CICIMAR Oceánides
ISSN 2448-9123
https://oceanides.ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
https://doi.org/10.37543/oceanides.v25i2.87

Vol. 25 No. 2
Julio - Diciembre
2010

CICLO ESTACIONAL DE NUTRIENTES, TEMPERATURA, SALINIDAD Y CLOROFILA *a* EN BAHÍA MAGDALENA, BCS, MÉXICO (2006-2007)

Cervantes-Duarte R.[1], S. López-López[1], E. González-Rodríguez[2] & S. Futema-Jiménez[1]

[1]Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, CICIMAR-IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional, s/n Col. Playa Palo de Santa Rita, A.P. 592. La Paz, BCS, México. C.P. 23096. [2]Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE Unidad La Paz. Calle Miraflores #334, Fraccionamiento Bella Vista, C.P. 23050. La Paz, BCS, México. email: rcervan@ipn.mx.

RESUMEN: Durante el periodo de febrero de 2006 a diciembre de 2007 se midieron en la superficie del mar de 14 estaciones de muestreo en Bahía Magdalena (Baja California Sur, México), con una frecuencia bimestral y bajo condiciones de mareas vivas, las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID): nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), amonio (NH_4), fosfato (PO_4), temperatura (T), salinidad (S) y concentración de clorofila *a* (Cl*a*). La relación T-S mostró que las aguas más frías y menos salinas generalmente se encuentran en regiones con profundidades > 10 m asociadas a las aguas provenientes de la plataforma continental y las aguas más cálidas y salinas se localizan en la zona de canales donde prevalecen condiciones con características antiestuarinas. La asociación de T *vs.* NO_2+NO_3 mostró un patrón similar al detectado en zonas de divergencia de California y Baja California. La composición del NID mostró que la concentración de nitritos es baja durante todo el año, mientras que los nitratos y el amonio son las especies químicas dominantes. La relación NID *vs.* PO_4 mostró que la utilización de nutrientes en Bahía Magdalena N/P fue en la mayoría de los casos menor a la razón propuesta para aguas oceánicas. Se proponen dos épocas que mejoran la comprensión de la ecología del fitoplancton de la bahía. Una época fría en la que se desarrollan especies con mayores requerimientos de nutrientes, particularmente nitratos y fosfatos, menor temperatura y posiblemente limitadas por una zona eufótica más somera. En cambio, las especies con requerimientos menores de nutrientes o con oportunidad de aprovechar fuentes esporádicas de amonio, temperatura cálida y una zona eufótica más profunda, podrán desarrollarse en la época cálida. Los resultados obtenidos en este estudio muestran un avance en el conocimiento de algunos factores ambientales que determinan la alta productividad en Bahía Magdalena.

Palabras claves: Nutrientes inorgánicos disueltos, clorofila *a*, temperatura, salinidad, laguna costera.

Seasonal cycle of nutrients, temperature, salinity and chlorophyll *a* in Bahía Magdalena, BCS, Mexico (2006-2007)

ABSTRACT: From February 2006 to December 2007, 14 oceanographic stations located in the Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico, were sampled every two months exclusively during spring tides. Surface concentration of dissolved inorganic nitrogen (DIN): nitrite (NO_2), nitrate (NO_3), and ammonia (NH_4), phosphate (PO_4), temperature (T), salinity (S) and chlorophyll *a* (Chl*a*) were determined. The TS diagram showed that colder waters with lower salinity generally were located in regions with depth > 10 m where water from the continental shelf penetrates into the bay, while warmer and more saline waters were located in the "Zona de Canales" region, which has more estuarine characteristics. The T *vs.* (NO_2+NO_3) analysis showed a similar pattern to those reported for upwelling areas off the coast of California and Baja California. The nitrite concentration in the area is considerably low throughout the year, while nitrates and ammonium were the dominant chemical species. The DIN *vs.* PO_4 (N/P) ratio showed that nutrient uptake in Bahía Magdalena was 6.7/1, which is about half of the ratio known for oceanic waters. Our results show that there are two separate seawater conditions in the bay. During the cold season there is a growth of species with a higher requirement for nutrients, especially nitrates and phosphates, associated to low temperatures and a shallow euphotic zone. On the other hand, opportunistic species or species with a lower nutrient demand associated with warmer water and a deeper euphotic zone, grow during the warmer season. The results from this study give insight into the factors controlling primary production in Bahía Magdalena.

Keywords: Dissolved inorganic nutrients, chlorophyll *a*, temperature, salinity, coastal lagoon.

Cervantes-Duarte R., S. López-López, E. González-Rodríguez & S. Futema-Jiménez. 2010. Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila *a* en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 111-120.

INTRODUCCIÓN

Bahía Magdalena (BM) es parte de un complejo lagunar que incluye en el sur a Bahía Almejas y en el norte una estrecha zona de canales, ubicado en el Pacífico Nororiental que por su posición latitudinal es considerada como un área de transición templado-tropical. Por su ubicación geográfica y la explotación de sus recursos ha propiciado un gran interés para su estudio (Hinojosa-Medina *et al*., 2007). Este es uno de los ecosistemas marinos de mayor diversidad biológica, productividad, actividad económica y pesquera del estado de Baja Cali-

Fecha de recepción: 16 de marzo de 2010

Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2010

fornia Sur y designada en 1998 como la región marina prioritaria número 4 por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (http://www.conabio.gob.mx/) y en 1996-97 fue designada como área de conservación de aves (AICA) (http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html).

