

SECRETARÍA DE MARINA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO

ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICA DE ENSENADA



ESTACION DE
IVESTIGACIÓN
OCEANOGRÁFICA DE
ENSENADA B.C.

AÑO: 2007 TEMA:
Estación de Investiga-
ción Oceanográfica
de
Ensenada.

VARIABILIDAD DE CORTO PERIODO DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LA BAHÍA SAN
QUINTÍN, B. C. EN EL VERANO DE 2006.

ENERO DE 2007

Fig. 3. Variabilidad del oxígeno disuelto, mg/L (a), potencial Hidrógeno, u. p (b) y clorofila a, mg m⁻³ (c), durante el 25, 26, 27 y 28 de julio de 2006 en la Bahía de San Quintín, Baja California..... 13

Fig. 4. Variabilidad del porcentaje de saturación de oxígeno, (%), durante el 25, 26, 27 y 28 de julio de 2006 en la Bahía de San Quintín, Baja California..... 16

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índices de correlación lineal entre las variables determinadas. Se presentan en **negritas** las correlaciones significantes a nivel p < 0.05 16

El presente estudio se realizó en la Bahía de San Quintín, Baja California Sur, México, durante el mes de julio de 2006. La temperatura superficial del agua (T_{superf}) y la salinidad (S) fueron las variables más importantes que se midieron. La T_{superf} presentó una variabilidad entre 25.5 y 28.5 °C, mientras que la salinidad osciló entre 34.5 y 35.5. La conductividad eléctrica (CE) también se midió y presentó una variabilidad entre 52 y 58 µS/cm. Los niveles de oxígeno disuelto (OD) y el potencial de hidrógeno (pH) fueron las variables más importantes que se midieron. El OD presentó una variabilidad entre 1.2 y 2.5 mg/L, mientras que el pH osciló entre 6.2 y 7.7. La clorofila a (Chl a) también se midió y presentó una variabilidad entre 0.5 y 1.5 mg/L. Los resultados de este estudio indican que la Bahía de San Quintín es un ecosistema acuático con una alta variabilidad en sus variables físicas y químicas. Esta variabilidad puede ser el resultado de procesos naturales como la mezcla de aguas y la fotosíntesis, así como de actividades humanas como el vertido de aguas residuales y el uso de pesticidas. Los resultados de este estudio pueden ser útiles para comprender mejor el funcionamiento del ecosistema acuático de la Bahía de San Quintín y para diseñar estrategias de manejo y conservación adecuadas.

INTRODUCCIÓN VARIABILIDAD DE CORTO PERIODO DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LA BAHIA SAN QUINTIN,
B. C. EN EL VERANO DE 2006.

Por:

Ocean. Gabriel López Castillo.
M. en C. Luis C. Jiménez Pérez.
Tte. Corb. SIA. I.Q. Ramsés C. Angulo Alcalde.
Tte. Corb. SIA. I.Q. Luis A. Córdova López.

RESUMEN Se realizó una serie de tiempo de tres días en un punto del brazo este de Bahía San Quintín, con el fin de identificar los intervalos de variación de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y clorofila a, y discutir los factores que afectan esa variación. Las muestras se tomaron cada dos horas, durante un período de mareas vivas, en el verano de 2006. La temperatura presentó un comportamiento diurno sin correlación con la variación de la marea. Las máximas temperaturas se presentaron en la tarde y las mínimas en las primeras horas del día, en un intervalo de 26 a 28 °C. La salinidad tuvo una variabilidad semidiurna con una estrecha correlación con la altura de marea, con un índice de correlación lineal de -0.82 en un nivel de significancia $p < 0.05$. A mareas altas correspondieron salinidades bajas y viceversa, con un intervalo de 2.653 u.s.p. La concentración de oxígeno presentó una gran variabilidad, en un intervalo de 7.29 mg/L, con correspondencia parcial con la marea, detectando cambios bruscos de O_2 disuelto entre muestras seguidas y muy bajos niveles (< 2 mg/L). El pH se detectó con un patrón similar al del oxígeno disuelto, con valores bajos en las primeras horas del día, ascendiendo a lo largo del día hasta su máximo en la tarde. El intervalo de variación del pH fue de 0.5 u. pH con valores entre 8.2 y 7.7 u. pH. La clorofila a presentó una variabilidad irregular, con bajos valores relativos (< 1 mg m^{-3}). Se detectó un máximo de clorofila a (0.86 mg m^{-3}), asociado con un mínimo de salinidad (34.579 u.s.p.), baja temperatura (26.4 °C) y altos valores de oxígeno disuelto (6.32 mg/L) y pH (8.2 u. pH), en condiciones de marea alta, registrado a las 24 hrs del 27 de julio. Lo cual sugiere que en esas condiciones nocturnas y de marea alta, el agua del océano adyacente sí afectó las propiedades del agua en el sitio de muestreo. Los factores que influenciaron la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua, fueron la alta intensidad calorífica característica del verano, los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica y fotosíntesis, así como la irregularidad batimétrica del fondo de la bahía.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras, esteros y estuarios son cuerpos de agua litoral semiprotegidos, que tienen una importancia desde el punto de vista biológico. Por una parte, éstos ecosistemas constituyen una trampa nutricia que juega un papel primordial en el desarrollo (cria y sustentación) de algunas especies migrantes de amplio espectro ecológico, en especial peces, moluscos y crustáceos. Esta particularidad les permite sostener una riqueza considerable en diversidad biótica.

Además, BSQ constituye uno de los humedales mas importantes del noroeste de Baja California, que sirve de sitio de abrigo y alimentación de aves migratorias. En especial, las praderas del pasto marino *Zostera marina*, que cubren gran parte del interior del sistema lagunar, juegan un papel esencial en la ecología del mismo, ya que además de modificar la química de la columna de agua y estabilizar los sedimentos, son hábitat y alimento de invertebrados y vertebrados marinos (Cabello-Pasini et al., 2004); constituyen el alimento de decenas de miles de gansos, brantas negras (*Branta bernicla*) que les permite sobrevivir durante el invierno, antes de regresar a sus campos de reproducción de Alaska y Canadá (Reed et al., 1998).

Sin embargo, estos ecosistemas están siendo sometidos a una presión ambiental, derivada de actividades urbanas, productivas, turísticas, etc. En particular, la Bahía de San Quintín (BSQ) que es uno de los ecosistemas marinos que han sido considerados como áreas sensibles en la costa oeste de Baja California (Secretaría de Marina, 2003). Tiene un intercambio de agua intenso con las aguas costeras adyacentes (arriba del 60% en mareas de primavera) y alberga

uno de los ranchos mas productivos de México del ostión japonés *Crassostrea gigas*, actividad que se ha mantenido durante mas de 25 años; la mancha urbana del poblado de San Quintín cada vez se encuentra mas cercana a sus aguas y se conoce la intención de establecer desarrollos turísticos aprovechando la belleza estética y la capacidad recreativa de su entorno.

