

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DURANTE OTOÑO-INVIERNO EN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO

Verdugo-Díaz, G., M. O. Albáñez-Lucero & R. Cervantes Duarte

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-I.P.N), Laboratorio de Plancton y Ecología Marina, Apdo. Postal 592, Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S., México, C.P. 23096.
email: gverdugo@ipn.mx

RESUMEN. Se analizó la variabilidad de la productividad primaria en Bahía de La Paz, durante noviembre de 1997 y 2000, enero de 1998 y febrero de 2001. Se identificó Agua del Golfo de California en mayor proporción; Agua Superficial Ecuatorial y Agua Subsuperficial Subtropical. En noviembre de 1997 se registró el valor promedio máximo de temperatura (~ 27.62 °C) y en febrero el valor mínimo (~ 19.16 °C). El índice de Simpson (\bar{O}) indicó que durante noviembre de 1997 (~ 286.6 J m⁻³) la columna de agua presentó mayor estratificación, mientras que en noviembre de 1998 (~ 60.4 J m⁻³) y febrero de 2001 (~ 94.5 J m⁻³) se encontró mezclada. En noviembre de 1997 se registraron bajos valores de nitratos (~ 1.52 μ M), nitritos (~ 0.04 μ M) y clorofila a (~ 0.44 mg Cla m⁻³). En febrero de 2001 se registraron valores mayores de nitratos (~ 7.46 μ M), nitritos (~ 0.76 μ M) y clorofila a (~ 1.07 mg Cla m⁻³). La productividad primaria superficial e integrada presentaron sus promedios máximos en noviembre de 2000 (~ 5.09 mg C m⁻³ h⁻¹ y 75.54. mg m⁻² h⁻¹) y mínimos en noviembre de 1997 (~ 2.93 mg C m⁻³ h⁻¹ y ~ 55.29 mg m⁻² h⁻¹), respectivamente. De acuerdo a investigaciones anteriores, los valores reportados de productividad son característicos de la temporada fría de la bahía con excepción de noviembre de 1997, que presentó influencia de El Niño.

Palabras clave: Productividad primaria, fluorescencia natural, estratificación, zona eufótica, El Niño.

Primary productivity stimation during autumm-winter in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico

ABSTRACT. We analyzed the variability of primary productivity in Bahía de La Paz during November 1997 and 2000, January 1998 and February 2001. Water was identified in the Gulf of California in higher proportion; Surface Water and Water Subsuperficial Equatorial Subtropical. In November 1997 we saw the average maximum temperature (~ 27.62 °C) in February and the lowest value (~ 19.16 °C). The index of Simpson (\bar{O}) indicated that during November 1997 (~ 286.6 J m⁻³) column of water with greater stratification, while in November 1998 (~ 60.4 J m⁻³) and February 2001 (~ 94.5 J m⁻³) was mixed. In November 1997 there were low values of nitrate (~ 1.52 μ M), nitrites (~ 0.04 μ M) and chlorophyll a (Cla ~ 0.44 mg m⁻³). In February 2001, there were larger values of nitrate (~ 7.46 μ M), nitrites (~ 0.76 μ M) and chlorophyll a (Cla ~ 1.07 mg m⁻³). The primary productivity and integrated surface presented their highest averages in November 2000 (C ~ 5.09 mg m⁻³ h⁻¹ and 75.54. mg m⁻² h⁻¹) and minimum in November 1997 (C ~ 2.93 mg m⁻³ h⁻¹ and ~ 55.29 mg m⁻² h⁻¹), respectively. According to previous research, reported productivity values are characteristic of the cold season of the bay with exception of November 1997, which showed influence of El Niño.

Key words: Primary productivity, natural fluorescence, stratification, euphotic zone, El Niño.

Verdugo-Díaz, G., M. O. Albáñez-Lucero & R. Cervantes Duarte. 2008. Estimación de la productividad primaria durante otoño-invierno en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *CICIMAR Oceánides*, 23(1,2): 45-53.