En las costas de California y Baja California, las surgencias costeras causadas por el forzamiento de los vientos predominantes del Noroeste en la superficie del mar y el efecto de Coriolis propician el desplazamiento de las aguas costeras superficiales fuera de la costa y son reemplazadas por aguas subsuperficiales ricas en nutrientes que propician altas concentraciones de fitoplancton y consecuentemente la transmisión de energía a niveles tróficos superiores. A lo largo de la zona nerítica adyacente a la bahía y a la parte oceánica habitan especies de afinidad templado-tropical con una dinámica espacio-temporal que responde principalmente al Sistema de la Corriente de California. Esta presenta una gran influencia de la Corriente de California con un flujo predominantemente hacia el ecuador y la Corriente Tropical Norecuatorial con flujo hacia el polo (Hickey, 1979; Lynn & Simpson, 1987; Moser *et al*., 1987). El ciclo estacional de las corrientes geostróficas en la región superficial frente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas en 2006 mostró que en, enero-marzo y abril-junio, los flujos principales de las corrientes se encuentran más alejados de la costa cuando se dirigen hacia el sureste, en comparación a lo observado en julio-septiembre y octubre-diciembre cuando su dirección es principalmente al noroeste (Zaitsev *et al*., 2007). Los estudios oceanográficos en Bahía Magdalena sugieren que este es un sistema de alta productividad primaria, con aporte de nutrientes externos que ingresan a la bahía por las corrientes de marea (Guerrero *et al*., 1988; Zaitsev *et al*., 2003; 2007; Gómez-Gutiérrez & Robinson, 2006). Sin embargo, esto aún no ha sido explícitamente estimado para el ciclo de variación espacio temporal de nutrientes inorgánicos disueltos (Funes *et al*., 2007). Los antecedentes indican una alta variabilidad espacial y temporal pero no muestran patrones estacionales con claridad (Álvarez-Borrego *et al*., 1975; Zaitsev *et al*., 2003; Cervantes-Duarte *et al*., 2007). Es evidente la necesidad de un estudio estacional sobre la concentración de nutrientes asociados a otras variables hidrológicas para intentar explicar los ciclos de productividad de la bahía. El objetivo de este estudio es mostrar la variabilidad estacional de los nutrientes inorgánicos disueltos, temperatura, salinidad y concentración de clorofila *a* en Bahía Magdalena para comprender cómo la variabilidad ambiental puede influenciar a los organismos autotróficos de la bahía y a sus potenciales depredadores en el nivel trófico secundario.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos bimestrales durante el periodo de febrero de 2006 a diciembre de 2007, exclusivamente durante periodos de mareas vivas (http://oceanografia.cicese.mx/predmar), cuando se presentan las mayores

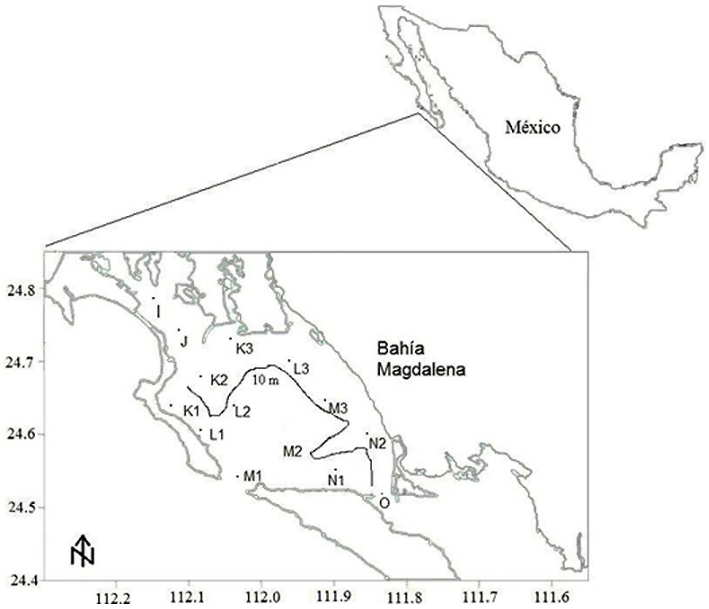

Figura 1.Red de estaciones de muestreo, indicando la isobata de 10 m.
Figure 1. Sampling grid of oceanographic stations showing the 10 m depth isobath

velocidades de corriente en la boca y ocurre la mayor tasa de recambio de agua en la bahía (Sánchez-Montante *et al*., 2007; Robinson *et al*., 2007). Las mediciones y muestreos se realizaron en una red de 14 estaciones (Fig. 1) que han sido monitoreadas por diferentes grupos de investigación del CICIMAR-IPN, enfocados al estudio del plancton desde 1981 (Lluch-Belda *et al*., 2000), aunque con escasa información hidrológica, especialmente datos de nutrientes y concentración de clorofila *a* (Hinojosa-Medina *et al.,* 2007). Siguiendo el criterio de clasificación de ambientes en Bahía Magdalena propuesto por Cervantes *et al*. (2007), las estaciones de muestreo se dividieron en estaciones: 1) someras (<10m); 2) profundas (>10m) y 3) las estaciones ubicadas en la zona de canales de comunicación con la zona Noroeste (I, J) y la Suroeste (O) (Fig. 1). El muestreo de superficie se realizó a un metro de profundidad, utilizando una botella Niskin de 5L; el agua se colocaba en botellas de 2L y se ubicaban en una hielera hasta el momento de su filtración; se utilizaron filtros de fibra de vidrio GF/F de 25mm; posteriormente se colocaron en botellas de plástico para su congelación a -50°C hasta su análisis en laboratorio. Las técnicas utilizadas en la determinación de amonio (Solórzano, 1969), nitrato y nitrito (Bendchsneider & Robinson, 1952) y fosfato (Murphy & Riley, 1962) son las descritas por Strickland y Parsons (1972). La precisión de las mediciones fue de 0.5µM para nitrato, 0.05µM para amonio y 0.03µM para nitrito y fosfato. Las especies de nitrógeno inorgánico disuelto, nitrito, nitrato y amonio se denominaron de manera generalizada como Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID). Para la determinación de clorofila *a* se filtró aproximadamente un litro de agua de mar, a través de un filtro GF/F de 25mm de diámetro. Para la extracción de los pigmentos se utilizaron 10ml de acetona al 90% por un período de 24 horas, manteniendo la muestra en la obscuridad y a 4°C (Venrick & Haywart, 1984), para los cálculos se usaron las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975). En cada estación se midió temperatura y salinidad en la columna de agua utilizando un CTD SeaBird 19 plus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura superficial del mar (TSM)

La TSM presentó en los dos años de muestreo un ciclo estacional con valores mínimos en abril de ambos años, 2006 y 2007 (17.0 ± 2.4 y 18.0 ± 1.1ºC) y máximos en agosto (27.8 ± 1.3 y 23.3 ± 1.8ºC) (Fig. 2). Las estaciones de muestreo ubicadas a profundidades >10m generalmente presentaron temperaturas menores respecto a aquellas estaciones ubicadas en localidades <10m de profundidad; con excepción de las estaciones L1 y K1, muestreadas en junio de 2006, con profundidad > 10m, que presentaron las mayores temperaturas del muestreo debido posiblemente a la influencia de aguas cálidas del litoral de Isla Magdalena transportadas por los procesos advectivos (Fig. 2).

