

Comparación de reflectancia *in situ* 443/555 y 490/555 con Clorofila a y Materia Suspendida Total en Bahía de La Paz, B.C.S., México

Comparisons between *in situ* reflectance 443/555 y 490/555 with Chlorophyll a and Total Suspended Matter in La Paz Bay, B.C.S., Mexico

¹Rafael Cervantes Duarte

²José Eduardo Valdez Holguín

¹Amada Reyes Salinas

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas CICIMAR-I.P.N. Becario de COFAA-IPN y BDI-IPN. E-mail: rcervan@ipn.mx

²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora (DICTUS). Rosales y Niños Heroes s/n, Hermosillo, Sonora, México.

Cervantes-Duarte R., J.E. Valdez Holguín, y A. Reyes-Salinas. 2004. Comparación de reflectancia *in situ* 443/555 y 490/555 con Clorofila a y Materia Suspendida Total en Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica* 14(1): 11-17

RESUMEN

Con el propósito de analizar las características bio-ópticas del agua superficial de la Bahía de La Paz y la laguna "Ensenada de La Paz" se llevaron a cabo muestreos en los meses de junio, septiembre, noviembre de 1997 y enero de 1998. De acuerdo a las características hidrológicas y batimétricas, la bahía se dividió en profunda y somera y la laguna en canal y somera. La distribución de temperatura mostró el patrón típico estacional, mínimas en enero (22.5 °C) y máximas en septiembre (>30 °C). Las concentraciones promedio de clorofila a (C_{la}) y material suspendido total (MST) fueron menores en la bahía (0.26 a 0.65 mg C_{la} m⁻³ y 0.5 a 1.2 g MST m⁻³) que en la laguna (0.5 – 2.4 mg C_{la} m⁻³ y 0.98 a 5.6 g MST m⁻³). Asimismo, el coeficiente de atenuación de luz difusa (K_{dPAR}) fue más bajo en la bahía que en la laguna, debido a la menor cantidad de MST y fitoplancton. El mejor ajuste entre reflectancia 443/555 y 490/555 vs. la C_{la} y MST, respectivamente, fue potencial ($A = 0.8023 * B^{-0.819}$ y $A = 1.2401 * B^{-0.8011}$). La concentración de MST vs. K_{dPAR} presentó alta correlación lineal ($r^2=0.96$), y menor entre C_{la} vs. K_{dPAR} ($r^2=0.77$). Las altas correlaciones entre las mediciones radiométricas y las concentraciones de C_{la} y MST superficiales en las aguas de la bahía de La Paz y la laguna, prueban la capacidad de la aplicación de las técnicas de sensores remotos para estimar C_{la} y MST, en aguas costeras del Golfo de California.

Palabras Clave: Reflectancia, sensores remotos, clorofila a, MST, Golfo de California.

ABSTRACT

Bio-optical characteristics of the surface water layer in La Paz Bay and Lagoon denominated "Ensenada de La Paz" were studied. A series of hydrographic stations were sampled during June, September, November of 1997 and January of 1998. According to hydrological and bathymetric characteristics the bay was separated in to deep and shallow waters and the lagoon in to channel and shallow waters. The distribution of surface temperature showed a typical seasonal pattern, minimum in January (22.5 °C) and maximum in September (>30 °C). The chlorophyll (C_{la}) and suspended total matter (MST) average concentration was smaller in bay (0.26 to 0.65 mg C_{la} m⁻³ and 0.5 to 1.2 g MST m⁻³) than in the lagoon stations (0.5–2.4 mg C_{la} m⁻³ and 0.98 to 5.6 g MST m⁻³). Also, diffuse light attenuation coefficient (K_{dPAR}) was lower in bay than lagoon stations, probably due to the smallest values of MST and phytoplankton. The best fit between *in-situ* reflectance 443/555 and 490/555 vs. C_{la}

and MST, respectively was the potential model ($A = 0.8023 * B^{-0.819}$ and $A = 1.2401 * B^{-0.8011}$). The concentration of MST vs. K_{dPAR} presented a high lineal correlation ($r^2=0.96$), and a lower correlation between Cl_a vs. K_{dPAR} ($r^2=0.77$).

The high correlations between radiometric measurements vs. surface Cl_a and MST concentrations found in La Paz bay and lagoon waters, shows the capacity to using remote sensing techniques to improve estimates Cl_a and MST in coastal waters of the Gulf of California.