INTRODUCCIÓN

La Bahía de La Paz es considerada un área importante de la zona noroeste del litoral mexicano, ya que en ella se realizan actividades de pesca, acuicultura y turístico-deportivas. Por ello en esta zona se han realizado estudios sobre especies de peces, moluscos y otros organismos de importancia comercial

(Urbán-Ramírez & Ramírez-Rodríguez, 1997). De manera colateral aunque en menor grado los trabajos de investigación básica referentes a la productividad primaria se han realizados mediante diversas técnicas, entre ellas la demanda bioquímica de oxígeno (Bustillos-Guzmán 1986; Bustillos-Guzmán & Olivares-González, 1986; Lechuga-Devéze *et al.*, 1986; Barreiro-Güemes *et al.*, 1993); fluo-

rescencia natural (Reyes-Salinas *et al.*, 2003; Cervantes-Duarte *et al.*, 2005); incorporación de carbono radiactivo (Verdugo-Díaz, 2004). Debido a que los estudios citados han sido realizados de manera puntual para zonas específicas de la bahía, o a que se restringen básicamente a meses del verano, consideramos importante generar el conocimiento sobre el comportamiento de la productividad primaria en los meses fríos. De igual manera esta investigación proveerá datos de promedios interanuales en los cuales se presentó una clara influencia del fenómeno "El Niño" (1997-1998), mismos que serán contrastados con los resultados obtenidos al no tener esta influencia (2000-2001).

La productividad primaria, al ser un proceso fisiológico se ve influenciada por las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la comunidad fitoplanctónica; de esta forma, los factores de primer orden que la afectan son la irradiancia y la concentración de nutrientes, mientras que en los factores de segundo orden se encuentra la temperatura (Platt & Sathyendranath, 1988). Estas variables interaccionan entre sí por lo que es importante estudiarlas en su conjunto. Al respecto, es importante conocer la penetración de la luz y por consiguiente la profundidad de la zona eufótica, ya que su posición en relación con la termoclina puede ser un factor importante para el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Bahía de La Paz se encuentra localizada en el litoral occidental del Golfo de California, entre los 24° 06' N y 24° 47' N y 108° 18' W y 110° 45' W. En ella se realizaron cuatro muestreos correspondientes a los meses de noviembre de 1997, enero de 1998, noviembre de 2000 y febrero de 2001 (Fig. 1). La ubicación geográfica de cada estación se determinó con GPS (Magellan NAV DX-10). Se realizaron mediciones de temperatura y salinidad en la columna de agua mediante un CTD (S4-InterOcean).

De igual forma, se realizaron perfiles verticales con un PNF-300, a fin de generar datos de fluorescencia natural, mismos que fueron

transformados a productividad primaria con base en las ecuaciones propuestas por Kiefer *et al.* (1989) y Chamberlain *et al.* (1990).

Donde:

F_c = Productividad primaria ($\text{nmol C m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)

$$F_c = \frac{K_{cf} F_f \frac{c}{f} \max}{K_{cf} E_o}$$

K_{cf} ($\text{mE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) = El valor de la irradiancia en el cual la razón entre las eficiencias cuánticas es igual a la mitad del máximo, (tomado como 189, valor reportado para el Pacífico Mexicano por García-Mendoza & Maske, 1996)

$(c/f) \max$ (átomos de carbono por fotón) = El valor máximo de la razón entre las eficiencias cuánticas (tomada como 1.9, valor reportado para el Pacífico Mexicano por García-Mendoza & Maske, 1996).

E_o (moles cuanta $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) = La radiancia escalar fotosintéticamente disponible (PAR; 400-700 nm).

F_f (moles cuanta $\text{m}^{-3} \text{ s}^{-1}$) = la tasa de fluorescencia natural y está definida como:

$$F_f = 4p (k + a_{Ff}) Lu$$

Donde:

$4p$ = una constante geométrica, utilizada para transformar la radiancia a volumen de emisión (str^{-1}).

k (m^{-1}) = El coeficiente de atenuación de luz difusa para E_o . El cual fue calculado de los perfiles verticales de la irradiancia escalar (PAR).

a_{Ff} (m^{-1}) = El coeficiente de absorción en la banda espectral de emisión de la fluorescencia (tomado como $a_{Ff} = 0.49 + 0.012 \text{ Cla}$, valores reportados para el Pacífico Mexicano por García-Mendoza & Maske, 1996).

Lu (moles cuanta $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ str}^{-1}$) = La radiancia ascendente.

Adicionalmente se tomaron muestras de agua de mar a tres diferentes porcentajes de la irradiancia superficial (100 %, 50 % y 1 %) determinados mediante el coeficiente de atenuación de la luz (K_d) y la profundidad del disco de Secchi (Brown *et al.*, 1989). De las muestras recolectadas se determinaron nutrientes inorgánicos (NO_3 y NO_2) y clorofila *a*, éstas últimas fueron previamente filtradas con una malla de 200 μm para eliminar organismos zooplanctónicos. La determinación de los



Figura 1. Área de estudio y red de estaciones (Noviembre de 1997: 1, 2, 3, 4, 7,9; enero de 1998: 4, 9, 10, 11; noviembre de 2000: 4, 5, 6, 9, 12, 13; febrero de 2001: 1, 6, 7, 8, 9, 13).

