

## CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS EN EL LITORAL DE BAHÍA MAGDALENA, BCS, MÉXICO DURANTE EL NIÑO 2015

Cervantes-Duarte, Rafael<sup>1\*</sup> & Felipe de Jesús García-Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, CP. 23096, La Paz, BCS., México. Tel. 01-612-1230350. Fax. 01-612-1225322.

<sup>2</sup>PSP del Centro Regional de Investigación Pesquera en La Paz, INAPESCA-SAGARPA.\*Autor de correspondencia: rcervan@ipn.mx

**RESUMEN.** Durante 2015 se registró un evento El Niño en el Pacífico Oriental, el cual se caracterizó por presentar cambios en las concentraciones de clorofila-*a* y nutrientes respecto de los observados en años “normales” en Bahía Magdalena, B.C.S., México. El objetivo de este estudio fue describir las condiciones hidrológicas y la variación de nutrientes y clorofila en Bahía Magdalena durante este evento. Para ello se realizaron muestreos mensuales en mareas muertas en 9 sitios ubicados alrededor de la laguna. En cada muestreo se midieron temperatura y salinidad con un CTD, y se tomaron muestras en superficie, media agua y fondo, para analizar nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato) y clorofila-*a*. Los datos de temperatura superficial evidenciaron la presencia de El Niño con valores por arriba del promedio anual (> 2.5 °C en julio y agosto) con el dominio del Agua Subtropical Superficial en el segundo semestre. Generalmente, la columna de agua estuvo mezclada, excepto de julio a octubre, en donde algunos sitios de muestreo mostraron estratificación. Los valores promedio de nutrientes en superficie, excepto silicato, tendieron a ser menores a los previamente reportados, especialmente en la temporada de surgencias. La clorofila *a* en la columna de agua presentó una amplia variación (0.05 a 12.94 mg m<sup>-3</sup>) con valores máximos en media agua y fondo de abril a junio, y mínimos en agosto y septiembre. Aunque el efecto de calentamiento por El Niño en aguas someras de la laguna (zona oriental) puede ser mitigado por procesos locales de mezcla turbulenta que llevan nutrientes a la capa de mezcla y mantienen altas biomásas de fitoplancton, los cambios registrados en la concentración de nutrientes y clorofila-*a* en los sitios profundos de la bahía fueron significativos respecto a los registrados previamente.

**Palabras clave:** Hidrografía, Laguna costera, Península de Baja California, El Niño.

### Hydrographic characteristics off the coast of Bahia Magdalena, BCS, Mexico during El Niño 2015

**ABSTRACT.** During 2015 an El Niño was recorded in the Eastern Pacific coast, which produced different environmental effects along the coasts of Mexico. The aim of this study was to describe the hydrological conditions, nutrients and chlorophyll variations along the coast of Bahia Magdalena, during 2015. Monthly samples were obtained during neap tides in 9 sites located within the lagoon margins. Temperature and salinity were measured in each sampling site using a CTD. Surface, midwater and bottom samples of seawater were obtained to measure nutrient concentrations (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate) and chlorophyll *a*. The sea surface temperature data evidenced the presence of the El Niño, with values above the annual average (> 2.5 °C in July and August) with the domain of Subtropical Surface Water in the second semester. The water column was generally mixed, except in the warmer months, when some sites showed stratification. Nutrients mean values at surface, except silicate, tended to be lower than previously recorded, especially in the upwelling season. Chlorophyll data in the water column showed a wide range (0.05 to 12.94 mg m<sup>-3</sup>) with maximum values in midwater and bottom from April to June and minimum values in August and September. The warming effect produced by El Niño in neritic waters could have been mitigated by local processes, such as turbulent mixing, which may have carried nutrients to the mixed layer maintaining high biomass of phytoplankton and zooplankton. However, changes in Magdalena Bay were sufficient to modify the trophic web and produce an impact on the distribution and abundance of organisms in the area.

**Keywords:** Hydrography, coastal lagoon, Baja California peninsula, El Niño.

Cervantes-Duarte, R. & F. J. García-Romero. 2016. Características hidrográficas en el litoral de Bahía Magdalena,

BCS, México durante El Niño 2015. *CICIMAR Oceanídes*, 31(2): 9-19.

### INTRODUCCIÓN

Los efectos de los eventos climáticos de gran escala como El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en el Pacífico Oriental suelen tener impacto en el ambiente pelágico a nivel regional (Norton *et al.*, 1985; Baumgartner & Christensen, 1985; Filonov *et al.*, 2003) y local (Palomares-García *et al.*, 2003; López-Cortés *et al.*, 2003; Lavaniegos *et al.*, 2003). Los cambios durante el ENSO en la región marina del NW de México se caracterizan por el aumento del volumen de agua con características tropicales en el Golfo de California y en la costa occidental de

Fecha de recepción: 08 de agosto de 2016

la Península de Baja California (Lavín *et al.*, 2003; Ramírez-Manguilar *et al.*, 2010; Obeso-Nieblas *et al.*, 2014). El contenido de nutrientes relativamente menor de las aguas tropicales (Bustos-Serrano & Castro-Valdez, 2006; Gaxiola-Castro *et al.*, 2010) tiene una marcada influencia en las tasas de productividad primaria marina (Kahru *et al.*, 2004; Herrera-Cervantes *et al.*, 2010). Bahía Magdalena es una de las lagunas costeras de la Península de Baja California mejor estudiadas por su alto valor ecológico y pesquero (Félix-Uraga *et al.*, 2007); los procesos relacionados con la dinámica de nutrientes de sus aguas han sido abordados en varios estudios (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Bizarro, 2008; Cer-