Por otra parte, estos ecosistemas se caracterizan por tener una gran variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas, la que se relaciona directamente con la fisiología de los organismos, y a su vez en una interrelación biótica altamente sensible. De esta manera, es importante contar con registros recientes de las propiedades fisicoquímicas y biológicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, clorofila *a*) que permitan especificar rangos y temporalidad, además de que el presente estudio se complementa con uno previamente realizado en el mismo sitio en noviembre de 2005.

ANTECEDENTES

Los primeros estudios de Bahía San Quintín (BSQ) se realizaron en 1960/61, principalmente en relación a su sedimentología y su biota bentónica (Barnard, 1962; Dawson, 1962; Gorsline y Stewart, 1962). La variabilidad temporal y espacial de las propiedades de las aguas de BSQ, fue estudiada desde los primeros años de la década de los setenta, por investigadores de la UABC y debido al interés por el desarrollo de la acuacultura; su enfoque inicial fue determinar las escalas de variabilidad de los nutrientes y el fitoplancton (Chávez-Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1974; Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Álvarez-

Borrego y López-Álvarez, 1975; Lara-Lara y Álvarez-Borrego, 1975; Álvarez-Borrego y Chee-Barragán, 1976; Silva-Cota y Álvarez-Borrego, 1988). En general, esos estudios evidenciaron que las propiedades de la laguna tenían distribuciones salteadas, debido, entre otras razones, a su batimetría irregular. Asimismo, pusieron en evidencia la existencia de una gran variación temporal local debida a las corrientes de marea. Sin embargo, en particular, mostraron que la salinidad se incrementa de la Boca hacia el interior debido a la elevada tasa de evaporación y a la ausencia casi total de precipitación pluvial y escurrimientos superficiales. En adición, Millán-Núñez *et al.* (1982) confirmaron que la clorofila y la abundancia del fitoplancton fueron generalmente mayores en la Boca que en el interior de la laguna, durante el verano de 1979. Aunado a lo anterior, se han realizado estudios de series de tiempo en la boca de BSQ, uno de ellos con duración de 24 hrs (Álvarez-Borrego *et al.*, 1977), mostró que la clorofila cambia hasta en un orden de magnitud en sólo 2 horas; otro estudio posterior con duración de 18 días (Lara-Lara *et al.*, 1980), identificó a la alternancia de intensificación y relajamiento de las surgencias costeras como la principal fuente de variación de todas las propiedades, con excepción de la temperatura que presentó su variación debido principalmente a una componente semidiurna. Además de las surgencias y corrientes de marea, en esta laguna costera existen otros mecanismos naturales de fertilización, tales como la remineralización de nutrientes en la columna de agua y en los sedimentos debida a bacterias, que es resuspendida hacia la columna de agua por la turbulencia (Álvarez-Borrego y Chee-Barragán, 1976; Camacho-Ibar y Álvarez-Borrego, 1988).

En una serie de tiempo efectuada en la cabeza del brazo este de BSQ, en noviembre de 2005 (Jimenez-Pérez *et al.*, No publicado), se analizó la variabilidad de algunas propiedades fisicoquímicas del agua de mar y se encontró que en esa época del año: 1) La temperatura presentó una variación semidiurna con una clara correlación con la variación de la marea; 2) El oxígeno disuelto presentó picos de mayor concentración en las horas de la tarde, muy similar a la variación del pH, con disminución de los valores entre las 6:00 y 10:00 hrs del día; y 3) La clorofila *a* presentó una variabilidad irregular con máximos valores de $6.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

OBJETIVO

El principal objetivo es identificar los intervalos de variación, bajo condiciones de verano, de las propiedades fisicoquímicas básicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH), así como de la concentración de clorofila *a*.

ÁREA DE ESTUDIO

Bahía de San Quintín ($30^{\circ} 27' \text{ N}$, $116^{\circ} 00' \text{ W}$), es una laguna costera en forma de Y, de 49 km^2 de superficie que se comunica al mar de manera permanente por medio de un solo canal estrecho de 400 m de amplitud y cuyos brazos son conocidos localmente como Bahía Falsa, el situado al oeste, y Bahía San Quintín, el del este (Fig. 1). Este ecosistema lagunar se caracteriza por tener extensas llanuras intermareales, bajos someros submareales y estrechos canales de marea. Las mareas son semidiurnas mixtas, con rangos máximos de 2.5 y 1.0

m en mareas vivas y muertas, respectivamente, a lo largo de toda la laguna, Martori-Oxamendi (1989). La laguna es bastante somera, con profundidades de 1.8 m o menos, en marea alta media en alrededor de un 85% del brazo este. Sus fondos son predominantemente fangosos y sus aguas presentan una gran turbidez. En los canales, que se encuentran claramente diferenciados de los bajos de la bahía por sus cambios pronunciados de profundidad, se pueden presentar profundidades mayores, generalmente de 5 a 7 m, con un máximo de 10 m, aproximadamente. La Bahía recibe muy pocos aportes de agua dulce por escurrimientos superficiales, salvo en años con lluvias excepcionalmente intensas, Barnard (1962). Su precipitación pluvial promedio es de 15 cm año⁻¹ aproximadamente. La evaporación media anual es de 140 cm y el período de lluvias es de noviembre a marzo, Camacho-Ibar *et al.* (2003). Las mareas son el motor principal de la circulación del agua en la laguna y pueden explicar hasta un 97 % de las corrientes medidas. La fricción del fondo y el forzamiento por viento influyen en la circulación residual causando corrientes y remolinos o giros transversales, y afectando el intercambio de agua con el océano, Álvarez-Borrego (2004). En la zona cercana a la boca, las corrientes de marea llegan a alcanzar velocidades de hasta 100 cm seg⁻¹, disminuyendo hacia el interior de la laguna hasta 60 cm seg⁻¹, aproximadamente, debido a la continuidad del volumen, Ocampo-Torres (1980). La distribución vertical de las propiedades del agua es homogénea a causa de la turbulencia generada por las corrientes de marea, Martori-Oxamendi (1989). El clima de la Bahía de San Quintín es tipo mediterráneo, con temperaturas medias anuales diarias del aire y del agua que

varían entre 11 y 22 °C y entre 15 y 22 °C, respectivamente, Cabello-Pasini *et al.* (2003).