Figure 1. Study area and sampling station (November 1997: 1, 2, 3, 4, 7,9; January 1998: 4, 9, 10, 11; November 2000: 4, 5, 6, 9, 12, 13; February 2001: 1, 6, 7, 8, 9, 13).

iones nitrato se realizó según lo propuesto por Morris & Riley (1963) con las modificaciones sugeridas por Grasshoff *et al.* (1983), mientras que los nitritos se determinaron por el método descrito por Parsons *et al.* (1984). La determinación de la concentración de clorofila se llevó a cabo según Strickland & Parson, (1972). Con los datos obtenidos de temperatura, salinidad y sigma-t se calculó el índice de estratificación propuesto por Simpson & Hunter (1974). El resultado de este cálculo se define como la cantidad de energía mecánica requerida para producir mezcla vertical. Este índice toma valores de cero cuando la columna de agua se encuentra totalmente mezclada, incrementando sus valores conforme se incrementa la estratificación. La ecuación utilizada para realizar estos cálculos es la siguiente:

$$\varphi = \frac{1}{h} \int_0^h \bar{\rho} \rho g z dz \quad \varphi = \frac{1}{h} \int_0^h \rho dz$$

Donde:

ρ = Densidad del agua de mar.

$\bar{\rho}$ = Densidad promedio del agua de mar.

g = Aceleración debida a la gravedad (9.81 m s⁻²).

h = Profundidad (en este caso 100 m).

z = Coordenada vertical (ascendente y positiva).

RESULTADOS

Debido a la poca variabilidad espacial de la temperatura, se presenta el gráfico de los valores promedios (\pm desviación estándar) de esta variable para cada uno de los meses considerados. De esta forma tenemos que el máximo se registró durante noviembre de 1997 con un valor de 27.6 °C. En enero de 1998 y noviembre de 2000 se presentaron valores de 23.2 °C y 23.3 °C, respectivamente, mientras que en febrero de 2001 se presentó la menor temperatura superficial promedio con 19.2 °C. En relación con la salinidad superficial se observaron valores entre los 35.07 ups y 34.9 ups en noviembre de 1997 y enero de 1998. Estos valores aumentaron significativamente durante noviembre de 2000 y febrero de 2001 alcanzando valores de 35.2 ups y 35.3 ups (Fig. 2a). Con la finalidad de evidenciar la estratificación en la columna de agua (0 m a 100 m) se calculó el índice de estratificación de Simpson (Fig. 2b), registrándose una fuerte estratificación durante noviembre de 1997 (286 Jm⁻³). Se observó una clara disminución de este indicador para enero de 1998, noviembre de 2000 y febrero de 2001 (60 J m⁻³, 137 J m⁻³ y 95 J m⁻³), lo cual indica una mayor homogeneidad en la columna de agua.

Los perfiles de temperatura promedio para cada mes considerado dejan ver una termoclina menos profunda durante noviembre de 1997 (aproximadamente 40 m). Durante febrero de 1998 se registró la termoclina más profunda (85 m); noviembre de 2000 y febrero de 2001 presentaron termoclinas de profundidades similares (60 m) a pesar de que febrero fue más frío (Fig. 3a, 3b, 3c, 3d).

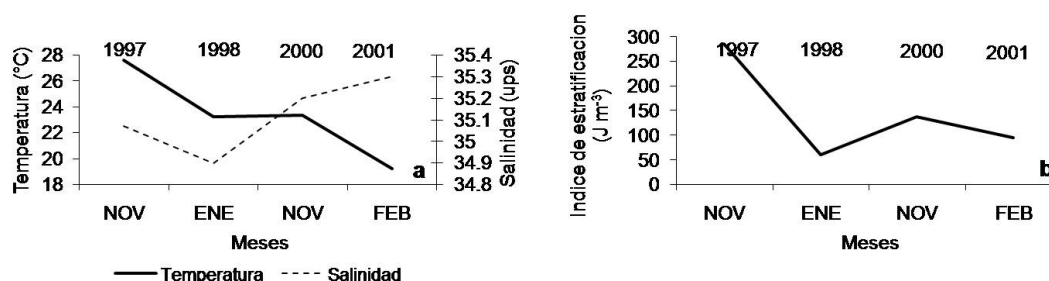


Figura 2. Temperatura y salinidad promedio (a) e Índice de estratificación (b) durante el periodo de estudio.