Fecha de aceptación: 08 noviembre de 2016

vantes-Duarte *et al.*, 2010). Los principales procesos que introducen nutrientes en Bahía Magdalena son las surgencias costeras y las corrientes de marea (Zaitsev *et al.*, 2003, 2014; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2007; Cervantes-Duarte *et al.*, 2012). De acuerdo con algunas investigaciones los eventos de surgencia disminuyen en intensidad por efecto de El Niño (Ohman *et al.*, 2013), siendo el agua costera la principal fuente de nitrógeno para este tipo de lagunas costeras (Ribas-Ribas *et al.*, 2011; Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). Hasta ahora es incierto el efecto global de El Niño sobre los procesos de surgencia y variaciones en biomasa de fitoplancton y productividad primaria. Durante el evento El Niño 2015 se observó un aumento en la temperatura superficial del mar asociado a una fuerte estratificación en la columna de agua, una disminución en las concentraciones de nutrientes (debido a la disminución de la intensidad de las surgencias y mayor profundidad de la nutriclina) y una disminución en la concentración de clorofila-*a* en la zona eufótica, posiblemente debido a la sucesión de especies de fitoplancton. El objetivo del presente trabajo fue contrastar las características hidrográficas promedio registradas en estudios previos con los cambios ocurridos en Bahía Magdalena durante el evento El Niño-2015.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

En 2015 se llevaron a cabo 12 muestreos men-

suales durante mareas muertas en 9 sitios ubicados a lo largo de la línea de costa de Bahía Magdalena (Fig. 1). En cada muestreo se midieron temperatura y salinidad por medio de un CTD SeaBird 19 y se tomaron muestras de agua en superficie, media agua y fondo con una botella Niskin de 5 L para medir nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato) y clorofila-*a*. Los análisis se realizaron de acuerdo a Strickland y Parsons (1972) utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25. Las condiciones hidrográficas en la laguna fueron analizadas en la región oriental (estaciones hidrográficas A, B, C, D, E) y occidental (estaciones hidrográficas F, G, H, I) de la bahía. Para determinar si existieron diferencias significativas entre las variables ambientales medidas por sitio de muestreo, profundidad y mes del año, y dado que los datos presentaron una distribución normal, a estos se les aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido del análisis *post hoc* de Tukey con un nivel de confianza de 0.05, y un análisis de correlación de Pearson utilizando el software STATISTICA 8.

#### RESULTADOS

Durante 2015 la temperatura superficial del mar (TSM) fue significativamente mayor respecto al promedio y desviación estándar promedio mensual del periodo 1991-1998 ( $p < 0.05$ ), excepto en abril y mayo. Las mayores diferencias entre ambas

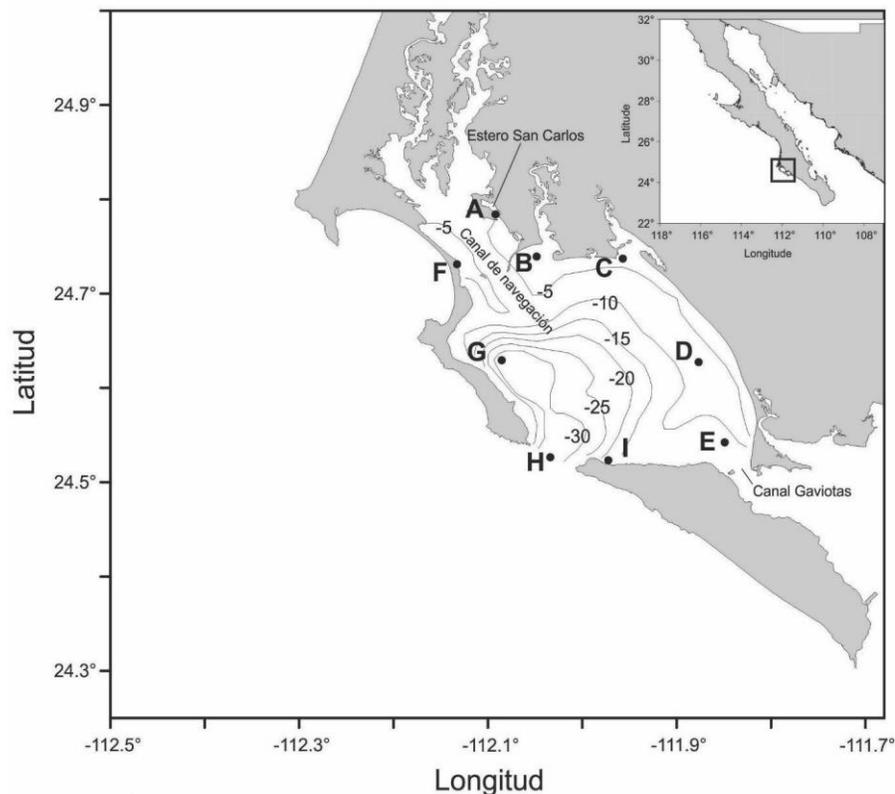
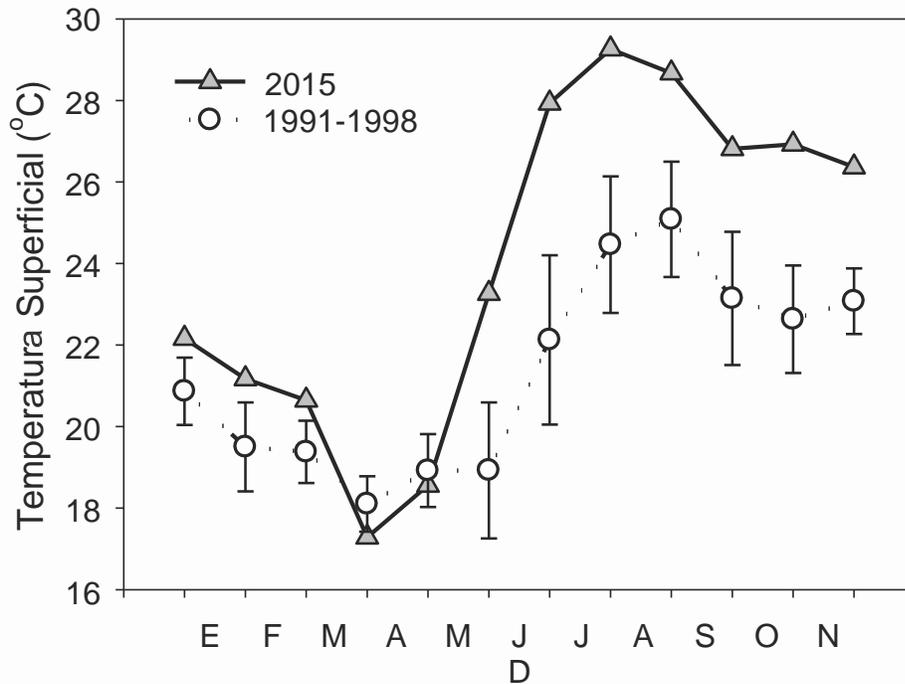


