinar las diferencias en la forma espectral de $a_{\phi}^*(\lambda)$ los espectros fueron normalizados por $a_{\phi(440)}^*$. Las regiones del espectro de absorción donde las formas espectrales divergen son localizadas alrededor de 470 a 480 nm, y de 585 a 650 nm. Se observaron picos pronunciados de absorción en las regiones azul y roja del espectro visible (470 y 650 nm) en muestras colectadas en el fondo de la zona eufótica ($1\% E_{0(PAR)}$), principalmente en las estaciones costeras de primavera, verano y otoño (Figura 13c, e, g). En las estaciones oceánicas la presencia de estos picos de absorción fueron menos pronunciados, excepto en otoño (Figura 13d, f, h). Sin embargo, durante el crucero de invierno al comparar los espectros de muestras superficiales y del $1\% E_{0(PAR)}$ de las estaciones costeras y oceánicas, no se observó la influencia en la absorción de los pigmentos diferentes a la clorofila (Figura 13a, b). Estos picos de absorción (470 a 480 nm y 650 nm) corresponden a longitudes de onda donde absorbe fuertemente la divinil clorofila *b* y algunos pigmentos accesorios. Por lo tanto, esas diferencias en el espectro de absorción del fitoplancton colectado pueden ser debido a: (1) incremento en la

concentración de divinil clorofila *b* en muestras profundas por la presencia de proclorofitas y (2) por los pigmentos fotoprotectores como α caroteno y zeaxantina (480 nm) en muestras cerca de la superficie, debido principalmente a la presencia de diatomeas y cianofitas.

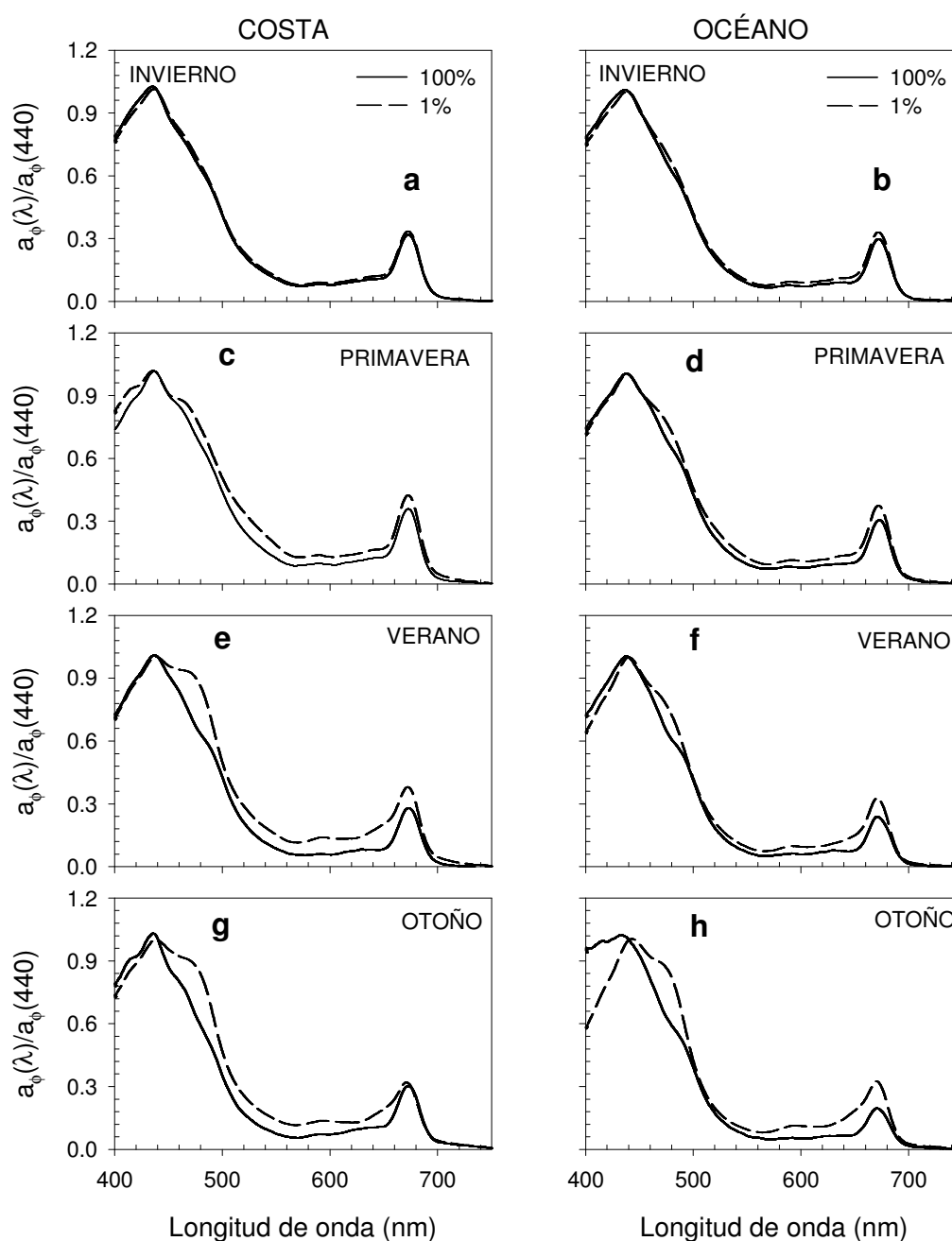


Figura 13. Variabilidad en la forma espectral del promedio del coeficiente específico de absorción del fitoplancton normalizado por su máxima absorción

$(a_{\phi(440)}^*)$ en las estaciones costeras y oceánicas de invierno, primavera, verano y otoño. Se muestran dos ejemplos por zona en cada crucero; 100% y 1% $E_{0(PAR)}$.

II.3.5. Estimación de $K_{bio}(\lambda)$

El intervalo promedio de los valores de $K_{bio}(\lambda)$ de los cuatro cruceros en las estaciones costeras fue de 0.068 y 0.122 m^{-1} a 510 y 412 nm respectivamente, mientras que el intervalo promedio de $K_{bio}(\lambda)$ en las estaciones oceánicas fue de 0.033 a 0.057 m^{-1} a 490 y 412 nm, respectivamente. Los datos de $K_{bio}(\lambda)$ fueron agrupados con respecto a la concentración de Chl-*a* graficándolos en escala logarítmica para diferentes longitudes de onda, los cuales se ajustaron a una regresión lineal simple (Tabla XIII). De tal forma que los valores de $K_{bio}(\lambda)$ mostraron tendencias a incrementarse con respecto a la Chl-*a* en el área de estudio. La concentración de clorofila explicó el 87% de la variabilidad en K_{bio} a 412 nm y el 64% de $K_{bio}(\lambda)$ a 565 nm (Tabla XIII). Además, los datos de $K_{bio}(\lambda)$ también fueron ajustados a una función de poder, la cual proporcionó coeficientes de determinación similares a los encontrados en la regresión lineal (Tabla XIII; Figura 14a, b, c, d, e, f).

II.4. DISCUSIÓN

II.4.1. Clorofila superficial e integrada en la columna de agua

Las altas concentraciones de clorofila superficial (2.34 $mg\ m^{-3}$) e integrada en la columna de agua (108 $mg\ m^{-2}$) medidas en las estaciones costeras durante primavera estuvieron asociadas con aguas superficiales de baja

temperatura (13-17°C) y alta salinidad (33.6-34.0), causadas por fuertes eventos de surgencia costera durante 1999 (Hayward *et al.*, 1999; Durazo y Baumgartner, 2002). La variabilidad observada en las altas concentraciones de clorofila durante los cuatro cruceros parece ser el resultado del

Tabla XIII. Ajuste de los datos de $K_{bio}(\lambda)$ de la capa mezclada a una regresión lineal, función de poder y función cuadrática, en donde se comparan los coeficientes obtenidos por cada función y para cada banda de $K_{bio}(\lambda)$, frente a Baja California.

$K_{bio}(\lambda)$	Regresión Lineal Simple			Función de Poder			y_0	Función Cuadrática			N
	a	b	r^2	a	b	r^2		a	b	r^2	
412	-0.9081	0.5855	0.87	0.1244	0.5182	0.87	0.02648	0.1227	-0.0169	0.91	135
443	-0.9867	0.6518	0.85	0.1042	0.5595	0.85	0.01481	0.1152	-0.0161	0.90	145
490	-1.1046	0.6418	0.79	0.0803	0.6117	0.85	0.01597	0.0750	-0.0093	0.85	119
510	-1.1617	0.5578	0.81	0.0705	0.5502	0.86	0.02110	0.0528	-0.0051	0.86	114
555	-1.1553	0.4073	0.79	0.0712	0.4091	0.80	0.03103	0.0428	-0.0047	0.81	117
565	-1.1458	0.3007	0.64	0.0721	0.2764	0.66	0.04085	0.0361	-0.0050	0.66	109

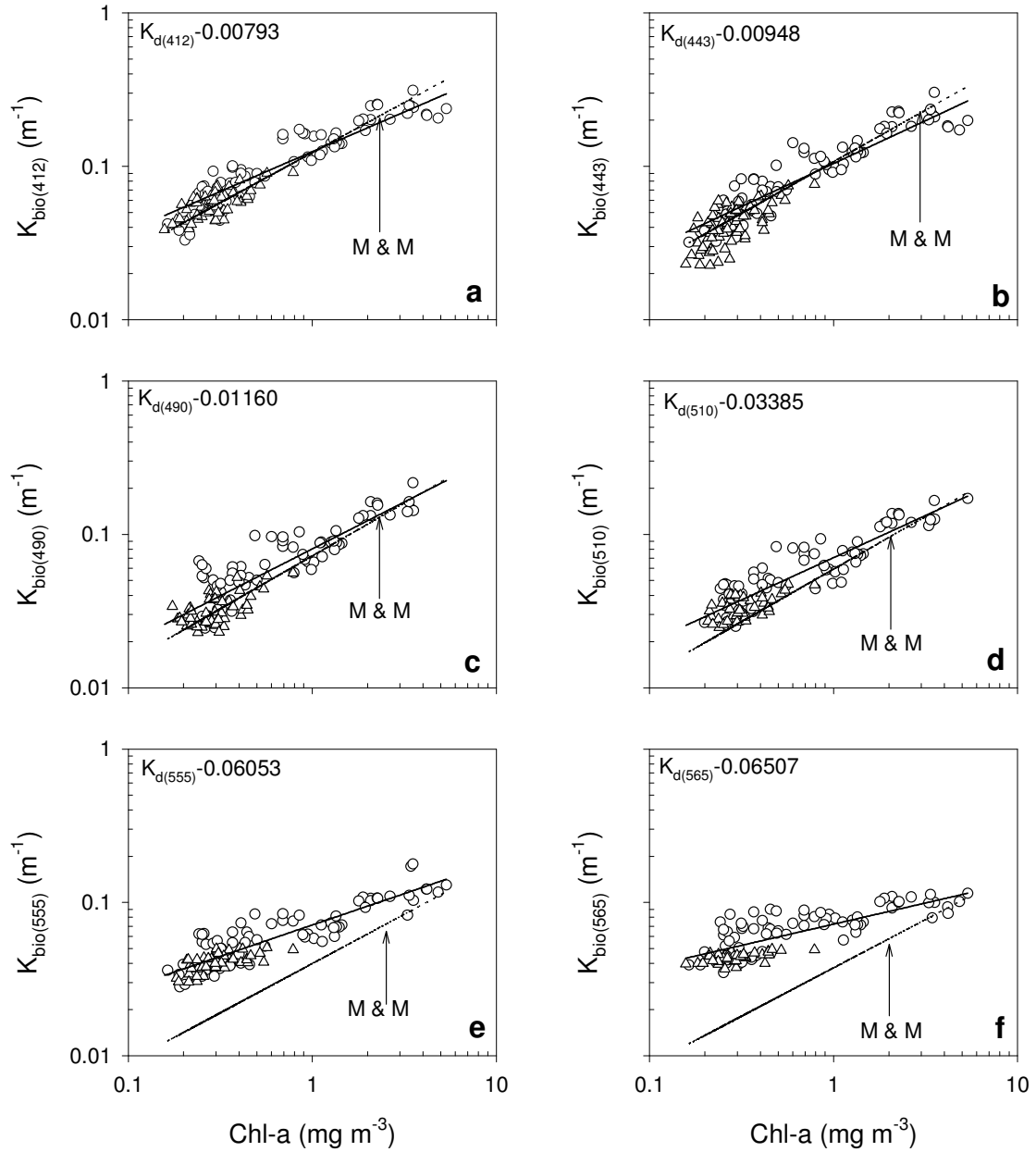


Figura 14. Coeficientes de atenuación vertical (m^{-1}) de la capa de mezcla de las estaciones costeras y oceánicas, ajustados a una función de poder en diferentes longitudes de onda (412, 443, 490, 510, 555 y 565 nm) y comparados con el modelo de Morel y Maritorena (2001). La línea continua representa el ajuste de poder de todos los datos de Ime-99. La línea discontinua se refiere al modelo de Morel y Maritorena (2001). Los círculos son los datos de las estaciones costeras y los triángulos representan a las estaciones oceánicas.

esfuerzo del viento sobre el agua y procesos de mezcla en la región sur de la Corriente de California, favoreciendo la formación de eventos de surgencias. De tal forma, que los altos valores de clorofila en las estaciones costeras de primavera están muy asociadas con el aumento en la biomasa del fitoplancton en la zona, principalmente de diatomeas (*Chaetoceros spp.* y *Nitzschia spp.*) (Anexo A1). En general, la concentración de clorofila fue mayor durante La Niña 1999 que durante El Niño 1997-98 (Hayward *et al.*, 1999). Este patrón es similar al descrito por Lavaniegos *et al.* (2002), quienes observaron que la concentración de clorofila fue mayor en Baja California durante La Niña 1999 comparado con las estaciones de CalCOFI en el sur de California. Estos autores reportaron que la mediana de los datos de clorofila integrada de la región central de Baja California (65 mg m^{-2}) fue más alta que la mediana de la región norte (52 mg m^{-2}). Aún cuando en este trabajo no se dividió el área de estudio en regiones norte y central, si se observó que la clorofila superficial y la integrada fueron mayores en las estaciones costeras de la región central que en el norte como lo describe Lavaniegos *et al.* (2002). También se observó que las concentraciones de clorofila fueron más altas ($\sim 20\%$) en el área de estudio que las reportadas por Sosik y Mitchell (1995) en la Ensenada del Sur de California durante el evento El Niño 1991-92.

En general, los contornos de clorofila de 10 m medidos *in situ* fueron similares a la clorofila estimada a partir de las imágenes mensuales del SeaWiFS. Estos altos valores de clorofila superficial son debidos principalmente a los eventos de surgencias que fueron más intensos en las estaciones costeras de primavera y disminuyeron hacia el verano (Figura 2b, c). Kahru y Mitchell (2001) encontraron buena relación entre la clorofila medida en los primeros 10 m de profundidad dentro de los cruceros CalCOFI desde

1996 al 2000 con promedios semanales de la clorofila superficial medida por SeaWiFS fuera de la costa, aunque dentro de la costa registraron mayor variabilidad de los datos de clorofila. La comparación se hizo únicamente con la clorofila medida dentro de ± 4 horas con el paso del satélite por la zona de CalCOFI.

Sin embargo, al comparar los valores de clorofila *in situ* de 10 m de cada estación con el valor de clorofila superficial (Chl sat) obtenido de la imagen mensual promedio del SeaWiFS en las mismas estaciones, se encontró una relación del 50% entre ambos valores. Por tal motivo, la clorofila medida fue promediada en la zona eufótica y comparada con los valores de Chl sat, para ver si los datos de Chl de 10 m representaban realmente lo que el sensor estaba midiendo. Se encontró que la relación entre la Chl medida promediada a través de la zona eufótica y Chl sat fue del 60%, sin encontrar un cambio significativo en la relación de ambas clorofilas al usar el valor de la clorofila medida de 10 m en cada estación ó la clorofila promedio de la zona eufótica. A pesar de todos los problemas que se tienen en la estimación de la clorofila por sensores remotos (corrección atmosférica, profundidad óptica de donde obtiene información el sensor, condiciones del cielo, el algoritmo usado para calcular la concentración de clorofila, etc.) hay mucha similitud entre los valores medidos con los calculados en la zona oceánica y mayor variabilidad entre la clorofila medida y Chl sat en las estaciones costeras. Este patrón es parecido al descrito por Kahru y Mitchell (2001) y es observado mejor en otoño (Figura 2d) donde se mostró que el patrón de distribución de

la clorofila medida a 10 m no coincide con lo estimado por el sensor en la zona costera. Es factible también que las diferencias sean debidas a que las imágenes son promedios mensuales, mientras que los valores medidos representan las condiciones de ese momento en un punto determinado.

II.4.2. Variabilidad de los coeficientes de absorción

Los valores más altos de $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ fueron registrados en las estaciones costeras, asociados con altas concentraciones de Chl-*a*, mientras los valores bajos de $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ fueron localizados en las estaciones oceánicas, donde la Chl-*a* fue $<0.4 \text{ mg m}^{-3}$. La variabilidad vertical de $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ puede ser debida a diferencias en la composición de las especies de fitoplancton presentes en la columna de agua, forma y tamaño de las células, adaptación a la luz y al estado fisiológico de las células, las cuales afectan la magnitud y forma de $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ (Tablas V y VI). La variabilidad espacial mostrada por $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ dentro de los cruceros quizás se deba a la presencia de diferentes poblaciones de fitoplancton, con una importante dominancia de los dinoflagelados en invierno y verano (en toda el área), mientras que durante la primavera dominaron tanto las diatomeas como los dinoflagelados (Anexo A1a, b y c), cambios en su composición de pigmentos y posiblemente al efecto paquete. Aunado a lo anterior, es posible que la variabilidad observada en los valores de $a_p(\lambda)$ y $a_\phi(\lambda)$ entre las

zonas costera y oceánica sea el resultado del forzamiento físico en diferentes escalas espacial y temporal.

Los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton de este estudio (Ime-99) fueron graficados junto con los datos de abril de 1998 a abril del 2000 del programa CalCOFI (Cal-98-00), para analizar su comportamiento con respecto a la concentración de clorofila en una escala espacial y temporal más grande. Ambos fueron comparados con el modelo propuesto por Bricaud *et al.* (1998) por medio de una función de poder. Los coeficientes de absorción de Ime-99 y Cal-98-00 tuvieron tendencias a incrementarse con la concentración de clorofila (Figura 5a, b, c y d). Los datos de $a_{p(440,674)}$ de Ime-99 y Cal-98-00 tienen la misma tendencia con respecto a la Chl-*a*, además de que no hay diferencias significantes entre estas dos zonas y con el modelo propuesto por Bricaud *et al.* (1998). Las mayores diferencias entre los datos de este trabajo y los de CalCOFI con los proporcionados por el modelo fueron en $a_{\phi(440)}$, debido a que los datos originales del modelo de Bricaud *et al.* (1998) tienen alta absorción por detritos y cubren un mayor intervalo de concentración de Chl-*a*, desde aguas oligotróficas (0.02 mg m⁻³) hasta eutróficas (30 mg m⁻³) (Tabla VII). Por consiguiente, gran parte de la variabilidad de los datos de Ime-99 (más del 80%) fueron explicados por la concentración de clorofila, mientras que el resto de la variabilidad podría ser debido al efecto paquete y a la presencia de otros pigmentos diferentes a la clorofila. Aunque no se evaluó el efecto paquete ni experimental ni teóricamente, al graficar los datos de Ime-99 se observó una

curvatura en su distribución cuando la concentración de clorofila es mayor de 3 mg m^{-3} (Figura 5a, b, c y d).

Aún cuando los coeficientes de absorción de la región del IMECOCAL mostraron variaciones espaciales y estacionales durante el periodo de muestreo, éstos presentaron resultados similares con los de Cal-98-00 cuando fueron ajustados a la función de poder. Por lo tanto, es posible extrapolar los resultados de este estudio a otras regiones del Sistema de la Corriente de California, para que a partir de la clorofila superficial derivada de sensores remotos de color del océano puedan ser calculados los coeficientes de absorción desde Punta Concepción hasta Baja California, los cuales a su vez sean utilizados en algoritmos bio-ópticos para estimar la producción primaria.

Es posible que las diferencias mostradas por los datos de $a_{p(440,674)}$ y $a_{\phi(440,674)}$ se deba en parte a problemas metodológicos asociados con la medición de los coeficientes de absorción y quizás a la distribución no homogénea de las partículas sobre el filtro (Babin *et al.*, 1993). Un problema común del método de extracción de pigmentos con metanol descrito por Kishino *et al.* (1985) es que no puede extraer adecuadamente los pigmentos fotoprotectores (zeaxantina, diatoxantina, diadinoxantina). Estos pigmentos accesorios llegan a ser más abundantes (con respecto a la Chl) dentro de la capa superficial bien iluminada que en aguas más profundas (Bidigare *et al.*, 1990).

II.4.2.1. Estudio de caso

Durante el crucero de otoño se colectó el agua superficial con una cubeta para determinar clorofila y

absorción de luz por partículas. Además, en el desarrollo del crucero ocurrieron condiciones climatológicas especiales como la presencia de 7 u 8 eventos de condición Santa Ana. La condición Santa Ana es una alta presión que se posiciona en los estados del suroeste de los Estados Unidos, ocasionando que aire caliente y seco se dirija hacia el océano transportando material particulado en suspensión.

En estos datos de otoño se observaron valores promedio de $a_p(\lambda)$ y $a_d(\lambda)$ mayores en las estaciones costeras que en las oceánicas. En ambos casos los valores fueron mayores (1.6 y 4 veces, respectivamente) a los reportados por Sosik y Mitchell (1995) para la Ensenada del Sur de California durante El Niño 1991-92 (Figura 15a, b). Los altos valores de $a_p(\lambda)$ y $a_d(\lambda)$ medidos en las muestras superficiales de otoño pueden ser el resultado del aporte de material terrígeno transportado por los vientos de la condición Santa Ana que prevaleció durante algunos días del crucero, así como también de material detrítico costero presente en el agua mezclada por el viento. Los valores promedios superficiales de $a_p(\lambda)$ y $a_d(\lambda)$ fueron significativamente altos comparados con los de invierno, primavera y verano, más de 58% en la costa y >40% en la zona oceánica.

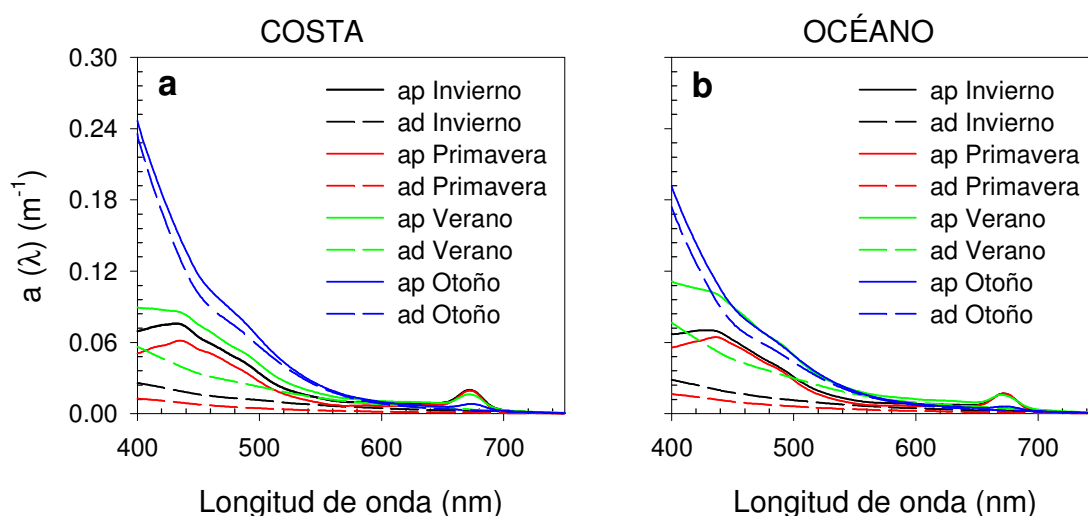


Figura 15. Distribución espectral promedio de los coeficientes de absorción por partículas y detritos de las muestras de superficie de las estaciones costeras (a) y oceánicas (b) de los cruceros de invierno, primavera, verano y otoño frente a Baja California.

II.4.3. Variabilidad de los coeficientes específicos de absorción

Los valores promedio de $a_{p(440)}^*$ y $a_{\phi(440)}^*$ presentaron variabilidad estacional con valores más bajos en primavera (34% y 28% más bajos, respectivamente) y más altos en invierno (Tabla VIII). También se observó que $a_{p(440)}^*$ y $a_{\phi(440)}^*$ fueron 15% y 9% mayores en las estaciones oceánicas, siendo más variables las dos zonas (costa-oceano) durante primavera (Tabla IX). Las diferencias encontradas en $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$ quizás sea el resultado de la presencia de diversas poblaciones de fitoplancton a través de la columna de agua, las cuales tienen diferencias en la composición de pigmentos. Los altos valores de $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$ están asociados con células pequeñas como cianofitas y proclorofitas, las

cuales presentan baja concentración de clorofila y menor efecto paquete (Sosik y Mitchell, 1995; Bricaud *et al.*, 1995). Sin embargo, las células grandes como diatomeas y dinoflagelados presentan alta concentración de clorofila y mayor efecto paquete (Morel y Bricaud, 1981; Bricaud *et al.*, 1983; Sathyendranath *et al.*, 1987; Bricaud *et al.*, 1999). También los coeficientes específicos de absorción varían en función de la concentración interna de los pigmentos, lo cual puede resultar en cambios de la pigmentación debido a la fotoadaptación, limitación de nutrientes o cambios en el volumen celular (Cleveland, 1995). Los valores promedios de $a_{p(440)}^*$ y $a_{\phi(440)}^*$ de todo el año fueron muy similares a los reportados por Sosik y Mitchell (1995) para la Ensenada del Sur de California durante 1991-92, a los obtenidos por Valdez-Holguin *et al.* (1998) en una estación cercana a la costa de Baja California en 1994 y a los registrados en los cruceros CalCOFI durante 1998-2000. Por lo tanto, los valores promedios de $a_{p(440)}^*$ y $a_{\phi(440)}^*$ de la región frente a Baja California pueden ser utilizados en otras regiones del Sistema de la Corriente de California en la estimación de la producción primaria a partir de algoritmos bio-ópticos, debido a que los valores promedios de $a_{p(440)}^*$ y $a_{\phi(440)}^*$ no fueron diferentes entre las regiones del SCC.

Se observaron picos de absorción a 470-480 nm, 590 y 650 nm, diferentes a la absorción de la clorofila *a* (440 y 674 nm), los cuales contribuyeron con menos del 20% de la variabilidad de los valores de $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$ en la región azul-verde y roja del espectro visible en la columna de agua, respectivamente. Esta variabilidad en la absorción espectral

pudo ser debida a los pigmentos fotoprotectores presentes en diatomeas, dinoflagelados y cianofitas. Las diatomeas fueron abundantes principalmente en las estaciones costeras de primavera y tuvieron una baja abundancia en invierno y verano. Los dinoflagelados fueron abundantes en las estaciones oceánicas durante primavera, así como en la costa y el océano en invierno y verano (Anexo A1a, b y c). Gieskes *et al.* (1988) reportaron en el Mar Banda de Indonesia grandes abundancias de cianofitas en muestras colectadas cerca de la superficie y de proclorofitas distribuidas en muestras más profundas dentro de la zona eufótica. Estas células autotróficas junto con el picoplancton ($< 2.0 \mu\text{m}$) han sido reportadas como dominantes en aguas oligotróficas de los océanos (Chisholm *et al.*, 1988; Goericke y Repeta, 1993). Las absorciones entre 470-480 y 650 son realizadas por la combinación de divinil Chl-*b* (DV-Chl-*b*) y pigmentos accesorios como α -caroteno y zeaxantina característicos de cianofitas y proclorofitas (Bricaud y Stramski, 1990; Hoepffner y Sathyendranath, 1992; Lazzara *et al.*, 1996; Babin *et al.*, 1996; Allali *et al.*, 1997), o a la presencia de β -caroteno, fucoxantina y diadinoxantina en diatomeas, o peridinina en dinoflagelados. Bouman *et al.* (2000a) reportaron para el Océano Atlántico que un incremento en la concentración de DV-Chl-*b* con respecto a la Chl-*a* con la profundidad, resultó en un aumento de $a_p^*(\lambda)$ y $a_\phi^*(\lambda)$ en las bandas de absorción características de DV-Chl-*b*. Por tanto, es posible que los picos de absorción observados en otras longitudes de onda diferentes a las que absorbe la clorofila *a* sean como

resultado de la presencia de pigmentos no fotosintéticos, siendo más evidente en las estaciones costeras a la profundidad óptica de 1% que en las estaciones oceánicas (Figura 13c, d, e, f, g y h), excepto en invierno donde no se observó la absorción por otros pigmentos diferentes a la Chl-*a* (Figura 13a, b).

En general, las fuentes principales de la variabilidad en la magnitud y forma de $a^*(\lambda)$ pueden ser: (1) el efecto paquete, (2) cambios en la composición de pigmentos, (3) variaciones en la concentración de pigmentos accesorios (DV-Chl-*b* y Chl-*c*, carotenos y ficobilinas), especialmente en la región azul del espectro, (4) extracción no satisfactoria de los pigmentos fotosintéticos con metanol, (5) cambios de temperatura y su co-variación con luz y nutrientes, las cuales podrían estar relacionadas a cambios en la composición de la comunidad fitoplanctónica como lo describe Sosik y Mitchell (1995) y (6) el factor de amplificación de la trayectoria, β . Moore *et al.* (1995) y Allali *et al.* (1997) mostraron la aplicación de un factor β derivado de cultivos de diatomeas para medir la absorción de células de picoplancton retenidas en el filtro, el cual pudo resultar en una sobrestimación significativa de la absorción de fitoplancton en suspensión.

II.4.4. Coeficiente de atenuación vertical de luz difusa

Estudios de transferencia radiativa han establecido enlaces entre las propiedades ópticas aparentes (POA) del océano y sus propiedades ópticas inherentes (POI), como la absorción y el esparcimiento de la luz en la columna de agua (Bricaud *et al.*, 1998). Por lo tanto, cuando se desarrollan

modelos bio-ópticos para predecir la propagación de la energía radiante dentro de la columna de agua o la interpretación de las observaciones de color del océano, es necesario conocer el comportamiento y variabilidad de las POIs dentro del océano.