Figure 2. Average temperature and salinity (a), and stratification index (b) during the study period.

En cuanto a los perfiles de salinidad, se observó que el mes más homogéneo fue noviembre de 1997 (Fig. 4a) con valores que oscilaron entre los 35 ups y 35.2 ups. Los valores menores a 35 ups se registraron durante enero de 1998 (Fig. 4b) en profundidades menores a 60 m; a partir de esta profundidad se incrementaron alcanzando las 35.2 ups a 100 m aproximadamente. Noviembre de 2000 y febrero de 2001 presentaron un comportamiento similar con los valores máximos (35.4 ups). Algo particular en estos dos últimos meses fue la disminución en sus valores por debajo de la profundidad de la termoclina (Fig. 4c y 4d).

La distribución de los nitritos presentó sus valores más bajos en el nivel superficial sobre todo durante noviembre de 1997 y enero de 1998 donde no sobrepasaron lo 0.2 μM . Este último presentó las mayores diferencias entre los niveles considerados ya que en el límite de la zona eufótica su concentración fue ligeramente superior a 4 μM . Coincidiendo con las concentraciones en toda la zona eufótica presentes en noviembre de 2000. Febrero de

2001 presentó valores similares en los tres niveles, mismos que variaron entre 1.2 μM y 1.3 μM (Fig. 5a). Los nitratos presentaron de igual forma sus mínimos durante noviembre de 1997 en los tres niveles considerados (0.36 μM - 0.51 μM) su tendencia fue la de incrementar con el tiempo alcanzando valores de entre 4.4 μM y 5.5 μM . Dentro de los nitratos fue más evidente el registro de las mayores concentraciones a profundidades mayores (Fig. 5b).

La concentración de la clorofila en los tres niveles considerados fue similar y sus valores tendieron a incrementarse de noviembre de 1997 (0.36-0.41 mg m^{-3}) a febrero de 2001 donde se alcanzan valores entre 0.75 mg m^{-3} - 1.4 mg m^{-3} . No es clara alguna asociación de estos valores con la profundidad (Fig. 6).

Durante febrero de 2001 los perfiles de productividad primaria mostraron valores subsuperficiales máximos alcanzando 5.5 $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$. Se observó una disminución exponencial conforme incrementó la profundidad, sien-

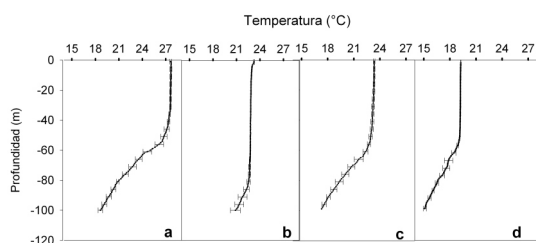


Figura 3. Perfiles de temperatura promedio \pm desviación estándar: noviembre de 1997 (a), enero de 1998 (b), noviembre de 2000 (c) y febrero de 2001 (d).

Figure 3. Average temperature profiles \pm standard deviation: November 1997 (a), January 1998 (b), November 2000 (c) and February 2001(d).

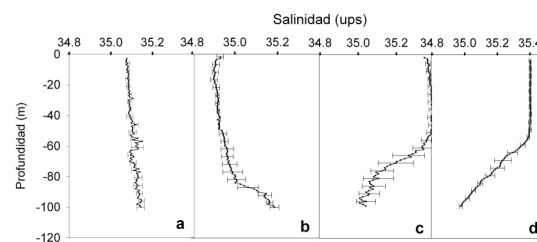


Figura 4. Perfiles de salinidad promedio \pm desviación estándar: noviembre de 1997 (a), enero de 1998 (b), noviembre de 2000 (c) y febrero de 2001 (d).

Figure 4. Average salinity profile \pm standard deviation: November 1997 (a), January 1998 (b), November 2000 (c) and February 2001(d).