Key words: Reflectance, remote sensing, chlorophyll *a*, MST, Gulf of California

INTRODUCCIÓN

A partir de la aplicación de las técnicas de sensores remotos satelitales al medio acuático la oceanografía ha tenido un nuevo auge y ha ampliado sus líneas de investigación. La información satelital tiene grandes ventajas sobre la información tradicional. Su cobertura espacial y temporal permite obtener información frecuente de una determinada región, en la que pueden investigarse la evolución de procesos oceanográficos en la escala de días y de kilómetros. Sin embargo, la interpretación de las imágenes, dependen de un cierto grado de conocimiento, tanto de la oceanografía regional, como de la composición de sus aguas. Puesto que los datos del "color del mar" se relacionan con la presencia de los constituyentes presentes en el agua marina, es posible, por consiguiente usarlos para calcular las concentraciones de estos elementos en la superficie del océano y su nivel de actividad biológica. Aproximadamente el 90% de la luz que proviene del océano, se origina de la profundidad, en la cual la irradiancia descendente disminuye al 37% (1/e) del valor inmediatamente debajo de la superficie. De esta profundidad, denominada primera profundidad óptica, es factible obtener información de los componentes ópticamente significantes del agua por medio del albedo medido por sensores remotos. Los sensores radiométricos satelitales como el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y actualmente el SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-view Sensor) han sido utilizados para estimar la concentración de clorofila y carbono en una gran variedad de ambientes oceánicos y costeros (Kahru & Mitchel, 1999; Stramski *et al.*, 1999). La validación de la información de sensores remotos a partir de las mediciones *in situ*, es más simple en las aguas en las que el fitoplancton y sus productos derivados juegan un papel dominante en las propiedades ópticas del océano (aguas "Caso 1"), que cuando los sedimentos inorgánicos y orgánicos tienen una contribución importante para determinar el color de las aguas, "Caso 2" (Morel & Prieur, 1977). Antes de la aplicación de las técnicas de sensores remotos es conveniente llevar a cabo trabajos previos de calibración radiométrica *in situ* (sin la influencia de la atmósfera) vs. los componentes ópticamente activos (fitoplancton, detritus, partículas inorgánicas, materia orgánica disuelta, etc.).

Teoría del color del océano. El termino "color del océano" se puede definir como la respuesta espectral del océano a la entrada de la radiación solar incidente y a la contribución de la radiación difusa del cielo (Curran, 1972). El color del océano está determinado principalmente por la interacción de la luz incidente en el agua de mar y las sustancias y partículas presentes en ella. Los constituyentes más importantes son: el fitoplancton, el detritus, las partículas inorgánicas o tripton y la materia orgánica disuelta o gelbstoff.

El espectro de la reflectancia superficial se puede interpretar como el color del agua normalizado por el espectro de la irradiancia natural. La definición más común para la reflectancia de la irradiancia, R , justo debajo de la superficie está dada por la siguiente ecuación:

$$R(\lambda) = \frac{E_u(\lambda, 0^-)}{E_d(\lambda, 0^-)} \quad (1)$$

E_u y E_d son las irradiancias ascendente y descendentes, respectivamente, y el superíndice con signo menos indica el valor justo debajo de la superficie. Los valores espectrales de $R(\lambda)$ están relacionados con la composición del agua. Por lo tanto, la capacidad de las técnicas de los sensores remotos se basan en una dependencia apropiada de la $R(\lambda)$ con el contenido de pigmentos en aguas Caso 1. En general, la irradiancia y la radiancia son funciones de la profundidad (o altitud en la atmósfera) y geometría de observación con respecto al sol. La $R(\lambda)$ ha sido teóricamente relacionada con las propiedades de absorción y esparcimiento de los constituyentes ópticamente activos del océano (Gordon *et al.*, 1988; Morel, 1988), de acuerdo a la ecuación (2), donde f es una función compleja de la geometría y distribución de la radiancia incidente y las propiedades ópticas anisotrópicas del cuerpo de agua (Morel & Gentili, 1991, 1996) y es aproximadamente igual a 0.33; $b_b(\lambda)$ es el coeficiente de retroesparcimiento espectral, y $a(\lambda)$ es el coeficiente de absorción espectral.