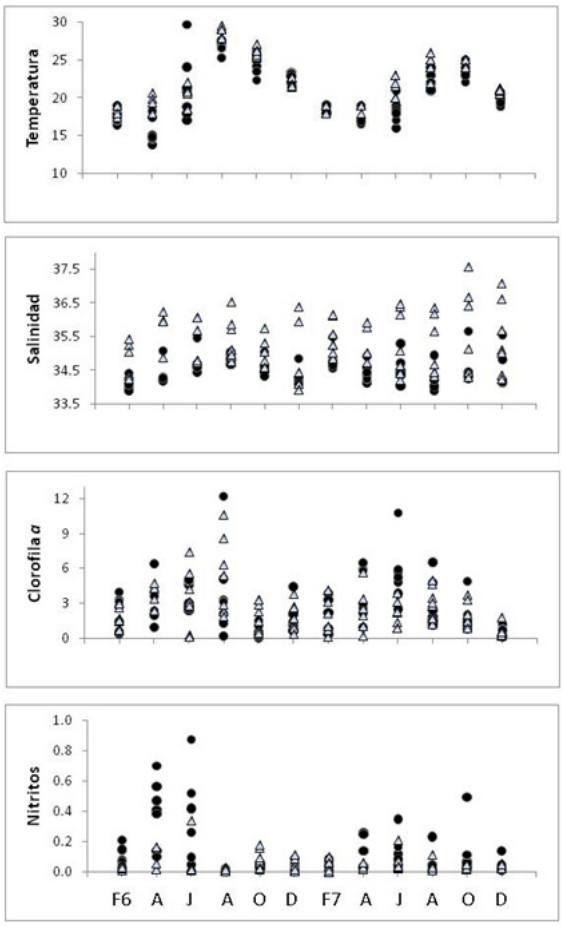

Figura 2. Variabilidad bimestral de temperatura (°C), salinidad (UPS), clorofila *a* (mg m^{-3}) y nitritos (µM) en el periodo de febrero de 2006 a diciembre de 2007. Las letras en las abscisas indican el mes y el número el año, (F6) febrero del 2006, (F7) febrero del 2007, (A) abril, (J) junio, (A) agosto, (O) octubre, (D) diciembre. Los triángulos corresponden a las estaciones <10m y los círculos a las estaciones >10m.
Figure 2. Bimonthly variability of temperature (°C), salinity (PSU), chlorophyll *a* (mg m^{-3}) and nitrite (µM) during February 2006 to December 2007. Letters and numbers on abscises indicates respectively month and year, (F6) February 2006, (F7) febrero del 2007, (A) April, (J) June, (A) August, (O) October, (D) December. Triangles and circles correspond to sampling stations <10m and >10m, respectively.

Salinidad

La salinidad superficial en el periodo de estudio presentó, a diferencia de la temperatura, mayor variabilidad en cada muestreo y un cambio estacional menos pronunciado (Fig.

2), mostró un intervalo de variación de 33.6 a 37.5, típico de ambientes estuarinos carentes de aportes de agua dulce y con amplias zonas de evaporación. Generalmente, las mayores salinidades se presentaron en las estaciones con profundidades < 10m, donde existe mayor tasa de evaporación y menor velocidad de corrientes, respecto a las estaciones > 10m, especialmente las ubicadas cerca de la boca (M1 y M2), las cuales consistentemente presentaron menores salinidades por la influencia de aguas provenientes de la plataforma continental (Fig. 2).

Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* superficial en el periodo de 2006 a 2007 presentó un patrón estacional (Fig. 2). En agosto de 2006 y junio de 2007, se presentaron las máximas concentraciones promedio de clorofila *a* y desviación estándar (4.7 ± 3.6mg m^{-3} y 3.8 ± 2.60mg m^{-3}, respectivamente) y las mínimas en febrero de 2006 (2.0 ± 1.2mg m^{-3}) y diciembre de 2007 (0.6 ± 0.5 mg m^{-3}), lo que muestra la magnitud y variabilidad en los meses cálidos con respecto a los fríos (Fig. 2).

Nitrito

La concentración de nitrito superficial presentó un intervalo de variación, desde no detectado (ND) hasta 0.9µM (Fig. 2). Las mayores concentraciones se registraron en los meses de abril y junio de 2006, especialmente en las estaciones con profundidades >10m (Fig. 2). El incremento relativo en la concentración de este nutriente en una localidad en particular puede ser indicativo de un proceso de nitrificación en la zona.

Nitrato

El nitrato superficial, mostró un patrón de variación similar al nitrito aunque, a diferencia de éste, presentó un mayor intervalo de variación, desde ND hasta 19.8 µM (Fig. 3). Las mayores concentraciones se observaron en las estaciones con profundidades >10m, es decir, aquellas que están más cercanas a la plataforma continental y en los meses de febrero, abril y junio de 2006 y 2007, en los cuales se registraron las menores temperaturas del estudio, probablemente asociadas a los procesos de divergencia costeros ó mezcla vertical en las zonas de mayor gradiente batimétrico (Fig. 3).

Fosfato

La concentración de fosfato en el periodo de estudio presentó un patrón similar al de nitritos y nitratos, con un intervalo de variación de 0.30 a 2.49 µM (Fig. 3). Las mayores concentraciones se registraron en los meses de abril y junio de 2006 y 2007, principalmente en las estaciones con profundidades >10m, asociadas con las menores temperatura y las mayores concentraciones de nitritos y nitratos (Fig. 3).