El color del océano medido por sensores remotos puede ser usado para determinar los pigmentos del fitoplancton y el coeficiente de atenuación vertical $K(490)$ cerca de la superficie. El problema es que las propiedades bio-ópticas representan sólo a una capa superficial somera del mar, mientras que los máximos de clorofila son típicamente 2-3 veces más profundos y los valores de $K(490)$ a éste máximo pueden exceder considerablemente a los valores cercanos a la superficie (Mueller y Lange, 1989).

En general, el coeficiente de atenuación vertical $K_{bio}(\lambda)$ mostró una buena relación lineal con respecto a la Chl-*a*, la cual explicó alrededor del 87% y 86% de la variabilidad a 412 y 443 nm, respectivamente en la zona costera, con 51% y 46% en las mismas longitudes de onda fuera de la costa (Figura 14). Es importante mencionar que en este trabajo solamente se consideraron los valores de $K_{bio}(\lambda)$ dentro de la capa mezclada. La diferencia observada entre $K_{bio}(\lambda)$ de las estaciones costeras y oceánicas puede ser debido por cambios en la composición de organismos, tales como bacterias heterotróficas, virus y detritos diferentes al fitoplancton, que no tienen Chl-*a* como el pigmento principal y que junto con otras partículas contribuyen a la atenuación de la irradiancia descendente dentro de la zona eufótica. Mitchell y Kahru (1998) reportaron datos de $K_{bio}(\lambda)$

ajustados a una regresión lineal simple para la Corriente de California desde 1993 a 1997, los cuales fueron muy similares a los datos del presente trabajo. Incluso, los coeficientes de determinación obtenidos en los ajustes de los datos de Imecocal-99 fueron ligeramente más altos que los reportados por estos autores. La diferencia entre los datos de Imecocal con los de CalCOFI se deben principalmente a que en estos últimos el $K_w(\lambda)$ que usaron Mitchell y Kahru (1998) no fueron los propuestos por Pope y Fry (1997) quienes encontraron $K_w(\lambda)$'s más bajos que los propuestos por Morel (1988). Los datos de $K_{bio}(\lambda)$ generados en Imecocal-99 fueron ajustados a una función de poder y comparados con el modelo descrito por Morel y Maritorena (2001), observando que a 412, 443, 490 y 510 nm no hay diferencias significantes entre nuestros datos y los generados por el modelo (Figura 14a, b, c y d). Sin embargo, las mayores variaciones entre los datos de Imecocal-99 y el modelo de Morel y Maritorena (2001) fueron para las bandas de 555 y 565 nm (Figura 14 e y f), como resultado que los datos de $K_{bio}(\lambda)$ en las estaciones costeras de Imecocal-99 fueron más altos a los proporcionados por el modelo. Esta diferencia posiblemente se deba a la presencia de otros pigmentos diferentes a la clorofila como ficobiliproteínas presentes en cianofitas, las cuales absorben la luz entre 500 y 650 nm de longitud de onda.

Aún cuando los valores de $K_{bio}(\lambda)$ de la región sur del Sistema de la Corriente de California fueron ligeramente mayores a los reportados por Mitchell y Kahru (1998), estos valores pueden ser extendidos hacia las regiones sur y

central de California para que sean utilizados en algoritmos bio-ópticos de producción primaria. Además, los datos de $K_{bio}(\lambda)$ pueden ser estimados en el SCC a partir de los coeficientes de correlación obtenidos en los ajustes lineales y de poder en función de la concentración de clorofila, la cual es derivada de las mediciones del color del océano por sensores remotos (Chl sat).

Los mismos datos de $K_{bio}(\lambda)$ fueron ajustados a una función cuadrática en donde se calcularon altos coeficientes de determinación de 91% y 90% en 412 y 443 nm, respectivamente. Por lo tanto, se recomienda se utilice la función cuadrática como una alternativa para ajustar los datos de $K_{bio}(\lambda)$, debido a que ésta proporciona mejores resultados.

Los coeficientes de absorción proporcionan mejores coeficientes de determinación que los obtenidos por $K_{bio}(\lambda)$, debido a que este último acumula los efectos de todos los tipos de materiales presentes en la columna de agua que absorben y esparcen la luz, además de considerar el campo de distribución vertical de la luz (posición del sol durante el día, el ángulo que forman los rayos solares con un punto sobre la superficie del agua, entre otros). Por el contrario, los coeficientes de absorción por material particulado son determinados en muestras discretas, y en muchos casos el coeficiente de absorción por material disuelto coloreado no es considerado (Morel y Maritorena, 2001). Cleveland (1995) observó que los coeficientes específicos de absorción y los coeficientes de atenuación de luz difusa presentan valores más altos donde las concentraciones de Chl-*a* son

bajas, disminuyendo cuando la Chl-*a* en la columna de agua aumenta. Morel y Maritorena (2001) por su parte observaron que la variabilidad en a_p ó en $K_{bio}(\lambda)$ afecta más la magnitud de esos coeficientes que la forma espectral.

Por consiguiente, debido a que las propiedades bio-ópticas como los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton (Tabla VII) y los coeficientes de atenuación vertical de luz difusa no varían significativamente (~10%) entre la región frente a Baja California y la Ensenada del Sur de California, el próximo paso será utilizar los resultados de estas propiedades bio-ópticas para que puedan ser extrapoladas a toda la región del SCC, así como también poder calcularlas a partir de la clorofila superficial medida por sensores remotos para que sean usadas como herramientas en los algoritmos empíricos y semianalíticos en la estimación de la producción primaria del fitoplancton.

III. PARÁMETROS FOTOSINTÉTICOS DEL FITOPLANCTON, PRODUCCIÓN PRIMARIA MEDIDA Y MODELADA FRENTE A BAJA CALIFORNIA

III.1. INTRODUCCIÓN

Los modelos semianalíticos utilizados en la estimación de la producción primaria necesitan conocer la variabilidad espacial y estacional de los parámetros fotosintéticos (coeficiente de máxima utilización de luz, α^* y tasa fotosintética máxima, P_m^*) y propiedades bio-ópticas del fitoplancton. Además de incorporar información sobre la clorofila y la penetración de la luz a través de la columna de agua, los modelos de producción primaria deben expresar la eficiencia con la cual la luz absorbida por los pigmentos del fitoplancton es convertida en producto fotosintético (Platt *et al.*, 1980; Bouman *et al.*, 2000b).

Sin embargo, las dependencias espectrales a menudo son ignoradas en los cálculos de producción primaria, aunque es bien conocido que la transmisión de la luz bajo el agua, la absorción de la luz por el fitoplancton y la eficiencia de la utilización de la luz absorbida en la fotosíntesis son todas dependientes de la longitud de onda (Kyewalyanga *et al.*, 1997). Esto puede ocasionar discrepancias cuando se comparan estimaciones de producción primaria con las mediciones *in situ* (Sathyendranath *et al.*, 1989; Kyewalyanga *et al.*, 1992).

Incertidumbre en la estimación de la producción primaria con la profundidad pueden originarse de la mala interpretación de tres elementos de los modelos: el perfil de la biomasa, los parámetros fotosintéticos y el campo de la irradiancia bajo el agua. Es importante hacer notar que el perfil de la biomasa también es utilizado en la estimación del coeficiente de atenuación vertical de luz difusa. Por tanto, hay un error asociado con la estimación del perfil de clorofila que necesariamente afectará la estimación de la irradiancia a través de la columna de agua (Bouman *et al.*, 2000b). Aunque, mucha de la incertidumbre asociada con el empleo de modelos de producción primaria para estimar la tasa de carbono fijado por el fitoplancton marino, no es por el uso de modelos matemáticos, es más bien por los valores asignados a los parámetros fotosintéticos y bio-ópticos (Morel *et al.*, 1996).

Las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos del fitoplancton varían sobre el océano mundial. Las aguas estratificadas del océano muestran fuertes gradientes verticales de densidad, temperatura, nutrientes y régimen de luz, ocasionando cambios verticales en la composición de especies (Partensky *et al.*, 1996), en las propiedades bio-ópticas y estatus fisiológico del fitoplancton (Babin *et al.*, 1996). Los gradientes verticales en la intensidad y calidad espectral de la irradiancia en la columna de agua también ocasionan cambios en la composición y concentración de pigmentos y en la composición de especies (Partensky *et al.*, 1996). De tal forma, que la estratificación de diferentes poblaciones de especies y sus pigmentos asociados dentro de la columna de agua y la fotoaclimatación de las células a diferentes niveles de irradiancia influyen en la estructura vertical de las características bio-ópticas y fotofisiológicas de las microalgas (Cullen *et al.*, 1992; Babin *et al.*, 1996).

El coeficiente de máxima utilización de luz afecta los cálculos de la producción primaria en las regiones limitadas de irradiancia en la columna de agua. Una posible explicación para la sobreestimación de la producción primaria en las regiones donde los valores de luz son bajos, podría ser que el valor asignado a α^* no sea el más adecuado. Asimismo, los cambios de la tasa fotosintética máxima son las causas más importantes de la variabilidad de la producción primaria en las regiones con alta irradiancia (Antoine *et al.*, 1996).

Bouman *et al.* (2000b) encontraron que la subestimación de la absorción por material orgánico disuelto coloreado con la profundidad fue la responsable de las discrepancias entre la producción primaria medida y modelada en el Atlántico norte, lo que refuerza la necesidad para desarrollar un mejor entendimiento de la importancia relativa de todas las sustancias que absorben luz en el océano.

Por consiguiente, el objetivo del presente capítulo es determinar la variabilidad espacial y temporal de los parámetros fotosintéticos de la relación fotosíntesis-irradiancia (α^* y P_m^*) y proponer perfiles promedios de estos parámetros para estimar la producción primaria frente a Baja California usando modelos semianalíticos. Se espera que los valores promedios de α^* sean mayores durante primavera, como resultado de la abundancia de células fitoplanctónicas grandes, como diatomeas y dinoflagelados. Asimismo, se espera que los promedios de P_m^* sean mayores en verano y otoño, debido al crecimiento del fitoplancton a altas irradiancias, y la dominancia de células pequeñas fotoaclimatadas a esas irradiancias. Por último, se espera que la producción primaria estimada a partir de modelos semianalíticos y empíricos sea comparable con la producción primaria *in situ*, asumiendo que los promedios de los parámetros fotosintéticos representen adecuadamente la respuesta de las poblaciones de fitoplancton a las diferentes condiciones ambientales en la zona de estudio. Estos promedios de los parámetros fotosintéticos pueden entonces ser extrapolados a escalas regionales y usarlos junto con la información derivada de sensores remotos para una adecuada estimación de la producción primaria en esta región.

III.2. MÉTODOS Y DATOS

Se realizaron cuatro cruceros oceanográficos frente a Baja California (Figura 1), en invierno (14-30 de enero), primavera (30 de marzo al 18 de abril), verano (8 al 22 de agosto) y otoño (4-21 de octubre). Los cruceros de invierno, primavera y otoño se hicieron a bordo del B. O. Francisco de Ulloa del CICESE, mientras que el crucero de verano se hizo a bordo del B. O. El Puma de la UNAM. En cada crucero se llevaron a cabo experimentos diarios de producción primaria *in situ* con ^{14}C , excepto en invierno debido a la pérdida de material y equipo necesario para realizar los experimentos. Además se determinó la concentración de clorofila (Chl-*a*) y la absorción de luz por partículas en muestras extraídas de seis diferentes profundidades ópticas (100, 50, 30, 20, 10 y 1% $E_{0(PAR)}$). También se hicieron perfiles verticales de irradiancia espectral ($E_{d(\lambda)}$) y $E_{z(PAR)}$ (PAR; radiación fotosintéticamente activa 400-700 nm). Los experimentos fotosíntesis-irradiancia (curvas P-E) se hicieron a bordo con muestras colectadas a la profundidad correspondiente al 50% $E_{0(PAR)}$. Estas

curvas P-E se realizaron entre las 10:00 y las 14:00 horas local que es cuando el océano recibe mayor cantidad de irradiancia. De tal forma, que los organismos fitoplanctónicos se distribuyen hacia aguas más profundas localizándose por debajo de la superficie, ocasionando máximos subsuperficiales de producción primaria. Por consiguiente, los organismos que se localizan en la profundidad correspondiente al 50% $E_{0(PAR)}$ posiblemente están contribuyendo con el máximo de producción primaria. Además, es la parte de la zona eufótica que puede ser medida por los sensores remotos.

III.2.1. Experimentos *in situ*

Las muestras de agua se colectaron con botellas Niskin de 5 l de capacidad con ligas de silicón en el cierre. El agua colectada se depositó en contenedores de plástico totalmente oscurecidos para evitar el efecto de la luz solar. El agua de cada nivel fue utilizada para llenar tres botellas transparentes de policarbonato de 250 ml de capacidad, removiendo antes el zooplancton al filtrar el agua por una malla ($>150\ \mu\text{m}$) para evitar el pastoreo de estos organismos sobre el fitoplancton durante el experimento. Dos de las tres botellas se consideraron como claras y la tercera fue oscurecida con papel aluminio. Las muestras en las tres botellas fueron marcadas con 100 μl de ^{14}C ($\sim 5\ \mu\text{Ci}$) y se incubaron *in situ* (1.5 a 2.0 horas) en tubos de acrílico transparente a la profundidad a la cual fueron colectadas. Al mismo tiempo se llenaron tres botellas transparentes de policarbonato que fueron inoculadas con 100 μl de ^{14}C , las cuales se consideraron como tiempo cero (T_0). Estas botellas se filtraron inmediatamente después de haber iniciado los experimentos. Después del tiempo de incubación las muestras fueron filtradas a través de filtros de membrana de $0.45\ \mu\text{m}$ de tamaño de poro y 25 mm de diámetro. Los filtros fueron colocados en frascos de vidrio para centelleo, adicionando 0.5 ml de HCl al 10%

para eliminar el ^{14}C en forma de CO_2 que no fue asimilado por el fitoplancton durante la incubación. Después de dos horas, se les agregó a cada uno de los viales 10 ml de Ecolite (líquido de centelleo). Las muestras fueron contadas en un contador de centelleo líquido Beckman LS-5000 del Instituto Oceanográfico de Scripps, Universidad de California en San Diego. La asimilación de carbono se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Fotosíntesis (mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}) = [(M - T_0) * 24,000 * 1.05 (A * t)^{-1}] \quad (11)$$

donde M son desintegraciones por minuto (dpm) de la muestra después de la incubación, T_0 son los dpm correspondientes al tiempo cero, A es la actividad específica del estándar de carbono que está siendo utilizado para marcar las muestras y t es el tiempo de incubación. El valor de 24,000 es el peso del dióxido de carbono total expresado en mgC m^{-3} y 1.05 se refiere a la eficiencia del contador de centelleo.

III.2.2. Mediciones de irradiancia

Se realizaron en total 52 perfiles de irradiancia en los cuatro cruceros utilizando el PRR-600 (Biospherical Instruments). Los lances del PRR se hicieron por la popa del barco tratando de que la sombra de éste no incidiera sobre el sensor de acuerdo a Gordon (1985). Los datos de irradiancia espectral descendente ($E_d(\lambda)$, 412, 443, 490, 510, 555 y 565 nm) de cada profundidad fueron utilizados para normalizar los coeficientes de absorción por el fitoplancton, obtenidos según lo descrito en el capítulo II, mientras que los perfiles de $E_{z(PAR)}$ se utilizaron en la estimación de la producción primaria por el modelo semi-analítico de Platt y Sathyendrananth (1988).

III.2.3. Relación fotosíntesis-irradiancia (P-E)

Las muestras de la profundidad correspondiente al 50% $E_{0(PAR)}$ se colocaron en 30 botellas planas de plástico para cultivo de microalgas, las cuales fueron inoculadas

con 100 μl de ^{14}C . De las 30 botellas, 27 fueron colocadas en un incubador tipo Morel con circulación continua de agua de mar superficial para evitar cambios significativos en la temperatura de la muestra (la temperatura del agua para enfriamiento a la entrada del incubador fue $\sim 2^\circ\text{C}$ menor que a la salida, la cual no afecta a la fisiología de las células). Las tres botellas restantes se consideraron como tiempo cero y se filtraron al inicio del experimento a través de filtros de membrana de 0.45 μm de tamaño de poro y 25 mm de diámetro. El tiempo de incubación de los experimentos fue de 1.5 a 2 horas. Al finalizar los experimentos las muestras se filtraron por el mismo tipo de filtros de membrana. Todos los filtros tuvieron el mismo tratamiento como se describió anteriormente para los experimentos *in situ*.

El incubador tipo Morel es una caja rectangular cuyo largo depende del tamaño de las botellas que se desea utilizar en los experimentos P-E. La parte frontal del incubador cuenta con una ventana de vidrio por donde pasa la luz artificial proveniente de una lámpara de tungsteno-halógeno de 500 Watts de intensidad que se encuentra aproximadamente a 30 cm del incubador. Las botellas para el experimento son colocadas en la parte central del incubador y son sometidas a un gradiente de luz proporcionada por la lámpara de tungsteno-halógeno. El espectro de emisión de esta lámpara no es espectralmente neutro, ya que es fuertemente dependiente de la longitud de onda, con una emisión mínima en el azul y máxima en el rojo (Anexo A2).

Los parámetros fotosintéticos (α_{inc}^* y P_m^*) fueron calculados a partir de un ajuste de los datos de producción normalizada por unidad de clorofila (P^*) a la función hiperbólica descrita por Jassby y Platt (1976). Mientras que el parámetro fotoadaptativo (E_k , $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$) fue calculado de la relación P_m^* / α_{inc}^* .

$$P^* = P_m^* \tanh[(\alpha_{inc}^* E_{L(PAR)}) / P_m^*] \quad (12)$$

donde α_{inc}^* es el coeficiente de máxima utilización de luz ($\text{mgC (mgChl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) $^{-1}$) determinado por la relación lineal entre P^* y la luz de la lámpara en el incubador; $E_{L(PAR)}$ es la irradiancia proveniente de la lámpara de tungsteno-halógeno medida dentro de cada botella y P_m^* es la tasa fotosintética máxima ($\text{mgC (mgChl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

El promedio del coeficiente de absorción por fitoplancton ($\bar{a}_{\phi(L)}^*$, $\text{m}^2 (\text{mgChl})^{-1}$) de la profundidad correspondiente al 50% $E_{0(PAR)}$ fue corregido por la forma del espectro de la lámpara (Anexo A2) y normalizado por la Chl-*a*. Este promedio fue calculado de la siguiente expresión:

$$\bar{a}_{\phi(L)}^* = \frac{\left[\frac{\int_{400}^{700} a_{\phi}(\lambda) E_L(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{700} E_L(\lambda) d\lambda} \right]}{[Chla]} \quad (13)$$

donde $a_{\phi}(\lambda)$ es el coeficiente de absorción espectral del fitoplancton en la región del visible (400-700 nm), $E_L(\lambda)$ es el espectro de la lámpara de tungsteno-halógeno medido con el radiómetro MER-4028 de la Biospherical Instruments (para más detalle ver el anexo A2) y Chl-*a* es la concentración de clorofila medida a esa profundidad.

La cosecha cuántica máxima, ϕ_m (moles C/moles fotones) fue calculada a partir de,

$$\phi_m = 0.023 \frac{\alpha_{inc}^*}{\bar{a}_{\phi(L)}^*} \quad (14)$$

donde 0.023 es el factor para convertir de miligramos a moles de carbono.

Posteriormente los espectros de los coeficientes de absorción del fitoplancton determinados para cada profundidad fueron corregidos por la $E_{d(\lambda)}$ *in situ* medida con el PRR-600 y normalizados por la Chl-*a* para obtener los valores promedio del coeficiente de absorción del fitoplancton en cada profundidad ($\bar{a}_{\phi(z)}^*$) como se describió anteriormente en la ecuación (13). De tal forma, si se supone como constante la cosecha cuántica máxima a través de la columna de agua, es posible utilizar los valores normalizados de $\bar{a}_{\phi(z)}^*$, para calcular $\alpha_{(z)}^*$ en cada profundidad de la zona eufótica,

$$\alpha_{(z)}^* = (43.2)\phi_m \bar{a}_{\phi(z)}^* \quad (15)$$

donde 43.2 es el factor para convertir de moles de carbono a miligramos de carbono.

A partir de las características físicas y biológicas del área de estudio, ésta fue dividida en dos regiones: norte (31° 41.2' a 28° 57.2' N y 116° 46.6' a 117° 38.7' W) y central (29° 22.9' a 24° 55.1' N y 112° 49.1' a 118° 10.9' W). Cada región se subdividió en dos zonas: considerando las estaciones costeras (de 36 a 145 km de la costa) y oceánicas (a partir de 180 y hasta 250 km de la costa).

Posteriormente se calcularon perfiles promedio de $\alpha_{(z)}^*$, $P_{m(z)}^*$ y $E_{z(PAR)}$ para cada zona y región. Se utilizó el valor de P_m^* (del 50%) como un valor constante desde la superficie hasta la profundidad del 10% $E_{0(PAR)}$. A partir de esta profundidad se consideró el 25% del valor de P_m^* (del 50%) entre el 10% y 1% $E_{0(PAR)}$. Este criterio fue utilizado de acuerdo a la distribución vertical mostrada por los valores de P_m^* *in situ* generados en la

región por Prezelin *et al.* (1987), Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1991) y Valdez-Holguin *et al.* (1998), que muestran la validez de lo descrito anteriormente.

La producción primaria a través de la zona eufótica fue estimada por medio del modelo semi-analítico descrito por Platt y Sathyendranath (1988).

$$P(z) = \frac{Chl_{(z)} (\alpha_{(z)}^* E_{z(PAR)})}{\left\{1 + [(\alpha_{(z)}^* E_{z(PAR)}) / P_{m(z)}^*]^2\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (16)$$

donde $Chl_{(z)}$ es la concentración de pigmentos derivada de los perfiles de clorofila, $\alpha_{(z)}^*$ y $P_{m(z)}^*$ son los parámetros fotosintéticos del fitoplancton estimados en la columna de agua y $E_{z(PAR)}$ es la irradiancia medida *in situ* dentro de la zona eufótica, para cada zona y región.

III.3. RESULTADOS

III.3.1. Parámetros fotosintéticos y cosecha cuántica máxima

En general, los valores promedios más bajos del coeficiente de máxima utilización de luz ($\alpha_{(z)}^*$) fueron registrados durante verano y los más altos se observaron en primavera, excepto el valor promedio presentado en la zona oceánica de otoño (Tabla XIV). Este mismo patrón fue observado en ambas regiones (norte y central) y en las zonas costera y oceánica. Los valores de $\alpha_{(z)}^*$ en la región central fueron ~32% mayores que en la región norte y 15% más alto en la zona costera que en las estaciones oceánicas. Los altos valores de $\alpha_{(z)}^*$ registrados en primavera parecen estar relacionados con la abundancia de diatomeas (*Chaetoceros spp*, *Nitzschia spp*) que dominaron en las estaciones costeras y con dinoflagelados (*Scrippsiella trochoidea*, *Protoperidinium spp*),

los cuales fueron más abundantes en las estaciones oceánicas (Anexo A1). Los promedios de $\alpha_{(z)}^*$ son relativamente bajos en invierno y verano cuando los dinoflagelados fueron el grupo dominante (*Scrippsiella trochoidea*, *Oxytoxum laticeps*, *Oxytoxum varibile*), tanto en la costa como en el océano. Además, se determinaron diferencias espaciales y estacionales en la magnitud de este parámetro fotosintético, al parecer relacionadas con la presencia de diferentes poblaciones de fitoplancton.

Tabla XIV. Valores promedios de los parámetros fotosintéticos (α^* , P_m^* y E_k), coeficiente de absorción específico del fitoplancton ($\bar{a}_{\phi L}^*$) normalizado por $E_{d(\lambda)}$, cosecha cuántica máxima del fitoplancton (ϕ_m) y profundidad de la capa de mezcla (PCM), para cada zona, región y crucero durante 1999 frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media. C-N= costa norte, O-N= océano norte, C-C= costa central y O-C= océano central.

REGIÓN	INVIERNO						PRIMAVERA					
	α^*	P_m^*	E_k	$\bar{a}_{\phi L}^*$	ϕ_m	PCM	α^*	P_m^*	E_k	$\bar{a}_{\phi L}^*$	ϕ_m	PCM
C-N	0.029 (0.004)	1.77 (0.19)	154 (14)	0.012 (0.002)	0.023 (0.002)	57 (7.0)	0.070 (0.027)	4.63 (2.76)	122 (50)	0.012 (0.002)	0.070 (0.023)	31 (15)
O-N	0.024 (0.004)	2.24 (0.07)	216 (25)	0.011 (0.0004)	0.022 (0.002)	65 (8)		1.83 (*)	122 (*)	0.011 (*)	0.031 (*)	84 (*)
C-C	0.053 (0.022)	4.01 (0.80)	193 (31)	0.012 (0.001)	0.042 (0.014)	57 (9.0)	0.058 (0.015)	5.05 (1.01)	215 (76)	0.009 (0.001)	0.068 (0.009)	44 (11)
O-C	0.023 (0.003)	1.69 (0.01)	191 (16)	0.014 (0.001)	0.016 (0.002)	80 (3.0)	0.041 (0.010)	1.85 (0.33)	130 (16)	0.007 (0.002)	0.049 (0.008)	71 (9)

α^* [mgC (mg Chl)⁻¹ h⁻¹ (μmol fotones m⁻² s⁻¹)⁻¹]

* representa un sólo dato

P_m^* [mg C (mg Chl)⁻¹ h⁻¹]

E_k (μmol fotones m⁻² s⁻¹)

$\bar{a}_{\phi L}^*$ [m² (mg Chl)⁻¹]

ϕ_m (mol C/mol fotones)

PCM (m)

CONTINUACIÓN (Tabla XIV)

REGIÓN	VERANO					OTOÑO					
	α^*	P_m^*	$\bar{a}_{\phi L}^*$	ϕ_m	PCM	α^*	P_m^*	E_k	$\bar{a}_{\phi L}^*$	ϕ_m	PCM
C-N	0.010 (0.006)	4.20 (0.17)	0.010 (0.006)	0.011 (0.002)	26 (3.0)	0.024 (*)	3.73 (*)	339 (*)	0.007 (*)	0.034 (*)	5.2 (*)
O-N	0.010 (0.002)	2.84 (0.03)	0.010 (0.0003)	0.008 (0.001)	39 (2.0)	0.025 (0.001)	3.27 (0.53)	374 (59)	0.007 (0.0005)	0.030 (0.0007)	40 (4)
C-C	0.022 (0.002)	6.81 (0.87)	0.009 (0.001)	0.024 (0.003)	22 (6)	0.028 (0.007)	8.53 (2.27)	482 (53)	0.007 (0.0006)	0.056 (0.015)	14 (2)
O-C	0.010 (0.001)	6.16 (2.15)	0.010 (0.001)	0.009 (0.001)	38 (1.0)	0.085 (0.048)	5.79 (0.51)	465 (67)	0.009 (0.0007)	0.031 (0.002)	25 (7)

Contrarios al comportamiento de $\alpha_{(z)}^*$, los promedios de la tasa fotosintética máxima (P_m^*) fueron mayores en verano y otoño y menores en invierno y primavera. La mayor variabilidad de P_m^* fue registrada entre las dos regiones, donde en la región central fueron ~39% mayores que en la región norte. Sin embargo, también se observó una variabilidad espacial desde la costa hacia el océano, siendo P_m^* ~34% mayor en las estaciones costeras (Tabla XIV). Los valores relativamente bajos de P_m^* durante invierno y primavera parecen estar relacionados con una menor irradiancia y con bajas temperaturas superficiales del mar (desde 13.0°C a 17.0°C), las cuales podrían tener un efecto negativo sobre el proceso enzimático de las células, además, de que las células fitoplanctónicas presentes pudieron estar fotoaclimatadas a bajas irradiancias. Durante verano y otoño el incremento en la irradiancia y la temperatura superficial del mar (16.2°C a 21.4°C), podrían ser los responsables del aumento de P_m^* , debido también a la aclimatación fisiológica de las células de fitoplancton a altas irradiancias por su permanencia en la zona cercana a la superficie como resultado de mayor estratificación. La figura 16 muestra algunos ejemplos de curvas fotosíntesis-irradiancia después de haber sido ajustadas a la ecuación (12). Se observó que las curvas P-E de invierno (Figura 16a,b) fueron las que tuvieron P^* más bajas. Las curvas P-E de primavera, verano y otoño presentaron valores de P^* más altos en las estaciones costeras y más bajos en las estaciones oceánicas (Figura 16c, d, e, f, g y h). La mayoría de los experimentos P-E de verano (Figura 16e,f) no muestran un patrón claro en la forma de la curva, esto posiblemente se debe a que las células de fitoplancton no fueron saturadas totalmente con la luz de la lámpara.