$$R(\lambda) \cong f \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda)} = f \sum_i \frac{b_b^i(\lambda)}{a^i(\lambda)} \quad (2)$$

En el caso de la mayoría de las condiciones oceánicas y costeras $b_b(\lambda) \ll a(\lambda)$ y decrecen monótonicamente con respecto a la longitud de onda (Gordon & Morel, 1983). Con mediciones directas de $b_b(\lambda)$ en cultivos de fitoplancton se mostró que el coeficiente de esparcimiento de la mayoría de los grupos algales es insignificante (Ahn *et al.*, 1992). Una excepción son los coccolitoforidos, parte del nanoplancton, que tienen una fuerte señal de retroesparcimiento de la luz (Gordon *et al.*, 1988; Balch *et al.*, 1991). Tanto $b_b(\lambda)$ como $a(\lambda)$ representan la suma de las contribuciones de varios componentes ópticos, partículas inorgánicas, sustancias disueltas, fitoplancton, etc., las cuales son a menudo explícitamente especificadas como se indicó en la ecuación 2.

Con base en un análisis de series de tiempo de imágenes del color del océano del Coastal Zone Color Scanner (CZCS), se demostró que las aguas del Golfo de California presentan varias regiones biogeográficas (Santamaría del Angel *et al.*, 1994). Considerando el criterio de los anteriores autores, la Bahía de La Paz corresponde a una región particular del Golfo de California, por lo que teóricamente es posible establecer la relación entre la concentración de Cl_a y MST vs. las razones de reflectancia *in situ* 443/555 y 490/555 obtenidas con radiómetros ambientales (sin la influencia de la atmósfera), como parte de las actividades de calibración necesarias para la aplicación de las técnicas de sensores remotos en aguas costeras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La bahía de La Paz está localizada en la parte sur de la península de Baja California, entre las latitudes $24^\circ 10'$ y $24^\circ 47'$ norte y longitudes $110^\circ 20'$ y $110^\circ 44'$ oeste, a lo largo de la costa este de la península de Baja California (Fig. 1). Tiene forma aproximadamente de elipse, su eje mayor mide aproximadamente 81 km y está orientado en dirección noroeste a sureste, en tanto, su eje menor mide aproximadamente 33 km. La profundidad máxima de la bahía es de 400 m y se localiza al norte, en la denominada Cuenca Alfonso, la cual se encuentra aislada del Golfo de California por un umbral batimétrico hasta una profundidad aproximada de 250 m (Nava-Sánchez, 1997). La profundidad en la bahía decrece gradualmente hasta menos de 100 m hacia la parte sur. El clima de la región es semidesértico. La nubosidad anual en el área es generalmente baja, excepto en la época de eventos meteorológicos que afectan la región, produciendo fuertes precipitaciones muy ocasionales que provocan que los arroyos descarguen material terrígeno. El campo de viento está principalmente determinado por el cambio atmosférico del centro de alta presión del Pacífico y el centro de baja presión del desierto de Sonora (Roden, 1972), con vientos del sureste durante el verano y noroeste en invierno. La

salinidad superficial en la bahía se incrementa marcadamente en las zonas someras, debido a que la evaporación (300 mm año^{-1}) excede a la precipitación (180 mm año^{-1}) y las descargas de agua dulce son prácticamente nulas.

La laguna se localiza en la parte sur de la bahía, denominada "Ensenada de La Paz" y está comunicada por un canal de aproximadamente 8 metros de profundidad. El interior de la laguna es somero, con 2 metros de profundidad promedio, una zona profunda (8 m) en la parte norte y otra en la parte sur (4 m). Los sedimentos varían de arena gruesa en el canal, hasta arcillas y limos en las partes someras, los cuales son resuspendidos por corrientes de marea y mezcla por viento, incrementando el MST en la columna de agua.