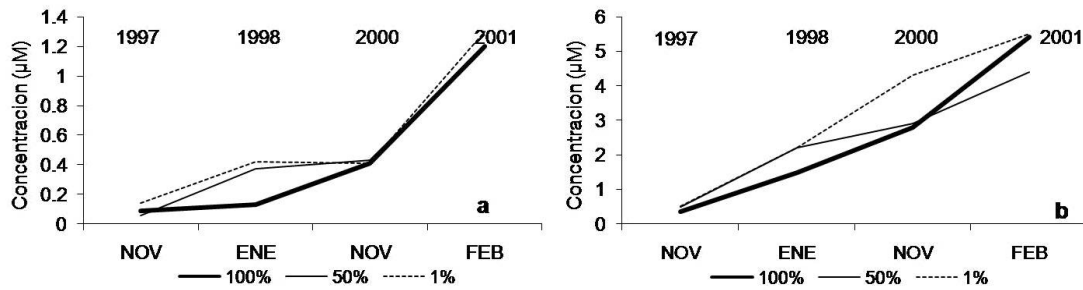


Figura 5. Distribución de los promedios de nitritos (a) y nitratos (b) durante el período de estudio.

Figure 5. Nitrite (a) and nitrate (b) average distribution during the study period.

do el nivel de 50 m aproximadamente donde los valores no son detectables. Noviembre de 1997 fue el mes que registró los menores valores siendo sus máximos de aproximadamente $2 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. Los máximos subsuperficiales registrados durante noviembre de 1997 y enero de 1998 se localizaron aproximadamente a 10 m de profundidad estando notoriamente por arriba de la capa de mezcla, particularmente en el último mes citado (Fig. 7a, 7b, 7c, 7d).

DISCUSIÓN

En noviembre de 1997 la temperatura presentó un valor promedio de $27.6 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo que en investigaciones anteriores ha sido reportado dentro del periodo frío, en el cual los valores son inferiores a los $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Verdugo-Díaz, 2004). Contrastando con la serie de temperatura que presenta De Silva-Dávila (1997) de 1989 a 1996, noviembre de 1997 y enero de 1998, presentaron valores aproximadamente $3 \text{ }^\circ\text{C}$ más elevados, lo cual puede ser

evidencia del efecto de El Niño, dado que este fenómeno y su influencia sobre la temperatura ha sido reportado en zonas aledañas por investigadores como Valdez-Holguín & Lara-Lara, (1987) y puede manifestarse dentro de la Bahía de La Paz, dado el fuerte intercambio de la parte sur del Golfo de California con esta bahía (Monreal-Gómez *et al.*, 2001; Sánchez-Velasco *et al.*, 2006). En cuanto al mínimo registrado en febrero es coincidente con valores característicos del período frío citado por los anteriores autores y por De Silva-Dávila & Palomares-García, (2002), lo cual deja evidencia de que se trata de un mes no influenciado por El Niño. Aunado a las altas temperaturas registradas en noviembre de 1997 se registró el máximo del índice de Simpson (286 J m^{-3}) lo cual infiere una columna de agua fuertemente estratificada, característica también coincidente de los meses cálidos de esta zona. En la distribución vertical de temperatura, noviembre de 1997 presentó una termoclina somera (35 m aprox.) similar a las profundidades reportadas para el período cálido o de

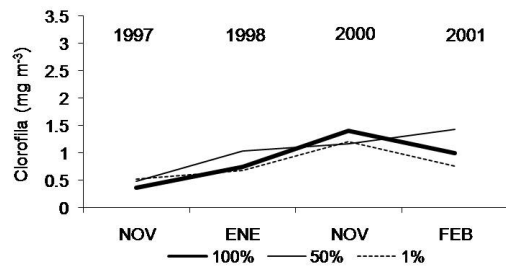


Figura 6. Distribución de los promedios de clorofila a durante el período de estudio.

Figure 6. Chlorophyll average distribution during the study period.

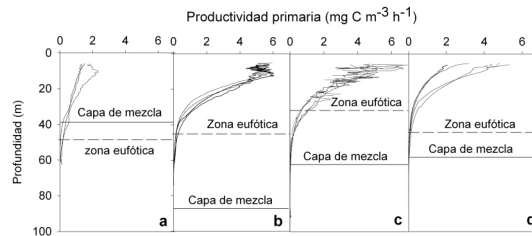


Figura 7. Perfiles de productividad primaria promedio \pm desviación estándar: noviembre de 1997 (a), enero de 1998 (b), noviembre de 2000 (c) y febrero de 2001 (d).