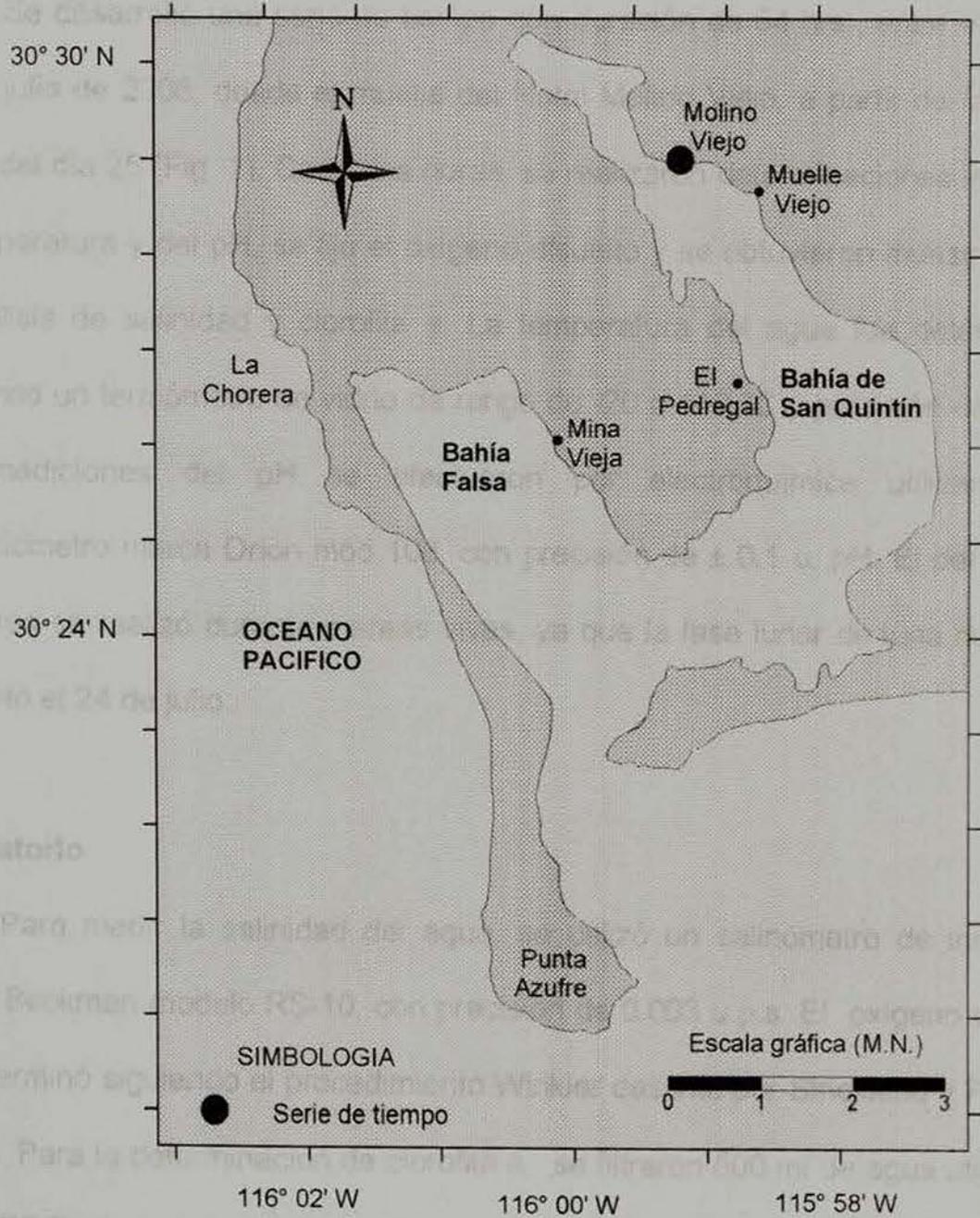


Fig. 1. Localización de la estación de trabajo de la serie de tiempo en la Bahía de San Quintín, B. C.

MATERIAL Y MÉTODO

Campo

Se desarrolló una serie de tiempo con duración de 64 hrs., entre el 25 y el 28 de julio de 2006, desde el muelle del Hotel Molino Viejo, a partir de las 14:00 horas del día 25 (Fig. 1). Cada dos horas, se realizaron determinaciones *in situ* de la temperatura y del pH, se fijó el oxígeno disuelto y se obtuvieron muestras para el análisis de salinidad y clorofila *a*. La temperatura del agua fue determinada utilizando un termómetro de vidrio de rango de -20 a 110 °C y precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$. Las mediciones del pH se efectuaron por electroquímica utilizando un potenciómetro marca Orion mod 106, con precisión de ± 0.1 u. pH. El período de muestreo se realizó durante mareas vivas, ya que la fase lunar de luna nueva se presentó el 24 de julio.

Laboratorio

Para medir la salinidad del agua, se utilizó un salinómetro de inducción marca Beckman modelo RS-10, con precisión de 0.003 u.p.s. El oxígeno disuelto se determinó siguiendo el procedimiento Winkler descrito por Strickland y Parsons (1972). Para la determinación de clorofila *a*, se filtraron 500 ml de agua utilizando filtros GF/F, de luz de malla de $0.7 \mu\text{m}$, siguiendo el método descrito por Holm-Hansen *et al.* (1965) modificado por Sorensen (1993), utilizando un fluorímetro Turner Designs.

Gabinete: DOS

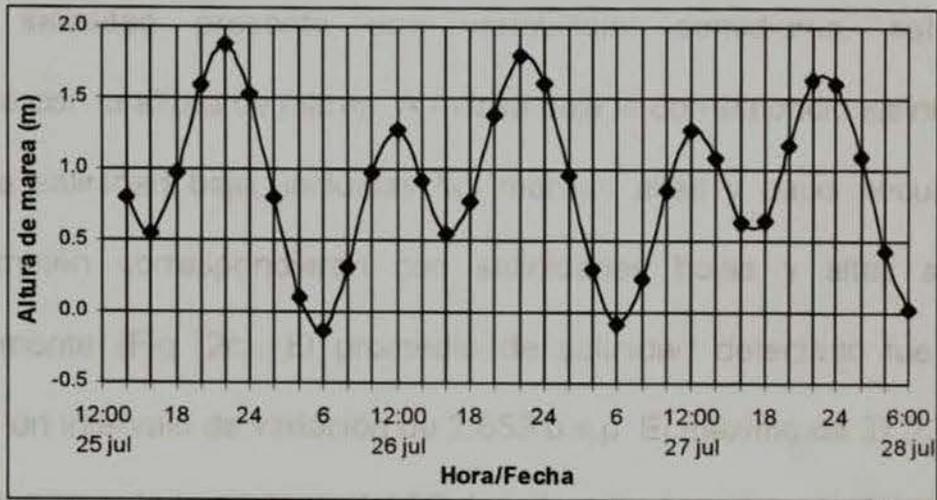
La salinidad se calculó transformando la razón de conductividad y se aplicaron correcciones por deriva del instrumento y por temperatura. Se utilizaron las tablas de salinidad de Lewis (1980). El oxígeno disuelto se calculó en base a la normalidad del tiosulfato de sodio utilizado para titular y se realizaron correcciones por volumen desplazado al adicionar reactivos a la botella BOD. La determinación de los valores de clorofila *a* se efectuó utilizando la ecuación descrita por Sorensen (1993). Para describir la magnitud de la variación de los datos se identificaron los intervalos de cada uno de los parámetros considerados y se calcularon el promedio, la desviación estándar y coeficiente de variación. Se efectuó un análisis estadístico de regresión lineal múltiple, utilizando el software Statistica 5.0