El muestreo en la bahía se desarrolló en una red de 39 estaciones ordenadas en siete transectos y de 20 estaciones para la boca e interior de la laguna. Se realizaron cuatro salidas en los meses de junio 26-29, septiembre 26-30, noviembre 10-14 de 1997 y enero 26-29 de 1998 (Fig. 1). Con un sistema de radiómetros ambientales PRR 600/610 diseñados por Biospherical Instruments Inc. San Diego, California, se midió la irradiancia descendente, $E_d(\lambda, z)$ y la radiancia ascendente, $L_u(\lambda, z)$, a las longitudes de onda de 412, 443, 490, 510, 555 y 670 nm, y el coeficiente de atenuación de luz difusa (K_{dPAR}). Los valores de $E_d(\lambda, z)$, $L_u(\lambda, z)$ y K_{dPAR} inmediatamente debajo de la superficie, fueron estimados a partir del ajusto

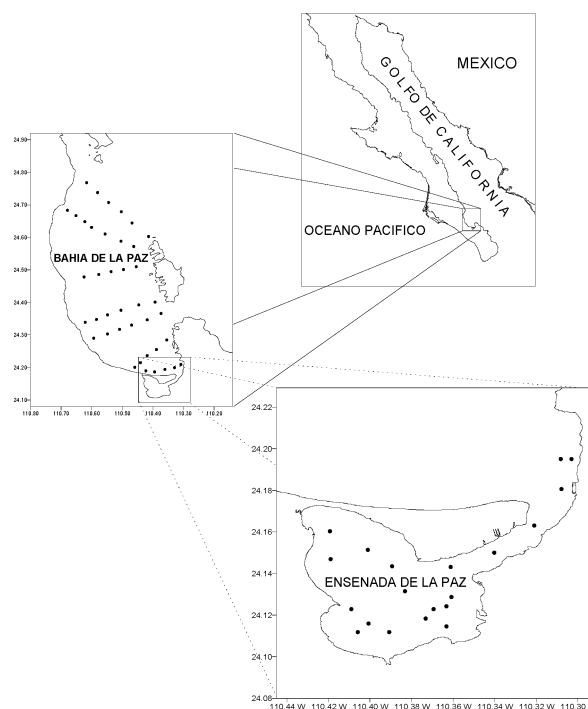


Figura 1. Áreas de estudio (los puntos indican las estaciones de muestreo).

Tabla 1. Número de muestras (n), valores promedio y límite de confianza al 95% (L.C.) de las variables medidas

Fecha	Zona	n	Temp.	L.C.	Cla	L.C.	MST	L.C.	K _{PAR}	L.C.	R443/R555	L.C.	R490/R555	L.C.
			°C	95%	mg m ⁻³	95%	g m ⁻³	95%	m ⁻¹	95%		95%		95%
Jun/97	BP	34	27.42	0.24	0.37	0.06	0.58	0.12	0.116	0.008	1.9806	0.269	2.0657	0.212
Jun/97	LC	3	29.83	0.04	0.53	0.08	0.98	0.29	0.195	0.056	0.8715	0.336	1.1733	0.247
Jun/97	LS	10	30.13	0.13	1.51	0.33	3.60	0.98	0.501	0.122	0.4637	0.068	0.7533	0.081
Sep/97	BS	18	30.39	0.18	0.26	0.09	0.52	0.18	0.081	0.005	3.2459	0.679	2.8007	0.339
Sep/97	LC	4	30.79	0.18	1.85	0.94	1.59	0.81	0.298	0.060	0.6083	0.231	0.9013	0.281
Sep/97	LS	7	30.93	0.19	2.41	0.42	2.36	0.51	0.472	0.055	0.3851	0.040	0.6795	0.071
Nov/97	BP	27	27.56	0.10	0.41	0.06	0.70	0.17	0.091	0.004	2.2747	0.284	2.2741	0.191
Nov/97	BS	4	27.23	0.21	0.62	0.14	1.07	0.26	0.162	0.020	1.1258	0.090	1.4437	0.060
Nov/97	LC	2	25.66	0.39	0.68	0.17	1.79	0.48	0.271	0.116	1.1419	0.505	1.4328	0.518
Nov/97	LS	12	24.44	0.17	2.40	0.93	5.63	2.13	0.844	0.329	0.4620	0.044	0.7405	0.056
Ene/98	BP	4	22.52	0.14	0.65	0.08	1.23	0.21	0.183	0.040	1.1407	0.14	1.4837	0.100
Ene/98	BS	27	22.94	0.13	0.64	0.06	1.01	0.27	0.115	0.004	1.4297	0.152	1.6139	0.144