Figure 7. Average primary productivity profile \pm standard deviation: November 1997 (a), January 1998 (b), November 2000 (c) and February 2001 (d).

transición (Reyes-Salinas, 1999; Obeso-Nieblas, 2002), contrario a lo observado durante noviembre de 2000, el cual no estuvo bajo condiciones de El Niño y presentó una termoclina de mayor profundidad (60 m típica del período frío), según lo reportado por Verdugo-Díaz (2004). Estas condiciones observadas durante 1997 pueden ser una evidencia de la extensión del período cálido como respuesta a los efectos oceanográficos de El Niño. Así mismo, en noviembre de 1997 no se observó haloclina; Obeso-Nieblas (2002) reportó la ausencia de haloclina, durante marzo de 1998, asociada a la influencia de El Niño. Los valores promedio de nitratos y nitritos superficiales registraron las concentraciones menores en noviembre de 1997 ($<1 \mu\text{M}$). Éstas no necesariamente son un factor limitante para el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica dado que se ha observado que existe una adaptación de las células a condiciones semejantes e incluso de oligotrofia, sobretodo cuando el nanofitoplancton es la fracción dominante (Valiela, 1995). Al respecto, Valdéz-Holguín & Lara-Lara (1987) registraron un incremento en la productividad primaria debido a la proliferación de células de pequeño tamaño características de agua pobres en nutrientes y/o afectadas por El Niño. Al respecto, Terran *et al.* (2001) registraron la fracción nanofitoplanctónica como proporción mayoritaria de la biomasa fitoplanctónica y principal responsable de la productividad primaria de la mayoría de las comunidades del ambiente marino. Esta comunidad podría ser importante durante febrero de 1998 cuando se registraron condiciones que evidencian la presencia de El Niño, más sin embargo, los valores de productividad primaria son significativamente superiores a los registrados durante noviembre de 1997. La competencia interespecífica por un nutriente en particular es baja, dado que las distintas microalgas tienen requerimientos nutricionales diferenciales (Margalef, 1978). De igual manera, las microalgas presentan cierta flexibilidad fisiológica que les permiten el crecimiento siempre y cuando no se superen los límites de tolerancia (Grime, 1979). En relación con las mayores concentraciones de nutrientes (nitratos), éstas fueron observadas durante febrero de 2001 ($6 \mu\text{M}$ aprox.), mismas que pudieron favorecer el in-

cremento de la productividad primaria al haber una posible proliferación de la fracción microfitoplanctónica que requiere mayores concentraciones de nutrientes para su crecimiento (Reynolds, 1987).

En comparación con los registros de Reyes-Salinas (1999), que reporta valores promedio de $3.71 \mu\text{M}$ para nitratos en marzo y de $0.19 \mu\text{M}$ para nitritos, en noviembre de 1997 observamos características típicas del verano (período cálido); en cambio, febrero de 2001, presentó valores mayores afines a la temporada fría. Verdugo-Díaz (2004) reportó un aporte de nutrientes hacia la zona eufótica durante los meses fríos y un comportamiento estacional en que los mínimos se registraron durante el verano y los máximos en invierno.

La variabilidad de la clorofila *a* mostró un valor promedio mínimo superficial durante noviembre de 1997 de $0.36 \text{ mg Cl a m}^{-3}$, mientras que el máximo se registró en noviembre de 2000 y en febrero de 2001 con $1.4 \text{ mg Cl a m}^{-3}$. De acuerdo con estas observaciones, los datos registrados durante noviembre de 1997 se asocian con los de primavera-verano según lo reportado por Reyes-Salinas (1999) y Martínez-López *et al.* (2001). En la Bahía de La Paz, Reyes-Salinas (1999) reportó valores máximos superficiales de clorofila *a* en marzo, mientras que Martínez-López *et al.* (2001) los registraron durante abril de cada año (desde abril de 1993 a marzo de 1995). Estos valores describen el patrón general estacional de la clorofila *a*, cuyas máximas concentraciones se presentan generalmente de febrero a abril, disminuyendo sus valores de junio a noviembre, para volver a incrementarse gradualmente hasta que de nuevo se presentan los máximos de primavera. Los valores registrados en este estudio caen dentro de este comportamiento. No se registraron picos subsuperficiales de clorofila *a*, sino que la estructura vertical fue homogénea en todos los meses desde la superficie hasta los 75 m. Contrario a lo reportado por Verdugo-Díaz (2004) quien asoció la formación de una termoclina superficial con el pico subsuperficial de máxima clorofila *a*; en esta investigación no se evidenció la influencia de la termoclina sobre una acumulación de partículas fotosintéticas que pudieran provocar el incremento subsuperficial de clorofila *a*.

Esto puede estar asociado con la migración vertical que pueden presentar algunos fitoplanctontes a lo largo de la columna de agua (Smayda, 1980).