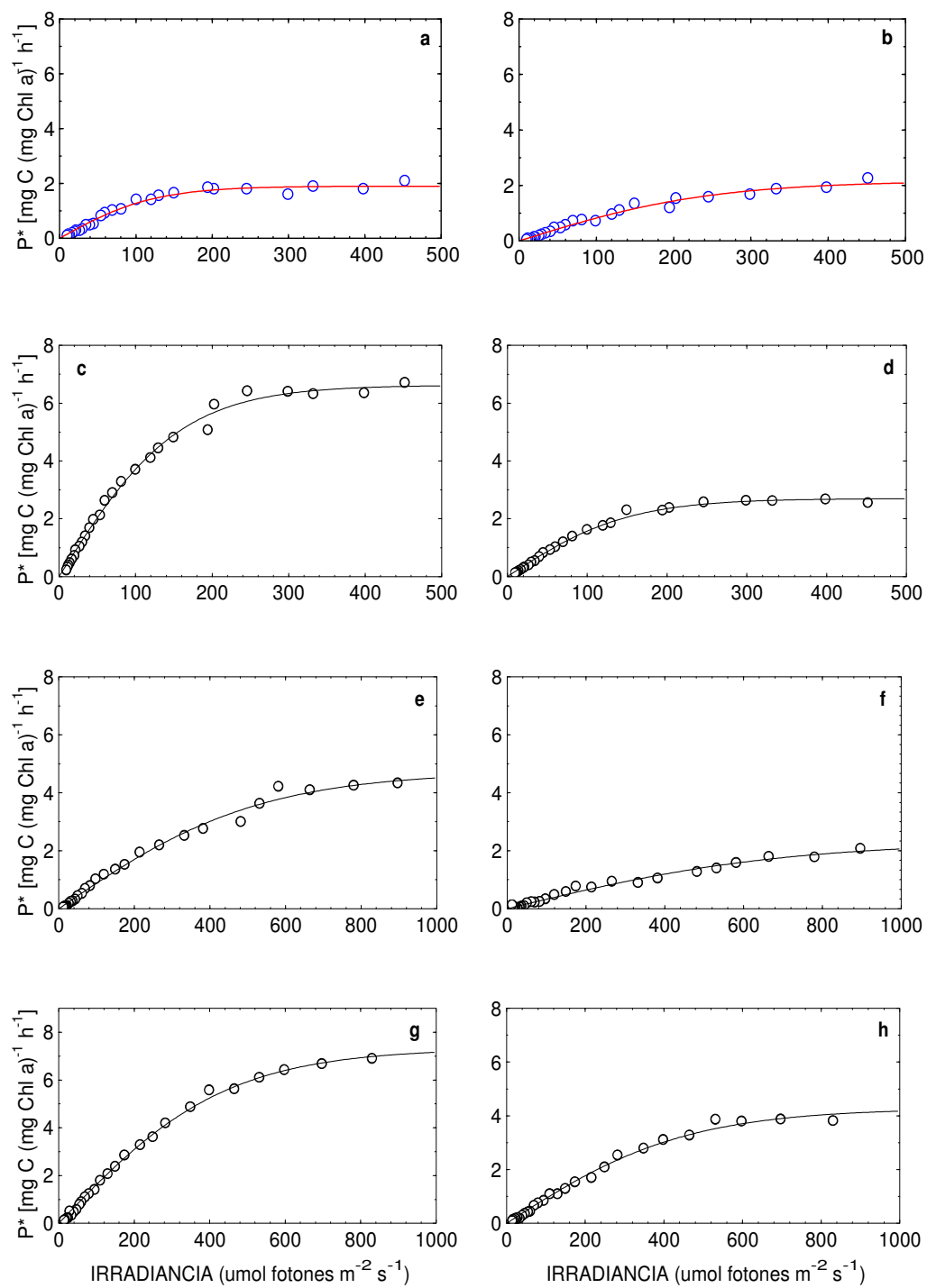


Figura 16. Ejemplos de curvas fotosíntesis-irradiancia de la zona costera (a,c,e,g) y oceánica (b,d,f,h) ajustadas a la función hiperbólica de Jassby y Platt (1976) para cada crucero. Invierno (a,b); Primavera (c,d); Verano (e,f) y Otoño (g,h).

El parámetro fotoadaptativo (E_k) también presentó valores relativamente bajos (menores a $220 \mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) durante los cruceros de invierno y primavera, mientras que los valores más altos (hasta $480 \mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se registraron en otoño. Los valores de E_k del crucero de verano no fueron considerados debido a los altos valores, los cuales fueron superiores a $1500 \mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ocasionados por la falta de saturación de las células del fitoplancton por la luz de la lámpara de tungsteno-halógeno. Los valores bajos de E_k indicaron que las células fitoplanctónicas estuvieron adaptadas a bajas irradiancias y que los E_k altos se deben a que las células se fotoaclimataron a altas irradiancias.

Los valores promedios de la cosecha cuántica máxima de la fotosíntesis del fitoplancton (ϕ_m) fueron $0.013 \text{ mol C/mol fotones}$ en verano y $0.055 \text{ mol C/mol fotones}$ en primavera (Tabla XIV). Este parámetro fotosintético mostró un comportamiento similar al observado en α^* , en el cual se encontró mayor variabilidad espacial entre ambas zonas, siendo ϕ_m 40% más alto en las estaciones costeras y ~22% mayor en la región central. Por lo tanto, es posible que la variabilidad de ϕ_m registrada en el área de estudio esté relacionada con la composición de las poblaciones de fitoplancton, tamaño de las células, disponibilidad de nutrientes, irradiancia en la columna de agua y cambios en el coeficiente de absorción luz por parte del fitoplancton.

III.3.2. Estimación de los perfiles de $\alpha_{(z)}^*$, $P_{m(z)}^*$ y $E_{z(PAR)}$

El coeficiente de máxima utilización de luz ($\alpha_{(z)}^*$) a través de la zona eufótica fue calculado usando la ecuación (15), junto con α_{inc}^* y las consideraciones antes mencionadas. Se utilizaron estos valores para estimar un perfil estacional promedio de $\alpha_{(z)}^*$ que fuera representativo de cada zona y región. Los perfiles promedios de $\alpha_{(z)}^*$ muestran patrones irregulares a través de la columna de agua con ligeras tendencias a incrementarse con respecto a la profundidad durante invierno, verano y otoño (Figura 17a, c y d), mientras que en primavera no se observa ninguna tendencia (Figura 17b). Los perfiles de $\alpha_{(z)}^*$ fueron en general más altos en primavera, excepto en la zona oceánica de la región central del crucero de octubre donde se encontró el perfil más alto, en tanto que los valores bajos de $\alpha_{(z)}^*$ se registraron en verano. Los datos de α_{inc}^* fueron comparados con los valores de $\alpha_{(z)}^*$ del 50% $E_{0(PAR)}$, observando una relación del 87% entre ambos parámetros (Figura 21c). Esto significa que la luz de la lámpara reproduce en un 87% a la luz que hay en el medio y que los procesos fotosintéticos del fitoplancton que ocurren en el incubador, son reproducidos lo más adecuadamente posible a lo que ocurre en el medio. Para el ajuste lineal de estos datos se excluyeron dos valores; uno relativamente alto que no tiene el mismo patrón de distribución que el resto de los valores y otro más bajo. Los valores tanto de α_{inc}^* como de $\alpha_{(z)}^*$ fueron similares debido a que en los cálculos de ambos están implícitos los coeficientes de absorción de luz por el fitoplancton. La diferencia entre ellos (13%) quizás se debe a que el valor de la luz de la lámpara es ligeramente diferente al valor medido por el PRR-600 a esa profundidad.

Se generaron perfiles promedios de $P_{m(z)}^*$, los cuales fueron mayores en la zona costera de la región central durante los cuatro cruceros (Figura 18a, b, c y d), mientras

que los valores más bajos se registraron en los cruceros de invierno y primavera en la región norte asociados con células de fitoplancton más grandes como diatomeas y dinoflagelados, así como a menores temperaturas. Además, se calcularon perfiles

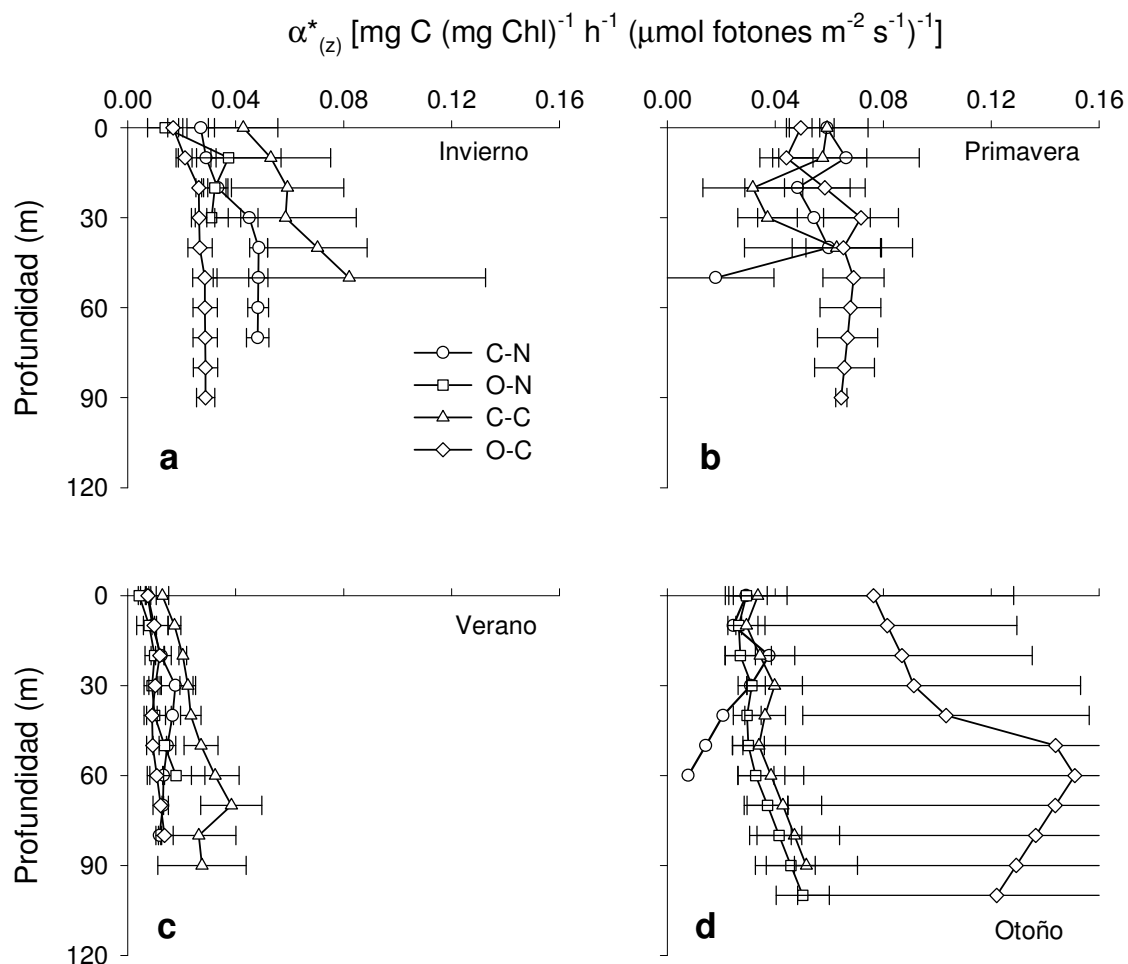


Figura 17. Perfiles promedio del coeficiente de máxima utilización de la luz ($\alpha^*_{(z)}$) [mg C (mg Chl)⁻¹ h⁻¹ ($\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] por zona y región durante invierno (a) primavera (b), verano (c) y otoño (d). C-N (círculos) y O-N (cuadrados) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región

central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.

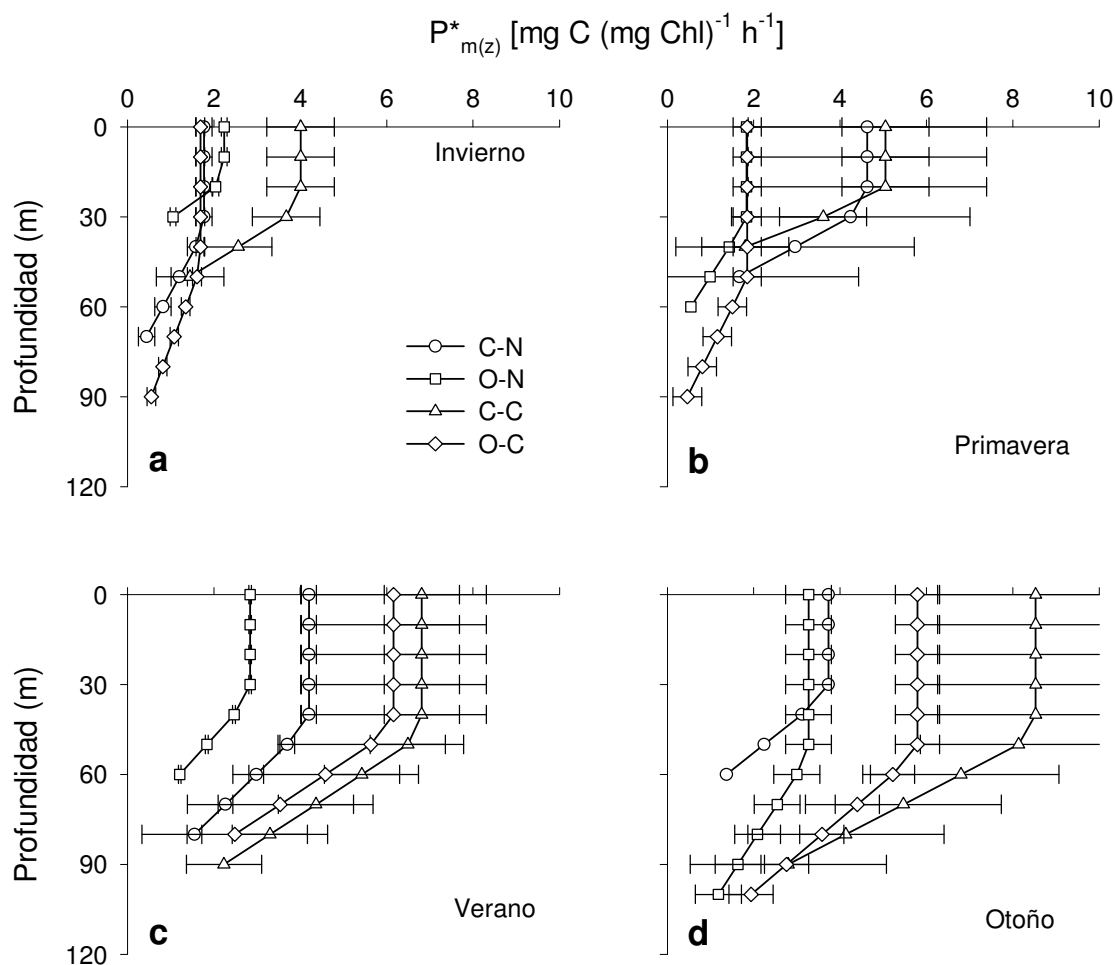


Figura 18. Perfiles promedio de la tasa fotosintética máxima ($P^*_{m(z)}$) [mgC (mg Chl)⁻¹ h⁻¹] por zona y región durante invierno (a), primavera (b), verano (c) y otoño (d). C-N (círculos) y O-N (cuadros) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.

promedios de $E_{z(PAR)}$ encontrando mayor penetración de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante verano y otoño (aproximadamente >20 m), ocasionada principalmente por la mayor cantidad de luz en el área de estudio (Figura 19c y d). Por otro lado, se observó que en invierno y primavera los perfiles de luz fueron más cortos, así como también la profundidad de la zona eufótica fue más pequeña (Figura 19a y b; Tabla XX). Los perfiles promedios de ambos parámetros fotosintéticos junto con los perfiles de $E_{z(PAR)}$ medidos fueron usados en la ecuación (16) para calcular la producción primaria en la zona de estudio. El propósito de utilizar valores promedios de α^* y P_m^* es para tratar de disminuir las posibles diferencias que pudieran existir de cada uno de ellos entre las estaciones de muestreo de una región determinada y que representen lo más cerca posible las condiciones fotofisiológicas del fitoplancton en tiempo y espacio, además de que es prácticamente imposible obtener información de los parámetros fotosintéticos en cada una de las estaciones del área de estudio con el método de muestreo utilizado. Por consiguiente, una manera de obtener información de estos parámetros es promediarlos en escalas espaciales y estacionales esperando que sean característicos de una zona o región, para extrapolarlos a mayores escalas de espacio y tiempo, suponiendo que permanecen constantes al menos en la estación del año en que fueron calculados.

III.3.3. Producción primaria medida y modelada

La producción primaria medida y modelada integrada en la zona eufótica (P_{Peu}) fue en general más alta en las estaciones costeras de primavera, verano y otoño (Tabla XV). Los promedios de la P_{Peu} modelada fueron $94 \pm 23 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en primavera, $73 \pm$

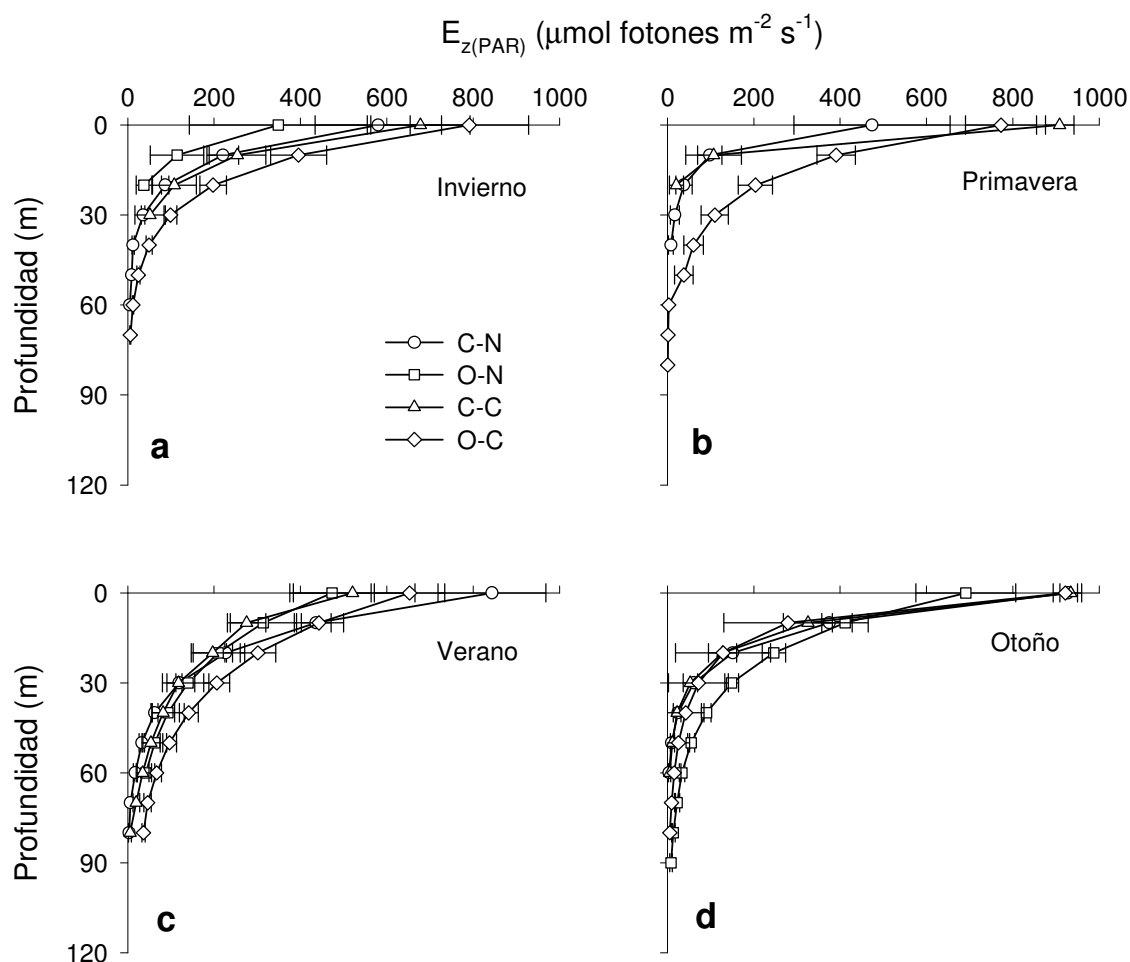


Figura 19. Perfiles promedio de la radiación fotosintéticamente activa ($E_{z(PAR)}$) (μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por zona y región durante invierno(a), primavera (b), verano (c) y otoño (d). C-N (círculos) y O-N (cuadros) son las estaciones costeras y oceánicas de la región norte, C-C (triángulos) y O-C (diamantes) se refieren a las estaciones costeras y oceánicas de la región central. Las barras horizontales representan el error estándar de la media cada 10 m de profundidad.

9 mgC m⁻² h⁻¹ en verano y 99 ± 11 mgC m⁻² h⁻¹ en otoño. La PPeu medida *in situ* fue 70 ± 33 mgC m⁻² h⁻¹, 73 ± 18 mgC m⁻² h⁻¹ y 107 ± 22 mgC m⁻² h⁻¹ en estos tres cruceros, sin existir diferencias significativas entre la PPeu medida y la estimada por el modelo semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) (Tabla XV). La PPeu medida y modelada fueron 1.9 veces y 2.5 veces más altas en las estaciones costeras que en las oceánicas, respectivamente. Por otro lado, la PPeu estimada por el modelo semianalítico no mostró diferencias significantes con la PPeu *in situ* en las estaciones costeras y oceánicas al considerar los valores promedios y error estándar de la PPeu en cada crucero. Asimismo, al utilizar todos los datos de PPeu estimada (excepto el crucero de invierno) sin considerar las zonas y las regiones y compararlos con la PPeu medida, se encontró que la PPeu estimada (87 ± 14 mgC m⁻² h⁻¹) fue muy similar a la medida (83 ± 20 mgC m⁻² h⁻¹) durante el periodo de muestreo (Tabla XV). La PPeu medida fue 37% más alta en la región central, mientras que la PPeu estimada fue 47% mayor en la región central que en la norte. La alta variabilidad de la PPeu está relacionada con los fuertes eventos de surgencias locales ocasionados por el forzamiento físico, incrementando la concentración de clorofila en la zona eufótica cerca de costa, principalmente en primavera y verano, así como a la composición de las poblaciones del fitoplancton aclimatados a diferentes niveles de irradiancia.

Tabla XV. Promedio de la producción primaria integrada en la zona eufótica medida y estimada [$\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$] para cada zona, región y crucero, utilizando perfiles promedio de α_z^* , P_m^* y $E_{z(PAR)}$. Los valores en paréntesis se refieren al error estándar de la media.

	PRIMAVERA				VERANO				OTOÑO				INVIERNO			
	C-N	O-N	C-C	O-C	C-N	O-N	C-C	O-C	C-N	O-N	C-C	O-C	C-N	O-N	C-C	O-C
Medida	103 (45)	29 (*)	105 (46)	44 (8)	57 (7)	45 (4)	140 (60)	49 (2)	90 (*)	64 (8)	157 (28)	116 (30)				
Estimada	146 (53)	25 (2)	143 (25)	63 (10)	65 (11)	28 (4)	155 (17)	44 (3)	71 (14)	41 (3)	163 (18)	101 (10)	42 (7)	17 (2)	125 (13)	26 (2)

* Una estación en la zona

Tabla XVI. Promedio de la producción primaria integrada en la zona eufótica medida y estimada [$\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$] para cada zona, región y crucero, utilizando perfiles promedios de α_z^* , P_m^* y $E_{z(PAR)}$. La producción primaria estimada fue calculada usando perfiles promedios de primavera. Los valores en paréntesis se refieren al error estándar de la media.

	VERANO				OTOÑO			
	C-N	O-N	C-C	O-C	C-N	O-N	C-C	O-C
Medida	57 (7)	45 (4)	140 (60)	49 (2)	90 (*)	64 (8)	157 (28)	116 (30)
Estimada	50 (10)	33 (5)	57 (10)	38 (2)	59 (13)	22 (2)	48 (9)	46 (5)

* Una estación en la zona

III.4. DISCUSIÓN

III.4.1. Parámetros fotosintéticos y cosecha cuántica máxima del fitoplancton

La variabilidad espacial de α^* puede estar relacionada con la composición de las poblaciones de fitoplancton, dominada por diatomeas (*Chaetoceros spp*, *Nitzschia spp*) y por dinoflagelados (*Scrippsiella trochoidea*, *Protopiridium spp*) en las estaciones costeras y oceánicas durante el crucero de primavera. Los dinoflagelados también fueron abundantes en ambas zonas de las dos regiones en invierno y verano, junto con células pequeñas como proclorofitas y cianofitas (Anexo A1), sin aumentar los valores de α^* de manera significativa. Sin embargo, las variaciones en los valores de α^* han sido relacionados con cambios en ϕ_m y en los coeficientes de absorción específicos del fitoplancton (a_{ϕ}^*) (Geider, 1993). Cullen y Lewis (1988) observaron en diatomeas un incremento de 2.5 veces en α^* al aumentar la irradiancia de crecimiento. Por otro lado, Geider (1993) reportó una pequeña dependencia de α^* sobre la irradiancia de crecimiento, con una mayor variabilidad interespecífica dentro de las diatomeas. En cianobacterias, α^* disminuye con el aumento de la irradiancia, como resultado de la disminución de la relación ficobiliproteínas:clorofila durante la adaptación a altas irradiancias (Foy y Gibson, 1982; Kana y Gilbert, 1987). Los valores de α^* fueron correlacionados con la temperatura del agua del 50% $E_{0(PAR)}$, con la irradiancia (PAR) medida por el PRR-600 a la misma profundidad y con la relación de los coeficientes de absorción específicos del fitoplancton a 440 y 674 nm ($a_{\phi(440)}:a_{\phi(674)}$) a través de una regresión múltiple, observando que en general menos del 35% de la variabilidad en α^*

fue explicada por la suma de estas variables. Existe una ligera tendencia de α^* a disminuir con el aumento de la temperatura (Figura 20a), con PAR cuando α^* fue graficada con respecto a la $E_{PAR(50\%)}$ no se encontró relación (Figura 20b). Sin embargo, cuando el coeficiente de máxima utilización de la luz (sin normalizar por la clorofila) se comparó con la concentración de clorofila, ésta explicó ~70% de su variabilidad (Figura 21a). El 30% restante podría ser debido a la presencia de diferentes poblaciones del fitoplancton, al tamaño de las especies y a cambios en el coeficiente de absorción específico del fitoplancton. Kyewalyanga *et al.* (1998) reportaron para el Océano Atlántico una fuerte dependencia de α^* con la temperatura, nitratos más nitritos y silicatos durante otoño de 1992 y primavera de 1993. Es posible que la falta de correlación entre los datos de α^* con temperatura se debe a la poca diferencia espacial (8°C) de esta última registrada durante el periodo de muestreo.

Los valores relativamente bajos de P_m^* durante invierno y primavera podrían estar relacionados con los fuertes procesos de mezcla, transportando fitoplancton de aguas más profundas, fotoaclimatado a bajas irradiancias, hacia la superficie. Gaxiola-Castro *et al.* (2002) reportaron para el Golfo de California que el fitoplancton que se localizaba en la termoclina estaba originalmente en irradiancias limitantes ($\sim 1\% E_{0(PAR)}$) y con nutrientes adecuados para el crecimiento, posteriormente fue transportado verticalmente por advección y expuesto a irradiancias más altas cerca de la superficie, disminuyendo los valores de P_m^* , lo cual coincide con los resultados del presente trabajo. En invierno y primavera la profundidad de la capa de mezcla (Tabla XIV) fue mayor que la profundidad de la zona eufótica (Tabla XX) lo cual permite mayor transporte del fitoplancton hacia aguas superiores corroborando lo anterior. Durante el verano y otoño, el incremento en la

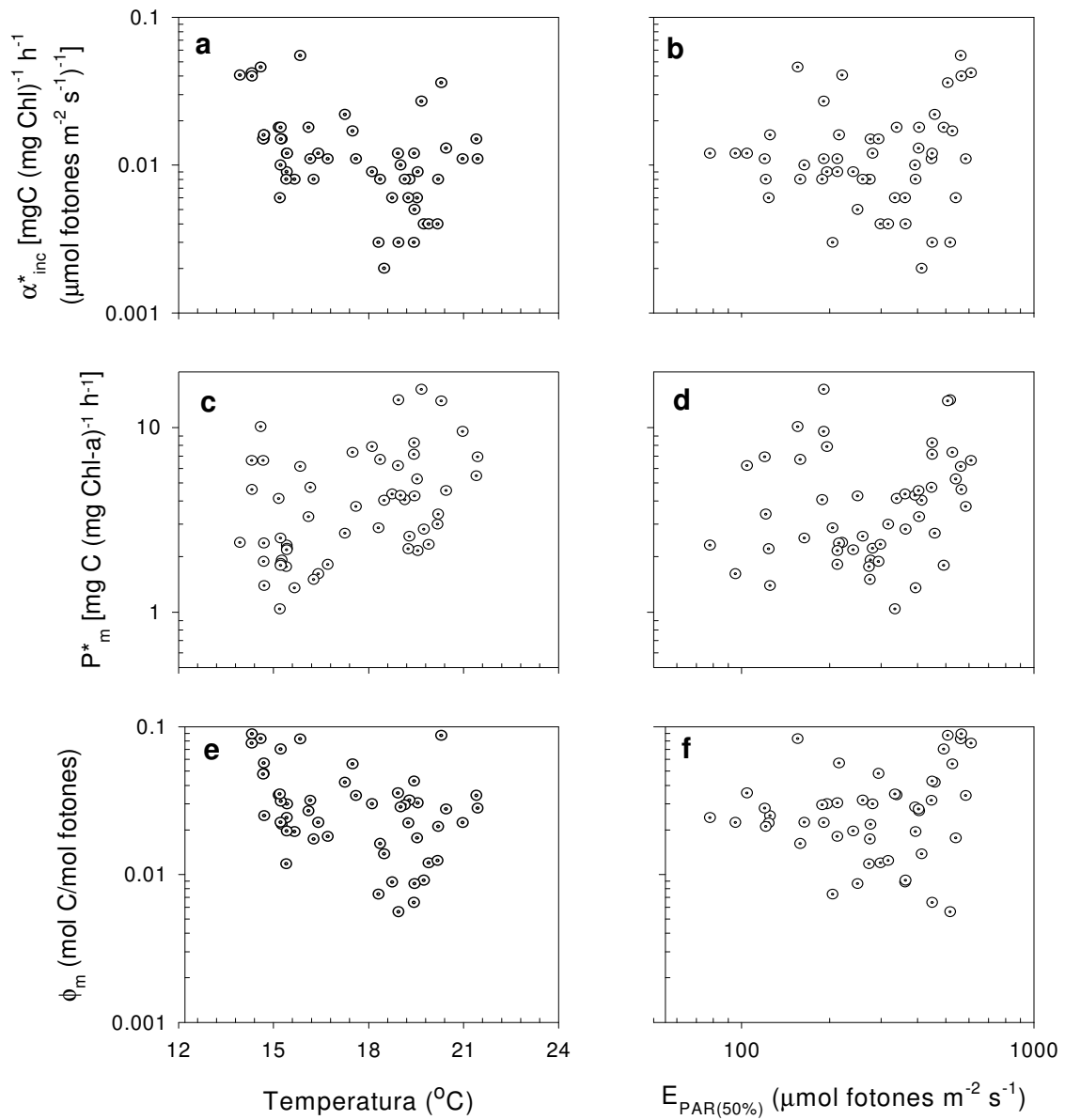


Figura 20. Relación del coeficiente de máxima utilización de luz (α_{inc}^* , $\text{mg C (mg Chl)}^{-1} \text{h}^{-1}$ ($\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$), tasa fotosintética máxima (P_m^* , $\text{mg C (mg Chl)}^{-1} \text{h}^{-1}$) y cosecha cuántica máxima (ϕ_m , mol C/mol fotones) con la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa medida al 50% $E_{PAR(50\%)}$. α_{inc}^* (a,b), P_m^* (c,d) y ϕ_m (e,f).