Las 18:00 hrs. del día (Fig. 2b). Las temperaturas mínimas se observaron con diferentes relaciones con la marea, el 26 de julio, la temperatura mínima de 28 °C se detectó a las 2:00 hrs. y se mantuvo hasta las 10:00 hrs. periodo durante el cual la marea bajó, llegó al mínimo y subió hasta casi llegar a la marea alta, el día 27 de julio tuvo su temperatura mínima de las 0:00 a las 7:00 hrs. cuando la marea inició apenas su descenso. Por último, la temperatura mínima del 28 de julio correspondió con la marea máxima de marea, fue detectada a las 0:00 hrs. El intervalo de variación de la temperatura fue de 2.0 °C, con valor máximo de 28 °C de las 18:00 a las 22:00 hrs. del 27 de julio y con mínimos de 26 °C de las 2:00 a las 10:00 hrs. del 30 de julio y también de las 0:00 a las 2:00 hrs. del 27 de julio. El promedio de temperatura fue de 26.85 °C con una desviación estándar de 0.65 y un coeficiente de variación de 2.42 %.

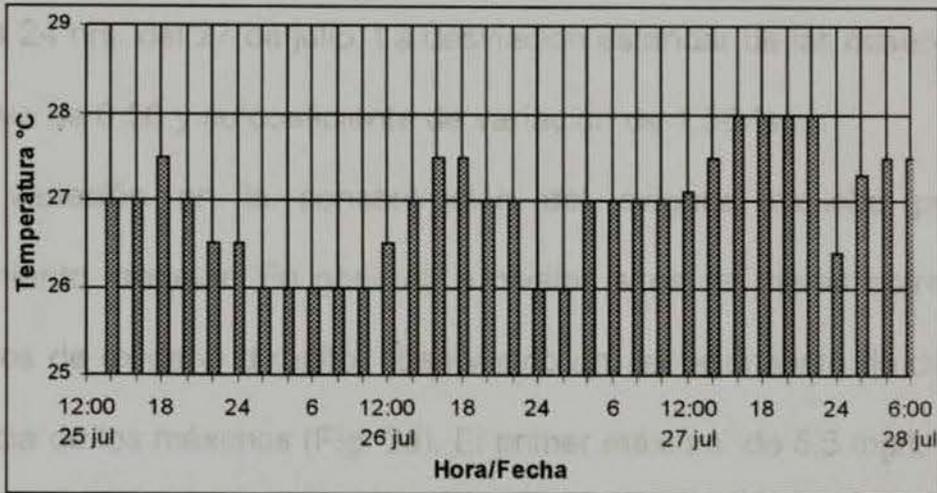
RESULTADOS

La variación de la marea tuvo un comportamiento semidiurno, con un intervalo de 2.01 m. El nivel máximo de 1.88 m fue registrado el día 25 a las 22:00 hrs., mientras que el más bajo (-0.13 m) fue detectado a las 6:00 hrs. del día siguiente (Fig. 2a). La mayor amplitud de marea se registró al comienzo del muestreo y fue disminuyendo hacia el final.

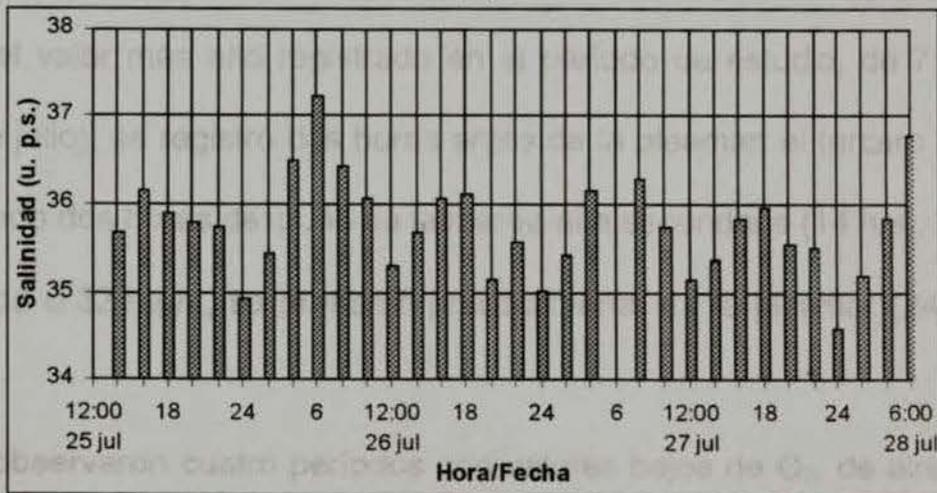
La temperatura de las aguas presentó una variación diurna, con valores mínimos en las primeras horas del día y máximos por la tarde (Fig. 2b). No siempre se observó una concordancia entre la temperatura y la altura de marea. Solamente se encontró consistencia en el caso de las temperaturas máximas del día, las cuales correspondieron con las mareas bajas, mismas que fueron registradas a las 16:00 hrs. del día (Fig. 2b). Las temperaturas mínimas se observaron con diferentes relaciones con la marea; el 26 de julio, la temperatura mínima de 26 °C se detectó a las 2:00 hrs. y se mantuvo hasta las 10:00 hrs., período durante el cual la marea bajó, llegó al mínimo y subió hasta casi llegar a la máxima altura; el día 27 de julio tuvo su temperatura mínima de las 0:00 a las 2:00 hrs., cuando la marea inició apenas su descenso. Por último, la temperatura mínima del 28 de julio correspondió con la altura máxima de marea, fue detectada a las 0:00 hrs. El intervalo de variación de la temperatura fue de 2.0 ° C, con valor máximo de 28 °C de las 16:00 a las 22:00 hrs. del 27 de julio y con mínimos de 26 °C de las 2:00 a las 10:00 hrs. del 26 de julio y también de las 0:00 a las 2:00 hrs. del 27 de julio. El promedio de temperatura fue de 26.95 °C con una desviación estándar de 0.65 y un coeficiente de variación de 2.42 %.