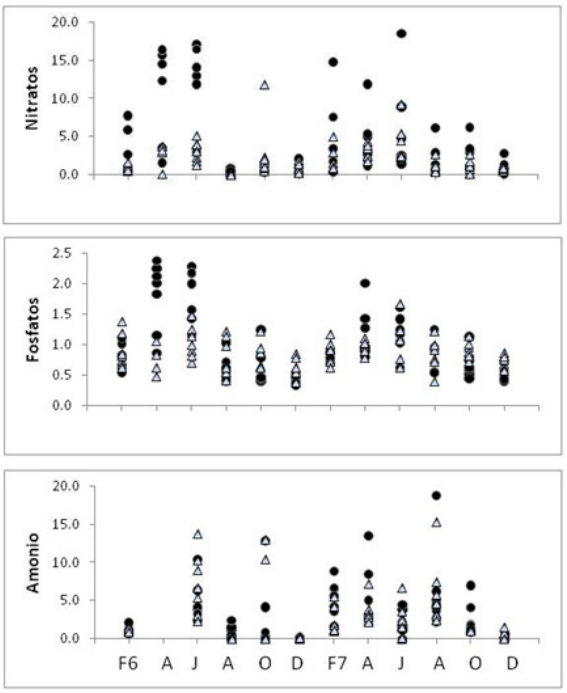

Figura 3. Variabilidad bimestral de nitratos, fosfatos y amonio (µM) en el periodo de febrero de 2006 a diciembre de 2007. Las letras en las abscisas indican el mes y el número el año, (F6) febrero del 2006, (F7) febrero del 20067(A) abril, (J) junio, (A) agosto, (O) octubre, (D) diciembre. Los triángulos corresponden a las estaciones <10m y los círculos a las estaciones >10m.
Figure 3. Bimonthly variability of nitrate, phosphate, and ammonium (µM) during February 2006 to December 2007. Letters and numbers on abscises indicates respectively month and year, (F6) February 2006, (F7) February 2007 (A) April, (J) June, (A) August, (O) October, (D) December. Triangles and circles correspond to sampling stations <10m and >10m, respectively.

Amonio

La concentración de amonio presentó un intervalo amplio de variación, desde ND hasta 19.85 µM, similar al registrado para nitratos (Fig. 3). Las concentraciones más bajas y con menos variabilidad en el área de estudio se presentaron en los meses de febrero, agosto y diciembre de 2006 y diciembre de 2007 (Fig. 3). A diferencia de nitrito, nitrato y fosfato no se observó un gradiente de concentración respecto a la profundidad de la estación de muestreo (Fig. 3). La contribución relativa de amonio al nitrógeno inorgánico total es alta y cuando disminuye puede ser un factor limitante para la productividad primaria en la zona.

Los estudios hidrológicos en Bahía Magdalena han mostrado que la temperatura superficial presenta un pronunciado cambio estacional (Lluch-Belda *et al.,* 2000; Sánchez-Montante *et al*., 2007). Otras características físicas y químicas, cuyos niveles de variabilidad estacional han sido menos estudiados y la magnitud de sus cambios estacionales son a veces desconocidos (Álvarez-Borrego *et al.,* 1975; Acosta-Ruíz & Lara-Lara, 1978; Guerrero *et al*., 1988; Hernández-Trujillo *et al*., 1997; Zaitsev *et al*., 2003; 2007; Cervantes-Duarte *et al*., 2007; Sánchez-Montante *et al*., 2007). Posiblemente lo anterior se deba a que la TSM es la variable más frecuentemente registrada, mientras que los estudios de nutrientes, salinidad y clorofila *a*, son menos estimadas y sus concentraciones han sido altamente variables tanto en contexto temporal como espacial (Rodríguez-Meza *et al*., 2007; Bizarro 2008). El estudio realizado por dos años, con muestreo bimestral durante mareas vivas (para reducir la variabilidad extra causada por cambios de regímenes de mareas vivas *vs.* mareas muertas), sugiere que estas condiciones proporcionan algunos elementos que permiten delimitar la variabilidad impuesta por factores forzantes externos y permiten la comparación de los datos a una escala estacional e interanual (Cervantes-Duarte *et al*., 2007). Gómez-Gutiérrez *et al*. (2007) demostraron que la variabilidad de temperatura en mareas vivas y muertas es de igual o mayor magnitud que la variabilidad estacional. El intervalo del nivel del mar durante la marea viva es de hasta 2.60m, *i. e.*, 3.7 veces mayor al intervalo registrado durante la marea muerta (Sánchez-Montante *et al*., 2007), lo que indica que la intensidad de las corrientes de mareas y los ciclos de recambio en mareas vivas son más intensos que durante periodos de mareas muertas. Sin embargo, es claro que la mayor dinámica de corrientes y posiblemente el transporte de nutrientes ocurre durante periodos de marea viva (Robinson *et al.,* 2007).

La relación T-S mostró que las aguas más frías y menos salinas se encontraron con mayor frecuencia en estaciones con profundidades > 10 m asociadas a las aguas de la plataforma continental y las aguas más cálidas y salinas en las estaciones ubicadas en la zona de canales y estaciones más someras < 10m (Fig. 4). La variabilidad de la distribución de los parámetros termohalinos está modulada por el balance entre procesos locales, la interacción térmica de la superficie interior del sistema lagunar con la atmósfera regional (calentamiento y evaporación) y el intercambio de agua con la región oceánica adyacente a través de las bocas (Sánchez-Montante *et al*., 2007).