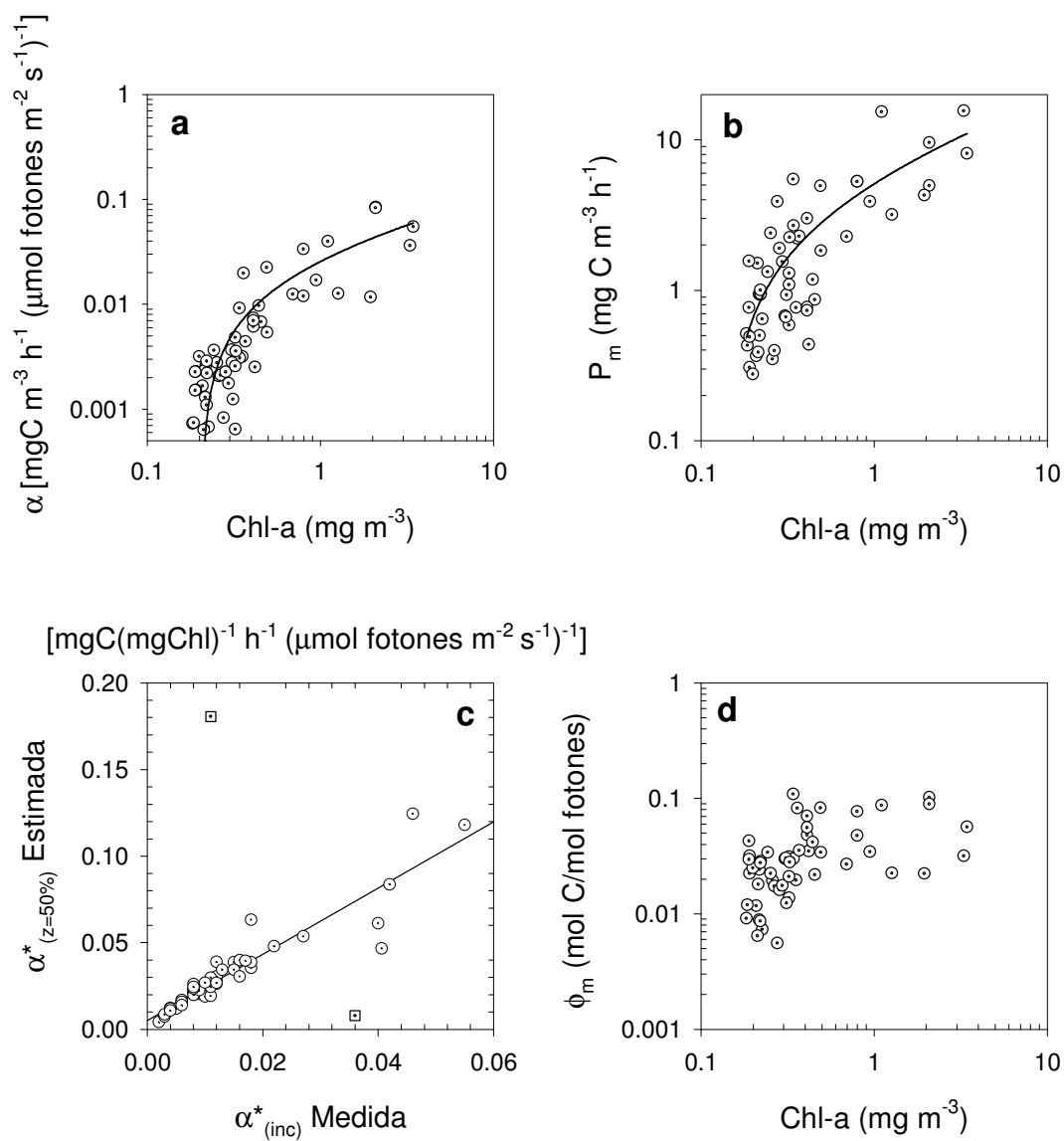


Figura 21. Datos del coeficiente de máxima utilización de luz (a), tasa fotosintética máxima (b) y cosecha cuántica máxima (d) sin normalizar por la clorofila, ajustados a una función cuadrática con respecto a la concentración de clorofila. Relación lineal de α^*_{inc} medido con $\alpha^*_{(z=50\%)}$ estimado al 50% $E_{PAR(50\%)}$ (c). Los dos valores representados por cuadros corresponden a la línea 130 del crucero de otoño, los cuales no fueron usados para la relación lineal.

irradiancia y mayor abundancia de células pequeñas fotoautotróficas como cianobacterias y proclorofitas, incluyendo algunas células grandes como dinoflagelados en la columna de agua, pudieron ser los responsables del aumento en los valores de P_m^* debido a la adaptación fisiológica de las comunidades de fitoplancton a altas irradiancias. De acuerdo a los valores promedios del parámetro fotoadaptativo (E_k , $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; Tabla XIV) se observó que las células del fitoplancton de invierno y primavera estuvieron adaptadas a bajas irradiancias y las de otoño crecieron en altas irradiancias (no se incluyeron los valores de verano), posiblemente limitadas por nutrientes, debido a que no hay suministro de éstos hacia la superficie porque la profundidad de la capa de mezcla fue menor que la profundidad de la zona eufótica (Tablas XIV y XX). Babin *et al.* (1996) reportaron que en los sitios eutróficos y mesotróficos del Océano Atlántico los nutrientes fueron abundantes y los parámetros fotosintéticos no cambian significativamente con la profundidad al igual que la concentración de pigmentos, mientras que en los sitios oligotróficos las células de fitoplancton viven limitadas por nutrientes adaptadas a altas irradiancias como lo mostraron los altos valores de P_m^* y E_k . Geider (1993) observó cambios en P_m^* entre los diferentes tamaños de células de fitoplancton, donde las diatomeas más grandes tuvieron bajos P_m^* a la misma irradiancia de crecimiento.

La variabilidad de P_m^* fue analizada por medio de un modelo de regresión múltiple utilizando a la temperatura, la radiación fotosintéticamente activa y la profundidad del 50% $E_{0(PAR)}$ como variables ambientales que sirvieran como predictores de los valores de P_m^* . Las tres variables combinadas apenas si explicaron el 20% de la variabilidad en P_m^* , sin observar una relación clara con la temperatura y la $E_{PAR(50\%)}$ (Figura 20c, d). Sin

embargo, el efecto combinado de la concentración de clorofila, temperatura y luz explicaron el 64% de la variabilidad en la tasa fotosintética máxima (sin normalizar por la clorofila), siendo la clorofila la variable que explicó el 60% de la variabilidad en la tasa fotosintética máxima (Figura 21b). El 40% de la variabilidad podría estar asociada con el tamaño y tipo de células de fitoplancton (células pequeñas tienen altas P_m^*), al estado fotoadaptativo de estas células a diferentes niveles de irradiancia (bajas irradiancia en invierno y primavera y altas en otoño), con la concentración de nutrientes y forzamiento físico, las cuales pudieron ser más intensas durante la primavera. Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1991) y Cullen *et al.* (1992) concluyeron que P_m^* cambia debido principalmente a variaciones del régimen de irradiancia del fitoplancton con el aumento de nutrientes. Kyewalyanga *et al.* (1998) concluyeron que las diferencias en los parámetros fotosintéticos entre primavera y otoño se debieron a las variaciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas que prevalecieron durante esas estaciones del año.

La mayoría de los trabajos realizados en el Sistema de la Corriente de California con respecto a los parámetros fotosintéticos se han hecho durante los meses de verano. Los valores promedios de α^* del crucero de verano en este estudio fueron más bajos que los reportados por Gonzalez-Morales *et al.* (1993), Schofield *et al.* (1993) y Valdez-Holguin *et al.* (1998) para la misma estación del año en áreas costeras de la región sur de la Corriente de California (Tabla XIV). Este comportamiento quizás se debe a la presencia de células grandes (dinoflagelados) y de células pequeñas en la columna de agua y a la fotoaclimatación a altas irradiancias. Por su parte, los valores de P_m^* de verano comparados con los reportados por Gonzalez-Morales *et al.* (1993) fueron similares, pero ligeramente más bajos que los descritos por Valdez-Holguin *et al.* (1998). Schofield *et al.* (1993) observaron variabilidad temporal de los parámetros fotosintéticos durante verano

de 1988 en la Ensenada del Sur de California (ESC) y mostraron valores bajos de α^* ($< 0.01 \text{ mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1} (\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$) al inicio del crucero (23 de julio), los cuales fueron muy similares a los valores de α^* obtenidos en el presente trabajo en verano. Schofield *et al.* (1993) también reportaron datos de P_m^* ($< 2.0 \text{ mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ligeramente menores a los observados frente a Baja California. Sin embargo, en la primera semana de agosto los valores de los parámetros fotosintéticos se incrementaron considerablemente hasta $0.12 \text{ mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1} (\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$ en α^* y $10 \text{ mgC (mg Chl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en P_m^* . El valor promedio de α^* a principios de agosto fue alrededor de 9 veces más alto que los datos de IMECOCAL para el mismo mes, debido a cambios en la composición de especies después de haberse registrado eventos de surgencias en ESC, aunque el promedio de P_m^* fue similar entre las dos regiones (ESC e IMECOCAL). Valdez-Holguin *et al.* (1998) también encontraron variabilidad en los parámetros fotosintéticos durante su periodo de muestreo, los cuales fueron más altos que los reportados en el presente estudio. Sin embargo, al comparar los valores de los parámetros obtenidos frente a Baja California durante el año de 1999, con los reportados por otros autores para el SCC, se observó que fueron similares.

Los promedios de la cosecha cuántica máxima (ϕ_m) mostraron el mismo comportamiento que $\alpha_{(z)}^*$, con valores más altos durante primavera principalmente en las estaciones costeras de las regiones norte y central. Esto significa que las células del fitoplancton fueron más eficientes en la fijación del carbono para realizar la fotosíntesis. Todos los valores de ϕ_m se encontraron por debajo del máximo teórico [$0.125 \text{ moles de C/moles de fotones}$] y los promedios fueron similares a los reportados por Sosik (1996),

pero menores a los reportados por Schofield *et al.* (1993) y Valdez-Holguin *et al.* (1998) para la región costera del sur de la Corriente de California durante verano. Babin *et al.* (1996) reportaron valores de ϕ_m para áreas mesotróficas y oligotróficas del noreste del Atlántico tropical en junio de 1992 muy parecidos a los registrados en el presente trabajo para la misma época del año. También los valores de ϕ_m encontrados en primavera y otoño en el área de estudio fueron muy similares a los observados por Kyewalyanga *et al.* (1998) en el Océano Atlántico. Los valores de ϕ_m mostraron un gran intervalo de variación de 9 veces entre el valor mínimo y máximo, indicando que el fitoplancton estuvo creciendo bajo un amplio intervalo de luz, nutrientes y temperatura (Falkowski *et al.*, 1985; Morel *et al.*, 1987). Valores bajos como los registrados en el presente trabajo han sido también reportados por Kyewalyanga *et al.* (1998) en el Atlántico norte, mientras que valores de ϕ_m tan altos como 0.10 mol C/mol fotones han sido reportados para la zona de la Corriente de California por Mitchell (1987) y en el mar de los Sargazos por Cleveland *et al.* (1989).

Los altos valores de los coeficiente de absorción de luz por parte del fitoplancton medidos en primavera tuvieron un mayor efecto sobre ϕ_m en esta estación del año, y fueron asociados con abundancia de células grandes del fitoplancton, como diatomeas y dinoflagelados, los cuales crecieron a bajas irradiancias como lo muestran los valores de E_k (Tabla XIV). Los coeficientes de absorción fueron más bajos en verano debido a una mayor abundancia de cianofitas y proclorofitas en las poblaciones de fitoplancton. Senger y Fleischhaker (1978) reportaron valores constantes de ϕ_m en la columna de agua sin relación con la irradiancia. Geider (1993) concluyó que ϕ_m es principalmente independiente de la irradiancia en células que crecieron con alta concentración de

nutrientes. Los valores de ϕ_m no mostraron una buena relación con la temperatura y con la irradiancia medida al 50% $E_{0(PAR)}$ (Figura 20e, f). Babin *et al.* (1996) reportaron que los valores de ϕ_m no cambian significativamente dentro de la capa de mezcla en zonas eutróficas a oligotróficas. Por lo tanto, se puede considerar que este parámetro no cambia significativamente con la profundidad y que los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados para calcular los perfiles del coeficiente de máxima utilización de luz.

III.4.2. Producción primaria

Los altos valores de producción primaria integrada en la zona eufótica registrados en las estaciones costeras (Tabla XV) podrían ser el resultado del aumento en la concentración de clorofila y a la abundancia de diferentes poblaciones del fitoplancton a través de la columna de agua, las cuales estuvieron asociadas con fuertes eventos de surgencias locales ocurridos principalmente en primavera y verano como lo reportaron Durazo y Baumgartner (2002). Los valores promedios de PP_{eu} estuvieron en el orden de los reportados por Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1991) en el verano frente a Baja California, donde sus valores altos fueron relacionados con máximos subsuperficiales de la concentración de clorofila y con células de fitoplancton creciendo en altas irradiancias. Valores similares de PP_{eu} fueron también reportados por Smith y Eppley (1982) en áreas costeras de la Ensenada del Sur de California ocasionados por eventos de surgencias costeras. La variabilidad de PP_{eu} medida y estimada entre las regiones norte y central quizás se debe a que ésta última zona es más influenciada por los eventos de surgencias, ocasionando incrementos en la concentración de clorofila, mientras que la región norte es mayormente afectada por la intrusión de agua proveniente del Pacífico

central frente a Ensenada. Esta agua oceánica es pobre en nutrientes, contiene baja concentración de clorofila y desarrolla una zona frontal recurrente llamada “Frente Ensenada”, la cual se mueve durante el año hacia el norte y hacia el sur de Ensenada, Baja California (Haury *et al.* 1993; Venrick, 2000).

La mayor variabilidad de la PPeu *in situ* fue registrada en la zona costera, siendo dos veces más alta que en la zona oceánica (Tabla XV). Esta variabilidad entre ambas zonas podría deberse a una mayor concentración de clorofila y a la abundancia de diatomeas y dianoflagelados que dominaron en las estaciones costeras y oceánicas durante primavera (Anexo A1). Los valores bajos de E_k en invierno y primavera mostraron que las células del fitoplancton crecieron fotoaclimatadas a bajas irradiancias, mientras que en otoño lo hicieron en altas irradiancias (Tabla XIV). Posiblemente en verano las células del fitoplancton también crecieron con altas irradiancias. La PPeu estimada también fue 2 veces mayor en la zona costera durante los cuatro cruceros (Tabla XV). Por otro lado, se observó que la PPeu calculada no presentó diferencias estadísticamente significativas con la PPeu *in situ* en las zonas costera y oceánica. La variabilidad espacial y estacional entre la PPeu medida y la calculada durante los cruceros, podría ser el resultado de cambios en los valores promedios de los parámetros fotosintéticos de una región a otra, con altos coeficientes de máxima utilización de luz en primavera y menores en verano, los cuales están relacionados con los coeficientes de absorción específicos del fitoplancton y con la cosecha cuántica máxima. Bouman *et al.* (2000b) observaron que la subestimación de la absorción por material orgánico disuelto coloreado fue responsable de las diferencias entre la producción primaria medida *in situ* y la estimada en el Océano Atlántico. Los valores relativamente bajos de $P_{m(z)}^*$ en primavera podrían estar asociados con células del fitoplancton que fueron transportadas

de aguas más profundas hacia la superficie aclimatadas a bajas irradiancias, o que las células del fitoplancton que se distribuyeron a través de la zona eufótica estaban aclimatadas a bajas irradiancias. Este comportamiento ha sido reportado por Gaxiola-Castro *et al.* (2002) en la región de las grandes islas del Golfo de California.

Una de las mayores dificultades para estimar la producción primaria en grandes regiones del océano es la extrapolación de mediciones locales de los parámetros fotosintéticos y bio-ópticos, suponiendo que estos no cambien significativamente en espacio y tiempo. Por ello, es necesario determinar estos parámetros para cada zona, región y época del año, y proponer valores promedios para que sean utilizados en regiones de interés. Sin embargo, es importante mantener en mente que el uso adecuado de los valores de los parámetros fotosintéticos repercutirá en los resultados de la producción primaria estimada al menos en esta zona de estudio. Para probar la validez de los valores promedios de los parámetros fotosintéticos y saber si estos son representativos de una región determinada en la estimación de la producción primaria, se planteó la hipótesis de que los parámetros fotosintéticos de una estación del año no cambian significativamente a través del tiempo y pueden ser utilizados en la estimación de la producción primaria en otras estaciones del año. Para esto se usaron los valores promedios de los parámetros fotosintéticos de primavera y se calculó la producción primaria integrada en la zona eufótica en verano y otoño (no se calculó la PPeu en invierno porque no se tienen datos de PPeu medida). La PPeu estimada en la región frente a Baja California subestimó en 39% y 59% a la PPeu *in situ* en verano y otoño, respectivamente (Tabla XVI). Por otro lado, la PPeu estimada ($42 \pm 8 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) fue similar que la PPeu medida ($51 \pm 11 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en la región norte y 50% menor en la región central durante el verano. En la zona costera la PPeu estimada fue 56% menor

que la PPeu medida y 24% más baja en la zona oceánica (Tabla XVI). Durante el otoño, la PPeu estimada presentó las mismas tendencias que en verano. Esto es, la PPeu estimada fueron 47% y 66% más bajas que la PPeu medida en las regiones norte y central, respectivamente. También la PPeu estimada fue 57% menor que la PPeu medida en las estaciones costeras y 62% más baja en la zona oceánica. Al comparar estos resultados (Tabla XVI) con los reportados en la tabla XV se encontraron diferencias significantes en la estimación de la producción primaria, de tal forma, que cuando se utilizaron valores promedios de los parámetros fotosintéticos del crucero de primavera para calcular la producción primaria en verano y otoño, en lugar de sus valores promedios correspondientes para cada región y estación del año, se registró una incertidumbre de 39% en la estimación de la PPeu en verano y del 47% en otoño considerando toda el área de estudio. Además, se encontró que las mayores incertidumbres generadas en la estimación de la producción primaria ocurrieron en la región central con 45% en verano y 58% en otoño, mientras que en la zona costera fue de 46% en verano y 52% en otoño (Tabla XV y XVI). Por tanto, de acuerdo a lo anteriormente expuesto se concluyó que la variabilidad de los parámetros fotosintéticos juega un papel clave en la estimación de la producción primaria junto con la luz disponible en la columna de agua. Así los valores promedios de los parámetros fotosintéticos estimados en cada zona y crucero son válidos para cada estación del año y no es posible considerar un sólo valor anual de los parámetros en toda el área de estudio, ya que se cometerían errores importantes en la estimación de la producción primaria.

Otra de las tareas en este sentido es desarrollar algoritmos regionales, los cuales requieren que sean alimentados con propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos para cada región y poder extrapolar los cálculos de producción primaria a grandes escalas. Una de las ventajas que representa la información derivada de sensores remotos

para los oceanógrafos biólogos es la cobertura sinóptica de una gran área oceánica. Por consiguiente, los perfiles promedios de los parámetros fotosintéticos calculados para cada región y estación del año pueden ser utilizados como herramientas para alimentar modelos semianalíticos. Estos parámetros junto con la información derivada de sensores de color del océano (como clorofila, irradiancia y temperatura en la superficie del mar) podrán ser utilizados para calcular la producción primaria en una región de interés, además de ofrecer un mejor conocimiento de la variabilidad de esta producción primaria asociada con procesos físicos de meso y gran escala y tratar de entender el flujo global del carbono entre el océano y la atmósfera.

IV. PRODUCCIÓN PRIMARIA ESTIMADA A PARTIR DE MEDICIONES DE COLOR DEL OCÉANO POR SEAWIFS.

IV.1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad temporal y espacial de la fotosíntesis marina puede ser determinada por medio de sensores remotos del color del océano, los cuales constituyen hoy en día una herramienta importante para estimar la producción primaria a escala global, lo que permite un mejor entendimiento del flujo de carbono (CO_2) entre la atmósfera y el océano (IOCCG, 1999). Sin embargo, la fijación de carbono fotosintético por parte del fitoplancton en la zona eufótica del océano sigue siendo aún incierta, aunque se piensa que ésta puede ser comparable a la efectuada por las plantas terrestres (Morel y Berthon, 1989; Balch *et al.*, 1992).

El objetivo principal de los oceanógrafos para observar el color de los océanos desde el espacio es para entender mejor el papel de los océanos en el ciclo global del carbono. De tal forma, que los procesos biológicos de los organismos fitoplanctónicos que son principalmente responsables de las variaciones del color de los océanos, juegan un papel importante en el intercambio de carbono entre la atmósfera y los océanos. Por consiguiente, la fotosíntesis del fitoplancton puede reducir la presión parcial del CO_2 en las aguas superficiales; una porción del carbono secuestrado como materia orgánica se pierde de la zona eufótica y este flujo neto de carbono de la atmósfera hacia aguas más profundas es como resultado de "la bomba biológica" (Lewis, 1992).

La manera de poder entender este flujo de carbono entre la atmósfera y los océanos, es determinando la variabilidad espacial y estacional de los parámetros fotosintéticos del fitoplancton y conocer la relación entre la concentración de la clorofila

superficial con el perfil vertical de la clorofila, los cuales puedan ser utilizados en modelos semianalíticos y empíricos para estimar esta producción primaria (Platt *et al.*, 1988).

El desarrollo de una nueva generación de satélites con sensores remotos del color del océano ha estimulado el uso de imágenes sinópticas de la biomasa del fitoplancton para realizar estimaciones globales de la tasa de fijación de carbono por las microalgas (Platt y Sathyendranath, 1988; Behrenfeld y Falkowski, 1997), además de la incorporación de información sobre la concentración superficial de pigmentos (Chl) para predecir los perfiles de biomasa subsuperficial y la penetración de la luz a través de la columna de agua, variando desde relaciones puramente empíricas (Smith *et al.*, 1982; Balch *et al.*, 1989), a simples mediciones semianalíticas (Smith *et al.*, 1987; Balch *et al.*, 1992) o relaciones semianalíticas más elaboradas que varían regionalmente (Platt y Sathyendranath, 1988; Morel y Berthon, 1989). Por lo tanto, existen dos problemas importantes en usar la clorofila superficial medida por sensores remotos para calcular la producción primaria a escala regional o global: 1) seleccionar un modelo apropiado y 2) su extrapolación a grandes escalas espaciales y temporales (Sathyendranath *et al.*, 1995). Una manera de disminuir este tipo de problemas es dividiendo el océano en regiones y zonas con características oceanográficas similares, para proponer valores promedios de los parámetros fotosintéticos que se consideren constantes en una región oceánica y para una estación del año (Sathyendranth *et al.*, 1995; Longhurst *et al.*, 1995).

Si los perfiles promedios de los parámetros fotosintéticos propuestos en el presente trabajo representan las características fisiológicas de las células de fitoplancton en una región o época del año dada, significa entonces que las estimaciones promedio de producción primaria calculada por modelos podrán ser comparables a la PPeu medida en la columna de agua.

Los sensores a bordo de satélites proporcionan la Chl e irradiancia superficiales ($E_{0(PAR)}$), pero no proporcionan valores de los parámetros fotosintéticos necesarios en algunos modelos semianalíticos como el descrito por Platt y Sathyendranath (1988) y modelos empíricos como el de producción integrada con la profundidad (VGPM) propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997). Por lo tanto, para calcular la producción primaria en grandes escalas espaciales se requiere de la combinación de datos medidos por sensores remotos junto con observaciones *in situ* de estos parámetros (Sathyendranath *et al.*, 1995). Además de la variabilidad en los parámetros fotosintéticos, otro problema importante en la estimación de la producción primaria son las diferencias regionales en la distribución vertical de Chl, aunque la producción primaria calculada parece ser más sensible a cambios en los parámetros fotosintéticos que a los derivados del perfil de Chl. A pesar de todos los problemas que se tienen con el uso de información derivada de satélites, los sensores remotos proporcionan grandes ventajas como una mayor cobertura sinóptica y la posibilidad de tener acceso a los datos casi en tiempo real de una región determinada (Sathyendranath y Platt, 1989).

Desde las mediciones realizadas entre 1978-1986 por el primer sensor de color del océano el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) hasta la actualidad, se han desarrollado un sin número de trabajos en diferentes regiones de los océanos mundiales donde se ha estimado la producción primaria a partir de mediciones derivadas por sensores remotos (por ejemplo; Platt y Sathyendranath, 1989; Morel y André, 1991; Sathyendranth *et al.*, 1995; Longhurst *et al.*, 1995; Antoine y Morel, 1996; Behrenfeld y Falkowski, 1997, entre otros). Sin embargo, en la Corriente de California (CC) se han llevado a cabo muy pocos trabajos relacionados con sensores remotos de color del océano. Balch *et al.* (1989) fueron los primeros en modelar la producción primaria a partir

de datos de sensores remotos en esta zona y propusieron un algoritmo para estimar la producción primaria a partir de la clorofila, temperatura y luz. Estos autores encontraron que su modelo explicó el 48% de la variabilidad de la producción primaria integrada en la zona eufótica cuando usaron datos de clorofila medida por sensores remotos (CZCS) y 58% de la variabilidad fue explicada al utilizar los datos de la clorofila *in situ*. Recientemente, Carr (2002) reportó valores de producción primaria integrada en la zona eufótica del orden de $1\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para la región de la Corriente de California desde 24°N a 48°N , extendiéndose el área de estudio 500 km fuera de la costa. Esta producción primaria fue estimada a partir de información derivada del OCTS (Ocean Color and Temperatura Sensor) y del SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of View Sensor) durante tres años (1996-1999). Esta misma autora también reportó un valor promedio anual de PPeu de 0.05 Gt C/año considerando sólo las áreas de surgencias en la región de la CC.

El objetivo del presente capítulo es estimar la producción primaria del fitoplancton por medio de modelos semianalíticos y empíricos utilizando datos de color del océano medidos por sensores remotos (SeaWiFS) junto con mediciones *in situ* realizadas frente a Baja California. Estas determinaciones permitirán ofrecer un conocimiento más adecuado de las variaciones espaciales y estacionales del flujo de carbono y su importancia en el área de estudio, que a su vez contribuya con un mejor entendimiento del ciclo del carbono en la escala global.

Se espera que la producción primaria integrada en la zona eufótica (PPeu) estimada por los dos modelos, semianalítico y modelo generalizado de producción vertical (VGPM), proporcionen valores comparables con los valores promedios de la PPeu medida. La PPeu medida y modelada serán significativamente más altas en la zona costera que en la oceánica.

IV.2. MÉTODOS Y OBTENCIÓN DE DATOS

Durante 1999 se realizaron cuatro campañas oceanográficas estacionales (invierno, primavera, verano y otoño) en la región sur de la CC dentro del programa IMECOCAL (Figura 1). En este capítulo se calculó únicamente la PPeu del crucero de primavera utilizando datos derivados de sensores remotos del color del océano junto con observaciones *in situ*. La PPeu fue estimada por medio del modelo semianalítico descrito por Platt y Sathyendranath (1988), y por el modelo empírico elaborado por Behrenfeld y Falkowski (1997).

El modelo semianalítico se basa en las relaciones que existen entre la concentración de clorofila superficial y su distribución vertical, el uso de los parámetros fotosintéticos obtenidos de curvas fotosíntesis-irradiancia y en la distribución vertical de la luz. Este modelo supone que los parámetros fotosintéticos representan la fotofisiología del fitoplancton y que se mantienen sin cambios significantes al menos para la región y estación del año en la que fueron estimados, de tal forma que esto permita la extrapolación de los parámetros a escalas más grandes en tiempo y espacio. Sin embargo, una de las limitaciones importantes del modelo es que la extrapolación de los parámetros fotosintéticos no sea la adecuada y que no representen los procesos fisiológicos que ocurrieron en el medio. Además, se requiere conocer los parámetros característicos de la curva Gausiana que describen el perfil de la clorofila, el cual puede ser calculado a partir de la clorofila medida por sensores remotos. Cuando el máximo subsuperficial de la clorofila es muy profundo el modelo sobreestima a la concentración de la clorofila *in situ*, mientras que cuando se presentan máximos subsuperficiales someros el modelo subestima a la clorofila medida.

El modelo empírico VGPM se basa en gran medida en la variabilidad del parámetro fotosintético P_{opt}^* . Este parámetro es determinado de las incubaciones *in situ* de producción primaria, ó puede ser estimado de la relación con la temperatura superficial del mar medida *in situ* ó detectada por sensores remotos. Behrenfeld y Falkowski (1997) observaron que el modelo no mejoró significativamente la estimación de la producción primaria integrada en la zona eufótica cuando se consideró el perfil vertical de la concentración de clorofila comparada con la utilización de la clorofila superficial constante con la profundidad. Así el modelo VGPM fue simplificado usando la clorofila superficial o la clorofila derivada de sensores de color del océano (Chl sat) para calcular la PPeu en una región determinada. Los valores de la irradiancia superficial ($E_{0(PAR)}$) también pueden ser proporcionados por el SeaWiFS, mientras que la única variable del modelo que determina la producción primaria integrada es la profundidad de la zona eufótica (Z_{eu}), la cual puede ser estimada a partir de Chl sat. Algunas de las limitantes importantes del modelo fueron suponer que el parámetro fotosintético y la concentración de clorofila son constantes a través de la zona eufótica, aunque una gran ventaja que ofrece este modelo es que todos los parámetros pueden ser determinados a través de información derivada de sensores remotos.