(a)



(b)



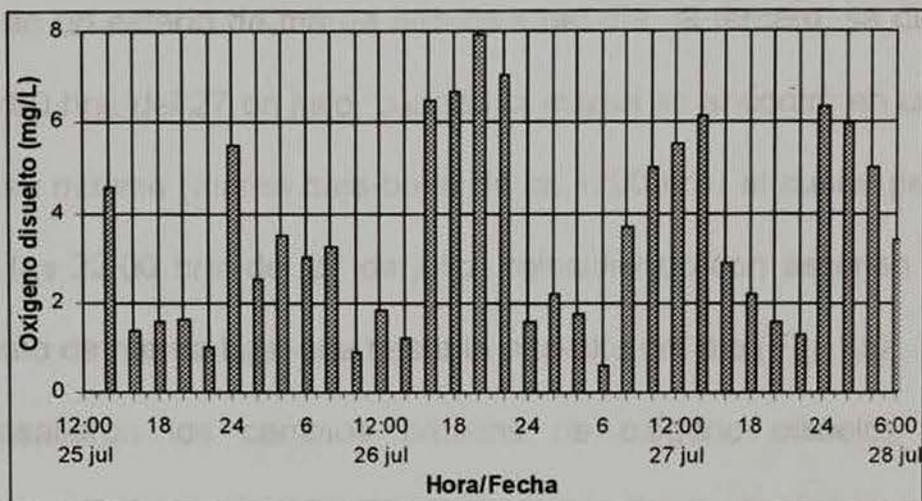
(c)

Fig. 2. Variabilidad de la altura de marea, NBMI, (a), temperatura °C (b) y salinidad u.p.s. (c), durante el 25, 26, 27 y 28 de julio de 2006 en la Bahía de San Quintín, Baja California.

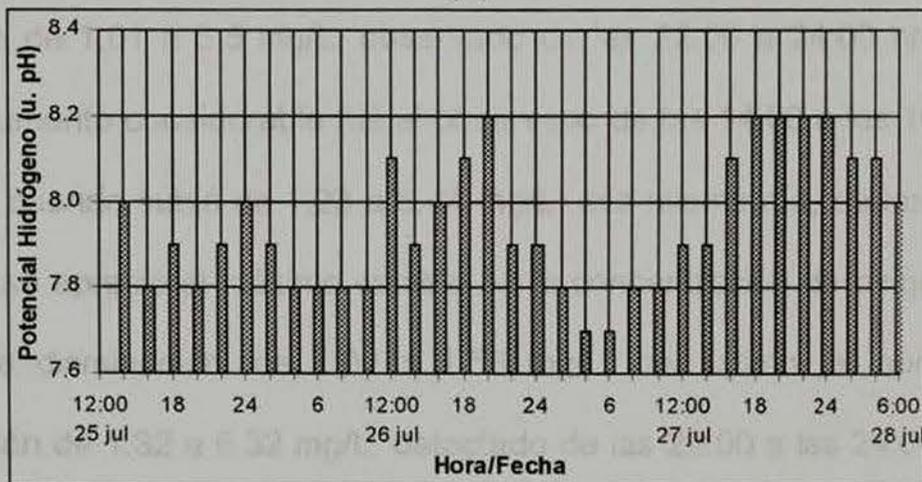
La salinidad presentó una variabilidad semidiurna, estrechamente relacionada con la altura de marea. A marea baja le correspondió salinidad alta y a marea alta salinidad baja, incluidas las mareas altas y bajas secundarias, las cuales también correspondieron con salinidades bajas y altas secundarias, respectivamente (Fig. 2c). El promedio de salinidad detectado fue de 35.743 u.s.p., con un intervalo de variación de 2.653 u.s.p. El máximo de 37.232 u.s.p. fue medido a las seis de la mañana del 26 de julio, mientras que el mínimo de 34.579 u.s.p. a las 24 hrs. del 27 de julio. La desviación estándar de las observaciones de salinidad fue de 0.56 y su coeficiente de variación de 1.56 %.

La variación en la concentración del oxígeno disuelto presentó un comportamiento irregular. En general, a niveles altos de marea correspondieron valores altos de oxígeno disuelto, observando un desfase de dos horas en la ocurrencia de los máximos (Fig. 3a). El primer máximo, de 5.5 mg/L (24 hrs., 25 de julio), se presentó dos horas después de haber iniciado a bajar la marea; el segundo, el valor más alto registrado en el período de estudio, de 7.9 mg/L (20 hrs., 26 de julio), se registró dos horas antes de la pleamar; el tercero (6.15 mg/L) fue detectado dos horas después de la marea alta secundaria (14 hrs., 27 de julio), el último, de 6.32 mg/L, se presentó prácticamente en la pleamar (24 hrs, 27 de julio).

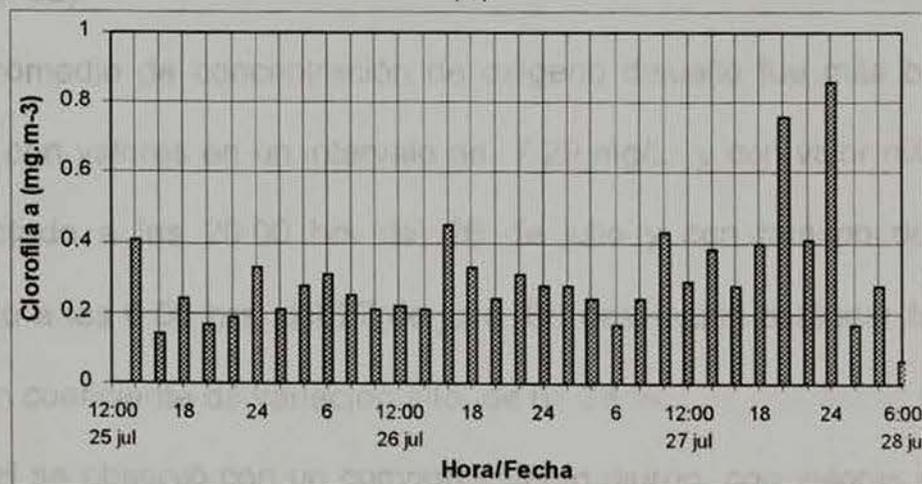
Se observaron cuatro períodos con valores bajos de O_2 , de alrededor de 2 mg/L; el primero de ellos, se presentó de las 16:00 a las 22:00 hrs. del 25 de julio, coincidiendo cuando la marea fue de un mínimo relativo (marea baja-alta) a su máximo (marea alta-alta); el segundo período fue de las 10:00 a las 14:00 hrs. del



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Variabilidad del oxígeno disuelto, mg/L (a), potencial Hidrógeno, u. pH (b) y clorofila a, mg m⁻³ (c), durante el 25, 26, 27 y 28 de julio de 2006 en la Bahía de San Quintín, Baja California.

26 de julio, en un estado de marea alta-baja del día; el tercero, se detectó de las 0:00 a las 6:00 hrs. del 27 de julio, cuando la marea se encontró en un período de bajar hasta su mínimo (marea baja-baja) de las 6:00 hrs.; el cuarto período fue de las 16:00 a las 22:00 hrs. del 27 de julio, coincidiendo con ascenso de la marea desde el punto de marea baja-alta hasta la alta-alta del día (Fig. 3a).