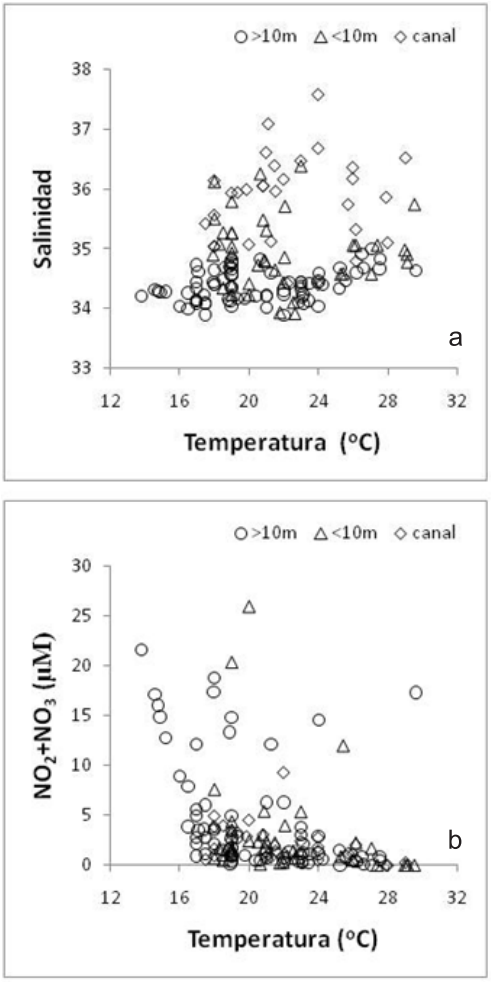

Figura 4. Temperatura *vs.* salinidad (a) y temperatura *vs.* nitratos + nitritos (b), por zona de muestreo.
Figure 4. Temperature *vs.* salinity (a) and temperature *vs.* nitrite + nitrate (b), per sampling zone.

La relación T *vs.* NO_2+NO_3 (Fig. 4) mostró un patrón similar al de zonas de surgencias con bajas temperaturas asociadas a altas concentraciones de nutrientes del sur de California (Zimmerman & Kremer, 1984) y límite sur de la P enínsula de Baja California (Hernández-Carmona *et al*., 2001). Las estaciones cercanas a la boca de la bahía (>10m) presentaron mayor concentración de nutrientes superficiales, especialmente en los meses de abril y junio (Figs. 2 y 3), como resultado probable de surgencias, forzadas por vientos que son más intensos y frecuentes en ésta época del año y que por un proceso semejante al "bombeo" por corrientes de mareas ingresan a la bahía, con mayor intensidad y extensión geográfica durante mareas vivas (Acosta-Ruíz & Lara-Lara, 1978; Guerrero *et al*., 1988; Zaitsev *et al*., 2003; Sánchez-Montante *et al*., 2007; Robin-

son *et al*., 2007). Otro proceso hidrodinámico que puede incrementar las concentraciones de nutrientes ocurre en las estaciones con pendientes muy abruptas en la batimetría, donde las corrientes de marea generan un proceso intenso de mezcla en la vertical, resultando en condiciones superficiales más oceánicas que las del alrededor (Sánchez-Montante *et al*., 2007). La composición relativa del NID mostró que la concentración de nitrito es menor que nitrato y amonio durante todo el año, posiblemente como resultado de su fuente de emisión y menor estado de oxidación (Fig 5). Las aguas costeras, a diferencia de las oceánicas, generalmente cuentan con más fuentes y aportes de nutrientes, especialmente por su cercanía con el entorno terrestre y los procesos en la plataforma continental. La utilización de nutrientes puede inferirse a partir de la relación NID *vs.* PO_4 (Redfield *et al*., 1963). En el periodo de estudio la proporción N/P fue de 6.7:1 (n=155, r=0.6, α=0.05), en contraste con lo reportado para aguas oceánicas (Redfield *et al*., 1963). La alta dispersión observada en los datos es debido a la diversidad de procesos biogeoquímicos y a la dinámica que es característica de los ambientes costeros (Pilson, 1998). Sin embargo, de acuerdo al concepto de la Ley del Mínimo de Liebig (Parsons *et al*., 1984) y las proporciones en las que los nutrientes son utilizados por los organismos autótrofos (Redfield *et al*., 1963), la falta de algún nutriente, puede llegar a ser uno de los factores limitantes para los productores primarios. El análisis de la disponibilidad de nutrientes y la razón en la que éstos son incorporados por los organismos autótrofos, son parte de la sucesión de especies de fitoplancton en Bahía Magdalena (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Es notable la alta proporción de fosfato inorgánico disponible en el agua y la posibilidad de que, bajo ninguna condición, represente una limitación para los productores primarios, como llega a ocurrir en otros ecosistemas costeros (Pilson, 1998)(Fig. 6).

A partir de la información de temperatura superficial en el periodo de 1981-1998 (Lluch-Belda *et al*., 2000) y con la información bimestral generada en el periodo 2006-2007, proponemos dos condiciones ambientales en Bahía Magdalena: fría, febrero, abril y junio; y cálida: agosto, octubre y diciembre. La condición fría se caracterizó por tener en promedio en toda el área de estudio, menor temperatura,