IV.2.1 Parámetros fotosintéticos

En el capítulo anterior se calcularon los perfiles promedio de los parámetros fotosintéticos (coeficiente de máxima utilización de luz, $\alpha_{(z)}^*$, y tasa fotosintética máxima,

$P_{m(z)}^*$) para cada zona (costera y oceánica), región (norte y central) y crucero (invierno, primavera, verano y otoño). Durante el crucero de primavera no se obtuvieron perfiles de $\alpha_{(z)}^*$ en la zona oceánica de la región norte, por lo tanto, se utilizó el perfil promedio $\alpha_{(z)}^*$ de la región central (Figura 17b).

IV.2.2 Adquisición de datos del color del océano

De acuerdo a las características físicas (temperatura, salinidad, densidad), y biológicas (abundancia de fitoplancton, abundancia de zooplancton y concentración de clorofila), el área de estudio fue dividida en las regiones norte (116.938° W, 31.685° N a 120.103° W, 27.642° N) y central (115.356° W, 29.399° N a 116.587° W, 21.841° N). Ambas regiones fueron subdivididas en dos zonas; estaciones costeras (~36 a 145 km de la costa) y estaciones oceánicas (de 180 a 540 km fuera de la costa). Los valores de clorofila superficial estimados a partir del SeaWiFS (Chl-sat) fueron obtenidos de una imagen compuesta mensual del mes de abril 1999 (seawifs.daac.gsfc.nasa.gov). La concentración promedio de la clorofila superficial *in situ* y la Chl sat fueron utilizados en las ecuaciones de regresión de Millán-Núñez *et al.* (1997) para calcular los parámetros característicos de la curva Gaussiana (h, σ, Chl_0 y Z_m) que describen el perfil de la clorofila en la zona eufótica de cada región (Tabla XVII y XVIII), para posteriormente estimar el perfil de clorofila ($Chl_{(z)}$) en cada estación utilizando la siguiente ecuación:

$$Chl_{(z)} = Chl_0 + \frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(Z - Z_m)^2}{\sigma^2}\right] \quad (17)$$

donde $Chl_{(z)}$ es la Chl-*a* (mg m⁻³) como una función de la profundidad Z , Chl_0 es la Chl base (mg m⁻³), h es la Chl total por arriba de la Chl base (mg m⁻²), σ es la desviación estándar (m) y Z_m es la profundidad del máximo de clorofila (Figura 22).

Tabla XVII. Parámetros característicos de la curva Gausiana que describen el perfil de clorofila ($\text{Chl}_{(z)}$, mg m^{-3}) para cada región y crucero calculados con base en las ecuaciones propuestas por Millán-Núñez *et al.* (1997), a partir de la clorofila superficial *in situ*.

CRUCEROS	REGIÓN	PARÁMETROS			
		h	σ	Z_m	Chl_0
Invierno	C-N	51.55	16.00	30.74	0.20
	O-N	42.39	15.48	56.91	0.27
	C-C	83.66	17.20	23.47	0.31
	O-C	39.14	15.37	57.68	0.26
Primavera	C-N	165.60	18.64	16.96	0.50
	O-N	27.12	14.98	60.55	0.20
	C-C	150.57	18.45	17.71	0.47
	O-C	41.34	15.45	57.16	0.27
Verano	C-N	29.04	16.00	33.18	0.14
	O-N	19.92	16.00	45.30	0.14
	C-C	40.66	16.00	24.49	0.14
	O-C	21.05	16.00	43.10	0.14
Otoño	C-N	31.72	16.00	30.74	0.14
	O-N	15.23	16.00	56.57	0.14
	C-C	33.78	16.00	29.08	0.14
	O-C	24.33	16.00	37.42	0.14

Chl_0 es la clorofila base (mg m^{-3})

h es la clorofila total por arriba de la clorofila base (mg m^{-2})

σ es la desviación estándar (m)

Z_m es la profundidad del máximo de clorofila

C-N estaciones costeras de la región norte

O-N estaciones oceánicas de la región norte

C-C estaciones costeras de la región central

O-C estaciones oceánicas de la región central

Tabla XVIII. Parámetros característicos de la curva Gausiana que describen el perfil de clorofila ($\text{Chl}_{(z)}$, mg m^{-3}) para cada región y crucero calculados con base en las ecuaciones propuestas por Millán-Núñez *et al.* (1997), a partir de la clorofila superficial derivada del SeaWiFS.

CRUCEROS	REGIÓN	PARÁMETROS			
		h	σ	Z_m	Chl_0
Invierno	C-N	44.43	15.57	33.84	0.18
	O-N	28.79	15.04	60.15	0.21
	C-C	49.30	15.87	31.61	0.20
	O-C	20.09	14.76	62.23	0.16
Primavera	C-N	105.08	17.70	20.96	0.36
	O-N	21.11	14.79	61.99	0.17
	C-C	87.50	17.30	22.94	0.32
	O-C	31.13	15.11	59.59	0.22
Verano	C-N	28.34	16.00	33.87	0.14
	O-N	16.65	16.00	52.73	0.14
	C-C	27.22	16.00	35.06	0.14
	O-C	16.90	16.00	52.10	0.14
Otoño	C-N	23.57	16.00	39.63	0.14
	O-N	13.94	16.00	60.50	0.14
	C-C	25.30	16.00	37.31	0.14
	O-C	18.63	16.00	48.03	0.14

Chl_0 es la clorofila base (mg m^{-3})

h es la clorofila total por arriba de la clorofila base (mg m^{-2})

σ es la desviación estándar (m)

Z_m es la profundidad del máximo de clorofila

C-N estaciones costeras de la región norte

O-N estaciones oceánicas de la región norte

C-C estaciones costeras de la región central

O-C estaciones oceánicas de la región central

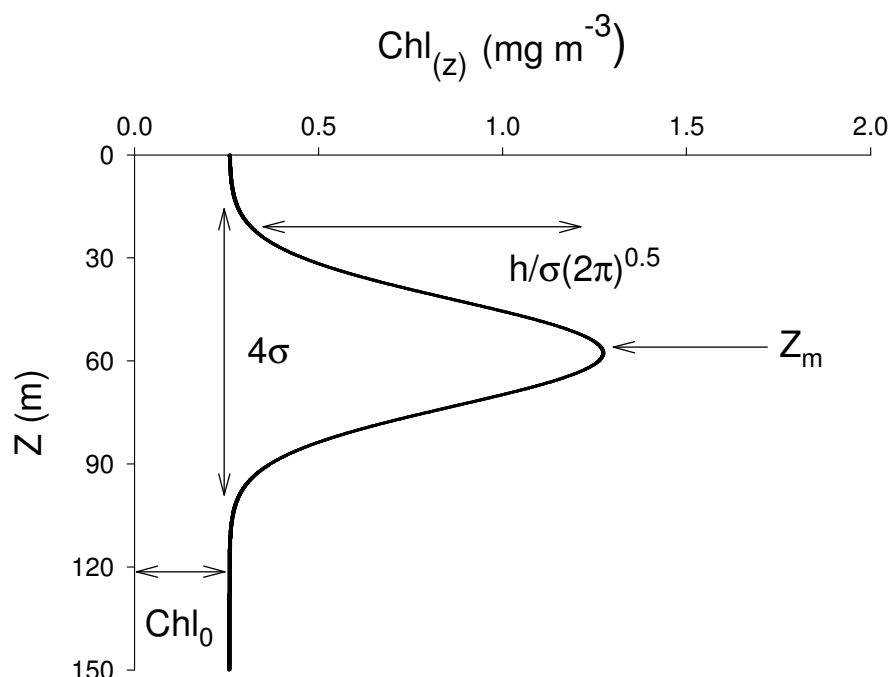


Figura 22. Parámetros característicos que describen el perfil vertical de clorofila ajustados a una distribución Gaussiana (tomada de Platt *et al.*, 1988).

Las ecuaciones de regresión para calcular los parámetros de la curva Gaussiana propuestas por Millán-Núñez *et al.* (1997) fueron desarrolladas considerando dos épocas durante todo el año; época fría que incluye los meses de enero a junio y época caliente que corresponde a los meses de julio a diciembre. Además, estas ecuaciones fueron descritas para dos zonas; zona costera y oceánica.

La irradiancia superficial promedio diaria ($E_{0(PAR)}^{sat}$, Einstein m⁻² d⁻¹) fue obtenida de imágenes semanales de irradiancia del mes de abril, las cuales fueron estimadas por el SeaWiFS en la zona de estudio (seawifs.daac.gsfc.nasa.gov). Los valores de $E_{0(PAR)}^{sat}$ representan el promedio sobre todo el día y fueron obtenidos de las imágenes de satélite, los cuales se convirtieron a μmol fotones m⁻² s⁻¹ para utilizarlos en los modelos semianalítico y empírico y poder calcular la producción primaria. Para

convertir de Einstein a μmol fotones se multiplicaron los valores por un factor de 10^6 (dado que $1 \text{ Einstein m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ es igual a $10^6 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). También el tiempo en días fue convertido en segundos considerando el promedio de las horas luz del mes de abril de 1999. Esto es debido a que las unidades de tiempo en las que están expresados los parámetros fotosintéticos de las curvas P-E son en segundos y horas y no en días como originalmente están expresados los valores de $E_{0(PAR)} \text{ sat}$. Los datos de Chl-sat también fueron usados para calcular los valores del coeficiente de atenuación de la luz debido al fitoplancton, bacterias, virus, detritos y materia orgánica disuelta coloreada ($K_{bio}(490)$), utilizando los valores del ajuste de poder reportados en el capítulo II (Tabla XIII). De esta manera, el coeficiente de atenuación vertical ($K_d(490)$) fue igual a la suma de $K_{bio}(490)$ más el valor del agua pura ($K_w(490)$, 0.01160 m^{-1}) propuesto por Pope y Fry (1997). Se calcularon la profundidad de la zona eufótica (Z_{eu}) y el coeficiente de atenuación para la radiación fotosintéticamente activa ($K_d(PAR)$) por medio de los valores estimados de $K_d(490)$ y las ecuaciones de regresión descritas por Cervantes-Duarte *et al.* (2000).

$$Z_{eu} = 14.3 + \frac{2.3}{K_d(490)} \quad (18)$$

$$K_{d(PAR)} = \frac{4.6}{Z_{eu}} \quad (19)$$

De esta manera es posible estimar la atenuación de la luz con respecto a Z y conocer el perfil de la luz por medio de la ecuación de Lambert-Beer:

$$E_{z(PAR)} = (E_{0(PAR)} \text{ sat}) \exp^{-(K_d(PAR)Z)} \quad (20)$$

La producción primaria fue estimada por el modelo semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) en toda el área de estudio, el cual fue descrito en el capítulo III del

presente trabajo (ecuación 16) y por el modelo empírico (VGPM) propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997).

$$PP_{eu} = 0.66125 P_{opt}^* \frac{E_{0(PAR)}^{sat}}{(E_{0(PAR)}^{sat}) + 4.1} Z_{eu} (Chl\ sat) \quad (21)$$

Los valores de P_{opt}^* (mgC (mg Chl)⁻¹ h⁻¹) fueron calculados por medio de un polinomio de séptimo orden propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997) a partir de datos de temperatura superficial del mar (TSM sat).

$$P_{opt}^* = 3.27 \cdot 10^{-8} T^7 + 3.4132 \cdot 10^{-6} T^6 - 1.348 \cdot 10^{-4} T^5 + 2.462 \cdot 10^{-3} T^4 - 0.0205 T^3 + 0.0617 T^2 + 0.2749 T + 1.2956 \quad (22)$$

Los datos de temperatura superficial se derivaron de la imagen promedio mensual del AVHRR NOAA-12 (nesdis.noaa.avhrr/sst) correspondiente al mes de abril.

El modelo VGPM supone a P_{opt}^* y Chl sat constantes con la profundidad, lo cual deja a P_{opt}^* en función de la temperatura superficial, Z_{eu} es calculada con la ecuación (18) y $E_{0(PAR)}^{sat}$ estimada por el SeaWiFS.

Para calcular la producción primaria a partir de las imágenes de satélite en la región frente a Baja California se tomaron datos de clorofila, irradiancia y temperatura superficiales en las estaciones del programa IMECOCAL y en puntos intermedios entre una estación y otra a lo largo de la zona costera (desde la primera estación de cada línea hasta la estación 45) de las dos regiones. A partir de la estación 50 se obtuvieron datos de Chl sat, $E_{0(PAR)}^{sat}$ y TSM sat cada 36 km hasta aproximadamente la estación 100 de la red original del programa CalCOFI (~540 km de la costa). También se tomaron valores de estas variables en líneas intermedias desde la primera estación hasta la 100, de manera similar a lo descrito anteriormente. El área de estudio a su vez fue extendida hacia Bahía Magdalena (24°N) siguiendo la misma división; estaciones costeras y oceánicas, aunque el área de la región central fue de la línea 113 hasta Bahía Magdalena. Los parámetros fotosintéticos propuestos para cada zona y región del crucero de primavera fueron aplicados en el modelo semianalítico, extrapolando los valores promedios de estos parámetros en la zona oceánica hacia la estación 100 de ambas regiones y hacia el sur del área de estudio desde la línea 113 hasta Bahía Magdalena. Con respecto al modelo VGPM, la TSM sat fue obtenida de la misma manera como se describió antes y el parámetro fotosintético P_{opt}^* fue calculado para toda región. Los valores de producción primaria integrada en la zona eufótica estimados por los modelos semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) y VGPM en cada una de las estaciones, fueron transformados a imágenes para generar las figuras de PPeu calculadas por cada modelo.

IV.3. RESULTADOS

Los promedios de la concentración de clorofila superficial medida en cada zona y región fueron utilizados en las ecuaciones de regresión descritas por Millán-Núñez *et al.* (1997) para calcular los parámetros característicos de la curva Gausiana (Tabla XVII) y construir los perfiles verticales de clorofila en cada una de las zonas (Figuras 23a, b, c, d). El máximo de clorofila de los perfiles verticales promedio fueron mayores en invierno y primavera que los calculados para el verano y otoño (Figura 23). Además, los máximos

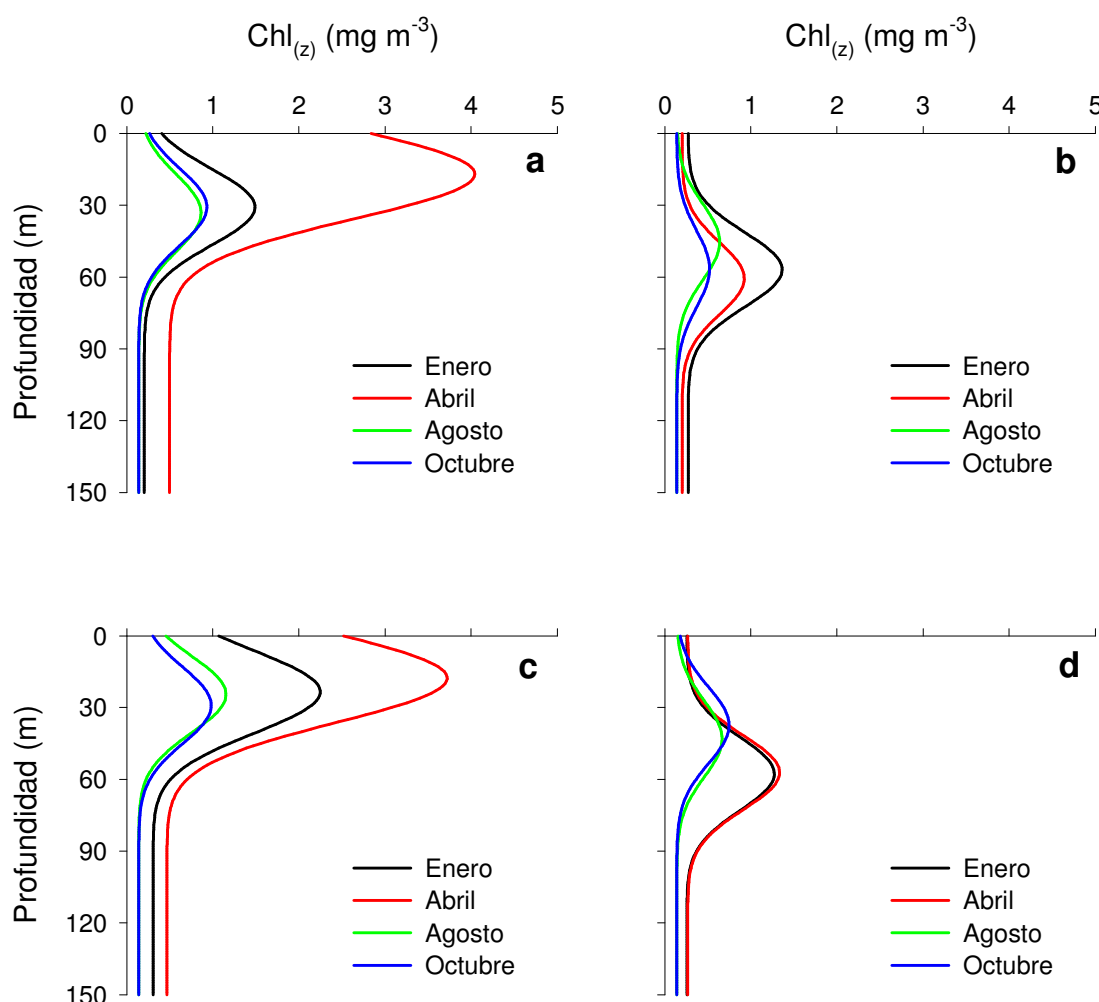


Figura 23. Perfiles verticales promedios de clorofila calculados a partir de la clorofila superficial medida para cada crucero y ajustados a una curva Gausseana. a) Costa-Norte; b) Océano-Norte; c) Costa-Central y d) Océano-Central.

de clorofila en primavera son dos veces mayores en las estaciones costeras que en las oceánicas. Los parámetros de la curva Gausiana también fueron calculados a partir de Chl sat (Tabla XVIII). Los perfiles verticales de clorofila tuvieron una forma semajante a los calculados por medio de la clorofila superficial derivada del SeaWiFS para la misma zona (Figuras 24a, b, c, d), aunque los máximos subsuperficiales de la clorofila *in situ* fueron significativamente más altos comparados con los máximos derivados de Chl sat. La mayor variabilidad de los máximos subsuperficiales de clorofila fue observada en los meses de enero y abril en las dos zonas, siendo hasta 37% y 44% más altos los picos máximos de los perfiles calculados con clorofila *in situ* en las estaciones costeras y oceánicas, respectivamente (Figuras 23 y 24). Estos perfiles verticales de clorofila calculados a partir de la Chl sat del SeaWiFS fueron utilizados en el modelo semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) para estimar la producción primaria durante el crucero de abril.

La producción primaria integrada en la zona eufótica (P_{Peu}) estimada por el modelo semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) fue 36% mayor que la P_{Peu} medida, considerando toda el área de estudio. La P_{Peu} estimada por este modelo fue 39% y 33% más alta que la P_{Peu} *in situ* en las regiones norte y central, respectivamente.

La PPeu calculada por el modelo semianalítico fue 45% mayor que los valores medidos *in situ* en la zona costera, aunque en las estaciones oceánicas los valores estimados ($31 \pm 0.6 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) son similares a la PPeu *in situ* ($37 \pm 4 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Tabla XIX). La PPeu estimada por el modelo semianalítico mostró un intervalo de $15 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a $613 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, con mayor variabilidad entre las estaciones costeras y oceánicas (Figura 25a). Se observó que los altos valores de la PPeu estimada se localizaron muy cerca de costa, los cuales fueron mayores de $350 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, seguidos de una franja relativamente estrecha

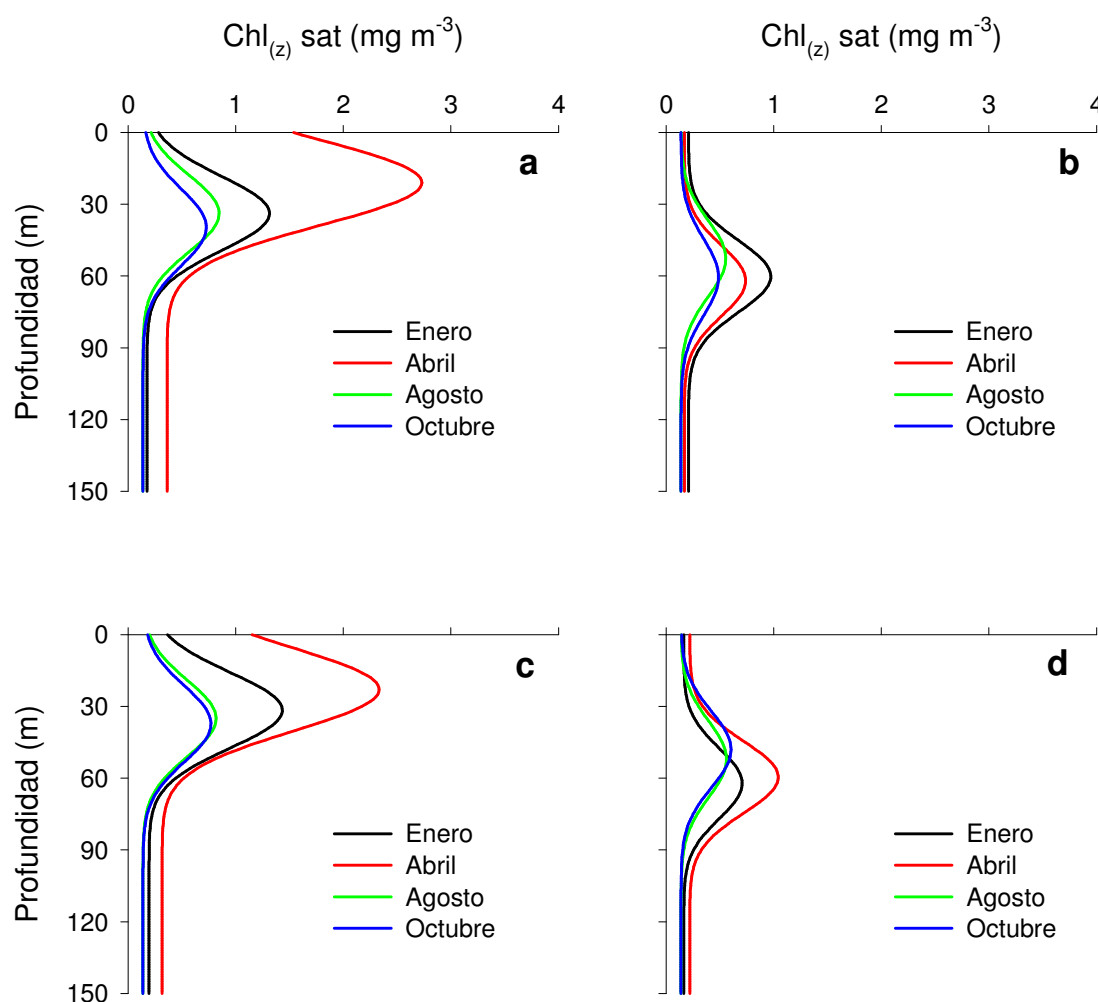


Figura 24. Perfiles verticales promedios de clorofila calculados a partir de la clorofila superficial derivada de una imagen mensual compuesta del SeaWiFS para cada crucero de 1999 y ajustados a una curva Gausiana. a) Costa-Norte; b) Océano-Norte; c) Costa-Central y d) Océano-Central.

Tabla XIX. Valores promedio de la producción primaria integrada en la zona eufótica ($\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) estimada por modelos semianalíticos (Platt y Sathyendranath, 1988) y empíricos (Behrenfeld y Falkowski, 1997) durante primavera de 1999 frente a Baja California. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.

Producción Primaria	Regiones			
	C-N	O-N	C-C	O-C
Platt y Sathyendranath (1988)	192 (21)	24 (0.48)	183 (10)	38 (0.70)
Behrenfeld y Falkowski (1997)	152 (19)	44 (0.64)	157 (9)	48 (1)
Medida	103 (45)	29 (*)	105 (46)	44 (8)

C-N y O-N, estaciones costeras y oceánicas de la región norte

C-C y O-C, estaciones costeras y oceánicas de la región central

* (representa sólo un dato en esa zona)

de valores intermedios entre 200 y 300 $\text{mgC m}^{-2} \text{h}^{-1}$.

La mayor parte del área de estudio estuvo representada por valores bajos de PPeu estimada, los cuales fueron menores a 150 $\text{mgC m}^{-2} \text{h}^{-1}$.

La PPeu se calculó para el crucero de abril de 1999 a partir del modelo semianalítico, utilizando los perfiles verticales promedio estimados con la clorofila superficial *in situ* ($\text{Chl}_{(z)}$) y con la Chl sat ($\text{Chl}_{(z)} \text{ sat}$), junto con los parámetros fotosintéticos y $E_{0(PAR)} \text{ sat}$. Cuando se usaron los perfiles promedio de $\text{Chl}_{(z)} \text{ sat}$ para estimar la PPeu, ésta subestimó en 37% a la PPeu calculada con $\text{Chl}_{(z)}$ en la zona costera. En la zona oceánica la PPeu calculada con $\text{Chl}_{(z)} \text{ sat}$ subestimó en 24% a la PPeu calculada con $\text{Chl}_{(z)}$. La producción primaria calculada por el modelo empírico de Behrenfeld y Falkowski (1997) (VGPM) fue 30% mayor que la PPeu *in situ* considerando

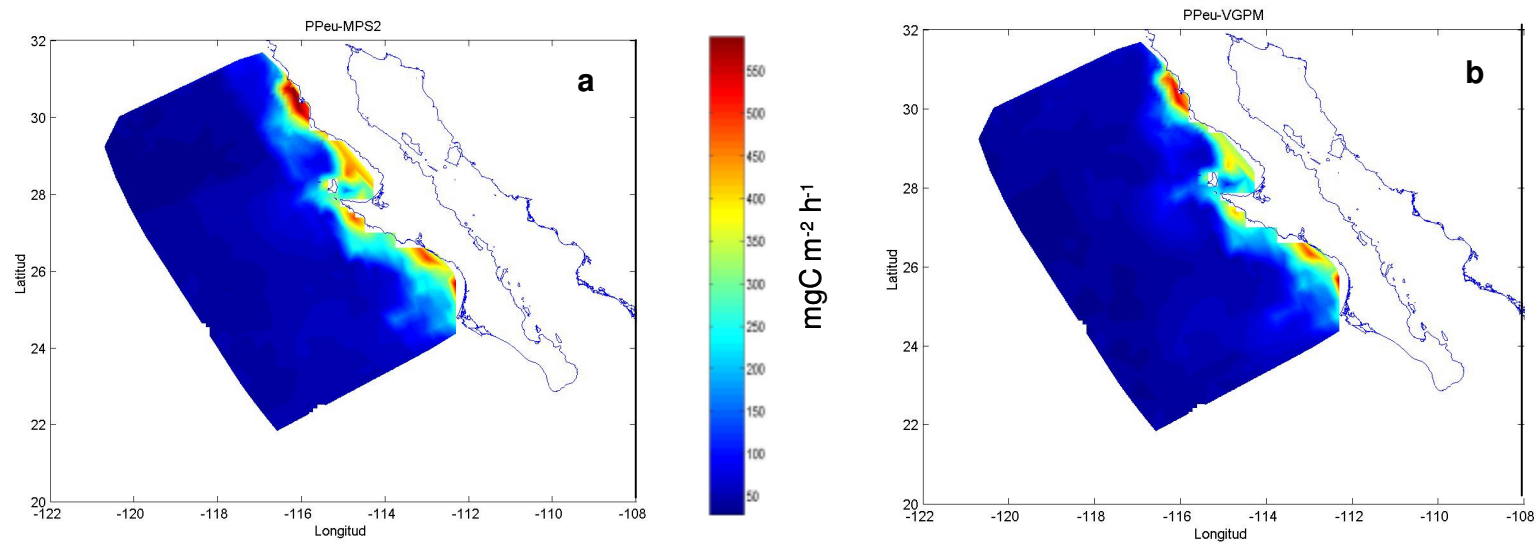


Figura 25. Producción primaria integrada en la columna de agua ($\text{mgC m}^{-2} \text{h}^{-1}$) estimada por los modelos: a) semianalítico (Platt y Sathyendranath, 1988); b) VGPM (Behrenfeld y Falkowski, 1997), utilizando información derivada de sensores de color del océano durante el crucero de primavera frente a Baja California.

toda el área de estudio, mientras que en las regiones norte y central (sin tomar en cuenta las zonas) la PPeu calculada ($98 \pm 10 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $103 \pm 5 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente) registró valores promedio similares a la PPeu *in situ* ($66 \pm 23 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $75 \pm 27 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente) (Tabla XIX). Además, la PPeu calculada ($155 \pm 14 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) por el VGPM también proporcionó valores comparables con la PPeu *in situ* ($104 \pm 46 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en las estaciones costeras y el modelo sobreestimó en 21% a la PPeu medida en la zona oceánica. La variabilidad de la PPeu estimada por VGPM a través del área de estudio (Figura 25b) tuvo un intervalo de $28 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a $630 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. El patrón de distribución de la PPeu estimada por VGPM mostró tendencias similares a las observadas por la PPeu determinada por modelo semianalítico, presentando los valores más altos ($> 400 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) muy cerca de costa entre Punta Colonet y Punta Baja, en Bahía Vizcaíno y de Punta Abrejos hacia Bahía Magdalena. Los valores entre $200 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $300 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ fueron registrados a lo largo de toda el área de estudio, formando una estrecha franja entre los valores bajos y los más altos. También los valores bajos entre $28 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $150 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ocuparon la mayor parte de la zona oceánica en la región frente a Baja California.

La producción primaria integrada en la zona eufótica ($109 \pm 8 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) estimada por el modelo semianalítico de Platt y Sathyendranath (1988) no presentó diferencias significativas con la PPeu ($100 \pm 7 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) calculada por el VGPM cuando se compararon los valores de ambos modelos en toda el área de estudio y por regiones. En la zona costera la PPeu estimada por el modelo semianalítico fue 18% mayor que la PPeu proporcionada por el VGPM y en las estaciones oceánicas la PPeu del modelo semianalítico fue 33% menor que los valores estimados por VGPM (Tabla XIX).