En la distribución vertical de productividad primaria se registró un pico subsuperficial durante noviembre de 1997, que bien puede estar asociado a la fracción nanofitoplanctónica dado que además de ser uno de los meses con valores de nutrientes menores, se trata del más cálido, situación que puede favorecer el desarrollo de esta comunidad, ya que se ha observado que conforme incrementa la temperatura del medio las fracciones pico y nanofitoplanctónicas responden con mayores valores en su biomasa y/o productividad primaria (Pan *et al.*, 2005). Los mayores valores registrados en enero de 1998 son valores propios de otoño invierno asociados al cambio de las condiciones meteorológicas y fisicoquímicas en la bahía. Los meses de noviembre de 2000 y febrero de 2001, presentaron valores de productividad similares a los observados durante enero de 1998, sin embargo la estructura más homogénea de la columna de agua pudo influir para que esta variable no presentara incrementos subsuperficiales, coincidiendo con los registros para meses fríos reportados para esta misma zona (Verdugo-Díaz, 2004). De igual manera, la homogeneidad de la columna de agua puede ocasionar que la capa de mezcla sea más profunda que la zona eufótica, formando una barrera de densidad que impide el aporte de nutrientes hacia el límite inferior de la zona iluminada (Sverdrup, 1953), situación que puede promover una disminución en la productividad primaria, ya que la tasa fotosintética está estrechamente relacionada con el aporte de nutrientes de aguas profundas (Sverdrup, 1955). Al respecto, Udaya Bhaskar *et al.* (2007) reportan a esta capa como responsable o reguladora de las proliferaciones algales en la zona eufótica, además de su importancia particular en estudios de la interdependencia océano atmósfera. Sin embargo, esta barrera puede romperse mediante el fenómeno físico de surgencias (Valiela, 1995) o divergencia, que a pesar de no haber sido detectado en esta investigación es un evento que potencialmente pudo favorecer el incremento en la productividad primaria durante los

meses de enero de 1998 y noviembre de 2000. La menor estratificación observada a partir de 1998 puede ser un factor importante en el incremento en la concentración de clorofila y de la productividad primaria, dado que observaciones similares se han reportado en el Golfo de California en donde la estratificación moderada se asocia al incremento en estas variables (Gaxiola-Castro *et al.*, 1995).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional el financiamiento del presente trabajo a través del proyecto de investigación CGPI-990446. Los autores son becarios COFAA y/o EDI por lo cual se agradece de igual manera este apoyo.

REFERENCIAS

- Barreiro-Güemes, M. T., C. H. Lechuga-Devéze & J.J. Bustillos-Guzmán. 1993. Variabilidad diurna de la producción primaria en la boca de la ensenada de La Paz, B. C. S. *Hidrobiológica*, 3(1-2):17-27.
- Brown, J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rhothey & J. Wrigth., 1989. Light and sound in seawater. *En*: Bearman, G. (De) *Seawater: its composition, properties and behavior*, 165 pp.
- Bustillos-Guzmán, J.J. 1986. Fitoplancton en tres ecosistemas de manglar en la Bahía de La Paz, B. C. S. (México). I. Diatomeas. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol. UNAM*, 13(3): 301-306.
- Bustillos-Guzmán, J.J. & E. Olivares-González. 1986. Fitoplancton en tres ecosistemas del manglar de la bahía de La Paz, B. C. S. México II. Producción primaria bruta neta y respiración. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol. UNAM*, 13(3):307-312.
- Cervantes-Duarte, R., G. Verdugo-Díaz & J.E. Valdéz-Holguín. 2005. Modelo estacional de producción primaria estimada mediante fluorescencia natural en una región costera del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 15(1): 79-87.
- Chamberlain, W. S., C. R. Booth, D.A., Kiefer, J. H. Morrow & R. C., Murphy. 1990. Evi-