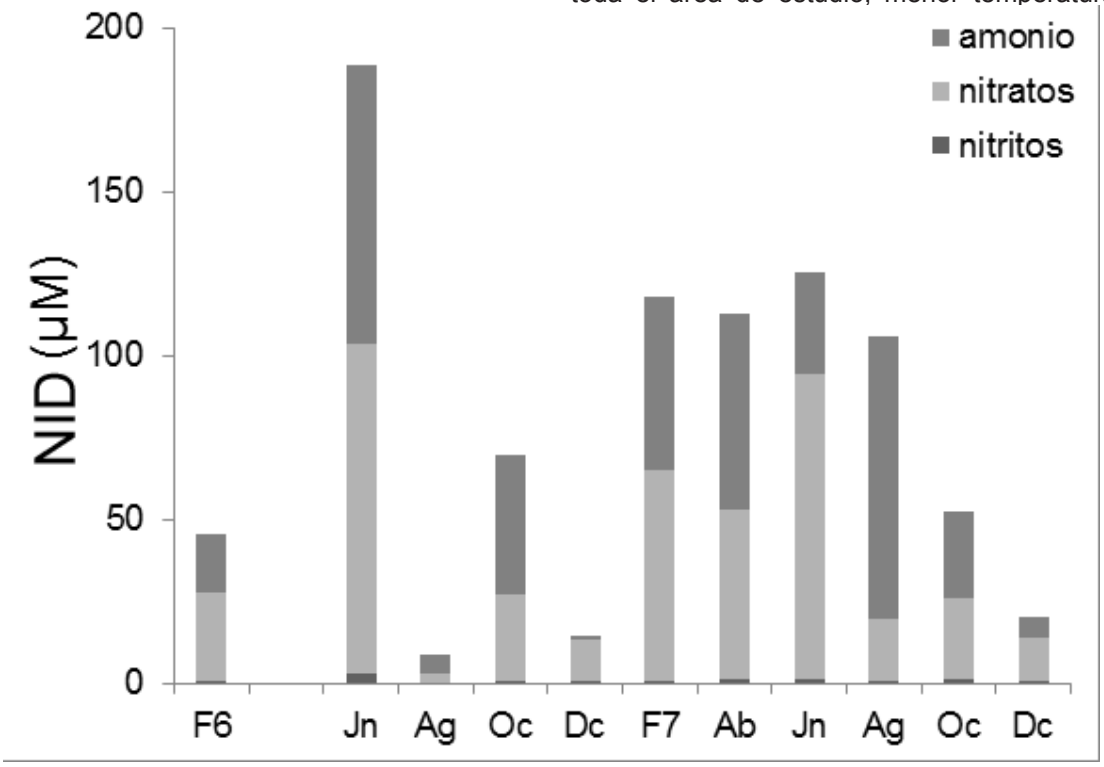

Figura 5. Nitritos, nitratos y amonio registrados en cada campaña de muestreo. Las letras en las abscisas indican el mes y el número el año, febrero del 2006 (F6), febrero 2007 (F7), (Ab) abril, (Jn) junio, (Ag) agosto, (Oc) octubre, (Dc) diciembre.

Figure 5. Nitrite, nitrate and ammonium recorded at each oceanographic survey. Letters and numbers on abscises indicate respectively month and year, February 2006 (F6), February 2007 (F7), (Ab) April, (Jn) June, (Ag) August, (Oc) October, (Dc) December, .

18.8ºC, mayores concentraciones de nitrito (0.10µM), nitrato (5.4µM), fosfato (1.1µM) y clorofila *a* (2.9mg m^{-3}). Mientras que en el periodo cálido, en promedio la temperatura fue mayor, 23.9º C, con menores concentraciones de nitrito (0.05µM), nitrato (1.2µM), fosfato (0.7µM) y clorofila *a* (2.3mg m^{-3}) (Tabla 1). Suponemos que la desviación estándar es parte de la incertidumbre provocada por las variaciones temporales en la escala estacional y las características locales asociadas a los procesos inherentes a la zona de muestreo. La situación fría se desarrolla en los meses en que la Corriente de California, aunque muy modificada en la latitud de Bahía Magdalena, es más intensa en la zona costera adyacente (Hickey, 1979) y en los que las surgencias costeras son más frecuentes e intensas movilizando nutrientes a la superficie (Zaiytsev *et al*., 2003, 2007; Robinson *et al*., 2007). Este proceso incrementa la abundancia de fitoplancton en primavera, especialmente en el mes de abril (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998), lo cual concuerda con las altas concentraciones de clorofila *a* en este estudio. Gárate-Lizárraga *et al*. (2001) reportaron máxima abundancia y diversidad de microfitoplancton durante 1988-89 hacia el final de la estación fría (mayo) y relativamente bajos valores promedio en concurrencia con periodos cálidos. Sin embargo, éstos mismos autores, determinaron que el nanoplancton (principalmente fitoflagelados, cocolitofóridos y diatomeas naviculoides) contribuyeron más a la abundancia de fitoplancton total y fue especialmente dominante en los meses de invierno. De acuerdo con Bizarro (2008), estos resultados inconsistentes son probablemente una consecuencia de la extremadamente alta variabilidad temporal y espacial en los parámetros hidrológicos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena. En la condición cálida se presenta la influencia de la corriente Norecuatorial y la aparición de una contracorriente costera (Hickey, 1979; Lynn & Simpson, 1987; Moser *et al*., 1987). En ésta época la tendencia es a disminuir las concentraciones de nutrientes por falta de aportes subsuperficiales al reducir la intensidad de las surgencias, el fortalecimiento de la termoclina y la disminución de la abundancia de fitoplancton, tanto por su limitación de nutrientes como por la influencia potencial del pastoreo (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Sin embargo, en este estudio se registró una contribución de amonio importante