IV.4. DISCUSIÓN

Las grandes áreas de los océanos mundiales están permanentemente estratificadas, con una alta concentración de nutrientes debajo de la pycnoclina y baja concentración por arriba de ésta, actuando como una barrera a la difusión turbulenta de nutrientes hacia la zona eufótica (Mann y Lazier, 1996). El fitoplancton depende en gran medida de los procesos de difusión los cuales llevan nutrientes hacia esta zona eufótica donde pueden ser utilizados para la fotosíntesis. La ocurrencia de eventos físicos como las surgencias permiten el transporte vertical de los nutrientes necesarios para el fitoplancton. La región frente a Baja California se caracterizó por la presencia de fuertes eventos de surgencias principalmente durante primavera como lo demostraron Durazo y Baumgartner (2002), las cuales ocurrieron por la intensificación de los vientos del noroeste. Por lo tanto, los altos valores de producción primaria en esta área son el resultado del suministro de nutrientes hacia la zona eufótica sobre todo en las estaciones costeras (25a y b), ocasionando aumento en la abundancia de fitoplancton (Anexo A1). Eppley *et al.* (1979) encontraron que el transporte vertical de nutrientes fue el factor que controló la producción primaria en la Ensenada del Sur de California. Durante primavera la profundidad de la capa de mezcla (Tabla XIV) fue mayor que la profundidad de la zona eufótica (Tabla XX), permitiendo el transporte vertical de las células de fitoplancton y aporte de nutrientes hacia la superficie. Lalli y Parsons (1997) describieron que cuando la profundidad de la capa de mezcla es mayor que la zona eufótica, los organismos fitoplanctónicos son transportados hacia arriba y hacia abajo dentro de la capa de mezcla, siendo sometidos a diferentes niveles de irradiancia durante este transporte. Bajo estas condiciones las células del fitoplancton experimentan fotoaclimatación a una irradiancia promedio en la columna de agua. Otros factores que disparan la producción primaria del

Tabla XX. Valores promedio para abril de 1999 de la clorofila (Chl sat, mg m⁻³) y temperatura (TSM sat, °C) superficiales medidas por sensores remotos. Tasa máxima de fijación de carbono calculada para la columna de agua (P_{opt}^* , mgC(mgChl)⁻¹ h⁻¹) a partir de la TSM y P_{opt}^* *in situ* obtenida como el valor máximo de las incubaciones en la columna de agua. Profundidad de la zona eufótica (Z_{eu} sat, m) derivada de Chl sat y Z_{eu} Secchi calculado por medio de la lectura del disco de Secchi para cada zona y región. Los números entre paréntesis representan el error estándar de la media.

Parámetros	Regiones			
	C-N	O-N	C-C	O-C
Chl-sat	1.30 (0.23)	0.16 (0.004)	1.15 (0.10)	0.16 (0.008)
TSM-sat	14.55 (0.02)	14.87 (0.06)	16.07 (0.09)	16.84 (0.08)
P_{opt}^* estimado	5.52 (0.01)	5.63 (0.02)	6.00 (0.03)	6.20 (0.02)
P_{opt}^* <i>in situ</i>	4.41 (1.18)	1.52 (*)	2.62 (0.39)	3.56 (0.35)
Z_{eu} sat	49.0 (2.31)	73 (0.70)	47 (1.30)	78.2 (0.76)
Z_{eu} Secchi	46.0 (4.0)	62.0 (*)	32.5 (4.8)	64.8 (8.8)

C-N y O-N, estaciones costeras y oceánicas de la región norte

C-C y O-C, estaciones costeras y oceánicas de la región central

* (representa un dato en la zona)

océano en primavera son los cambios diarios en la radiación solar y la temperatura (Mann y Lazier, 1996).

La producción primaria medida integrada a través de la columna de agua y la estimada por los dos modelos presentaron altos valores en las estaciones costeras tanto de la región norte como en la región central y más bajos en las estaciones oceánicas de ambas regiones. La diferencia en los valores de P_{Peu} medida en la costa y el océano se deben al gradiente de concentración de clorofila entre ambas zonas, lo cual puede ser corroborado por los perfiles verticales calculados en la zona costera y oceánica (Figura 23 y

24), a la dominancia combinada de diatomeas y dinoflagelados en las estaciones costeras y oceánicas (Anexo A1b). Sin embargo, es importante hacer notar que los perfiles verticales de clorofila en las estaciones costeras fueron diferentes en cuanto a magnitud con valores de clorofila similares en agosto y octubre. El máximo subsuperficial de clorofila en el crucero de abril fue más alto comparado con los demás cruceros, mientras en la zona oceánica hubo mayor similitud entre perfiles de enero, abril, agosto y octubre.

Aunque es importante aclarar que los parámetros que describen el perfil de clorofila en el área de estudio fueron agrupados en dos épocas del año (fría y caliente), haciendo difícil el poder distinguir los perfiles que son característicos de una estación del año determinada, debido a que las ecuaciones de regresión para calcular estos parámetros no tienen esa capacidad.

Los altos valores de la PPeu obtenidos a partir del modelo de Platt y Sathyendranath (1988) en la zona costera estuvieron asociados con altos valores del coeficiente de máxima utilización de luz (α^*) y de la tasa fotosintética máxima (P_m^*). Los valores de α^* dependen en gran medida del coeficiente específico de absorción de la luz por el fitoplancton ($a_\phi^*(\lambda)$) y en menor grado de la eficiencia de la luz procesada con relación al carbono fijado durante la fotosíntesis (ϕ_m). Estos parámetros en conjunto contribuyen de manera importante en la variabilidad de la PPeu en esta zona costera. Por otro lado, la PPeu estimada por el modelo semianalítico fue similar a la PPeu medida *in situ*, observando que los perfiles promedios de los parámetros fotosintéticos y la cosecha cuántica máxima fueron menores en la zona oceánica. Aunque la P_m^* disminuyó 2.6 veces comparada con la registrada en la costa (Figura 18b), la cual pudo haber sido el parámetro con mayor peso que ocasionó que la PPeu estimada por el modelo semianalítico fuera menor (Tabla XIX). Además, las células

del fitoplancton pudieron estar fotoaclimatadas a bajas irradiancias como lo mostraron los valores relativamente bajos del parámetro fotoadaptativo (E_k , Tabla XIV).

La PPeu estimada por el modelo semianalítico en la zona oceánica de la región norte se calculó utilizando el perfil promedio de $\alpha_{(z)}^*$ de la misma zona pero de la región central. Para saber que tan válida fue esta extrapolación de $\alpha_{(z)}^*$ de una región a otra, se usó el perfil promedio de $\alpha_{(z)}^*$ del crucero de invierno de la misma zona y región, considerando los perfiles promedio de clorofila (Figuras 23b y 24b), temperatura y la dirección dominante de la Corriente de California. La PPeu *in situ* en estas condiciones fue subestimada 23% por el modelo semianalítico con un error de +6% entre utilizar $\alpha_{(z)}^*$ de la región central de primavera y $\alpha_{(z)}^*$ de la región norte de invierno. Sin embargo, cuando se utilizó el perfil promedio $\alpha_{(z)}^*$ de la zona oceánica de la región norte del crucero de verano, el modelo subestimó en 43% a la PPeu *in situ* con un error del 26%. Por tanto, los perfiles promedios de los parámetros fotosintéticos son válidos en la estación del año para la que fueron calculados.

Las diferencias entre la PPeu *in situ* y la estimada por el modelo semianalítico podrían ser en gran medida el resultado de altos valores en $E_{0(PAR)}^{sat}$, asociados en menor grado con la variabilidad espacial de los parámetros fotosintéticos, coeficientes específicos de absorción del fitoplancton y de la cosecha cuántica máxima. El problema de los datos de $E_{0(PAR)}^{sat}$ es que son valores promedio para todo el día (Einstein m⁻² d⁻¹) y no hay manera de conocer como varía la $E_{0(PAR)}^{sat}$ durante ese día. Esto podría en algún momento del día subestimar y sobreestimar a la irradiancia medida en la columna de agua,

siendo la irradiancia superficial medida por SeaWiFS significativamente más alta (26%-59%) que la irradiancia *in situ* (Figura 26a, b), ocasionando que la PPeu estimada fuera mayor, sobretudo en la zona costera (Tabla XIX). Es posible que la diferencia entre los valores de irradiancia *in situ* con los medidos por SeaWiFS se deba en parte a la irradiancia reflejada en la atmósfera y en la superficie del océano. Además, que $E_{0(PAR)}^{sat}$ proviene de una imagen semanal promedio. En general, la PPeu estimada por el modelo semianalítico utilizando los datos promedios de $E_{0(PAR)}^{sat}$ fue más alta, provocando un 14% de error en relación a la PPeu cuando se utilizaron los perfiles de luz *in situ*.

El modelo empírico VGPM de Behrenfeld y Falkowski (1997) también proporcionó altos valores de producción primaria integrada en la zona eufótica en las estaciones costeras, siendo 70% mayor que la zona oceánica (Tabla XIX; Figura 25b). Esta variabilidad de la PPeu es debida a las diferentes concentraciones de clorofila entre ambas zonas, ocasionada por eventos de surgencias, suministro de nutrientes a la zona eufótica y la presencia de diatomeas y dinoflagelados, las cuales representan un papel importante en la variabilidad de PPeu en la costa.

Behrenfeld y Falkowski (1997) observaron que la variabilidad de la PPeu fue explicada por la Chl-sat y por los cambios en P_{opt}^* cuando ésta se estimó por la ecuación (23) en un intervalo de temperatura desde -1°C a 29°C, contribuyendo ésta última con el 58% de la variabilidad en PPeu estimada por el modelo. Sin embargo, en el presente trabajo el cambio espacial máximo de temperatura (TSM sat) observada por el AVHRR

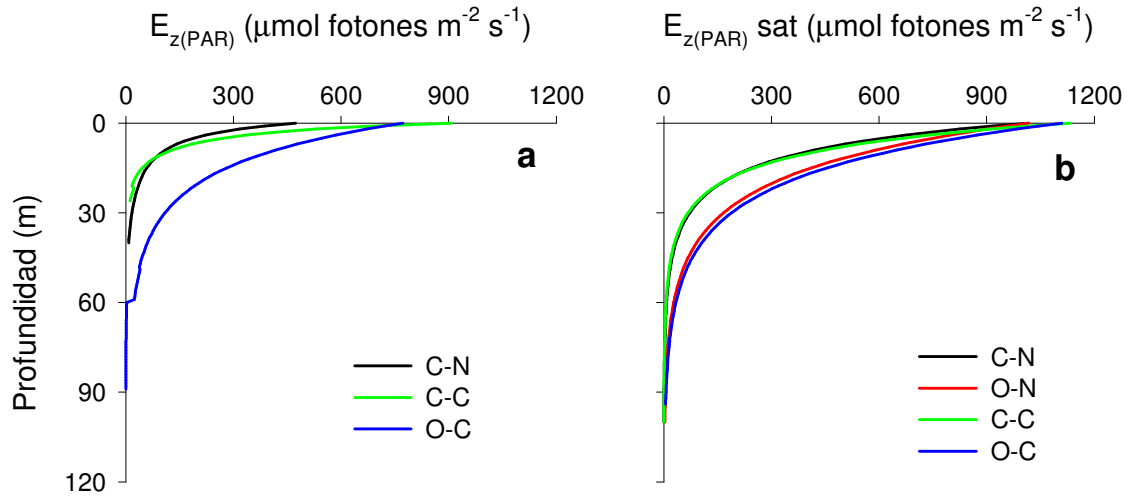


Figura 26. Perfiles verticales de: a) irradiancia medida con un PRR-600 y b) irradiancia estimada a partir de datos del SeaWiFS para cada región durante el crucero de primavera.

(Advanced Very High Resolution Radiometer) durante el mes de abril de 1999 fue de 2°C en toda el área de estudio, con un cambio de P_{opt}^* estimado en función de la TSM sat menor a 0.7 mgC (mg Chl)⁻¹ h⁻¹ (Tabla XX), corroborando que la concentración de clorofila tuvo gran peso sobre la estimación de la PPeu por este modelo VGPM (Tabla XIX). Aunque es posible que la P_{opt}^* estimada no represente realmente los procesos fotofisiológicos que ocurren en la columna de agua, debido a que la P_{opt}^* *in situ* fue altamente variable en la zona de estudio, al menos en el crucero de abril (Tabla XX).

Los valores promedios de la PPeu medida y la estimada por el VGPM fueron similares en las estaciones costeras, mientras que en la zona oceánica se registraron diferencias entre la PPeu medida y la estimada por el modelo VGPM. Esto puede ser el resultado de la alta variabilidad observada entre los valores de irradiancia medida y la irradiancia superficial estimada por el SeaWiFS, siendo esta última 26% a 59% mayor que la irradiancia *in situ* (Figura 26a,b), contribuyendo significativamente con la variabilidad de la PPeu estimada. Aunque también es posible que el modelo de Cervantes-Duarte *et al.* (2000) utilizado para calcular la profundidad de la zona eufótica y el $K_{d(PAR)}$ no sea el más

adecuado, debido a que este modelo fue ajustado con datos del Golfo de California (en las Grandes Islas) y quizás las características bio-ópticas de la zona no sean totalmente similares a las propiedades bio-ópticas de la región frente a Baja California.

La PPeu estimada por los dos modelos proporcionaron valores comparables entre ellos sin mostrar diferencias significativas en toda el área de estudio. Sin embargo, las mayores diferencias de la PPeu estimada por el modelo semianalítico y VGPM se presentaron en ambas zonas, como resultado de la variabilidad en los parámetros fotosintéticos en el modelo semianalítico y de la profundidad de la zona eufótica en los dos modelos. Aún cuando los valores de P_{opt}^* fueron 16% y 69% más altos que P_m^* en las estaciones costeras y oceánicas respectivamente, esto no se ve reflejado en los valores de PPeu estimada por VGPM para la costa, debido a que los valores de PPeu calculados por el modelo semianalítico son mayores. Esto significa que en esta zona los valores de P_m^* no tienen un peso importante sobre el modelo y es la combinación de α^* y P_m^* los que tienen más peso en el modelo semianalítico. En la zona oceánica fueron menores los valores de PPeu calculados con el modelo semianalítico, debido a que los parámetros fotosintéticos de las curvas fotosíntesis-irradiancia son más bajos en esta zona (Tabla XIV). Las diferencias entre los valores de P_{opt}^* y P_m^* se deben a que el primero depende más de la temperatura, la cual es más estable a través de la columna de agua y tiene más implicaciones metabólicas que fotoadaptativas, mientras que P_m^* depende más del estado fotoadaptativo de las células de fitoplancton a diversos niveles de irradiancia (Behrenfeld y Falkowski, 1997).

La variabilidad de la producción primaria medida y estimada por los dos modelos reflejan un patrón heterogéneo en la región frente a Baja California. El intervalo de fijación

de carbono medido en primavera varió desde 0.4 a 1.3 gC m⁻² d⁻¹, con un valor promedio para el área de estudio de 0.88 gC m⁻² d⁻¹. Mientras que los promedios de la producción primaria estimada por los modelos MPS y VGPM fueron 1.4 gC m⁻² d⁻¹ y 1.3 gC m⁻² d⁻¹, respectivamente. Por otro lado, el valor promedio de la PPeu medida *in situ* en tres cruceros del presente estudio (primavera, verano y otoño) fue de 1 gC m⁻² d⁻¹ y el valor promedio de PPeu estimada para los cuatro cruceros (a partir de datos medidos) fue de 0.97 gC m⁻² d⁻¹. Estos valores son mayores a los reportados por Smith y Eppley (1982) para la Ensenada del Sur de California (0.40 gC m⁻² d⁻¹) y por Hernández-de-la-Torre *et al.* (sometido) para las líneas 107 y 120 de la red de estaciones del programa IMECOCAL (0.66 gC m⁻² d⁻¹ y 0.42 gC m⁻² d⁻¹, respectivamente). Aunque están dentro del intervalo promedio de producción primaria reportado por Hayward y Venrick (1982) (0.2-2.0 gC m⁻² d⁻¹) en el Sistema de la Corriente de California (SCC) y son semejantes a los valores promedios calculados por Longhurst *et al.* (1995) y Carr (2002) de 1.06 gC m⁻² d⁻¹ y ~1 gC m⁻² d⁻¹, respectivamente para la Corriente de California.

La tasa de fijación de carbono por el fitoplancton estimado para la región sur de la Corriente de California juega un papel importante en el ecosistema pelágico y en el entendimiento del flujo de carbono a escala global. Es también primordial determinar la PPeu en esta zona para poder predecir sus implicaciones a largo plazo y conocer de una mejor manera la importancia de la “Bomba Biológica” dentro de la columna de agua en esta región. El carbono fijado por procesos autotróficos es además utilizado como alimento por los diversos organismos pelágicos presentes en el área de estudio como son sardina y anchoveta, contribuyendo en el desarrollo de las mismas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayor variabilidad de las propiedades bio-ópticas (coeficientes de absorción por partículas $a_p(\lambda)$, fitoplancton $a_\phi(\lambda)$ y los coeficientes de atenuación vertical de luz difusa $K_{bio}(\lambda)$) fue observada entre las estaciones costeras y oceánicas de cada crucero, como resultado de alta concentración de clorofila y mayor turbidez por la presencia de eventos de surgencias. Por lo tanto, los valores promedios de a_p , a_p^* , a_ϕ y a_ϕ^* a 440 y 674 nm son característicos de cada zona y estación del año.

Sin embargo, aún cuando existe variabilidad espacial y estacional en estas propiedades bio-ópticas, la concentración de clorofila explicó más del 80% de su variabilidad cuando todos los datos fueron agrupados y ajustados a una función de poder sin importar la zona y la estación del año. Por otro lado, menos del 20% de la variabilidad en los coeficientes de absorción se debió al efecto combinado de la presencia de otros pigmentos diferentes a la clorofila y al efecto paquete. Así, a partir de la concentración de clorofila superficial (Chl sat) derivada de sensores de color del océano (SeaWiFS) se pueden estimar los coeficientes de absorción por partículas y fitoplancton en el área de estudio. Además, debido a que no existen diferencias significativas en los valores promedios de los coeficientes de absorción medidos y los ajustados por la función de poder entre la región de la Corriente de California frente a Baja California y la Ensenada del Sur de California, estos promedios pueden ser extrapolados hacia esta última región, o bien ser calculadas las variables bio-ópticas en ambas zonas a partir de Chl sat, para ser utilizadas en modelos

bio-ópticos de producción primaria. Por consiguiente, los algoritmos regionales propuestos por Mitchell y Kahru (1998) y Kahru y Mitchell (1999) también podrán ser extendidos hacia la región frente a Baja California para estimar la concentración de pigmentos superficiales en la región de CalCOFI utilizando la señal de SeaWiFS.

Por otro lado, los valores promedios de los parámetros fotosintéticos (α^* y P_m^*) y la cosecha cuántica máxima (ϕ_m) mostraron variabilidad espacial (entre las estaciones costeras y oceánicas) y estacional (entre cruceros) durante el periodo de muestreo, con valores máximos de α^* y ϕ_m en la zona costera, principalmente en primavera, mientras que P_m^* fue mayor en la región central durante el otoño. En general, entre 60% y 70% de la variabilidad en los parámetros fotosintéticos fue explicada por la concentración de clorofila, mientras que el resto de la variabilidad puede ser debido a la presencia de diversos grupos fitoplanctónicos en la columna de agua como diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y proclorofitas y a la fotoadaptación de las células fitoplanctónicas.

Si se parte de que las propiedades bio-ópticas no son muy diferentes en el sur del SCC y que gran parte de su variabilidad es explicada por la clorofila, entonces los promedios de los parámetros fotosintéticos aquí propuestos podrían ser extrapolados desde nuestra área de estudio hacia la Ensenada Sur de California. De esta manera, los parámetros fotosintéticos pueden ser utilizados como herramientas importantes junto con datos medidos por sensores de color del océano para conocer la producción primaria en toda la región central y sur del SCC, lo que contribuirá a un mejor

entendimiento sobre la fijación y flujo de carbono en toda la zona. Sin embargo, es importante enfatizar que los valores promedios de estos parámetros fotosintéticos son válidos para la zona y estación del año en que fueron calculados donde permanecen con menor cambio. De acuerdo a la variabilidad mostrada por los parámetros fotosintéticos no sería recomendable considerar un valor promedio único de éstos en un ciclo anual, debido a que tanto α^* como P_m^* tuvieron comportamientos diferentes dentro de las estaciones del año y en el espacio, lo cual se vería reflejado en valores muy imprecisos de las estimaciones de producción primaria.

La producción primaria integrada en la columna de agua (P_{Peu}) *in situ* y modelada mostraron gran variabilidad espacial y estacional, siendo más fuerte en las estaciones costeras durante la primavera, donde se registraron los máximos valores de todo el periodo de muestreo. La fuerte variabilidad observada principalmente en la zona costera fue resultado de las diferencias en el gradiente de concentración de clorofila entre la costa y el océano, la cual es producto de eventos de surgencias locales, que transportan nutrientes inorgánicos a la zona eufótica y hacen que se incremente la abundancia del fitoplancton.

En general, la producción primaria medida fue 47% más alta en las estaciones costeras que en la zona oceánica durante todo el periodo de muestreo, observando bajas diferencias (27%) de producción primaria entre ambas zonas en otoño y máximas (65%) en primavera.

La P_{Peu} calculada para el crucero de primavera por el modelo semianalítico descrito por Platt y Sathyendranath (1988) utilizando información derivada del SeaWiFS sobreestimó en 36% a la P_{Peu} medida considerando toda el área de estudio. Sin embargo, las mayores diferencias entre la P_{Peu} medida y calculada fueron registradas en la zona

costera donde la PPeu estimada fue 45% mayor que la medida, mientras que en las estaciones oceánicas no se observaron diferencias significativas entre la PPeu medida y la estimada por dicho modelo.

El modelo empírico de Behrenfeld y Falkowski (1997) utilizado para estimar la PPeu a partir de datos medidos por sensores remotos sobreestimó en 30% a la PPeu medida durante primavera. La PPeu calculada por el modelo VGPM proporcionó valores comparables con la PPeu *in situ* en la zona costera. Aunque la variabilidad más fuerte entre la PPeu medida y modelada se registró en las estaciones oceánicas, siendo la PPeu medida 33% más baja que la calculada por este modelo empírico.

La producción primaria medida y la estimada por los dos modelos fueron muy variables reflejando un patrón heterogéneo en la región frente a Baja California. La PPeu medida durante el crucero de primavera mostró un valor promedio de $0.88 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, mientras que los promedios de la PPeu estimada por los modelos semianalítico y VGPM fueron $1.4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $1.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, cuando se consideró todo el periodo de estudio, el valor promedio de PPeu *in situ* fue $1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $0.97 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ fue la PPeu estimada por el modelo semianalítico, los cuales fueron comparables a los valores reportados por otros autores para el SCC.

La región frente a Baja California actualmente está siendo intensamente muestreada por el programa IMECOCAL. Sin embargo, aún falta mucho por hacer con relación a la variabilidad hidrográfica, propiedades bio-ópticas, parámetros fotosintéticos y producción primaria, por tanto se hacen las siguientes recomendaciones:

- 1) Debido a que en la zona costera se obtuvo una mayor variabilidad de las propiedades bio-ópticas y parámetros fotosintéticos se recomienda generar más experimentos de producción primaria *in situ* y de la relación fotosíntesis-irradiancia los cuales caractericen mejor esta zona.

- 2) Las ecuaciones de regresión para estimar los parámetros característicos de la curva Gausiana propuestas por Millán-Núñez *et al.* (1997) fueron desarrolladas para dos épocas del año: época fría y época caliente. Sin embargo, estas ecuaciones no pueden diferenciar los perfiles representativos de las estaciones del año. De acuerdo a la gran cantidad de perfiles que se han generado en la zona de estudio por el programa IMECOCAL, se recomienda recalcular los parámetros de la curva Gausiana que sean característicos de cada estación del año.
- 3) Considerando que gran parte de la variabilidad (>80%) de las propiedades bio-ópticas (coeficientes de absorción de luz por partículas y fitoplancton y el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa) medidas en el presente trabajo fueron explicadas por la clorofila es posible utilizar la Chl sat para estimar estas propiedades en grandes escalas regionales.
- 4) Estas propiedades bio-ópticas descritas en el presente trabajo son muy similares a las reportadas en la Ensenada Sur de California, por lo que se pueden extender las ecuaciones obtenidas por los ajustes de poder sobre las propiedades bio-ópticas para que sean calculadas en otras regiones dentro del Sistema de la Corriente de California.
- 5) De acuerdo a lo anterior, los algoritmos regionales propuestos por Mitchell y Kahru (1998) y Kahru y Mitchell (1999) para calcular la concentración de clorofila en la ESC a partir de datos de reflectancia de sensores remotos (R_{rs}) y de radiancia proveniente del agua (L_{WN}) pueden ser extrapolados hacia la región frente a Baja California.
- 6) Los perfiles promedios de los parámetros fotosintéticos propuestos para esta área de estudio pueden ser extrapolados hacia otras regiones del SCC para estimar la producción primaria junto con datos derivados por sensores remotos de color del

océano, ya que las propiedades bio-ópticas entre la ESC y Baja California son muy similares.

- 7) Debido a que los valores de $E_{0(PAR)}$ derivados de las imágenes del SeaWiFS representan un valor promedio para todo el día, es muy difícil conocer la variabilidad de $E_{0(PAR)}$ durante ese día a partir de estos datos. Por lo tanto, se recomienda calcular los valores de $E_{0(PAR)}$ varias veces durante el día para poder estimar la PPeu de manera más precisa (intervalos cortos de tiempo; una hora o dos horas) a través del tiempo y evitar la extrapolación de un solo valor de PPeu a todo el día.
- 8) El algoritmo propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997) para estimar la P_{opt}^* a partir de la temperatura superficial del mar (TSM) derivada de sensores remotos fue realizado para aplicarse a escala global (-1°C a 29°C). Si la variabilidad de la TSM es pequeña los valores de P_{opt}^* no cambiarán significativamente. Por lo tanto, es necesario desarrollar una relación entre la P_{opt}^* y la TSM para la zona de estudio.
- 9) Los dos modelos proporcionaron valores de PPeu comparables con los medidos. Sin embargo, el modelo semianalítico casi siempre generó valores de PPeu mayores que los calculados por el VGPM y los registrados *in situ*. Se observó que el modelo VGPM tiene una gran ventaja sobre el modelo semianalítico porque a partir de información derivada de sensores remotos se puede estimar la PPeu. Mientras que para calcular la PPeu por el modelo semianalítico se tienen que realizar experimentos de curvas fotosíntesis-irradiancia para conocer los parámetros fotosintéticos, conocer los parámetros que describen el perfil vertical de la clorofila, determinar el coeficiente específico de absorción del fitoplancton, haciendo más complicado su utilización.

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, *Limnol. Oceanogr.*, 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. *Global Biogeochem. Cycles*, 10.

- 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.
- Babin, M., J. C. Therriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, *Limnol. Oceanogr.*, 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, *Deep-Sea Res. I*, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. *Deep-Sea Res.*, 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. *Deep-Sea Res.*, 36, 1201-1217.
- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.

- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.
- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, *Mar. Ecol. Prog Ser.*, 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. *Deep-Sea Res.*, 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Ivarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. *Limnol. Oceanogr.*, 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. *J. Geophys. Res.*, 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, *Nature*, 324, 340-343.

- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.
- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.

- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.
- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.

- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.
- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. *Mar. Biol.*, 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. *Prog. Oceanogr.*, 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, *Limnol. Oceanogr.*, 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. *Climate change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). *Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group.*, No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, *Limnol. Oceanogr.*, 21, 540-547.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. *Int. J. Remote Sensing*, 20, 3423-3429.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Nevuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. Physiology Plant., 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. Mar. Ecol. Prog. Ser. 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. Limnol. and Oceanogr., 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. Mar. Biol., 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. Mar. Biol., 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banse, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics X*, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. Physiology Plant., 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. Mar. Ecol. Prog. Ser. 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. Limnol. and Oceanogr., 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. Mar. Biol., 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. Mar. Biol., 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Nevuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. *Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra*. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Platt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavanigos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaultot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics X*, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. *Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra*. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. *Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra*. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. Physiology Plant., 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. Mar. Ecol. Prog. Ser. 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. Limnol. and Oceanogr., 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. Mar. Biol., 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. Mar. Biol., 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. *Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra*. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics X*, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Nevuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neuvax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Platt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics X*, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavanigos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. *Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra*. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Nevuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. Physiology Plant., 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. Mar. Ecol. Prog. Ser. 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. Limnol. and Oceanogr., 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. Mar. Biol., 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. Mar. Biol., 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics X*, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Neveuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. and Oceanogr.*, 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. *Mar. Biol.*, 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. *Mar. Biol.*, 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

LITERATURA CITADA

- Allali, K., A. Bricaud y H. Claustre. 1997. Spatial variations in the chlorophyll-specific absorption coefficients of phytoplankton and photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 102, 12413-12423.
- Anderson, T. R. 1993. A spectrally averaged model of light penetration and photosynthesis, Limnol. Oceanogr., 38, 1403-1419.
- Antoine, D. y A. Morel. 1996. Oceanic primary production 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observation. Global Biogeochem. Cycles, 10.
- 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.
- Babin, M., J. C. Theriault, L. Legendre y A. Condal. 1993. Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production, Limnol. Oceanogr., 38(1), 154-177.
- Babin, M., A. Morel, H. Claustre, A. Bricaud, Z. Kolber y P. G. Falkowski. 1996. Nitrogen-and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems, Deep-Sea Res. I, 43(8), 1241-1272.
- Balch, W. M., M. R. Abbott y R. W. Eppley. 1989a. Remote sensing of primary production-I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. Deep-Sea Res., 36, 281-295.
- Balch, W. M., R. W. Eppley y M. R. Abbott. 1989b. Remote sensing of primary production-II. A semi-analytical algorithm based on pigments, temperature and light. Deep-Sea Res., 36, 1201-1217.