Bahía Profunda = BP

Bahía Somera = BS

Laguna Canal = LC

Laguna Somera = LS

te por mínimos cuadrados de los datos transformados en log10 de cada perfil con la profundidad. El cálculo de la reflectancia (R_{443} , R_{490} y R_{555}) se realizó de acuerdo a la ecuación 1, suponiendo que $E_u = \pi * L_u$ (Kirk, 1994), es decir, que la distribución de radiancia del flujo ascendente es idéntica a la de un reflector Lambertiano (iguales valores de radiancia en todos los ángulos). Paralelamente a los perfiles de los radiómetros fueron tomadas muestras de la superficie para las determinaciones de Cla y MST. Las muestras para Cla fueron procesadas con filtros GFF de 25 mm de diámetro y de acuerdo a la técnica espectrofotométrica de Jeffrey & Humphrey (1975). El MST fue determinado por gravimetría, haciendo pasar un volumen de agua conocido a través de un filtro de policarbonato de 0.4 μ m de abertura de poro y 47 mm de diámetro, previamente pesado. Luego los filtros fueron secados a 60 °C por 2 horas y pesados nuevamente (Banse *et al.*, 1963). Para el análisis de datos la bahía fue dividida en dos zonas, una profunda (>100 m) y una somera (<100 m). Asimismo, la laguna fue dividida en dos zonas (canal y somera), de acuerdo a lo reportado por Cervantes-Duarte *et al.* (2001).

RESULTADOS

Hidrología. Los valores promedio y el límite de confianza al 95% (L.C. 95%), para cada una de las variables estudiadas se presentan en la tabla 1.

Las temperaturas superficiales observadas mostraron valores más bajos en los muestreos de noviembre y enero y mayores en septiembre, siguiendo el patrón típico estacional reportado por otros autores, mínimas anuales en las estaciones de invierno-primavera y las más elevadas en verano-otoño (Martínez-López *et al.*, 2001; Bernal *et al.*, 2001).

Las concentraciones promedio de Cla en la laguna fueron de 4 a 5 veces mayores que en la bahía. Las máximas concentraciones se registraron en la zona somera de la laguna, con valores promedio de 1.41 a 2.41 mg m⁻³, mientras que en la zona del canal fueron de 0.53 a 1.85 mg m⁻³. Las concentraciones promedio de MST fueron mayores en la laguna que en la bahía (tabla 1). Particularmente, la zona somera presentó valores en un intervalo de 2.36 a 5.63 g m⁻³, mientras que la zona de canales de 0.98 a 1.79 g m⁻³. Las concentraciones promedio de MST en la bahía variaron de 0.52 a 1.23 g m⁻³, siendo generalmente mayores en los meses de noviembre y enero respecto de junio y septiembre.

El coeficiente de atenuación de luz difusa (K_{dPAR}) fue más alto en las estaciones someras de la laguna que en las profundas, y en general fueron mayores que en la bahía (tabla 1). Las razones de reflectancia 443/555 y 490/555 mostraron un patrón similar entre ellas, aunque en todos los casos los valores de 443/555 fueron menores que 490/555 (tabla 1). Los valores de reflectancia fueron mayores en las estaciones de la

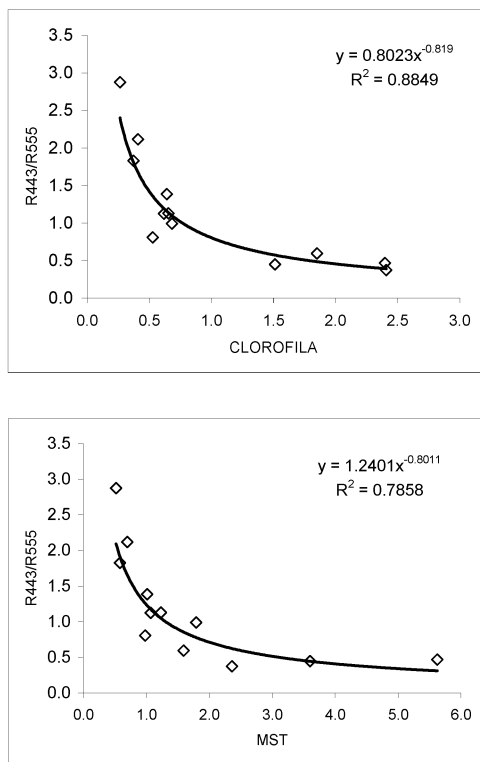


Figura 2. Razones de reflectancia vs. Concentración de clorofila a (mg m^{-3}) (arriba). Razones de reflectancia vs. MST (g m^{-3}) (abajo). Se muestran las líneas de ajuste, ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación.

bahía respecto a los de la laguna, siendo septiembre el mes con los valores más altos y enero con los más bajos registrados en la bahía. Las razones de reflectancia en la laguna no presentaron un patrón simple y su variación podría estar relacionada con los procesos de mezcla en el interior de la laguna.