Sobresalieron los cambios bruscos de oxígeno disuelto, que fueron detectados cuando la marea se encontró en movimiento de descenso. El primero de ellos fue de 1.01 a 5.5 mg/L, observado de las 22:00 a 24:00 hrs. del 25 de julio; otro aumento considerable fue el observado de las 14:00 a las 16:00 hrs. del 26 de julio, cuando subió de 1.23 a 6.44 mg/L; ese mismo día, de las 22:00 a las 24:00 hrs., se apreció el máximo cambio en la concentración de oxígeno, aunque éste fue de disminución, de 7.02 a 1.58 mg/L; por último, el aumento en la concentración de 1.32 a 6.32 mg/L, detectado de las 22:00 a las 24:00 hrs. del 27 de julio (Fig. 3a).

El promedio de concentración de oxígeno disuelto fue más bien bajo, de 3.49 mg/L, con valores en un intervalo de 7.29 mg/L y con valor máximo de 7.9 mg/L detectado a las 20:00 hrs del 26 de julio y con mínimo de 0.61 mg/L determinado a las 6:00 hrs. del 27 de julio. Su desviación estándar fue de 2.14 y presentó un coeficiente de variación alto, de 61.38 %.

El pH se observó con un comportamiento diurno, con valores en descenso durante la noche y en ascenso durante las horas del día. La variación del pH se presentó en correspondencia con la concentración de oxígeno disuelto, sin embargo se apreció una discordancia al final del periodo de estudio, cuando a

bajas concentraciones de oxígeno correspondieron altos niveles de pH relativos (Fig. 3b). El intervalo de variación detectado fue de 0.5 u. pH, con valores entre 8.2 y 7.7 u. pH. El promedio fue de 7.95 u. pH, con la desviación estándar de 0.16 y un coeficiente de variación de 1.97 %.

La variabilidad de la clorofila *a* fue irregular, con valores bajos relativos, que estuvieron por debajo de 1 mg m^{-3} . El valor máximo detectado fue de 0.86 mg m^{-3} y el mínimo de 0.07 mg m^{-3} , con un promedio de 0.30 mg m^{-3} . Su desviación estándar fue de 0.16 y el coeficiente de variación de 51.89 %. El máximo de clorofila *a* ocurrió a las 24:00 hrs. del 27 de julio, en concordancia con una temperatura baja relativa ($26.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la salinidad menor (34.579 u.s.p.), concentración alta relativa de oxígeno disuelto (6.32 mg/L), porcentaje de saturación de oxígeno alto (95.52 %) y pH alto (8.2 upH), así como con una condición de marea alta (1.61 m).

El porcentaje de saturación de oxígeno presentó un promedio de 55 %, en un intervalo de valores alto de 107.67 % (Fig. 4). El valor máximo fue de 121 % observado a las 20:00 hrs. del 26 de julio y el mínimo fue de 13 % que se presentó a las 10:00 hrs. del mismo día. La desviación estándar de los valores fue de 32.46 y el coeficiente de variación de 59.06 %.

El análisis de correlación lineal múltiple indicó que existieron correlaciones significantes en el nivel $p < 0.05$, principalmente entre la salinidad y la altura de la marea, con un valor de -0.82 y del pH con cada una de las demás variables, aunque con índices menores (Tabla 1). No existió correlación significativa entre el

porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura, así como tampoco con el nivel de marea.

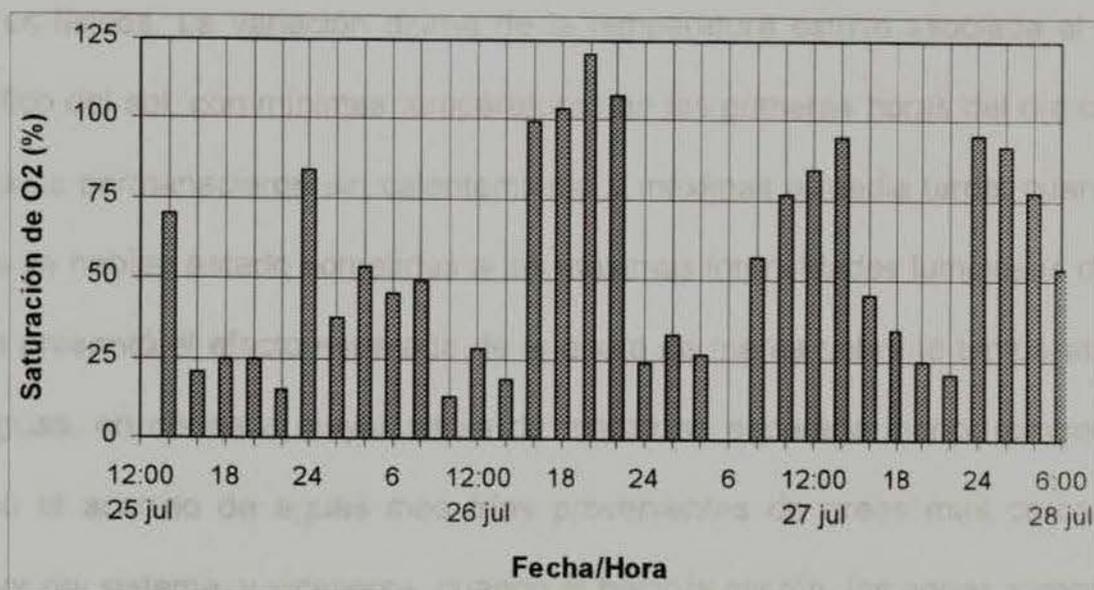


Fig. 4. Variabilidad del porcentaje de saturación de oxígeno, (%), durante el 25, 26, 27 y 28 de julio de 2006 en la Bahía de San Quintín, Baja California.

Tabla 1.- Índices de correlación lineal entre las variables determinadas. Se presentan en negritas las correlaciones significantes a nivel $p < 0.05$.

	Temp	Marea	Sal.	O ₂	PH	% Sat O ₂	Clorofila a
Temperatura	1.00	.00	-.01	.13	.52	.15	.19
Marea	.00	1.00	-.82	.14	.37	.14	.27
Salinidad	-.01	-.82	1.00	-.32	-.48	-.31	-.39
O₂	.13	.14	-.32	1.00	.35	1.00	.28
PH	.52	.37	-.48	.35	1.00	.35	.49
% Sat. O₂	.15	.14	-.31	1.00	.35	1.00	.28
Clorofila a	.19	.27	-.39	.28	.49	.28	1.00

DISCUSIÓN

La variabilidad de las propiedades fisicoquímicas y de la clorofila *a*, detectada en el presente estudio, indica una influencia de diversos procesos y factores físicos. La variación diurna de la temperatura estuvo asociada al efecto calorífico del sol, con mínimas temperaturas en las primeras horas del día cuando las aguas permanecieron sin calentamiento y máximas a media tarde, cuando las aguas ya habían estado sometidas a las máximas intensidades luminosas del día. No se presentó el efecto esperado de la altura de marea sobre la temperatura de las aguas, en donde a mayor altura de marea se esperaría menor temperatura, debido al acarreo de aguas más frías provenientes de áreas más cercanas al exterior del sistema, y viceversa, cuando al bajar la misma, las aguas sometidas a mayor calentamiento en la zona más somera de la laguna llegarán al sitio de estudio. Debido posiblemente a que las aguas estuvieron en ascenso durante las horas de mayor intensidad calorífica y en sentido opuesto, en descenso, cuando las aguas estuvieron siendo sometidas al enfriamiento por la influencia de la atmósfera. Es decir, que el efecto del calentamiento o enfriamiento de las aguas por la alternancia noche-día anuló al efecto de la altura de marea sobre la temperatura de las aguas. Lo cual puede explicar también, la inexistencia de una correlación significativa entre la variación de la temperatura y la altura de marea.