- Balch, W. M., R. Evans, J. Brown, G. Feldman, C. McClain y W. Esaias. 1992. The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation to Test Satellite Algorithms. *J. Geophys. Res.*, 97, 2279-2293.
- Bannister, T. T. 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1-12.
- Banase, K. y M. Yong. 1990. Sources of variability in satellite-derived estimates of phytoplankton production in the Eastern Tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 95, 7201-7215.
- Behrenfeld, M. J. y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Berner, T., K. Wyman y P. G. Falkowski. 1989. Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), *J. Phycology*, 25, 70-78.
- Bidigare, R. R., M. E. Ondrusek, J. H. Marrow y D. A. Kiefer. 1990. In vivo absorption of algal pigments, *SPIE* 1302, 290-302.
- Bograd, S. J., P. M. Digiacomo, R. Durazo, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, R. J. Lynn, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, W. J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C. S. Moore. 2000. The State of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 41, 26-52.
- Bograd, S. J. y R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño-La Niña cycle. *Geophysical Res. Letters*, 28, 275-278.
- Bograd, S. J., T.K. Chereskin y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106, 9255-9275.
- Bouman, H. A., T. Platt, G. W. Kraay, S. Sathyendranath y B. D. Irwin. 2000a. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 3-18.
- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, B. D. Irwin, M. R. Wernand y G. W. Kraay. 2000b. Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. II. Relevance to models of primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 19-34..
- Bricaud, A., A. Morel y L. Prieur. 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 816-832.
- Bricaud, A., A. L. Bédhomme y A. Morel. 1988. Optical properties of diverse phytoplanktonic species: Experimental results and theoretical interpretation. *J. Plankton Res.*, 10, 851-873.
- Bricaud, A. y D. Stramski. 1990. Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3), 562-582.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, *J. Geophys. Res.*, 100, 13,321-13,332.
- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali y H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033-31,044.

- Bricaud, A., K. Allali, A. Morel, D. Marie, M. J. W. Veldhuis, F. Partensky y D. Vaulot. 1999. Divinyl chlorophyll *a*-specific absorption coefficients and absorption efficiency factors for *Prochlorococcus marinus*: kinetics of photoacclimation, Mar. Ecol. Prog Ser., 188, 21-32.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Res., 49, 59-80.
- Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. A. Alvarez-Borrego y R. Lara-Lara. 2000. Profundidad de la zona eufótica, atenuación de la irradiancia y K490 de sensores remotos en las provincias bioópticas del Golfo de California. Ciencias Marinas, 26, 533-560.
- Chalup, M. S. y E. A. Laws. 1990. A test of the assumptions and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankters *Pavlova Lutheri*. Limnol. Oceanogr., 35, 583-596.
- Chelton, D. B. 1984. Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off central California. J. Geophys. Res., 89, 3473-3486.
- Chisholm, S. W., R. J. Olson, E. R. Zettler, J. Waterbury, R. Goericke y N. Welschmeyer. 1988. A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone, Nature, 324, 340-343.
- Cleveland, J. 1995. Regional models for phytoplankton absorption as a function of chlorophyll *a* concentration, J. Geophys. Res., 100, 13,333-13,344.
- Cleveland, J. S., M. J. Perry, D. A. Kiefer y M. C. Talbot. 1989. Maximal quantum yield of photosynthesis in the northwestern Sargasso Sea. J. Mar. Res., 47, 869-886.
- Cullen, J. J. y M. R. Lewis. 1988. The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. J. Plankton Res., 10, 1039-1063.

- Cullen, J. J., X. Yang y H. L. MacIntyre. 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles. Plenum Press, New York, pp. 69-88.
- Dubinsky, Z., T. Berman y F. Schanz. 1984. Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield, J. Plankton Res., 6, 339-349.
- Dubinsky, Z., P. G. Falkowski y K. Wyman. 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton, Plant Cell Physiol., 27, 1335-1349.
- Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999, Progr. Oceanogr., 54, 7-31.
- Eppley, R. W. y B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planctonic new production in the deep ocean. Nature, 282, 677-680.
- Eppley, R. W. E. H. Renger y W. G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. Limnol. Oceanogr., 24, 483-494.
- Eppley, R. W., E. Stewart, M. R. Abbott y U. Heyman. 1985. Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll, introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. J. Plank. Res., 7, 57-80.
- Falkowski, P. G., Z. Dubinsky y K. Wyman. 1985. Growth irradiance relationships in phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 30, 311-321.
- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Falkowski, P. G., M. J. Behrenfeld, W. E. Esaias, W. Balch, J. Campbell, R. L. Iverson, D. A. Kiefer, A. Morel y J. A. Yoder. 1998. Satellite primary productivity data and algorithm development: A science plan for mission to planet Earth. En: S. B. Hooker y E. R. Firestone (eds.). SeaWiFS Technical Report Series, 42, 1-36.

- Foy, R. H. y C. E. Gibson. 1982. Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, 17, 169-182.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1991. Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 32, 91-96.
- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*.
- Geider, R. J. 1993. Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. *ICES Marine Science Symposia*, 197, 52-62.
- Giles-Guzmán, A. y S. Alvarez-Borrego. 2000. Vertical attenuation coefficient of photosynthetically active radiation as a function of chlorophyll concentration and depth in case 1 waters. *Applied optics*, 39, 1351-1358.
- Gieskes, W. W. C., G. W. Kraay, A. Nontji, D. Setiapermana y Sutomo. 1988. Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal pigment fingerprints, *Nether. J. Sea Res.*, 22, 123-137.
- Goericke, R. y D. J. Repeta. 1993. Chlorophylls *a* and *b* and divinyl chlorophylls *a* and *b* in the open subtropical North Atlantic Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101, 307-313.
- Gómez, J., Vélez-Muñoz, H. S., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas* 8, 167-176.
- Gonzalez-Morales, A. T., G., Gaxiola-Castro y J. R. Lara-Lara. 1993. Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 36, 147-158.

- Haury, L. R., E., Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. P. Niiler. 1993. The Ensenada front: July 1985. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 34, 69-88.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. M. Mullin, T. Murphree, F. B. Schwing, P. E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The State of the California Current in 1998-1999: Transition to cool water conditions. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 40, 29-62.
- Hayward, T. L. y E. Venrick. 1982. Relation between surface chlorophyll, integrated chlorophyll and integrated primary production. Mar. Biol., 69, 247-252.
- Hernández-de-la-Torre, B., G. Gaxiola-Castro, S. Álvarez-Borrego, J. Gómez-Valdéz y S. Nájera-Martínez. (sometido). New Production interannual variability in the southern region of the California Current.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. Prog. Oceanogr., 8, 191-279.
- Hoepffner, N. y S. Sathyendranath. 1992. Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic, Limnol. Oceanogr., 37(8), 1660-1679.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes y J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll, J. Cons. Int. Explor. Mer., 30, 3-15.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Epheaus. 1990. Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, New York, 416 pp.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions: Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group., No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jassby, A. D. y T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. Int. J. Remote Sensing, 20, 3423-3429.

- Kahru, M. y B. G. Mitchell. 2001. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 106, 2517-2529.
- Kana, T. M. y P. M. Gilbert. 1987. Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. *Deep-Sea Res.*, 34, 479-495.
- Kiefer, D. A. y B. G. Mitchell. 1983. A simple steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross-section and quantum efficiency, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 770-776.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters, 1, General treatment of suspensions of pigmented cells, *New Phytol.*, 75, 11-20.
- Kirk, J. T. O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Second edition. 509 pp.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami y S. Ichimura. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bull. Mar. Sci.*, 37, 634-642.
- Koblentz-Mishke, O. J. 1965. Magnitude of primary production of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 5, 325-337.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1992. Ocean primary production calculated by spectral and broad-band models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 85, 171-185.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt y S. Sathyendranath. 1997. Estimation of the photosynthetic action spectrum: implication for primary production models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 207-223.
- Kywalyanga, M. N., T. Platt, S. Sathyendranath, V. A. Lutz y V. Stuart. 1998. Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. *J. Plankton Res.*, 20, 17-42.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography an introduction. Butterworth Heinemann. Second edition. Great Britain, 314 pp.
- Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez y G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progr. Oceanogr.*, 54, 33-58.

- Lazzara, L., A. Bricaud y H. Claustre. 1996. Spectral absorption and fluorescence excitation properties of phytoplanktonic populations at a mesotrophic and an oligotrophic site in the tropical North Atlantic (EUMELI program), *Deep Sea Res.*, 43, 1215-1240.
- Lewis, M. R. 1992. Satellite ocean color observations of global biogeochemical cycles. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, 139-153.
- Liebes, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734 pp.
- 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. J. 1986. The Subarctic and northern subtropical fronts in the eastern North Pacific Ocean in spring. *J. Geophys. Oceanogr.*, 16, 209-222.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92, 12947-12966.
- Mann, K. H., y J. R. N. Lazier. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Science, Cambridge, 394 pp.
- McGowan, J. A., D. B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 37, 45-68.
- Millán-Núñez, R., S., Alvarez-Borrego y C. C., Trees. 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 102, 8587-8595.
- Mitchell, B. G. 1987. Ecological implications of variability in marine particulate absorption and fluorescence excitation spectra. PhD dissertation, The University of Southern California, Los Angeles.
- Mitchell, B. G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), *Ocean Optics* X, 137-148.

- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988a. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 35, 639-663.
- Mitchell, B. G. y D. A. Kiefer. 1988b. Variability in pigment specific particulate fluorescence and absorption spectra in the northeastern Pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 35, 665-689.
- Mitchell, B. G. y M. Kahru. 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 39, 133-147.
- Mitchell, B. G., A. Bricaud, K. Carder, J. Cleveland, G. Ferrari, R. Gould, M. Kahru, M. Kishino, H. Maske, T. Moisan, L. Moore, N. Nelson, D. Phinney, R. Reynolds, H. Sosik, D. Stramski, S. Tassan, C. Trees, A. Weidemann, J. Wieland y A. Vodacek. 2000. Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En: G. S. Fargion y J. L. Mueller (eds.). *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Mobley, C. D. 1994. *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press. San Diego, 592 pp.
- Moisan T. A., L. Galver y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on the bio-optical properties of *Thalassiosira pseudonana*. *EOS*, 75, 88.
- Moore, L. R., R. Goericke y S. W. Chisholm. 1995. Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 259-275.

- Morel, A., y A. Bricaud. 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and applications to specific absorption of phytoplankton, *Deep Sea Res.*, 28, 1375-1393.
- Morel, A., L. Lazzara y J. Gostan. 1987. Growth rate and quantum yield time response for diatom to changing irradiances (energy and color). *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1066-1084.
- Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relationship to its biogenous matter content (case I waters), *J. Geophys. Res.*, 93, 10749-10768.
- 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(8), 1545-1562.
- Morel, A. 1991. Light and marine photosynthesis: a model with geochemical and climatological implications, *Progr. Oceanogr.*, 26, 263-306.
- Morel, A. y J. M. André. 1991. Pigment distribution and primary production in the Western Mediterranean as derived and modelled from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12698.
- Morel, A., D. Antoine, M. Babin y Y. Dandonneau. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill. *Deep-Sea Res.*, 43, 1273-1304.
- Morel, A. y S. Maritorena. 2001. Bio-optical properties of the oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- Moser, H. G. y P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 645-691.

- Mueller, J. L. y R. E. Lange. 1989. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific Ocean: A provisional análisis. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1572-1586.
- Partensky, F., J. Blanchot, F. Lantoiné, J. Nevuax y D. Marie. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 43, 1191-1213.
- Peláez, J. y J. A. McGowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California current as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 927-950.
- Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38, 687-701.
- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales, *Science*, 241, 1613-1620.
- Platt, T., C. M., Caverhill y S., Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 96, 15147-15159.
- Pope, R. M. y E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II, Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, 36, 8710-8723.
- Prézelin, B.B., R. R., Bidigare, H. A., Matlick, M., Putt y B., Verhoven. 1987. Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Mar. Biology*, 96, 563-574.
- Reid, J. L., Jr. 1962. Measurements of the California countercurrent at a depth of 250 km, *J. Mar. Res.*, 20, 134-137.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden y J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California current system. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 6, 27-56.
- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurement of the Davison current off central California. *J. Geophys. Res.*, 67, 2491-2497.

- Reid, J. L., Jr. y R. A. Schwartzlose y D. M. Brown 1963. Direct measurements of small surface eddy off northern Baja California. J. Mar. Res., 21, 205-218.
- Ryther, J. H. y C. S. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.
- Sakshaug, E., D. A. Kiefer y K. Andresen. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*, Limnol. Oceanogr., 34, 198-200.
- Sarmiento, J. L., G. Thiele, R. M. Key y W. S. Moore. 1990. Oxygen and nitrate new production and remineralization in the North Atlantic subtropical gyre. J. Geophys. Res., 95, 18303-18315.
- Sarmiento, J. L. y U. Siegenthaler. 1992. New production and the global carbon cycle. En: P. G. Falkowski y A. D. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press, New York, 317-332.
- Sathyendranath, S., L. Lazzara y L. Prieur. 1987. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton, Limnol. Oceanogr., 32, 403-415.
- Sathyendranath, S., and Platt, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. applied optics, 28, 490-495.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock y M. R. Lewis. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep-Sea Res., 36, 431-453.
- Sathyendranath, S., A. Longhurst, C. M. Caverhill y T. Platt. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, Deep-Sea Res., 42, 1773-1802.

- Sathyendranath, S., T., Platt, V., Stuart, B. D., Irwin, M. J. W., Veldhuis, G. W., Kraay y W. G., Harrison. 1996. Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 299-311.
- Senger, H. y PH., Fleischhacker. 1978. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. Physiology Plant., 43, 35-42.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R. C., Smith., P. M., Stegmann, N. B., Nelson, K. S., Baker. 1991. Variability in spectral and nonspectral measurements of photosynthetic light utilization efficiencies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 253-271.
- Schofield, O., B. B., Prézelin, R.R., Bidigare y R. C., Smith. 1993. *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. Mar. Ecol. Prog. Ser. 93, 25-37.
- Smith, R. C. y K. S. Baker. 1978. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23, 247-259.
- Smith, P. E. y R. W., Eppley. 1982. Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. Limnol. and Oceanogr., 27, 1-17.
- Smith, R. C., R. W., Eppley y K. S. Baker. 1982. Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. Mar. Biol., 66, 281-288.
- Smith, R. C., R. R. Bidigare, B. B. Prézelin, K. S. Baker y J. M. Brooks. 1987. Optical characterization of primary productivity across a coastal front. Mar. Biol., 96, 575-591

- Sosa-Avalos, R., G. Gaxiola-Castro y B. G. Mitchell. (En preparación). Particles and phytoplankton light absorption coefficients off Baja California.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1991. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*, Limnol. Oceanogr., 36(5), 910-921.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1994. The effects of temperature on growth, light absorption and quantum yield in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae). J. Phycology, 30, 833-840.
- Sosik, H. y B. G. Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System, Deep-Sea Res. I, 42(10), 1717-1748.
- Sosik, H. M. 1996. Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption, Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 225-238.
- Steeman Nielsen, E. y E. A. Jensen. 1957. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep., 1, 49-124.
- Sverdrup, H. U. y R. H. Fleming. 1941. The waters off southern California March to July 1937. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., La Jolla, 4, 261-378.
- Sverdrup, H. U., M. H. Jonson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs. N. J. 1987 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen. Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnol., 9, 1-38.
- Valdez-Holguin, J. E., S. Alvarez-Borrego y B. G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 39, 148-158.
- Vélez-Muñoz, H. S., 1981. Análisis cuantitativo de la variabilidad estacional y especial de las masas de agua de 0 a 500 m en la región de la Corriente de California. Tesis

Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., México 165 pp.

Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys, Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 25, 74-79.

Venrick, E. L. 2000. Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. J. Plankton Res., 22, 813-841.

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

ANEXO

Anexo A1. Abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos presentes en las estaciones muestreadas durante los cruceros de invierno, primavera y verano.

Anexo A2. Calibración de la lámpara de tungsteno-halógeno utilizada en los experimentos fotosíntesis-irradiancia.

Figura A2-1. Valores promedio de la irradiancia de la lámpara de tungsteno-halógeno utilizada en los experimentos de las curvas P-E: a) Espectros de la lámpara de las botellas 1 a 27; b) Forma de los espectros medidos en las botellas 12-27. La línea continua representa el promedio de los valores de irradiancia; c) Valores de la forma del espectro de la lámpara medidos en las botellas 12-27, expresado en unidades relativas y d) Promedio de la forma del espectro de las botellas 12-27 ajustado (línea continua) a una función sigmoidea desde 400-700 nm.

Anexo A3. Phytoplankton photosynthetic parameters off Baja: a tool to estimate primary production by remote sensed data.

Anexo A4. Simbología y unidades más comunes utilizados en el presente trabajo.

ANEXO A1. Abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos presentes en las estaciones muestreadas durante los cruceros de invierno, primavera y verano.

a) INVIERNO

ESTACIÓN	DIATOMEAS (cel/l)	DINOFLAGELADOS (cel/l)	FLAGELADOS (cel/l)	TOTAL (cel/l)
100.45	100	2080	340138	342318
103.40	60	940	75305	76305
103.60	120	1600	90973	92693
107.35	80	7113	217324	224517
107.60	120	10235	198119	208475
110.45	60	1060	351257	352377
113.35	620	13618	341654	355893
113.55	40	1180	203173	204393
117.40	140	1780	414938	416858
117.60	120	2760	98049	100929
120.40	160	1600	127465	129225
120.45	720	2440	686341	689501
123.60	20	960	184978	185959
TOTAL	2360	47366	3329714	3379440

b) PRIMAVERA

ESTACIÓN	DIATOMEAS (cel/l)	DINOFLAGELADOS (cel/l)	FLAGELADOS (cel/l)	TOTAL (cel/l)
103.35	317	7236	50540	58094
107.40	29322	21633	242594	293551
107.60	402	12497	68735	81634
113.30	8859	4341	130522	143723
113.50	680	11545	94005	106231
117.35	27857	21647	129889	179394
117.80	40	3526	150105	153672
120.40	141603	22188	245121	408913
120.55	4557	16133	214797	235488
127.34	105616	5868	169311	280796
130.50	423	9351	139106	148882
TOTAL	319676	135965	1634725	2090378

c) VERANO

ESTACIÓN	DIATOMEAS (cel/l)	DINOFLAGELADOS (cel/l)	FLAGELADOS (cel/l)	TOTAL (cel/l)
103.45	160	8304	142524	150989
107.40	60	6855	120287	127201
110.60	40	13725	139997	153762
113.30	1739	21272	533709	556720
113.60	140	9943	250176	260259
117.35	140	8917	83392	92450
117.60	1059	21565	205195	227818
120.55	200	14698	170322	185220
120.80	120	14598	132416	147975
123.45	960	22188	245121	408913
127.55	320	9733	146568	156621
130.45	1060	7919	144546	153525
133.35	2580	11562	221368	235510
TOTAL	6719	127819	1756791	1891329

ANEXO A2. Calibración de la lámpara de tungsteno-halógeno

La irradiancia espectral emitida por la lámpara de tungsteno-halógeno utilizada en los experimentos para generar curvas fotosíntesis-irradiancia (P-E) fue medida con el radiómetro MER 2048 (Biospherical Instruments), para conocer la forma del espectro de ésta lámpara y poder usar los resultados en la normalización de los datos del coeficiente de absorción del fitoplancton, corregir el coeficiente de máxima utilización de la luz (α_{inc}^*) del incubador y posteriormente calcular la cosecha cuántica máxima (ϕ_m).

Se utilizaron botellas planas de plástico (para cultivo de microalgas) de 250 ml de capacidad, las cuales fueron llenadas con agua y se colocaron en un incubador tipo “Morel” con capacidad de 27 botellas. Se midió la intensidad de la luz con el MER 2048 en once diferentes posiciones de las botellas en el incubador (1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 y 27). Las mediciones con el MER 2048 se hicieron en doce longitudes de onda; 340, 380, 395, 412, 443, 455, 490, 510, 532, 555, 570 y 665 nm y en cada longitud de onda se realizaron series de tiempo de mediciones de luz (aproximadamente cinco minutos).

Para conocer la forma del espectro de la lámpara, se calculó el valor promedio para cada longitud de onda por posición de la botella. Posteriormente se graficaron los promedios de las doce longitudes de onda de cada botella (Figura A2-1a), tomando los valores de las once botellas para ver la variación de la forma del espectro desde la botella uno hasta la botella 27, que es la última que se coloca dentro del incubador. Sin embargo, se observó que la forma del espectro no cambia de una posición a otra, lo que cambia es la intensidad de la luz sobre las diferentes posiciones de las botellas. Por tal motivo, se utilizaron los valores de las longitudes de onda de las botellas 12, 15, 18, 21, 24 y 27 (Figura A2-1b). Dado que la menor intensidad de la lámpara es en la región azul del espectro de la lámpara (desde los 340 nm hasta los 455 nm) y la mayor intensidad de la luz en la región del rojo (665 nm), se optó por utilizar sólo las longitudes de onda que estuvieran dentro del intervalo del espectro de luz visible (395 a 665 nm). Sin embargo, considerando que el espectro visible es desde los 400 a 700 nm, se extrapolaron los espectros de cada botella desde 665 nm hasta 700 nm. Después los valores de las longitudes de onda entre 400 a 700 nm de las botellas fueron normalizados por su máxima intensidad cuyo valor relativo más alto es uno (Figura A2-1c). Posteriormente se obtuvo un valor promedio de las seis botellas en cada longitud de onda, los cuales fueron ajustados a una función sigmoidea de cuatro parámetros e interpolados por nanómetro desde 400 a 700 nm por esta función (Figura A2-1d):

$$y = y_0 + \frac{a}{[1 + \exp^{-(X-X_0)/b}]} \quad (23)$$

donde y es el valor relativo del espectro de luz de la lámpara para cada X (desde 400-700 nm), y_0 es el intercepto de la regresión que equivale a -0.109, $a = 1.2069$ y $b = 70.9097$ son coeficientes del ajuste y $X_0 = 534.0382$ es el promedio de la longitud de onda en el espectro visible de la lámpara.

La forma del espectro de la lámpara es explicada por la siguiente ecuación y la suma total del espectro fue de 166.3877,

$$E_L = \int_{400}^{700} E_{d(L)} d\lambda \quad (24)$$

La razón por la que se usaron los valores de las posiciones de las botellas 12, 15, 18, 21, 24 y 27 se debe a que en este intervalo el proceso fisiológico de las células del fitoplancton es más crítico a bajas intensidades que en altas irradiancias.

Una vez obtenido el valor (sumatoria) de la luz de la lámpara y de haber generado todo el espectro de la misma (desde 400-700 nm), se normalizaron los coeficientes de absorción de la profundidad correspondiente al 50% de $E_{0(PAR)}$.

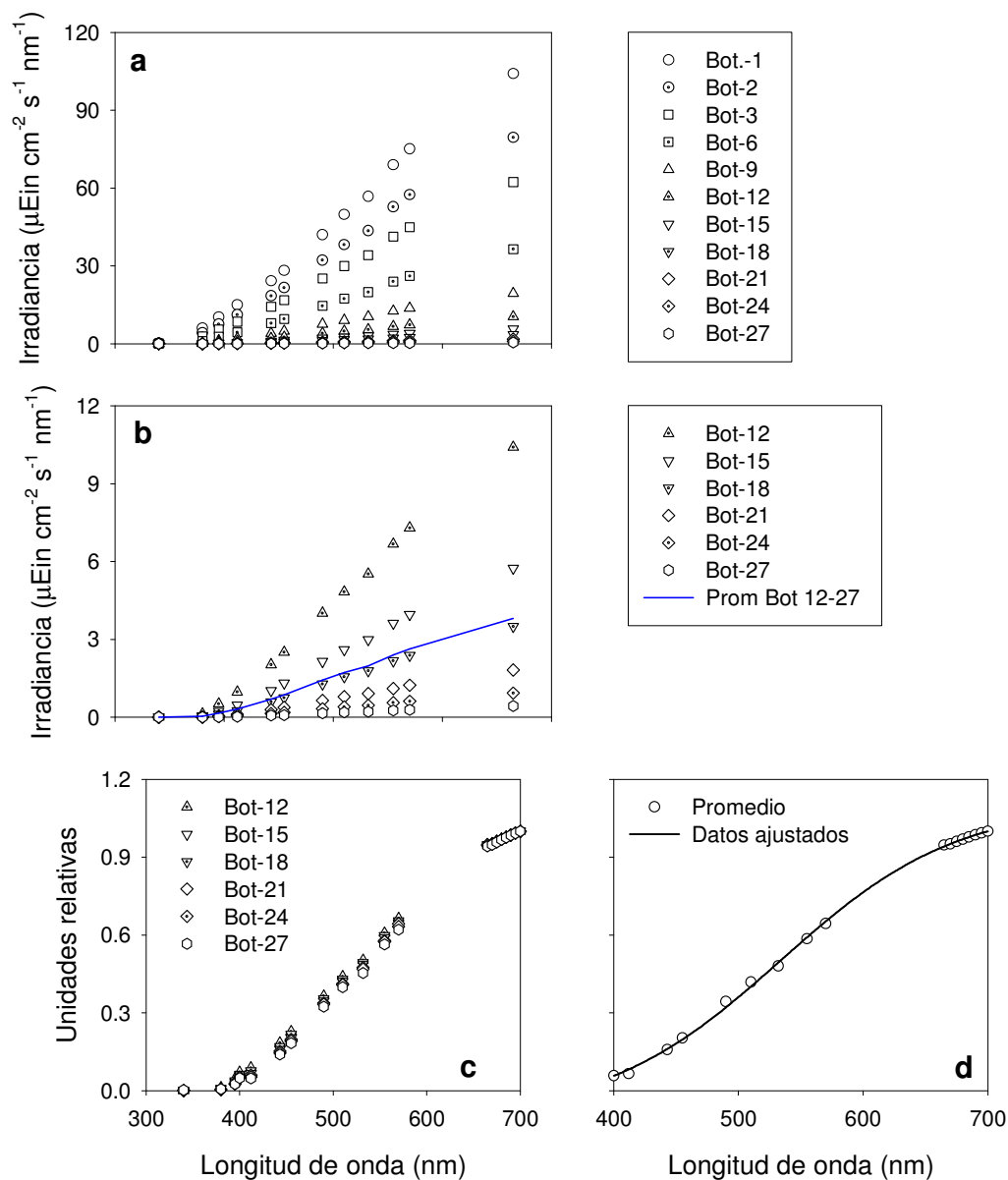


Figura A2-1. Valores promedio de la irradiancia de la lámpara de tungsteno-halógeno utilizada en los experimentos de las curvas P-E: a) Espectros de la lámpara de las botellas 1 a 27; b) Forma de los espectros medidos en las botellas 12-27. la línea continua representa el promedio de los valores de irradiancia; c) Valores de la forma del espectro de la lámpara medidos en las botellas 12-27, expresado en unidades relativas y d) Promedio de la forma del espectro de las botellas 12-27 ajustado (línea continua) a una función sigmoidea desde 400-700 nm.

ANEXO A3. Phytoplankton photosynthetic parameters off Baja California: a tool to estimate primary production by remote sensed data

RAMON SOSA-AVALOS^{1,2}, and GILBERTO GAXIOLA-CASTRO¹

¹ Departamento de Ecología. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Km 107 Carr. Tijuana-Ensenada
.22800 Ensenada, Baja California, MEXICO. Phone. (52-646) 174-5050, fax (52-646) 175-0545.
E-mail: rsosa@cicese.mx ; ggaxiola@cicese.mx

² Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Km 20 Carr. Manzanillo-Cihuatlán. 28200 Manzanillo, Colima, MÉXICO.

Submitted to: International Journal of Remote Sensing
Date: May 2002

ABSTRACT

Phytoplankton photosynthetic parameters (α^* and P_m^*) were estimated off Baja California in the southern region of the California Current, from samples collected at 50% E_0 level during spring and summer, 1999. Higher α^* are found during spring survey, mainly at inshore areas, and related with abundance of diatoms and dinoflagellates. However, high P_m^* values were measured during summer at both inshore and offshore areas. These parameters, together with $\bar{\alpha}_{\phi(z)}^*$ and $\phi_{\max}^*$ were used to estimate water column average profiles of $\alpha_{(z)}^*$ and $P_{m(z)}^*$ in two spatially separated regions. From all these data, primary production was estimated in the water column of both oceanographic regions using semianalytical models. Modelling primary production was related with ^{14}C *in situ* primary production experiments to validate our calculated photosynthetic parameters in the euphotic zone. In general, estimated primary production from both surveys was ~14% higher than *in situ* values. The main differences between both set of data are found during spring season, with ~25% modelling overestimated values, and without any difference for the summer season. We concluded that those average profiles of photosynthetic parameters could be a useful tool to calculate primary production in our study area, together with colour remote sensed phytoplankton pigments and surface irradiance data.

1. INTRODUCTION

Primary production determinations from remote sensed data require of the regional and temporal assessment of phytoplankton photosynthetic parameters like α^* (maximum light utilization coefficient), and P_m^* (maximum photosynthetic rate) (Platt and Sathyendranath 1988, Platt *et al.* 1991, Sathyendranath *et al.* 1996). Spectral dependency of the photosynthetically active radiance (PAR, 400-700 nm) in the water column, and the spatial and vertical variability of the phytoplankton specific light absorption coefficient (a_ϕ^*) are also necessary to be considered (Behrenfeld and Falkowski 1997). Spatial and temporal variability of the phytoplankton photophysiology is an important source of uncertainties in the models used to estimate primary production (Sosik 1966). However, not all the models required parameters are pixel by pixel available for remote sense calculations (Platt and Sathyendranath 1988). The spatial and temporal extrapolation of local determinations of the bio-optical and photosynthetic parameters to large regions and periods is one of the main problems in the primary production estimations from remote sensed data. Actually, this goal constitutes one of the most important tasks in biological oceanography (Sathyendranath *et al.* 1995, Longhurst *et al.* 1995).

The use of empirical and semianalytical models to transform colour remote imagery to primary production maps requires of the knowledge of the spatial and temporal variability of the phytoplankton bio-optical and physiological properties (Platt *et al.* 1991, Sathyendranath *et al.* 1995). Important contributions had been done in this direction to have information of the phytoplankton physiological parameters, and on the environmental variables, which can be used as predictors of these parameters variability (Bouman *et al.* 2000).