Modelos estadísticos. A las relaciones entre reflectancia superficial a 443/555 y 490/555 vs. la Cla y el MST superficial se les aplicaron ajustes lineales, exponenciales y potenciales. En todos los casos el modelo potencial presentó los mayores coeficientes de determinación y son de la misma forma

a los reportados por otros autores (tabla 2). Los modelos de reflectancia a 443/555 y 490/555 fueron similares, por lo que sólo se presentan las gráficas para los primeros. Los diagramas de dispersión de los promedios de la reflectancia 443/555 vs. las variables medidas mostraron patrones similares (Fig. 2). A medida que aumenta la concentración de Cla y de MST los valores de reflectancia 443/555 y 490/555 disminuyen. Este comportamiento es debido a que los pigmentos y la materia orgánica en general absorben luz fuertemente en la región azul del espectro visible. Por el contrario las aguas oceánicas, con menos carga de material particulado, presentan un aumento de la reflectancia cuando la concentración de Cla y MST disminuyen.

Las relaciones entre Cla vs. K_{dPAR} ($r^2 = 0.77$) y MST vs. K_{dPAR} ($r^2 = 0.96$) presentaron una alta correlación lineal (Fig. 3). No es sorprendente de que ambas mediciones se encuentren correlacionadas, ya que la atenuación de la luz se incrementa proporcionalmente con la cantidad de material suspendido. Posiblemente la correlación del Cla vs. K_{dPAR} sea menor que MST vs. K_{dPAR} debido al carácter no lineal entre la relación entre Cla y el MST (Loisel & Morel, 1998).

DISCUSIÓN

La variación estacional de temperatura superficial ha sido bien documentada previamente, resaltando el bajo coeficiente de variación entre sus diferentes áreas. La temperatura en la capa superficial (primeros 25 m) muestra dos estaciones típicas: cálida de junio a noviembre (28.4 ± 1.9 °C) y fría de diciembre a mayo (22 ± 4.4 °C) (Martínez-López *et al.*, 2001). Es probable que la dinámica de las corrientes superficiales (marea y viento) mantengan las condiciones de temperatura en la bahía con poca variación espacial. Durante junio y septiembre las aguas de la laguna tienden a ser más cálidas respecto de la bahía, mientras que en noviembre y enero es al contrario. Este comportamiento se debe principalmente al efecto del volumen de agua; mientras la laguna tiene un área aproximada de 45 km^2 y una profundidad promedio de 2 m, la bahía tiene aproximadamente 2000 km^2 , con profundidades promedio en la zona sur de 30 metros y en la zona

Tabla 2. Algoritmos para clorofila a + feopigmentos (mg m^{-3}) propuestos por varios autores (Gordon y Morel, 1983).

R(I1)	R(I2)	A12	B12	r^2	Autores
443	550	0.50	-1.27	0.98	Gordon y Clark (1978-80)
440	560	1.62	-1.40	0.76	Morel (1978-80). (aguas Caso 1 + Caso 2)
443	550	0.78	-2.12	0.94	Smith y Wilson (1981)
443	550	0.77	-1.33	0.91	Clark (1981)
443	550	0.80	-0.82	0.88	Este trabajo
490	555	1.11	-0.57	0.89	Este trabajo