Figura 1. Área de estudio mostrando los sitios de muestreo y la batimetría en metros.



**Figura 2.** Variación mensual promedio de temperatura superficial del mar durante 2015 y promedio mensual en el periodo de 1991 a 1998, en la boca de Bahía Magdalena.

series de tiempo se observaron durante el segundo semestre (Fig. 2, Tabla 1).

La salinidad superficial tuvo altos valores promedio ( $> 35$ ) en las estaciones someras (A, B, C y F) durante los meses de abril, agosto y octubre (Tabla 1). El diagrama de temperatura y salinidad (T-S) en Bahía Magdalena indicó que predominó agua de Transición (TrW) durante el primer semestre (febrero a junio) y agua Subtropical Superficial (StSW) durante el segundo semestre (julio a enero) (Fig. 3). Algunos datos que caen fuera del patrón general de los tipos de agua señalados, corresponden con valores registrados en la superficie, donde la influencia de las condiciones atmosféricas altera la relación T-S. La distribución vertical de temperatura en el lado oriental de la laguna generalmente fue homogénea durante la mayor parte del año; sin embargo, a partir de junio se inició el periodo de estratificación, alcanzando mayor estratificación durante noviembre y diciembre (Fig. 4). De enero a junio la temperatura varió, respectivamente, de  $21^{\circ}$  a  $22^{\circ}$  C  $\pm 2.1$  y desde julio se incrementó hasta  $29^{\circ}$  C  $\pm 0.5$  en agosto y septiembre, y disminuyó a  $24^{\circ}$  C  $\pm 0.9$  en noviembre y diciembre 2015. A lo largo del margen occidental la temperatura fue menos variable en enero ( $22 \pm 0.3^{\circ}$  C) que en el resto de los meses (Fig. 2). Las menores temperaturas se registraron en el fondo en abril, mayo y junio ( $\sim 16-17^{\circ}$  C), y las más altas durante agosto a octubre ( $\sim 27-30^{\circ}$  C) asociadas a la mayor estratificación en la columna de agua (Fig. 4).

La salinidad en la columna de agua del margen

oriental varió de 34.20 a 37.42 incrementándose de norte a sur y de la superficie hacia el fondo (Fig. 5). Excepto en la estación A, la menor salinidad se registró de marzo a junio ( $\approx 34.55$ ) y la mayor en agosto y noviembre ( $> 36$ ). En el margen occidental la salinidad presentó menos variación que en el margen oriental, con valores de 33.75 a 36.47, disminuyendo de la parte norte al sur, e incrementándose de la superficie al fondo (Fig. 5).

La densidad en la columna de agua de las estaciones de la sección oriental (somera) presentaron un intervalo de 21.88 a 26.06 kg m<sup>-3</sup>. Las mayores densidades se observaron en el fondo y en las estaciones del norte, formando un gradiente con menores densidades hacia el sur. Estos gradientes fueron más intensos en enero-febrero y noviembre-diciembre (Fig. 6). Las menores densidades se registraron de julio a octubre (promedio 22.00 a 23.60 kg m<sup>-3</sup>) (Fig. 6). En el lado occidental la densidad varió de 21.60 a 25.33 kg m<sup>-3</sup> siendo la parte norte y hacia el fondo de la columna de agua las más densas. Las menores densidades se ubicaron en el lado sur y en la superficie. De enero-junio se observaron las densidades más altas ( $24.50 \pm 0.40$ ) en comparación a julio-diciembre ( $22.63 \pm 0.25$ ). La mayor estratificación en la columna de agua se observó de junio a agosto (Fig. 6).