The incoming of a new satellites with ocean colour remote sensors has been enhanced the use of synoptically imagery of phytoplankton biomass for a global estimation of the ocean carbon fixation via phytoplankton photosynthesis (Platt and Sathyendranath 1988, Behrenfeld and Falkowski 1997). From this goal the remote sensors are a useful tool for large-scale monitoring of the ocean, with the advantages of a synoptically coverage, and the possibility to have almost real-

time data (Sathyendranath and Platt 1989). Because it is impossible to have a pixel by pixel information of all the ocean variables only from the ship, local photosynthetic parameter determinations have to be extrapolated to large scales in order to estimate primary production in the ocean. One way to do that is dividing the ocean in regions or areas with similar oceanographic characteristics (Longhurst *et al.* 1995, Sathyendranath *et al.* 1995), where the photosynthetic parameters derived from the photosynthesis-irradiance (P-E) curves remain almost constants for a oceanic region, and for a season or year period.

The Pacific Ocean waters off Baja California, Mexico had been poorly studied related to phytoplankton photobiology and oceanographic variables. In the central area of the California Current, Mitchell and Kahru (1998) and Kahru and Mitchell (1999) made empirical algorithms to calculate surface chlorophyll concentrations from reflectance relationships (R_n), and water leaving radiance data derived from ocean colour sensors (SeaWiFS). These regional algorithms can be used also in our study area to calculate the pigment concentrations from colour sensor data, because the oceanographic influence of the California Current in the region.

If we know the pigment concentrations and surface irradiance (E_{PAR}) from remote sensed information, then the next step is offer average photosynthetic parameter data from photosynthesis-irradiance relationships (like α^* and P_m^*), to estimate primary production over a regional zone using semianalytical models. In the southern region of the California Current we expect that α^* averaged values will be higher during Spring season, as a result of abundance of larger phytoplankton cells, like diatoms and dinoflagellates. While in Summer, average P_m^* values will be higher, as a result of phytoplankton growing to high irradiances, and dominance of photoacclimated small phytoplankton cells. We expect that primary production estimated from semianalytical models will be comparable to our *in situ* primary production determinations, assuming that the average photosynthetic parameters represent adequately the response of the phytoplankton assemblages to environmental changes in the area. These averaged photosynthetic parameters then can be extrapolated to a regional base, and using together with remote

sensed information for suitable estimations of primary production in our region.

2. DATA AND METHODS

During spring and summer 1999 two oceanographic surveys in the southern region of the California Current, off Baja California were carried out (figure 1). We used the CICESE *R/V Francisco de Ulloa* for the spring cruise (March-April), and the UNAM *R/V El Puma* for the summer survey (August). From both cruises, daily *in situ* ^{14}C primary production, phytoplankton chlorophyll-*a* (Chl-*a*), and total particles light absorption coefficient (a_p) were determinate from water samples collected at six irradiance levels (100, 50, 30, 20, 10, and 1% E_{PAR}). Vertical profiles of spectral irradiance ($E_{d(\lambda)} = \mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$), and $E_{z(PAR)}$ (PAR; Photosynthetically Active Radiation 400-700 nm; $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) were measured at local noon in each station, using a PRR-600 radiometer lowered from the stern side of the ship. Photosynthesis-irradiance experiments (P-E curves) were performed from water samples collected at 50% E_{PAR} level.

Twenty-three *in situ* primary production determinations were carried out during both surveys. Seawater samples were collected using 5-l Niskin bottles with clear silicon rubbers. Samples were inoculated with $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$, and incubated in 250-ml polycarbonate bottles during two hours, at the same depths from they were collected. After incubation, samples were filtered through 0.45 μm pore size membrane filters, and settle in 20-ml of scintillation cocktail. Radioactivity was determinate with a Beckman Liquid Scintillation Counter at Scripps Institution of Oceanographic. Samples for Chl-*a* analyses were filtered with a pressure system using GF/F filters, which were immediately frozen in liquid nitrogen. Pigments were extracted during 24-h with a 90% acetone solution in a cold and dark place, following Venrick and Hayward (1984) recommendations. Chlorophyll-*a* concentration (mg m^{-3}) was determinate with the fluorometric technique (Yentsch and Menzel 1963, Holm Hansen *et al.* 1965), using a Turner Designs Fluorometer calibrated with pure Chl-*a* (Sigma). Light absorption of the total particles retained on the GF/F filters was

measured in a Varian Cary 1E Uv-Visible spectrophotometer, following the Kishino *et al.* (1985), Mitchell (1990), and Mitchell *et al.* (2000) methods. From these procedures we determinate total particles absorption coefficient (a_p), and detritus absorption coefficient (a_d). Phytoplankton light absorption coefficient (a_ϕ) was calculated by differences between a_p and a_d .

Twenty-six P-E experiments were carried out in the studied area during both oceanographic surveys. We use a 500-W tungsten-halogen lamp to simulate the irradiance gradient inside our incubator box. The emission spectrum of this lamp was strongly wavelength dependent, with a minimum emission in the blue part of the spectrum, and a maximum at the red. The data were spectrally corrected for the low irradiances incubated samples (initial part of the P-E curves), because these results are more wavelengths dependent. The two photosynthetic parameters of the P-E curves (α^* = maximum light utilization coefficient; P_m^* = maximum photosynthetic rate) were calculated using the hyperbolic function of Jassby and Platt (1976).

$$P^* = (P_m^*) \tanh[(E_{PAR} \alpha^*) / P_m^*] \quad (1)$$

Where P^* is the chlorophyll-*a* normalised photosynthetic rate ($\text{mg C (mg Chl-} a)^{-1} \text{ h}^{-1}$), and E_{PAR} ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) is the tungsten-halogen lamp PAR irradiance measured inside the incubator.

Mean values of the specific light absorption coefficient ($a_{\phi L}^*$) of samples from the 50% E_{PAR} corrected by the lamp spectra were calculated as:

$$a_{\phi(L)}^* = \frac{\left[\frac{\int_{400}^{700} a_\phi(\lambda) E_L(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{700} E_L(\lambda) d\lambda} \right]}{[Chl - a]} \quad (2)$$

Where $a_\phi(\lambda)$ is the phytoplankton absorption coefficient for each wavelength, and $E_L(\lambda)$ is the spectral irradiance of the tungsten-halogen lamp determinate with a MER 2048 radiometer. We use these $a_{\phi L}^{--*}$ values and the maximum light utilization coefficient (α^*) data obtained from the incubator, to calculate the photosynthetic maximum quantum yield ($\phi_{\max}$ = mol carbon/mol photons),

$$\phi_{\max} = 0.023 \frac{\alpha^*}{a_{\phi L}^{--*}} \quad (3)$$

Spectral phytoplankton absorption coefficients from each depth were corrected by the *in situ* $E_{d(\lambda)}$ measured with the PRR-600, and then normalised by Chl- a to obtain the mean coefficient values ($a_{\phi(z)}^{--*}$) using the equation 2, as we did before. After that, $\alpha_{(z)}^*$ was estimated for each depth within the euphotic zone,

$$\alpha_{(z)}^* = (43.2)\phi_{\max} \frac{a_{\phi(z)}^{--*}}{a_{\phi L}^{--*}} \quad (4)$$

We used a constant P_m^* value from the surface to the 10% E_{PAR} level, and a 25% reduction of this value from this irradiance level to the depth of 1% E_{PAR} was used to have P_m^* data for the whole euphotic zone. This criteria was following according with the pattern showed by the P_m^* values generated for the region by Prezelin *et al.* (1987), Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego (1991), and Valdez-Holguin *et al.* (1998).

Using the physical and biological characteristics of our study region, we divided the area in northern region (from 31° 41.2' N to 28° 57.2' N, and 116° 46.6' W to 117° 38.7' W), and central region (from 29° 22.9' N to 24° 55.1' N, and 112° 49.1' W to 118° 10.9' W). Each region was subdivided in two zones, considering the inshore stations (from 36 to 145 km offshore), and the oceanic stations (from 180 to 290 km offshore). We calculated average values of $\alpha_{(z)}^*$ and $P_{m(z)}^*$

for each regions and zones in order to estimate the regional average primary production values from the semianalytical Platt *et al.*'s (1988) model,

$$P(z) = \frac{Chl(z)(\alpha_{(z)}^* E_{z(PAR)})}{\left\{1 + [(\alpha_{(z)}^* E_{z(PAR)}) / P_{m(z)}^*]^2\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

Where $Chl(z)$ is the pigment concentration derived from the Chl- a profiles, $\alpha_{(z)}^*$ and $P_{m(z)}^*$ are the phytoplankton photosynthetic parameters estimated for the water column, and $E_{z(PAR)}$ is the *in situ* irradiance measured within the euphotic zone during the spring and summer surveys.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Near surface (10-m) phytoplankton chlorophyll- a values were higher for the inshore stations during both surveys, with a very similar pattern of low concentration for the offshore areas (figures 2a, and 2b). Inshore phytoplankton Chl- a concentration were higher during spring, with two or three different areas of high pigment concentration, which can be divided as plankton-abundance regions (Lavaniegos *et al.* (2002). A similar pattern of pigment distribution is indicated using the monthly composite SeaWiFS images for April (spring), and August (summer) (figures 2a, and 2b). Average values of the coefficient of maximum light utilization (α^*) were between 3-fold to 9-fold higher during spring (table 1). Also, spatial differences for this parameter appears to be related with the abundance of diatoms (*Chaetoceros spp.*, *Nitzschia spp.*), and dinoflagellates (*Scrippsiella trochoidea*, *Protoperidinium spp.*). Differences in the magnitude of this photosynthetic parameter in relation with the size of the phytoplankton cells had been reported before for our study area (Gonzalez-Morales *et al.*, 1993). In contrast with α^* spatial distribution, mean P_m^* had less variability with slightly higher values only during summer, except for the offshore zone of the northern region (table 1). We calculated a two-fold P_m^* change between inshore and offshore zones. Summer P_m^* values for the central region had similar and higher values (>6.0 mgC mgChl- a^{-1} h $^{-1}$). In general, ours α^*

y P_m^* average values were very similar to those reported by Gonzalez-Morales *et al.* (1993), Schofield *et al.* (1993), and Valdez-Holguin *et al.* (1998) for coastal areas of the southern region of the California Current. Schofield *et al.* (1993) observed also a seasonal variability of these photosynthetic parameters, similar to our reported data.

Photosynthetic parameter variability (α^*) in our study area appears to be the result of changes in the spatial and temporal phytoplankton assemblages, which were mainly dominated by diatoms and dinoflagellates during spring. Moreover, changes of these parameters had been related with phytoplankton photoacclimation and variations in the phytoplankton light absorption coefficient, but was very similar for the inshore and offshore waters (table 1). Geider (1993) reported a small α^* dependence on growth irradiance, with a greater interspecific variability within diatoms. However, in cyanobacteria α^* decrease with increasing irradiance, as a result of the decrease of the phycobiliprotein:chlorophyll ratios during adaptation to high irradiances (Foy and Gibson, 1982; Kana and Gilbert, 1987). Spring P_m^* variability appears to be related with low sea surface temperature (from 13.0°C to 17.0°C), which could have an effect diminishing the phytoplankton metabolism. During summer, with the increasing of sea surface temperature and phytoplankton irradiance, both processes could be the responsible of P_m^* increasing due to the cells physiological acclimation. Geider (1993) observed P_m^* changes between different phytoplankton size-cells, where the larger diatoms had lower P_m^* at the same irradiance growth. We speculate that our higher P_m^* values during summer were the result of both processes; phytoplankton with higher irradiance growth, and a major abundance of small photoautotrophic cells like cyanobacteria and prochlorophytes in the water column.

Phytoplankton photosynthesis maximum quantum yield ($\phi_{\max}$) average values were between 0.055 mol C/mol photons for spring and 0.014 mol C/mol photons during summer (table 1). This photosynthetic parameter had a similar distribution that α^* , with the higher values during spring at

inshore zones of the both central and northern regions. Our mean $\phi_{\max}$ values were similar to those reported by Schofield *et al.* (1993) for the Southern California Bight, and by Babin *et al.* (1996) for eutrophic and mesotrophic areas of the north-eastern tropical Atlantic Ocean. Maximum quantum yield variability has been related with changes in phytoplankton nutrient availability (Babin *et al.* 1996, Sathyendranath *et al.* 1996, Sosik 1996), sea surface temperature (Chamberlin and Marra 1992), water-column depth and irradiance (Dubinsky *et al.* 1984), and with changes on the absorption ratio between blue and red light (Sathyendranath *et al.* 1996).

We observed that the higher phytoplankton light absorption coefficient measured during spring had a major effect on the phytoplankton quantum yield for this season, and was associated with abundance of larger phytoplankton cells, like diatoms and dinoflagellates. The absorption coefficients were lower during summer due to major abundance of cyanophytes and prochlorophytes in the phytoplankton assemblages. Then, it is possible that low $\phi_{\max}$ were related with abundance of small phytoplankton cells. Senger and Fleischhaker (1978) reported constant $\phi_{\max}$ values in the water column without any relationship with irradiance. In contrast with Dubinsky *et al.* (1986) who observed a slightly decrease of this parameter at high irradiances growth (>500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Geider (1993) concluded that $\phi_{\max}$ is mainly irradiance independent in cells growing with high nutrient concentration. In our study, we are considering that this parameter does not change very much throughout the euphotic zone.

Using the equation (4), and the parameters and considerations explained before, we calculated the change of the maximum light utilization coefficient for the entire euphotic zone ($\alpha_{(z)}^*$). We use these values to estimate an averaged seasonal profile of $\alpha_{(z)}^*$ for each zone and region (figure 3). These average profiles had different patterns, with the most irregular vertical distribution and higher values for the spring data. Moreover, average $P_{m(z)}^*$ profiles were generated for each zone and oceanographic region. Both parameters were used in the equation (5) to calculate primary

production in our study area, where $Chl-a$ and E_{PAR} are the variables that can be derived from remote sensed data.

Mean integrated primary production for the whole euphotic zone (PP_{eu}) of the northern region was two-fold higher in spring inshore areas, instead for the oceanic zone PP_{eu} values were very similar (table 2). Only in the inshore zone of central region PP_{eu} values were slightly higher during summer (table 2). The mean PP_{eu} for the central region was between 1.4-fold and 2-fold higher than the values for the northern region. During the spring survey, strong coastal upwelling events were reported for our study area (Durazo-Arvizu and Baumgartner, 2002), which result in high PP_{eu} values associated with high chlorophyll concentration, and abundance of diatoms and dinoflagellates. Our PP_{eu} mean values were alike to those reported by Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego (1991) for the summer off Baja California, where their high values were related with nearsurface maximum chlorophyll concentration, and phytoplankton cells growing at high irradiance. Similar PP_{eu} values were also reported by Smith and Eppey (1982) in coastal areas of the Southern California Bight associated with coastal upwelling events. In our northern study area there is an intrusion of poor-nutrient oceanic water advected from the Central Pacific, developing a summer recurrent frontal area named “Ensenada Front” (Haury *et al.* 1993, Venrick, 2000). Then our northern region is affected by oligotrophic waters mainly during these events, lowering the phytoplankton biomass and production.

Spring model calculated primary production for inshore waters of the northern and central region was about 1.4-fold greater than the *in situ* estimates. Perhaps this variability of PP_{eu} during was due to the major abundance of large phytoplankton cells, which can contribute to the photosynthetic parameters variability. In addition to the high phytoplankton light absorption coefficients values observed mainly on inshore areas, which affect the calculations of $\alpha_{(z)}^*$ and ϕ_{max} (Geider, 1993). During summer calculated PP_{eu} for inshore areas of both regions was only 1.1-fold greater than the *in situ* estimates. However, we observed that measured PP_{eu} was 1.6-fold higher than the estimated values for the offshore zones during this season.

Chlorophyll- a values and E_{PAR} data derived from colour sensors can be fully used together with mean values of the water column photosynthetic parameters ($\alpha_{(z)}^*$

and $P_{m(z)}^*$) to estimate primary production in the water column off Baja California. Profiles of $Chl-a$ vertical distribution can be calculated using the surface values estimated from the remote sensor, and the parameters of the chlorophyll profile model of Platt *et al.* (1988), calculated for the zone off Baja California by Millán-Núñez *et al.* (1997) for each region and season. One of the major difficulties to estimate primary production in large regions of the ocean is the extrapolation of local bio-optical and photosynthetic parameters, assuming that these does not change very much in space and time. It is necessary determinate these parameters for the each regions, proposing average values for the time of interest. Another task in this avenue is develop regional algorithms, which are required to feed with the bio-optical and photosynthetic parameters for each region in order to extrapolate the primary productivity calculations to large scales. One of the advantages that represent the remote sensed information for the biological oceanographers is the almost synoptic coverage of a very large oceanic area. When the parameters, which feed the models, are determined for each region, we can use those together with the remote sensed data to have a better understanding of the primary productivity variability associated with meso-scale and large-scale physical processes.

4. CONCLUSIONS

Determination of phytoplankton photosynthetic parameters and bio-optical properties of the ocean is one of the substantial assignments to calculate primary production from remote sensed data. Moreover, this is a critical issue in the application of the analytical and semianalytical models to understand changes of primary production in the ocean. Then, an adequate estimation of these parameters for each oceanic region it is necessary (Longhurst *et al.* 1995), in order to have a better carbon flux estimation of the world oceans from primary production data.

Average values of α^* , ϕ_{max} , and P_m^* had a seasonal variability in the region off Baja California. Higher values of α^* and ϕ_{max} were estimated for inshore waters during spring, with high P_m^* values in summer. In general, water column integrated primary production

calculated with our averaged phytoplankton photosynthetic parameters ($\alpha_{(z)}^*$, $P_{m(z)}^*$) and the Platt *et al.*'s (1988) model, were similar to the ^{14}C *in situ* determinations, with differences less than 25%.

Our results show that average profiles of phytoplankton parameters off Baja California change from spring to summer seasons. Seasonal variability of phytoplankton photosynthetic parameters have important implications in the primary productivity estimations, and great errors could be carried out if we assume constancy in these parameters during an annual cycle. The errors could be greater than those carried out when assuming season constant values of the regional photosynthetic parameters. Then, one better option for calculating primary production in the oceanic region off Baja California from remote sensed data is to use average photosynthetic parameters for each season. Using these tools it will be possible the assessment of carbon flux variability in the ocean water column, and also understand the time and space variability of this important oceanographic variable.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are very grateful to the IMECOCAL Mexican oceanographic program, and all the participants during the 1999 surveys. Thanks to the captains and crew of the CICESE *R/V Francisco de Ulloa* and the UNAM *R/V El Puma*. A special acknowledgement to Sila Najera-Martinez, Javier Tello, Victor Macias, Benigno Hernandez, Joaquin Garcia-Cordova, and Juan Francisco Igareda for their kindly help in the field and laboratory work. Thanks to Dr. G. Mitchell for using his Varian Cary Spectrophotometer and the Beckman Liquid Scintillation Counter. The Mexican Council of Science and Technology (CONACYT) and the CICESE support the cruises and the laboratory work under projects G0041-T9607, DAJJ002/750/00, and G-35326T. The first author had fellowships from the Mexican Public Education Agency (SEP, UCOL-98-05-01), the University of Colima, and from the CONACYT projects DAJJ002/750/00 and G35326T. SeaWiFS data were kindly supplied by NASA-GSFC-DAAC. J.M. Dominguez and F. Ponce draw the final figures.

REFERENCES

- BABIN, M., MOREL, A., CLAUSTRE, H., BRICAUD, A., KOLBER, Z., and FALKOWSKI, P. G., 1996, Nitrogen- and irradiance-dependent variations of the maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic, mesotrophic and oligotrophic marine systems. *Deep-Sea Research*, **I**, **43**, 1241-1272.
- BEHRENFELD, M. J., and FALKOWSKI, P. G., 1997, Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, **42**, 1-20.
- BOUMAN, H. A., PLATT, T., KRAAY, G. W., SATHYENDRANATH, S., and IRWIN, B. D., 2000, **Bio-optical properties of the subtropical North Atlantic. I. Vertical variability.** *Marine Ecology Progress Series*, **200**, 3-18.
- CHAMBERLIN, S., and MARRA, J., 1992, Estimation of photosynthetic rate from measurements of natural fluorescence: analysis of the effects of light and temperature. *Deep-Sea Research*, **39**, 1695-1706.
- CULLEN, J. J., and LEWIS, M. R., 1988, The kinetics of algal photoadaptation in the context of vertical mixing. *Journal of Plankton Research*, **10**, 1039-1063.
- DUBINSKY, Z., BERMAN, T., and SCHANZ, F., 1984, Field experiments for *in situ* measurements of photosynthetic efficiency and quantum yield. *Journal of Plankton Research*, **6**, 339-349.
- DUBINSKY, Z., FALKOWSKI, P. G., and WYMAN, K., 1986, Light harvesting and utilization by phytoplankton. *Plant Cell Physiology*, **27**, 1335-1349.
- DURAZO, R., and BAUMGARTNER, T. R., 2002, Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography* (in press).
- FOY, R. H., and GIBSON, C. E., 1982, Photosynthetic characteristics of planktonic blue-green algae: the response of twenty strains grown under high and low light. *Br. Phycology Journal*, **17**, 169-182.
- GAXIOLA-CASTRO, G., and ALVAREZ-BORREGO, S., 1991, Relative assimilation numbers of phytoplankton across a seasonally recurring front in the California Current off Ensenada. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, **32**, 91-96.

- GEIDER, R. J., 1993, Quantitative phytoplankton physiology: implications for primary production and phytoplankton growth. ICES Marine Science Symposia, **197**, 52-62.
- GONZALEZ-MORALES, A. T., GAXIOLA-CASTRO, G., and LARA-LARA, J. R., 1993, Daily photosynthetic parameters and biomass from size-fractionated phytoplankton off Baja California. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **36**, 147-158.
- HAURY, L. R., VENRICK, E., FEY, C. L., MCGOWAN, J. A., and NILER, P. P., 1993, The Ensenada front: July 1985. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, **34**, 69-88.
- HOLM HANSEN, O., LORENZEN, C. J., HOLM, R. W., and STRICKLAND, J. D. H., 1965, Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Int. Explor. Mer., **30**, 3-15.
- JASSBY, A. D., and PLATT, T., 1976, Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. Limnology and Oceanography, **21**, 540-547.
- KAHRU, M., and MITCHELL, B. G., 1999, Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. International Journal of Remote Sensing, **20**, 3423-3429.
- KANA, T. M., and GILBERT, P. M., 1987, Effect of irradiances up to 2000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on marine *Synechococcus* WH7803. I. Growth, pigmentation, and cell composition. Deep-Sea Research, **34**, 479-495.
- KISHINO, M., TAKAHASHI, M., OKAMI, N., and ICHIMURA, S., 1985, Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea. Bulletin of Marine Science, **37**, 634-642.
- KYEWALYANGA, M. N., PLATT, T., SATHYENDRANATH, S., LUTZ, V. A., and STUART, V., 1998, Seasonal variations in physiological parameters of phytoplankton across the North Atlantic. Journal of Plankton Research, **20**, 17-42.
- LAVANIEGOS, B. E., JIMÉNEZ-PÉREZ, L. C., and GAXIOLA-CASTRO, G., 2002, Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. Progress in Oceanography, (in press).
- LONGHURST, A., SATHYENDRANATH, S., PLATT, T., and CAVERHILL, C., 1995, An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. Journal of Plankton Research, **17**, 1245-1271.
- MILLÁN-NUÑEZ, R., ALVAREZ-BORREGO, S., and TREES, C. C., 1997, Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. Journal of Geophysical Research, **102**, 8587-8595.
- MITCHELL, B. G., 1990, Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT). Ocean Optics, **X**, 137-148.
- MITCHELL, B. G., and KAHRU, M., 1998, Algorithms for the SeaWiFS standar products developed with the CalCOFI bio-optical data set. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, **39**, 133-147.
- MITCHELL, B. G., BRICAUD, A., CARDER, K., CLEVELAND, J., FERRARI, G., GOULD, R., KAHRU, M., KISHINO, M., MASKE, H., MOISAN, T., MOORE, L., NELSON, N., PHINNEY, D., REYNOLDS, R., SOSIK, H., STRAMSKI, D., TASSAN, S., TREES, C., WEIDEMANN, A., WIELAND, J., and VODACEK, A., 2000, Determinations of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples, in G. S. Fargion and J. L. Mueller Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2, G. S. Fargion and J. L. Mueller, Eds., NASA Tech. Memo., 209966, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 2000.
- PLATT, T., and SATHYENDRANATH, S., 1988, Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales. Science, **241**, 1613-1620.
- PLATT, T., SATHYENDRANATH, S., CAVERHILL, C.M., and LEWIS, M.R., 1988, Ocean primary production and available light: further

- algorithms for remote sensing. *Deep-Sea Research*, **35**, 855-879.
- PLATT, T., CAVERHILL, C., and SATHYENDRANATH, S., 1991, Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *Journal Geophysical Research*, **96**, 15147-15159.
- PREZELIN, B.B., BIDIGARE, R.R., MATLICK, H.A., PUTT, M., and VERHOVEN, B., 1987, Diurnal patterns of size-fractionated primary production across a coastal front. *Marine Biology*, **96**, 563-574.
- SATHYENDRANATH, S., and PLATT, T., 1989, Remote sensing of ocean chlorophyll: consequence of nonuniform pigment profile. *applied optics*, **28**, 490-495.
- SATHYENDRANATH, S., LONGHURST, A., CAVERHILL, C. M., and PLATT, T., 1995, Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep-Sea Research.*, **42**, 1773-1802.
- SATHYENDRANATH, S., PLATT, T., STUART, V., IRWIN, B. D., VELDHUIS, M. J. W., KRAAY, G. W., and HARRISON, W. G., 1996, Some bio-optical characteristics of phytoplankton in the NW Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, **132**, 299-311.
- SENGER, H., and FLEISCHHACKER, PH., 1978, Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Scenedesmus obliquus* to strong and weak light conditions. I. Differences in pigments, photosynthetic capacity, quantum yield and dark reactions. *Physiology Plant.*, **43**, 35-42.
- SCHOFIELD, O., PRÉZELIN, B. B., BIDIGARE, R. R., and SMITH, R. C., 1993, *In situ* photosynthetic quantum yield. Correspondence to hydrographic and optical variability within the Southern California Bight. *Marine Ecology Progress Series*, **93**, 25-37.
- SMITH, P. E., and EPPLEY, R. W., 1982, Primary production and the anchovy populations in the Southern California Bight: Comparison of time series. *Limnology and Oceanography*, **27**, 1-17.
- SOSIK, H. M., 1996, Bio-optical modeling of primary production: consequences of variability in quantum yield and specific absorption. *Marine Ecology Progress Series*, **143**, 225-238.
- VALDEZ-HOLGUÍN, J. E., ALVAREZ-BORREGO, S., and MITCHELL, B. G., 1998, Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, **39**, 148-158.
- VENRICK, E. L., 2000, Summer in the Ensenada front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. *Journal of Plankton Research*, **22**, 813-841.
- VENRICK, E. L., and HAYWARD, T. L., 1984, Determining chlorophyll on the 1984 Calcofi surveys. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, **25**, 74-79.
- YENTSCH, C. S., and MENZEL, D. W., 1963, A method for the determination of phytoplankton, chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Research*, **10**, 221-231.

ANEXO A4. Simbología y unidades más comunes

Parámetros característicos de la curva Gausiana

Concentración de clorofila	Chl	mg m^{-3}
Concentración de clorofila base	Chl_0	mg m^{-3}
Clorofila total por arriba de Chl_0	h	mg m^{-2}

Desviación estándar

σ m

Profundidad del máximo de clorofila

Z_m m

Propiedades Bio-ópticas

Radiación fotosintéticamente activa que llega a la superficie del agua	$E_{0(PAR)}$	$\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Radiación fotosintéticamente activa a la profundidad Z	$E_{Z(PAR)}$	$\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Irradiancia superficial promedio medida por SeaWiFS	$E_{0(PAR)}^{sat}$	$\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Coeficiente de absorción de luz por el agua	$a_w(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente de absorción de luz por partículas	$a_p(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente de absorción de luz por material orgánico disuelto coloreado	$a_g(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente de absorción de luz por detritus	$a_d(\lambda)$	m^{-1}

Coeficiente de absorción de luz por fitoplancton	$a_{\phi}(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente específico de absorción por partículas	$a_p^*(\lambda)$	$\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$
Coeficiente específico de absorción por detritos	$a_d^*(\lambda)$	$\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$
Coeficiente específico de absorción por fitoplancton	$a_{\phi}^*(\lambda)$	$\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$
Promedio del coeficiente específico de absorción por fitoplancton corregido por la forma del espectro de lámpara	$\overline{a_{\phi(L)}^*}$	$\text{m}^2 (\text{mg Chl})^{-1}$
Coeficiente de atenuación vertical de luz difusa	$K_d(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente de atenuación vertical de luz por agua	$K_w(\lambda)$	m^{-1}
Coeficiente de atenuación vertical de luz debido al fitoplancton, organismos no-algales, detritus y materia orgánica disuelta coloreada	$K_{bio}(\lambda)$	m^{-1}

Parámetros fotosintéticos del fitoplancton

Coeficiente de máxima utilización de luz del incubador	α_{inc}^*	$\text{mgC} (\text{mg Chl})^{-1} \text{h}^{-1} (\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$
Coeficiente de máxima utilización de luz a la profundidad Z	$\alpha_{(z)}^*$	$\text{mgC} (\text{mg Chl})^{-1} \text{h}^{-1} (\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$
Tasa fotosintética máxima	P_m^*	$\text{mgC} (\text{mg Chl})^{-1} \text{h}^{-1}$
Cosecha cuántica máxima	ϕ_m	$\text{moles C} (\text{moles fotones})^{-1}$
Parámetro fotoadaptativo	E_k	$\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Tasa máxima de fijación de carbono a través de la columna de agua	P_{opt}^*	$\text{mgC} (\text{mg Chl})^{-1} \text{h}^{-1}$

Producción primaria

Profundidad de la zona eufótica	Z_{eu}	m
Producción primaria diaria integrada en la zona eufótica	PP_{eu}	$\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$
Producción primaria a la profundidad Z	$P(z)$	$\text{mgC m}^{-3} \text{h}^{-1}$
Modelo generalizado de producción vertical	VGPM	
Coastal Zone Color Scanner	CZCS	
Sea-viewing Wide Field of View Sensor	SeaWiFS	
Ocean Color and Temperature Sensor	OCTS	