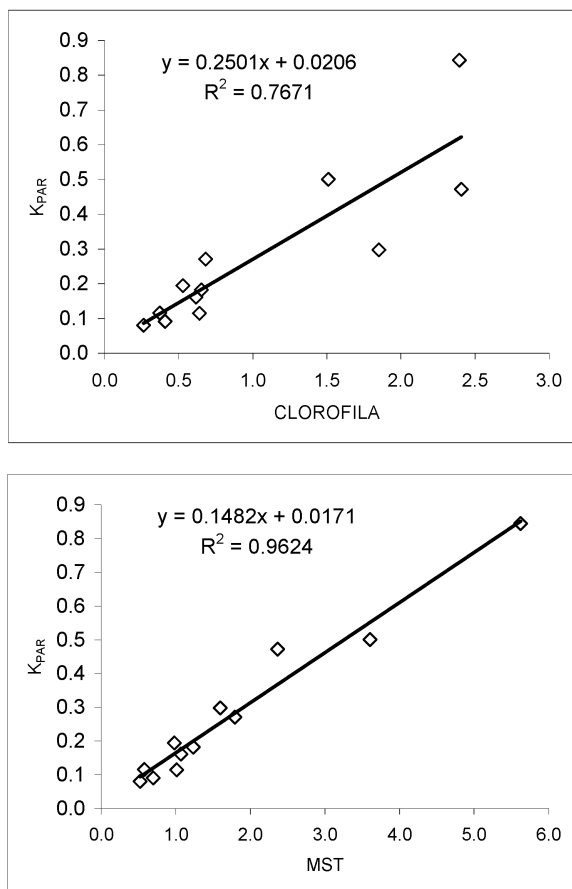


Figura 3. K_dPAR vs. Concentración de clorofila a (mg m⁻³) (arriba). K_dPAR vs. MST (g m⁻³) (abajo). Se muestran las líneas de ajuste, ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación.

norte mayores de 100 m. Por lo que los efectos de calentamiento y enfriamiento son más rápidos en las zonas con menos volumen de agua.

Las concentraciones promedio de Cla y MST fueron mayores en las aguas de la laguna respecto a las de la bahía. En dirección a la cabeza de la laguna hay un gradiente positivo de concentración, aunque no es sorprendente encontrar en la zona de canales valores típicos de la bahía. En esta zona las concentraciones dependen de las proporciones de mezcla entre los dos cuerpos de agua impuestas por las mareas. Relativamente, las concentraciones de Cla y en general del MST, fueron mayores en noviembre y enero respecto a junio y septiembre. Probablemente esto último está relacionado con el patrón seguido por la distribución de la biomasa del fitoplancton, expresada como Cla y la contribución de material inorgánico terrígeno transportado por el viento. Se ha documentado que de noviembre a marzo se presentan vientos dominantes del norte (Martínez-López *et al.*, 2001) que debido a

su persistencia favorecen el transporte de material terrígeno. La mayor atenuación de la luz en las zonas someras se debe en parte a la mayor cantidad de MST, fitoplancton y al efecto de sustancias orgánicas disueltas coloridas (gilvin ó gelsstoff) procedente de la descomposición de la materia orgánica.

Las mediciones de las propiedades ópticas inherentes (aquellas que dependen de la composición de las aguas) y aparentes (las que dependen del ángulo de incidencia de la luz solar) en el océano son propiedades necesarias para calibrar y validar las mediciones satelitales del color del océano. Se ha reportado que casi todo el Golfo de California mostró características de aguas Caso I, con la excepción de la parte extrema noroeste (Gordon *et al.*, 1983; Pegau *et al.*, 1999). Nuestros resultados a partir de las simples comparaciones de las razones de reflectancia *in situ* 443/555 y 490/555 vs. la Cla y el MST pueden ser útiles indicadores de los tipos de agua que se encuentran en la laguna y bahía de La Paz. No fue el propósito de este trabajo realizar propiamente trabajos de calibración con datos satelitales. La idea de trabajar con valores promedio y con zonas particulares permite disminuir la variabilidad de las mediciones discretas y tienen la ventaja de proporcionar tendencias que ayuden a planteamientos particulares en el área de estudio.