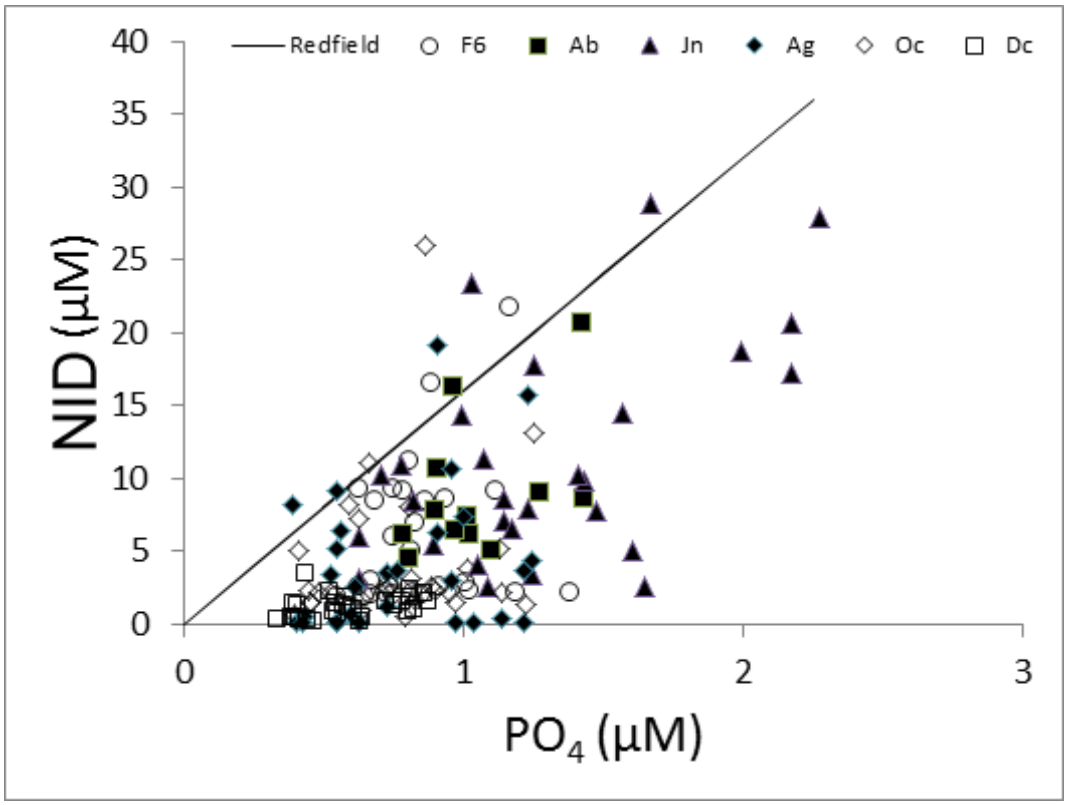

Figura 6. Fosfato *vs.* Nitrógeno Inorgánico Disuelto registrado por zona de muestreo. (F6) febrero del 2006, (Ab) abril, (Jn) junio, (Ag) agosto, (Oc) octubre, (Dc) diciembre.
Figure 6. Phosphate *vs.* DIN ratio recorded per sampling zone. (F6) February 2006, (Ab) April, (Jn) June, (Ag) August, (Oc) October, (Dc) December, .

Tabla 1. Valores promedio y desviación estándar de nitrito, nitrato, amonio, fosfato, temperatura, salinidad y clorofila a en la temporada cálida y fría registrado en las 14 estaciones de muestreo de Bahía Magdalena.

Table 1. Average values and standard deviation of nitrite, nitrate, amonia, phosphate, temperature, salinity and chlorophile *a*, values in warm and cool seasons in 14 sites in Bahía Magdalena.

	Fría	Cálida
Nitritos (µM)	0.10 ± 0.20	0.05 ± 0.10
Nitratos (µM)	5.4 ± 5.8	1.2 ± 1.6
Amonio (µM)	3.6 ± 3.0	2.4 ± 5.6
Fosfatos (µM)	1.1 ± 0.5	0.7 ± 0.2
Temperatura (°C)	18.8 ± 2.2	23.9 ± 2.6
Salinidad	34.9 ± 0.7	34.9 ± 0.8
Clorofila *a* (mg m^{-3})	2.9 ± 2.0	2.3 ± 2.2

en agosto de 2007 y las concentraciones de clorofila *a* en este mes presentaron un amplio intervalo de variación. La composición y diversidad de especies de agregados de fitoplancton varían a través del año de acuerdo con el cambio de las condiciones hidrológicas (Nienhuis & Guerrero-Caballero, 1985; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Las diatomeas generalmente incrementan en abundancia durante periodos de agua cálida, mientras que los dinoflagelados son típicamente más abundantes en asociación con aguas frías (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998; Ibarra-Obando *et al*., 2001) aunque Gárate-Lizárraga *et al.* (2001) reportaron un patrón opuesto (Bizzarro, 2008). La composición taxonómica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas está conformada principalmente por diatomeas y dinoflagelados y en menor proporción por cianobacterias, silicoflagelados y cocolitofóridos (Gárate-Lizárraga *et al*., 2007). La variación anual de la abundancia fitoplanctónica para el complejo lagunar, presenta un comportamiento similar al ciclo anual de producción de otras lagunas costeras de zonas templadas, con dos máximos de abundancia fitoplanctónica, uno en primavera y otro en otoño (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998), resaltamos las altas abundancias reportadas por los mismos autores en abril y junio de 1988, así como en mayo de 1989, acorde a la mayor concentración de clorofila *a* registrada en este estudio en los meses de abril, junio y agosto de 2006 y 2007.

CONCLUSIONES

Con los datos bimestrales obtenidos en el periodo de 2006-2007 en 14 estaciones del interior de Bahía Magdalena se describe el cambio estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila *a*. A través del análisis histórico de TSM se identificaron dos periodos, cálido y frío, los cuales apoyaron para resolver parte de la incertidumbre que existía entre los diferentes periodos estacionales en el interior de la bahía, los cuales pudieron estar modulados más por los procesos interanuales que por cambios estacionales. Los resultados ayudan al entendimiento de la ecología del fitoplancton. Las especies que requieren de mayores concentraciones de nutrientes para su desarrollo, particularmente nitrato y fosfato, menor temperatura y posiblemente limitadas por una zona eufótica más somera, podrán proliferar en la época fría. En cambio, las especies con requerimientos menores de nutrientes o con oportunidad de aprovechar fuentes esporádicas de amonio, de organismos superiores, temperatura cálida y una zona eufótica más profunda, podrán desarrollarse en la época cálida. Se ha avanzado en el conocimiento de algunos factores ambientales que determinan la alta productividad en Bahía Magdalena, sin embargo, es necesario mejorar el conocimiento del acoplamiento entre los procesos físicos y la respuesta de la biota de este ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es resultado de los proyectos de investigación 20060402 y 20070265 financiados por el Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado.