- dence for a simple relationship between natural fluorescence, photosynthesis and chlorophyll in the sea. *Deep Sea Research*, 37(6):951-973.
- De Silva-Dávila, R. 1997. *Abundancia y distribución de los eufásidos y producción larvaria de Nyctiphanes simplex (Hasne), en la Bahía de La Paz, B. C. S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 112 pp.
- De Silva-Dávila, R. & J.R. Palomares-García., 2002. Distributional pattern of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Contributions to the study of east Pacific crustaceans*, 1: 109-125.
- García-Mendoza, E., & H. Maske. 1996. The relationship of solar-stimulated natural fluorescence and primary productivity in Mexican Pacific waters. *Limn. Oceanogr.*, 41: 1697-1710.
- Gaxiola-Castro, G., J. García-Córdova, J.E. Valdéz-Holguín & M. Botello-Ruvalcaba. 1995. Spatial distribution of Chlorophyll *a* and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Continental Shelf Res.*, 15: 1043-1059.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Editorial Verlag Chemie, 418 pp.
- Grime, J. P. 1979. Competition and the struggle for existence, 123–139. *En*: R.M. Anderson, B.D. Turner & LR Taylor (eds) *Population dynamics*, Proc. 20th Symp. B.E.S. Blackwell Scientific Publications Oxford.
- Kiefer, D. A., N. S. Chamberlin & C. R. Booth. 1989. Natural fluorescence of chlorophyll *a*: Relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the western south Pacific gyre. *Limnol Oceanogr.*, 35(5): 808-884
- Lechuga-Deveze, C. H., J.. García-Pámanes & J.J. Bustillos-Guzman. 1986. Condiciones ecológicas de una laguna costera de la costa oeste del Golfo de California, turbiedad y clorofila *a*. *Cienc. Mar.*, 12(1):19-31.
- Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta*, 1:493-509.
- 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. *Hydrobiológica*, 11(1): 45-52.
- Monreal-Gómez, M.A., A. Molina-Cruz & D.A. Salas-de León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Tour. Mar. Syst.*, 30: 305–315.
- Morris, A.W. & J. P. Riley., 1963. The determination of nitrate in sea water. *Anal. Chem. Acta*, 29: 272-279.
- Obeso Nieblas, M. No publicado. *Caracterización de las condiciones oceanográficas de la Bahía de La Paz, B. C. S., México*. Exámen predoctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 2002, 94 pp.
- Pan, L.A., Zhang, L.H. & Zhang, J. 2005. On board flow cytometric observation of picoplankton community structure in the East China sea during the fall of different years. *FEMSMicrobiol. Ecol.*, 52: 243-253.
- Parsons, T.R., Takahashi & B. Hargrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. 3rd edition. Pergamon Press, 330 pp.
- Platt, T. & S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science*, 241: 1613-1620.
- Reyes Salinas, A. 1999. *Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B. C. S.* Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 122 pp.

- Reyes-Salinas, A., R. Cervantes-Duarte, R. A. Morales-Pérez & J.E. Valdez-Holguín. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B. C. S. *Hidrobiológica*, 13(2): 103-110.
- Reynolds, C. S. 1987. The response of phytoplankton communities to changing light environments. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 49:220-236.
- Sánchez-Velasco, L., E. Beier, C. Ávalos-García & M.F. Lavín. 2006. Larval fish assemblages and geostrophic circulation in Bahía de La Paz and the surrounding southwestern region of the Gulf of California. *Journ. Plank. Res.*, 28(II) 1-18.
- Simpson, J. H., D. G. Hughes & N.C.G. Morris. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf, 327-340. *En: Angel, M. (ed) A Voyage to Discovery. Deep. Sea. Res. (suppl).*
- Simpson, J.H. & J.R. Hunter., 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, 404-406.
- Smayda, T. J. 1980. Phytoplankton species successions. The physiological Ecology of phytoplankton (Ed. I. Morris). *Stud. Ecol.*, 7: 493-570.
- Strickland J. D. H. & T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167 (2ª edición). *Fish. Res. Bd. of Canadá.*
- Sverdrup, H. U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18:287-295.
- Sverdrup, H. U. 1955. The place physical oceanography in oceanographic research. *J. Mar. Res.*, 14, 287-294.
- Terran, G.A., Zubkov, M.V. & Sleight, M.A. 2001. Microbial community structure and standing stocks in the NE Atlantic in June and July of 1996. *Deep Sea Res. II*, 448: 963-985.
- Udaya-Bhaskar, T.V.S., D. Swain & M. Ravichandran. 2007. Mixed layer variability in northern Arabian Sea as detected by an Argo Float. *Ocean. Sci. J.*, 42(4): 241-246.
- Urbán-Ramírez, J.M. & M. Ramírez-Rodríguez. 1997. *La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación*. UABCS CICIMAR SCRIPPS, 151-161.
- Valdez-Holguín, J.E. & J.R. Lara-Lara. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California. Efectos del evento "El Niño" 1982-1983. *Cienc. Mar.*, 13(2): 34- 50.
- Valiela, I. 1995. *Marine ecological processes*. Springer-Verlag. N.Y., E.U.A., 546 pp.
- Verdugo-Díaz, G. 2004. *Respuesta ecofisiológica del fitoplancton ante la variabilidad ambiental en una bahía subtropical de Baja California Sur, México*. Tesis de doctorado. Centro Intesdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 138 pp.