El análisis mensual de la suma de nitrito + nitrato + amonio (nitrógeno inorgánico disuelto, NID), de fosfato y silicato en los nueve sitios de muestreo

Tabla 1. Valores promedio y desviación estándar de temperatura (SST), salinidad superficial (SSS), Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), fosfato, silicato y clorofila-*a*, en la columna de agua del litoral de Bahía Magdalena.

Mes	SST (°C)	SSS (UPS)	NID (μM)	Fosfato (μM)	Silicato (μM)	Clorofila- <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )
1	21.03 (0.83)	34.90 (0.33)	1.01 (0.87)	0.70 (0.30)	9.39 (7.32)	2.67 (1.80)
2	22.02 (0.50)	34.92 (0.47)	0.94 (1.21)	0.63 (0.26)	10.98 (9.85)	2.15 (1.26)
3	21.62 (0.77)	34.81 (0.52)	2.33 (1.97)	0.65 (0.20)	7.66 (3.87)	2.19 (1.38)
4	19.83 (1.46)	35.03 (0.94)	4.85 (4.82)	1.00 (0.41)	4.96 (4.82)	2.47 (2.73)
5	19.94 (1.66)	34.88 (0.69)	6.76 (4.81)	1.25 (0.63)	7.22 (6.45)	1.31 (1.59)
6	23.00 (1.42)	34.94 (0.75)	7.14 (5.50)	1.37 (0.87)	10.77 (10.86)	2.11 (2.37)
7	28.04 (0.94)	34.90 (0.42)	4.95 (3.16)	0.66 (0.61)	7.34 (5.9)	2.16 (1.73)
8	29.11 (0.65)	35.51 (0.94)	3.16 (2.56)	0.84 (0.45)	4.25 (3.33)	1.82 (1.50)
9	28.82 (0.34)	34.99 (0.25)	0.48 (0.62)	0.62 (0.37)	4.05 (3.46)	1.94 (3.31)
10	26.97 (0.33)	35.23 (0.46)	0.93 (0.32)	0.51 (0.09)	1.49 (0.96)	2.21 (1.32)
11	24.86 (1.51)	34.79 (0.76)	2.28 (2.78)	0.34 (0.10)	3.50 (2.44)	1.24 (1.07)
12	24.74 (1.38)	34.69 (0.62)	1.04 (0.64)	0.49 (0.16)	4.51 (2.61)	0.88 (1.51)