REFERENCIAS

Acosta-Ruíz, J. & J.R. Lara-Lara. 1978. Resultados fisicoquímicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas,* 5(1): 37-46. https://doi.org/10.7773/cm.v5i1.316

Álvarez-Borrego, S., L. Galindo-Bect & A. Chee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas,* 2(2): 94-110. https://doi.org/10.7773/cm.v2i2.285

Bizzarro, J.J. 2008. A review of the physical and biological characteristics of the Bahia Magdalena lagoon complex (Baja California Sur, Mexico). *Bulletin Southern California Academy of Sciences*, 1-24. https://doi.org/10.3160/0038-3872(2008)107[1:AROTPA]2.0.CO;2

Bendschneider K. & R. J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. of Marine Research,* 11: 87-96

Cervantes-Duarte, R., S. López-López & E. González-Rodríguez. 2007. Características hidrológicas de Bahía Magdalena, BCS, México, en el periodo 2001-2003. *CICIMAR Oceánides,* 22(1-2): 1-11. https://doi.org/10.37543/oceanides.v22i1-2.33

Funes-Rodríguez, R., J.D. Leal-Espinoza, A. Hinojosa-Medina, M.E. Hernández-Rivas & C. Flores-Coto. 2007. Composición, distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena, 205-219. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

Gárate- Lizárraga, I., C. J. Band-Schmidt, G. Verdugo-Díaz, M. S. Muñetón-Gómez & E. F. Félix-Pico. 2007. Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas, 145-167. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

Gárate-Lizárraga, I., G. Verdugo-Díaz & D.A. Siqueiros-Beltrones. 2001. Variations in phytoplankton assemblages during 1988-1989 in a subtropical lagoon system on the west coast of Mexico. *Oceánides*, 16: 1-16.

Gárate-Lizárraga, I. & D.A. Siqueiros-Beltrones. 1998. Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 “El Niño” event (1984 to 1986). *Pacific Science,* 52: 79-97.

Gómez-Gutierrez, J. & C.J. Robinson. 2006. Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphasiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow subtropical bay in Baja California Sur., México. *Marine Ecology Progress Series,* 320: 215-231. https://doi.org/10.3354/meps320215

Guerrero, R., R. Cervantes-Duarte & A. R. Jiménez-Illescas. 1988. Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of México. *Indian Journal of Marine Science,* 17: 235-237.

Hernández-Carmona, G., D. Robledo & E. Serviere-Zaragoza. 2001. Effect of nutrient availability on *Macrocystis pyrifera* recruitment and survival near its southern limit off Baja California. *Botanica Marina,* 44: 221-229. https://doi.org/10.1515/BOT.2001.029

Hernández-Trujillo, S., R. Cervantes-Duarte & S. Aguiñiga-García. 1997. Variación espacial y temporal de algunas variables físicas, químicas y biológicas en Bahía Magdalena, BCS (Julio-Agosto, 1988). *Revista de Investigación Científica, Serie Ciencias Marinas, UABCS,* 8(1-2): 1-13.

Hickey, B.M. 1979. The California Current System-hypothesis and facts. *Progress in Oceanography,* 8: 191-279. https://doi.org/10.1016/0079-6611(79)90002-8

Hinojosa-Medina, A., R. Funes-Rodríguez., G. Aceves-Medina & J. Gómez-Gutiérrez. 2007. Evolución de la investigación científica en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, 289-311. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

Ibarra-Obando S.E., V. Camacho-Ibar, J. D. Carriquiry & S.V. Smith. 2001. Upwelling and lagoonal ecosystems of the dry Pacific coast of Baja California, México, 315-330. En: U. Seeliger & B. Kjerfve (Eds.) *Ecological studies Vol.144 : Coastal marine ecosystems of Latin America*. Springer-Verlag. Berlín, Germany. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_22

Jeffrey, S. W. & G. F. Humphrey, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a, b, c* and C2 in algal phytoplankton and higher plants. *Biochem. Physiol*.,167: 191-194. https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3

Lluch-Belda, D., M.E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez & R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S, *Oceánides,* 15(1): 1-23.

Lynn, R.J. & J.J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research,* 92: 12497-12966. https://doi.org/10.1029/JC092iC12p12947

Moser, H.G., P.E. Smith & L.E. Eber. 1987. Larval fish assemblages in the California Current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports,* 28: 97-127.

Murphy, J. & J.P Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*., 27: 31-36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5

Nienhuis, H. & R. Guerrero-Caballero. 1985. A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena lagoon complex (Mexico). *J. Plank. Res*., 7(4): 427-441. https://doi.org/10.1093/plankt/7.4.427

Parsons, T.R., M. Takahashi & B. Hargrave. 1990. *Biological Oceanographic Processes*. 3rd. Edition. Pergamnon Press, Oxford, 330 p.

Pilson, M.E.Q. 1998. *An introduction of the chemistry of the sea*. Prentice Hall, New Jersey, 431 p.

Redfield, A.C., B.H. Ketchum & F.A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater, 26-77. En: Hill M.N. (Ed.), *The Sea 2*. Interscience Publishers, New York.

Robinson, C.J., S. Gómez-Aguirre & J. Gómez-Gutiérrez. 2007. Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, Mexico. *Journal Fish Biology*, 71: 1-19. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01484.x

Rodríguez-Meza, D., E. Choumiline, L. Méndez-Rodríguez, B. Acosta-Vargas & D. Sapozhnikov. 2007. Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas, 62-81. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

Sánchez-Montante, O., O. Zaitev & M. Saldivar-Reyes. 2007. Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, 1-28. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol-hypochlorite method. *Limnology and Oceanography,* 14:799-801. https://doi.org/10.4319/lo.1969.14.5.0799

Strickland, J. D. & T. R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2da ed. *Boletin 167. Fisheries Research Board of Canada,* 310 p.

Venrick, E. & T. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984. Calcofi Surveys. *CALCOFI Reports,* 25: 74-79.

Zaitsev, O., O. Sánchez-Montante & C.J. Robinson. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, 29-43. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.

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

Zimmerman, R.C., & J.N. Kremer. 1984. Episodic nutrient supply to a kelp forest ecosystem in Southern California. *Journal of Marine Research,* 42: 591-604. https://doi.org/10.4319/lo.1969.14.5.0799

Copyright (c) 2010 Cervantes-Duarte R., S. López-López, E. González-Rodríguez & S. Futema-Jiménez.

Este texto está protegido por una licencia *CreativeCommons 4.0*.

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Resumendelicencia - *Textocompletodelalicencia*