REFERENCIAS

- AHN, Y. H., A. BRICAUD & A. MOREL. 1992. Light backscattering efficiency and related properties of some phytoplankters. *Deep Sea Research* 39: 1835-1855.
- BALCH, W. M., P. M. HOLLIGAN., S. G. ACKELSON & K. J. VOSS. 1991. Biological and optical properties of mesoscale coccolithophore blooms in the Gulf of Maine. *Limnology and Oceanography* 36: 629-643.
- BANSE, K., C. P. FALLS & L. A. HOBSON. 1963. A gravimetric method for determining suspended matter in sea water using Millipore filters. *Deep Sea Research* 10: 639-642.
- BERNAL, G., P. RIPA, & J. C. HERGUERA. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: Influencias del Trópico y Pacífico Norte. *Ciencias Marinas* 27(4): 595-617.
- CERVANTES-DUARTE, R., G. GAXIOLA-CASTRO, & J. E. VALDEZ-HOLGUÍN. 1993. Relación entre clorofila superficial y clorofila en la zona eufótica del Golfo de California: Posible aplicación para estimar la producción primaria con datos obtenidos por sensores remotos. *Ciencias Marinas* 19(4): 473-490.
- CERVANTES-DUARTE, R., F. AGUIRRE-BAHENA, A. REYES-SALINAS & J. E. VALDEZ-HOLGUÍN. 2001. Caracterización hidrológica de una laguna costera de Baja California Sur, México. *Océanides* 16(2): 93-105.

- CURRAN, P. J. 1972. Ocean color determination through a scattering atmosphere. *Applied Optics* 11(8): 1857-1866.
- GORDON, H. R. & A. Y. MOREL. 1983. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies (4). In: Barber, R. T., C. N. K. Moores, M. J. Bowman y B. Zeitzschel (Eds.). *Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery. A review*. Springer-Verlag, New York, 114p.
- GORDON, H. R., D. K. CLARK, J. W. BROWN, O. B. BROWN, R. H. EVANS & W. W. BROENKOV. 1983. Phytoplankton pigments concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparisons of ship determinations and CZCS estimates. *Applied Optics* 22(1): 20-36.
- GORDON, H. R., O. B. BROWN, R. H. EVANS, J. W. BROWN, R. C. SMITH, K. S. BAKER & D. K. CLARK. 1988. A semi analytical radiance model of ocean color. *Journal. Geophysical Research* 93: 10909-10924.
- JEFFREY, S. W. & G. F. HUMPHREY. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b and c1 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie u. Physiologie d.Pflanzen* 167: 191-194.
- KAHRU, M. & B. G. MITCHELL. 1999. Empirical chlorophyll algorithm and preliminary SeaWiFS validation for the California Current. *International Journal of Remote Sensing* 20(17): 3423-3429.
- KIRK, J. T. O. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Segunda Edición, Cambridge University Press, Great Britain, 509 p.
- LOISEL, H., & A. MOREL. 1998. Light scattering and chlorophyll concentration in Case 1 waters: A reexamination. *Limnology and Oceanography* 43(5): 847-858.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, A., R. CERVANTES-DUARTE, A. REYES-SALINAS & J. E. VALDEZ-HOLGUÍN. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. *Hidrobiológica* 11(1): 45-52.
- MOREL, A. 1988. Optical Modeling of the Upper Ocean in Relation to Its Biogenous Matter Content (Case I Waters). *Journal of Geophysical Research* 93(C9): 10749-10768.
- MOREL, A., & B. GENTILI. 1991. Diffuse reflectance of oceanic waters: Its dependence on sun angle as influenced by the molecular scattering contribution. *Applied Optics* 30: 4427-4438.
- MOREL, A. & B. GENTILI. 1996. Diffuse reflectance of oceanic waters., III., implications of bidirectionality for remote sensing problem. *Applied Optics* 35: 4850-4862.
- MOREL, A., & L. PRIEUR. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography* 22: 709-722.
- NAVA-SÁNCHEZ, E. 1997. *Modern fan delta of the west coast of the Gulf of California, Mexico*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad del Sur de California en Los Angeles, Estados Unidos 216p.
- PEGAU, W. S., J. R. V. ZANEVELD., A. H. BARNARD., H. MASKE., S. ALVAREZ-BORREGO., R. LARA-LARA & R. CERVANTES-DUARTE. 1999. Inherent optical properties in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 25(4): 469-485.
- RODEN, G. I. 1972. Termohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo Islands region. *Journal of Physical Oceanography* 2(2): 177-183.
- SANTAMARÍA DEL ANGEL., S. ALVAREZ-BORREGO & F. E. MÜLLER-KARGER. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research* 99(C4): 7411-7421.
- STRAMSKI, D., R. A. REYNOLDS, M. KAHRU & B. G. MITCHELL. 1999. Estimation of particulate organic carbon in the ocean from satellite remote sensing. *Science* 285: 239-241.

Recibido: 24 de julio de 2003.

Aceptado: 27 de febrero de 2004.