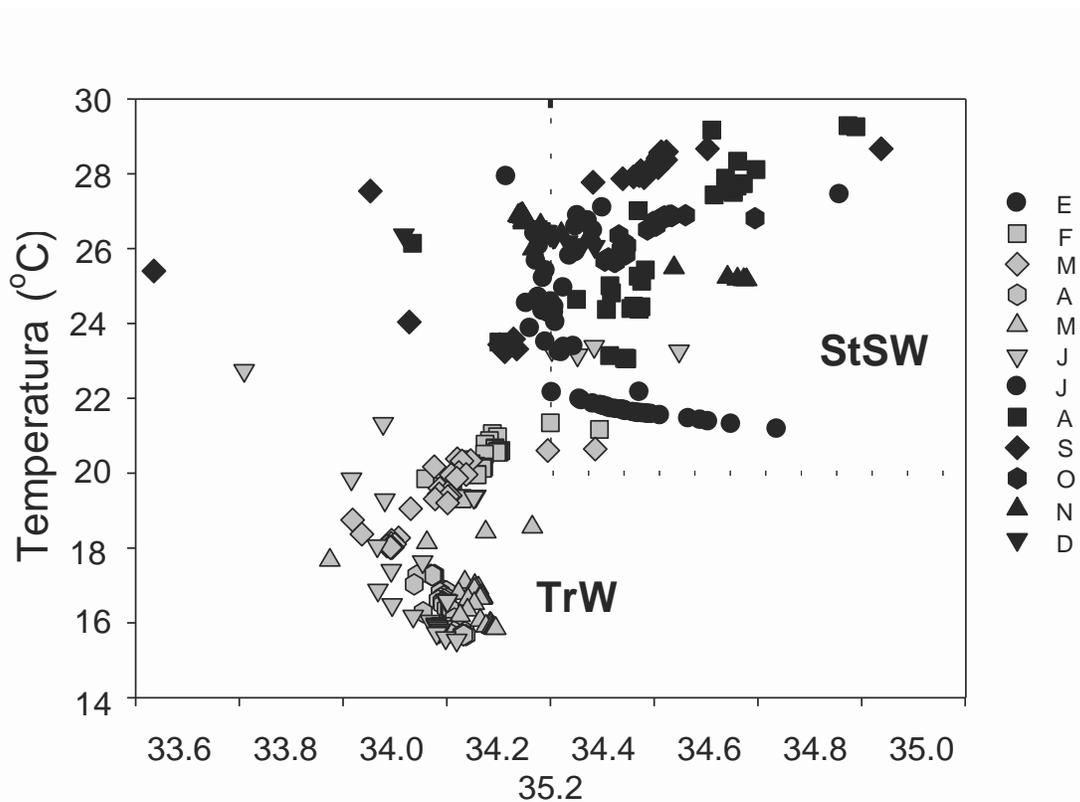
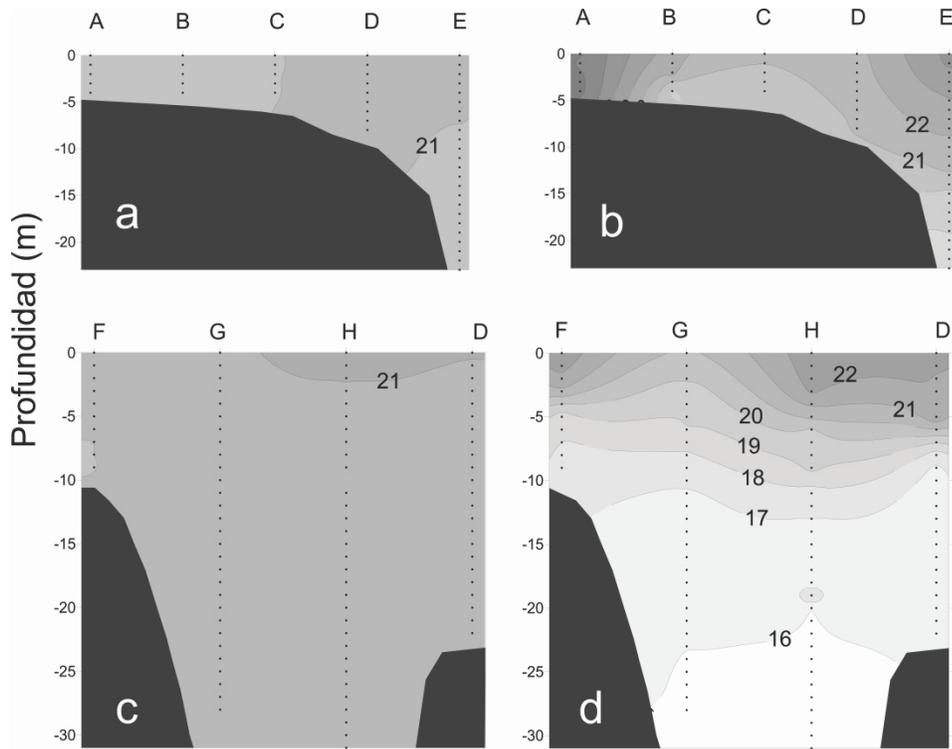
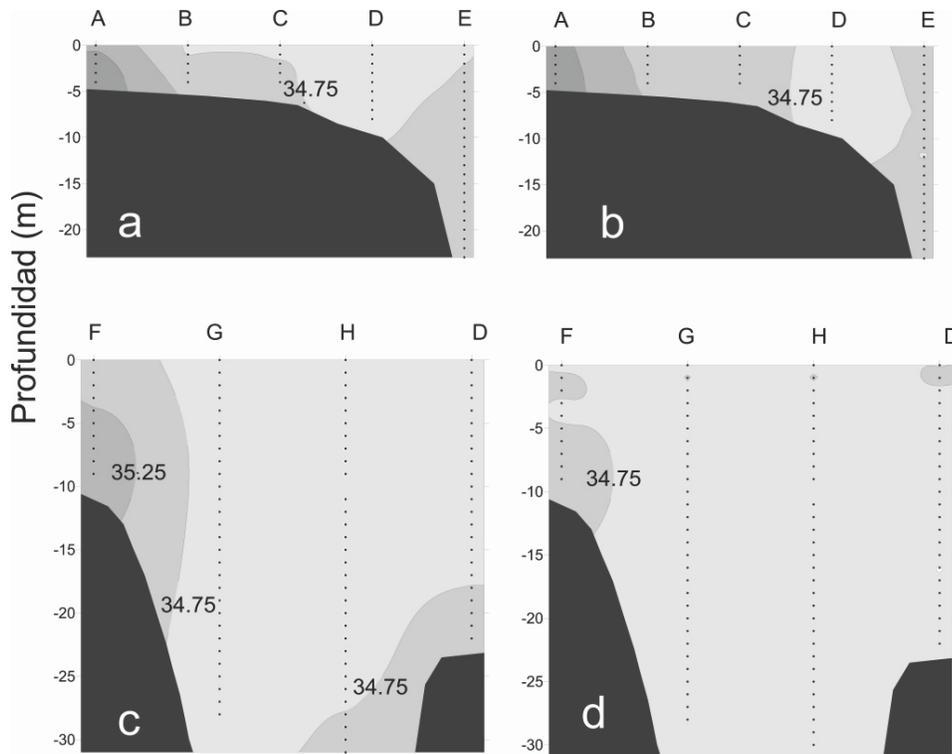