Los altos valores relativos de salinidad detectados, durante bajamar, reflejan la alta tasa de evaporación de la bahía, predominante en la parte más interna del sistema. Además, debido a que se detectó una variabilidad semidiurna de la salinidad en correlación inversa significativa con la altura de marea (82 %,

$p < 0.05$), se infiere un gradiente de salinidad con valores aumentando de la boca hacia el interior, de acuerdo investigaciones anteriores (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

Para explicar el aumento brusco en la concentración de oxígeno disuelto de toma de muestra a la siguiente, es decir en un intervalo de dos horas, se puede considerar que cuando la marea comenzó a descender, acarreó aguas de partes más someras e internas de BSQ, las cuales al pasar por un estrechamiento del contorno de la misma fueron oxigenadas por la turbulencia. Otra posible explicación puede ser que esas aguas acarreadas fueron enriquecidas de oxígeno por el fitoplancton. Pero al observar que a la misma hora, de 22:00 a 24:00 hrs. del 26 de julio, en las mismas condiciones de marea, en lugar de un aumento en la concentración se presentó un descenso, los anteriores argumentos pierden sentido. Entonces, es posible inferir que la distribución espacial de oxígeno disuelto en forma de parches o salteada, se deba, entre otras razones, a la batimetría irregular, de acuerdo a lo mencionado por Álvarez-Borrego (2004), lo cual permite inferir que las muestras obtenidas corresponden a diferentes parcelas de agua, en donde predominan diferentes procesos. Dichos procesos son de origen biológico, por un lado los que consumen oxígeno, como son la degradación de la materia orgánica por bacterias y la respiración del fitoplancton y pastos marinos; y por otro lado, la fase fotosintética generadora de oxígeno de los pastos marinos y del fitoplancton. Además de que esta inferencia se fortalece al no haber encontrado una correlación significativa entre el porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura ni tampoco con la altura de marea. Lo cual nos indica

que los procesos biológicos en esta parte de la bahía son los que predominaron afectando la concentración de oxígeno disuelto más que la influencia de las aguas del oceano adyacente o el contenido de calor de las aguas. Los bajos valores de oxígeno disuelto, menores a 2 mg/L, sugieren que dichas actividades consumidoras de oxígeno se presentaron intensamente, principalmente atribuidas a la degradación de materia orgánica que podría acelerarse debido al efecto catalizador de altas temperaturas y también debido a la fase de respiración del fitoplancton y de las grandes áreas de pastos marinos presentes en la bahía.

La variabilidad irregular de la clorofila *a* se considera que se presentó en un intervalo más bien bajo, lo cual puede ser explicado como resultado de una foto inhibición de las células fitoplanctónicas debido a las fuertes intensidades luminosas del verano y/o por la limitante de nutrientes, ya que se ha detectado por estudios realizados en la boca del ecosistema, que BSQ importa nitritos y nitratos durante los eventos de surgencia (Farfán y Álvarez-Borrego, 1983). Sin embargo, la detección de aguas con mayor contenido de clorofila *a*, mayor contenido de sal y altos valores de pH, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno en condiciones de marea alta, son evidencia de que aguas con influencia preponderante del oceáno adyacente llegaron al sitio de estudio y sugieren que la carencia de nutrientes fue la que originó que el fitoplancton inhibiera su actividad fotosintética.

La comparación de las propiedades determinadas a finales del otoño de 2005 y las realizadas en el verano de 2006, hizo evidente que las aguas de verano fueron mas calientes, menos oxigenadas, con menor pH y con menor

concentración de clorofila a. El intervalo de temperaturas detectado en otoño del 2005 (4.14 °C) fue más alto que el de verano del 2006 (2.0 °C) debido al contacto de las aguas con la atmósfera mas bien fría, indicando que el nivel somero de las aguas de la parte interna de bahía San Quintín, permite más un enfriamiento que un calentamiento. La pobreza de oxígeno refleja inicialmente la influencia de la temperatura en la solubilidad del gas, sin embargo, de acuerdo a los valores calculados de saturación de oxígeno, se puede considerar que es debida a la mayor tasa de degradación de la materia orgánica que ocurre cuando la temperatura es mayor, proceso que es consumidor de oxígeno.

correlación negativa con la variación de la altura de marea.

4 - La concentración de oxígeno disuelto presentó una variabilidad irregular en forma saltada, asociada a la irregularidad batimétrica de la bahía. Los niveles de oxígeno disuelto fueron bajos debido a la predominancia del proceso de oxidación de la materia orgánica.

5 - Se observó el pH con valores en ascenso durante la noche y un descenso durante las horas del día.

6 - Los niveles detectados de clorofila a fueron bajos en relación a los detectados en otoño de 2005 y su variabilidad irregular.

7 - Se detectó la influencia eventual, en el año de estudio, de aguas provenientes del océano adyacente en condiciones nocturnas y de marea alta.

CONCLUSIONES

1.- La variabilidad de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las aguas de la Cabeza de BSQ, en el verano de 2006, fué afectada por la alta intensidad calorífica característica del verano, los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica y fotosíntesis, así como por la irregularidad batimétrica del fondo de la bahía.

2.- La temperatura del agua presentó un comportamiento de ascenso y descenso, asociado con la influencia calorífica de la alternancia noche-día.

3.- La salinidad se observó con un comportamiento semidiurno, en estrecha correlación negativa con la variación de la altura de marea.

4.- La concentración de oxígeno disuelto presentó una variabilidad irregular en forma salteada, asociada a la irregularidad batimétrica de la bahía. Los niveles de oxígeno disuelto fueron bajos, debido a la predominancia del proceso de oxidación de la materia orgánica.

5.- Se observó el pH con valores en ascenso durante la noche y en ascenso durante las horas del día

6.- Los niveles detectados de clorofila *a*, fueron bajos en relación a los detectados en otoño de 2005 y su variabilidad irregular.