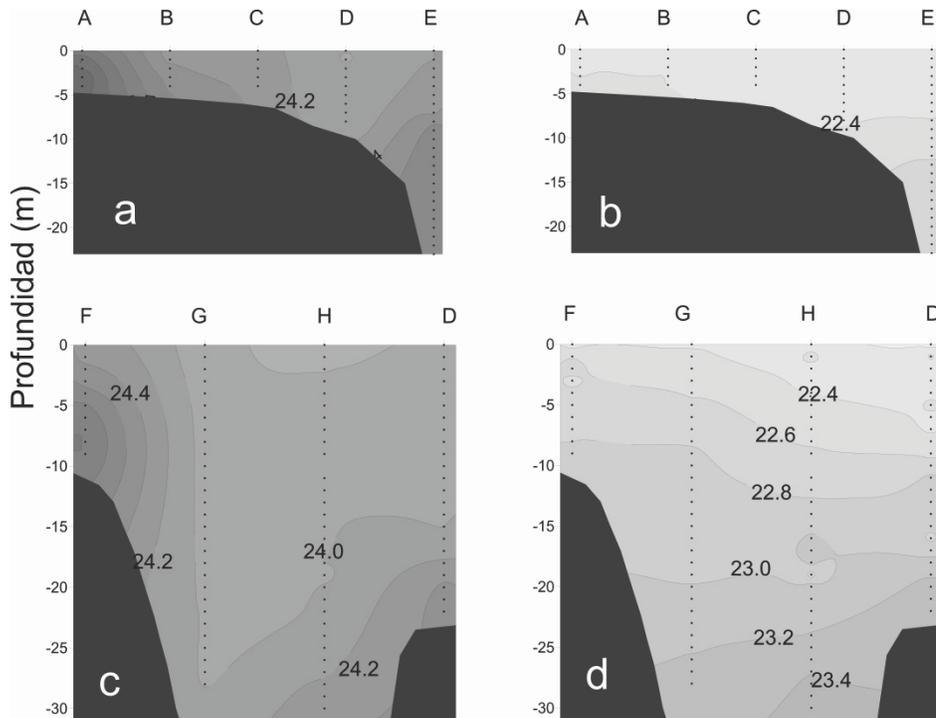
Figura 3. Diagrama T-S de la estación H. Símbolos grises indican el periodo febrero-junio y símbolos negros el resto del año.



**Figura 4.** Distribución de temperatura (°C) durante enero y junio (izquierda-derecha) de la sección oriental (a, b) y occidental (c, d) de Bahía Magdalena.



**Figura 5.** Distribución de salinidad durante enero y julio (izquierda-derecha) de la sección oriental (a, b) y occidental (c, d) de Bahía Magdalena.



**Figura 6.** Distribución de densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) durante enero y julio (izquierda-derecha) de la sección oriental (a, b) y occidental (c, d) de Bahía Magdalena.

no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la columna de agua; excepto el silicato, que fue significativamente menor que el de fondo en la estación I ( $p < 0.05$ ). En la tabla 1 se presentan los valores promedio de NID registrados en la columna de agua durante el año. El ciclo estacional de NID presentó las mayores concentraciones de abril a julio que disminuyeron el resto del año (Fig. 7). Los fosfatos presentaron un patrón similar al NID con máximos de abril a junio (Tabla 1). El silicato mostró una mayor variabilidad durante el año, sin embargo solo los valores en las estaciones más profundas de la bahía (G, H, I) mostraron un patrón similar al de los otros nutrientes con altos valores promedio de enero a julio y un máximo en junio (Fig. 7).

La clorofila-*a* en la columna de agua presentó una amplia variación en el área de estudio con un valor promedio anual de  $1.93 \pm 1.94$  (Tabla 1 y 2).

Los valores mínimos de clorofila-*a* ( $0.05 \text{ mg m}^{-3}$ ) se registraron durante septiembre (estaciones G, H) y los máximos ( $12.94$  y  $12.10 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la estación A en septiembre y la G en abril, respectivamente (Tabla 2). La distribución espacial presentó las mayores concentraciones de clorofila-*a* promedio en las estaciones someras (A, B, C, y F) y temporalmente en los meses de abril, mayo y junio; excepto en la estación A, donde el máximo ocurrió en julio y septiembre y la estación E en enero.

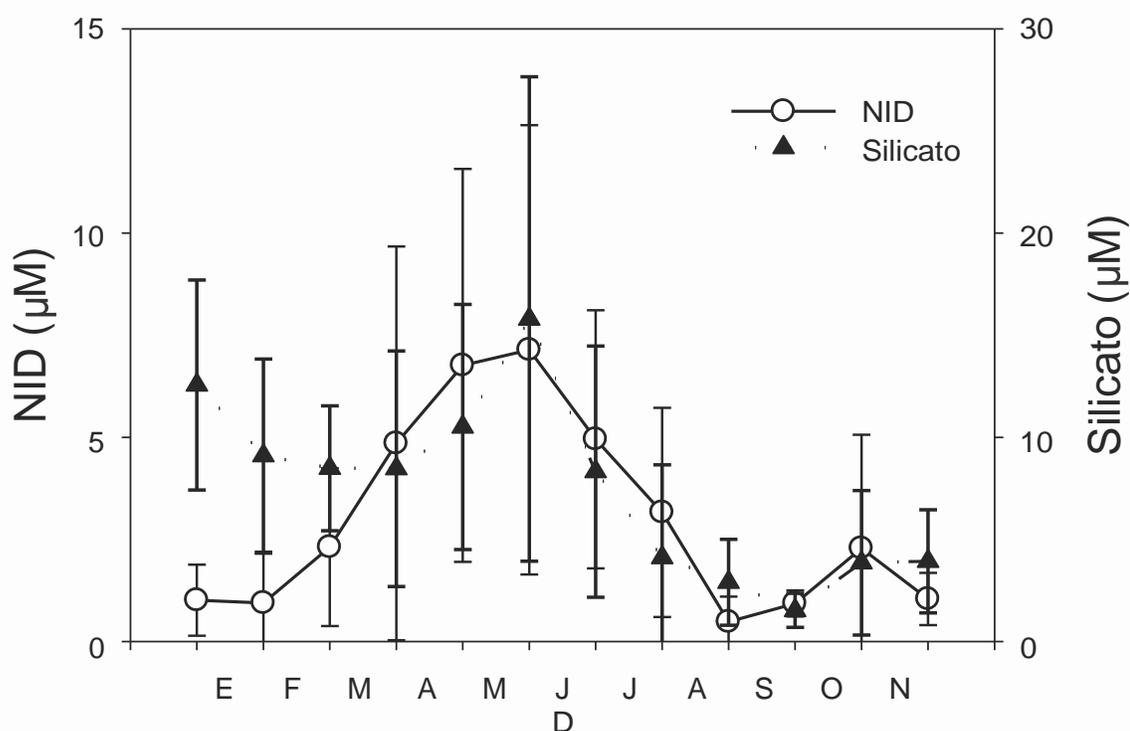
En general, la clorofila-*a* en la columna de agua no presentó un patrón estacional definido, con es-

casos valores altos ( $> 5 \text{ mg m}^{-3}$ ) en los sitios más someros de la bahía (Fig. 8).

## DISCUSIÓN

Durante 2015 se registró un evento El Niño en el Pacífico Oriental (<https://www.climate.gov>), el cual tuvo una influencia notable en las características hidrográficas de Bahía Magdalena por el aumento anómalo de la temperatura superficial del mar (TSM) respecto al periodo 1991-1998 (ver Fig. 2), la disminución en la concentración de nutrientes superficiales (excepto silicato) (Fig. 8) y la amplia variación de clorofila-*a* (Fig. 9) durante el 2015, respecto a lo registrado para el periodo 2005-2011 (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). La TSM promedio mensual del 2015 estuvo por arriba del promedio anual ( $> 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$  en julio y agosto) (Lluch *et al.*, 2000), mientras que en abril y mayo se mantuvieron en el intervalo previamente reportado, debido a la mayor intensidad de los eventos de surgencia que llevan agua fría a la bahía por medio de las corrientes de marea (Zaitsev *et al.*, 2003; Cervantes-Duarte *et al.*, 2012; 2013). Los valores de TSM fueron similares a los reportados durante El Niño 1997-1998 que, a su vez, fue más intenso respecto al registrado en 1982-1983, con valores promedio de  $19.5$  a  $31.0 \text{ }^\circ\text{C}$  de mayo a agosto de 1997 (Palomares-García *et al.*, 2003).

Las condiciones hidrográficas en la laguna (temperatura, salinidad, densidad), mostraron diferencias relacionadas con batimetría, topografía y la



**Figura 7.** Valores promedio mensuales de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) en los 9 sitios de muestreo y concentración de silicato en las estaciones (G, H, I).

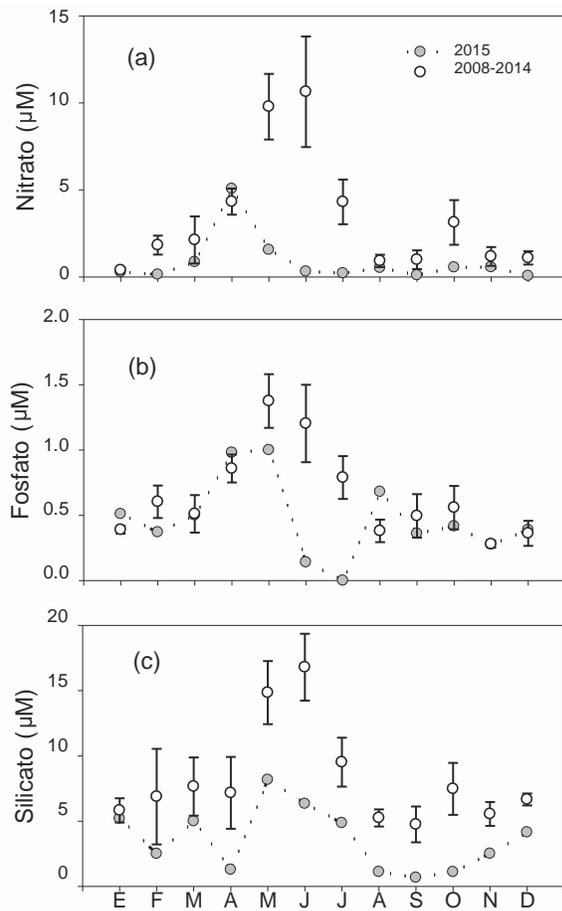
influencia de las bocas y canales de manglares. Por ejemplo, las estaciones de la sección oriental (A-F, Fig. 1) fueron en general más someras (4 a 23 m) y por lo tanto la influencia de las condiciones meteorológicas (temperatura, viento, humedad, entre otras) que se transmiten desde la superficie tienen mayor influencia en la columna de agua respecto a los sitios más profundos. En los extremos de la laguna se notó la influencia del estero San Carlos al norte y Canal Gaviotas al sur. El primero es un estero somero (profundidad aproximada de 2 a 4 m en pleamar) aledaño al poblado de Puerto San Carlos. En este sitio se registraron las aguas más cálidas, salinas y densas del estudio. Las estaciones de la sección occidental (F-I) presentan relativamente

más influencia de la plataforma continental, excepto la estación somera F ( $\leq 8$  m de profundidad) ubicada en el canal norte de navegación.