7.- Se detectó la influencia eventual, en el sitio de estudio, de aguas provenientes del océano adyacente en condiciones nocturnas y de marea alta.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Borrego, S., Salaschode-González, L. Y Chrea-Barragán, A., 1972. Estudios de las propiedades físicas y químicas superficiales de Bahía San Quintín, en el Golfo de California. *Revista Mexicana de Oceanografía*, 2 (2): 1-9.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo en los trabajos de campo y de laboratorio, durante las series de tiempo, por parte del Tte. Corb. SCMA Ocean. Raúl Juárez Romero, Mro. C.G. Lorenzo Ezequiel Moreno Hernández y del Sr Ramón Velázquez Márquez. Asimismo, se agradece el apoyo del Dr. Eduardo Millán Núñez del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por el apoyo brindado en la determinación de clorofila *a*, así como por haber facilitado el equipo y las instalaciones de esa institución. También se agradecen las facilidades otorgadas por Nancy Harer, representante legal del Hotel Molino Viejo.

Barnard, L., 1962. Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín, Baja California, 1960-61. *General Pac. Nat.*, 3: 249-274.

Comedero-Ibar, V. F. and Alvarez-Borrego, S., 1988. Nutrient concentrations in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: Pechinosa and temporal variations. *Sci. Total Environ.*, 75: 325-339.

Comedero-Ibar, V. F., Carrobery, J. D. and Smith, S. V., 2003. Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintín Bay, Mexico. *Estuaries* 25(5): 1220-1237.

Dawson, G. Y., 1962. Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín, Baja California, 1960-61. *Marine and marsh vegetation*. *Pac. Nat.*, 2: 275-280.

Caballo-Pasini, A., Muñoz-Salazar, R. and Ward, G. H., 2003. Annual variations of biomass and photosynthesis in *Zostera marina* L. along the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Aquat. Bot.* 163: 1-17.

Caballo-Pasini, A., Muñoz-Salazar, R. y Ward, G. H., 2004. Caracterización bioquímica del pastizal marino *Zostera marina* en el límite sur de su distribución en el Pacífico Norte. *Ciencias Marinas* 30 (1A): 21-34.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S., Ballesteros-Grijalva, G. Y Chee-Barragán A., 1975. Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Cienc. Mar.*, 2 (2): 1-9.
- Álvarez-Borrego, S., 2004. Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas* 30 (1A):1-19.
- Álvarez-Borrego, S. y López-Álvarez, C., 1975. Distribución de biomasa de fitoplancton por grupos taxonómicos en Bahía San Quintín, B. C., a través de un ciclo anual. Reporte para el Instituto Nacional de la pesca de la SIC y para la Dirección general de Acuicultura de la SRH. Unidad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.
- Álvarez-Borrego, S. y Chee-Barragán, A., 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín, B. C. *Cienc. Mar.*, 3(1) 51-61.
- Álvarez-Borrego, S., Lara-Lara J. R. y Acosta-Ruiz, M. de J., 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas* 4(1): 12-22.
- Barnard, L., 1962. Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín. Baja California, 1960-61. *General. Pac. Nat.*, 3: 249-274.
- Camacho-Ibar, V. F. and Álvarez-Borrego, S., 1988. Nutrient concentrations in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: Patchiness and temporal variations. *Sci. Total Environ.*, 75: 325-339.
- Camacho-Ibar, V. F., Carriquiry, J. D. and Smith, S. V., 2003. Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintín Bay, México. *Estuaries* 26(5): 1220-1237.
- Dawson, E. Y., 1962. Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín, Baja California, 1960-61. *Marine and marsh vegetation. Pac. Nat.*, 2: 275-280.
- Cabello-Pasini, A., Muñiz-Salazar, R and Ward, D. H., 2003. Annual variations of biomass and photosynthesis in *Zostera marina* L. along the Pacific coast of Baja California, México. *Aquat. Bot.*, 1633: 1-17.
- Cabello-Pasini, A., Muñiz-Salazar, R y Ward, D. H., 2004. Caracterización bioquímica del pasto marino *Zostera marina* en el límite sur de su distribución en el Pacífico Norte. *Ciencias Marinas* 30 (1A):21-34.

- Chávez-de-Nishikawa, A. y Álvarez-Borrego, S., 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Cienc. Mar.*, 1(2): 31-62.
- Gorsline, D. S. and Stewart, R. A., 1962. Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín, Baja California, 1960-61. *Marine and quaternary geology. Pac. Nat.*, 2: 281-319.
- Farfán, B. C. and Álvarez-Borrego, S. 1983. Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of a coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 17: 599-612.
- Holm-Hansen, D., Lorenzen, C. J., Holmes, R. V. and Strickland, J. D. J. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Conseil International pour l'Exploitation de la Mer*, 30: 3-15.
- Lara-Lara, J. R., Álvarez-Borrego, S y Small, L. F., 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *J. Estuar. Coast. Mar. Sci.* 11: 613-637.
- Lara-Lara, J. R. y Álvarez-Borrego, S., 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. *Cienc. Mar.*, 2(1): 77-97.
- Lewis, E. L., 1980. The practical Salinity scale 1978 and its antecedents. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. Vol. OE-5, #1, Jan. 1980. p. 7.
- Martori-Oxamendi, J. I., 1989. Variabilidad de la circulación y sus causas en Bahía San Quintín, B. C. Tesis de maestría en ciencias, CICESE, Ensenada, 110 pp.
- Millán-Núñez, R., Álvarez-Borrego, S and Nelson, D. M., 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 15: 317-335.
- Ocampo-Torres, F. J., 1980. Análisis de mareas y predicción de velocidad mediante un modelo unidimensional en Bahía San Quintín, B. C. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 94 pp.
- Reed, A., Ward, D. H., Derksen, D. V. and Sedinger, J.S., 1998. Brant: *Branta bernicla*. *The Birds of North America*, 337: 1-32.
- Secretaría de Marina 2003. Atlas Nacional de Areas Sensibles. Dirección General de Investigación y Desarrollo. Secretaría de Marina.

Silva-Cota, S. y Álvarez-Borrego, S., 1988. The "El Niño" effect on the phytoplankton of a north-western Baja California coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 27 : 109-115.

Sorensen, J. 1993. Bermuda Atlantic Time-Series Study. BATS Method Manual Version 3. 77-80. U. S. Joint Global Ocean Flux Study.

Strickland J. D. H. and T. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 3th Ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

San-Guay B y Alvarez-Bonilla S. 1985. The "El Niño" effect on the
physiognomy of a north-western Baja California coastal lagoon. *Estuarine
Coastal Shelf Sci.* 21: 109-115.

Conner, L. 1993. Bermuda Atlantic Time-Series Study (BATS) Method Manual.
Version 3. 77-80. U.S. Joint Global Ocean Flux Study.

Stanford, J. D. H. and T. Parson. 1975. A practical handbook of seawater
analysis. *Sci. Ed. Fisheries Research Board of Canada*. Ottawa.

FIN DEL TRABAJO