Los aportes de nutrientes, especialmente en la superficie durante la época de surgencias más intensas estuvieron disminuidos con respecto a registros de estudios previos en la zona (Fig. 8). Durante 2015 se registró una disminución en el índice de surgencias, especialmente durante los meses de marzo a junio (Fig. 10). El incremento en la estratificación posiblemente limitó el aporte de nutrientes a la superficie durante julio a diciembre. Los nutrientes presentaron valores máximos generalmente por debajo de registros históricos en Bahía Magda-

**Tabla 2.** Datos de clorofila-*a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ) por estación de muestreo en el periodo de estudio. Diferencias significativas en la columna de agua ( $p < 0.05$ ).

Sitio	Promedio	Mínimo	Mes	Máximo	Mes	Diferencias
A	$4.13 \pm 2.78$	0.60	Junio	12.94	Septiembre	
B	$2.56 \pm 1.34$	0.63	Septiembre	7.70	Mayo	
C	$2.68 \pm 1.96$	0.30	Mayo	8.90	Junio	
D	$0.91 \pm 0.93$	0.08	Septiembre	5.60	Junio	
E	$2.22 \pm 1.77$	0.20	Diciembre	7.14	Enero	
F	$2.52 \pm 1.82$	0.13	Enero	6.80	Abril	Superficie $\neq$ fondo
G	$1.63 \pm 2.23$	0.05	August	12.10	Abril	
H	$0.83 \pm 0.82$	0.05	Septiembre	4.20	Junio	Superficie $\neq$ fondo media agua $\neq$ fondo
I	$1.38 \pm 1.28$	0.10	Diciembre	5.00	Junio	Superficie $\neq$ fondo



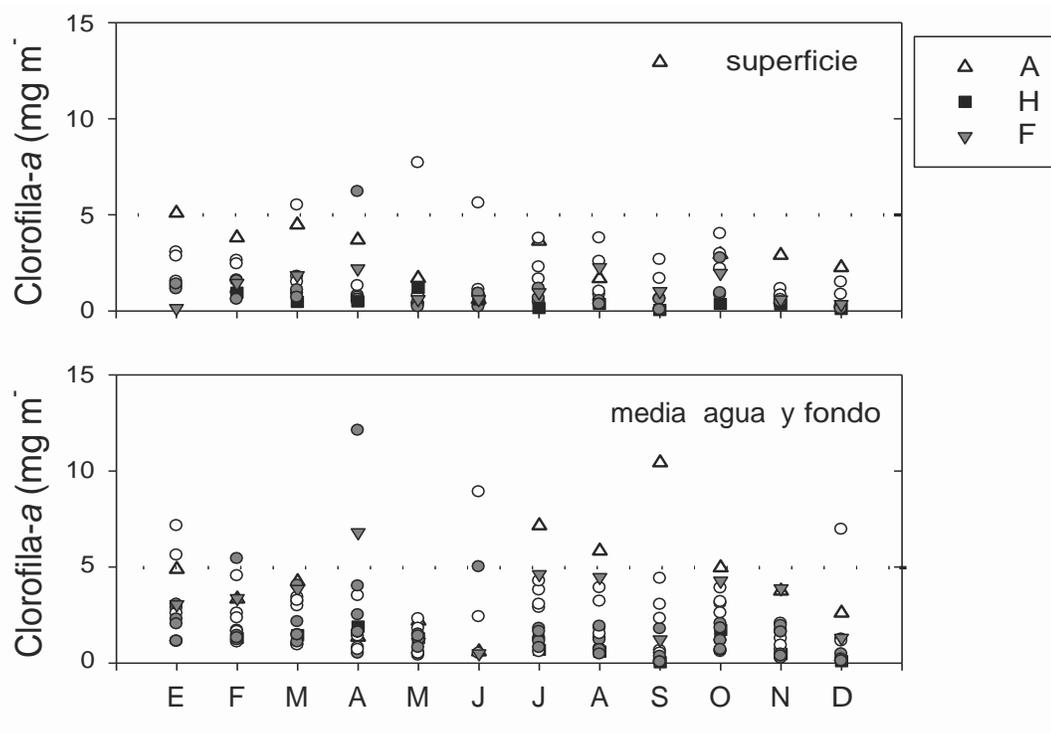
**Figura 8.** Variación mensual de nutrientes superficiales durante 2015 (estación H) y promedio 2008-2014 frente a Bahía Magdalena.

lena (2005-2011) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013) y frente a esta (Murillo-Murillo-Murillo *et al.*, 2013). Los últimos autores reportaron que el NID mostró un patrón estacional con máximos de abril a julio (Tabla 1, Figura 7). Durante el 2015 la disponibilidad promedio de nitrato y fosfato fue menor al promedio reportado durante el primer semestre y mayor a la del segundo semestre [Nitrato] = 4.14 [Fosfato] - 1.36 ( $r = 0.80$ ;  $n = 12$ ) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2010; Murillo-Murillo *et al.*, 2013). El silicato siguió el patrón semestral previamente descrito por Cervantes-Duarte *et al.* (2007) y Murillo-Murillo *et al.* (2013) quienes registraron en mayo-junio concentraciones promedio entre 0 y 20m de  $22.05 (\pm 2.79 \mu\text{M})$  (ver Fig. 7). En el margen oriental de la laguna se presentaron valores promedio de silicato de  $10.06 \pm 8.66$  (estación A) y  $6.34 \pm 6.41 \mu\text{M}$  (estación E), probablemente asociados en la estación A por el aporte del material continuamente erosionado y resuspendido del estero San Carlos y en la estación E por aporte de arena de dunas. En el lado occidental las estaciones G, H e I presentaron valores promedio

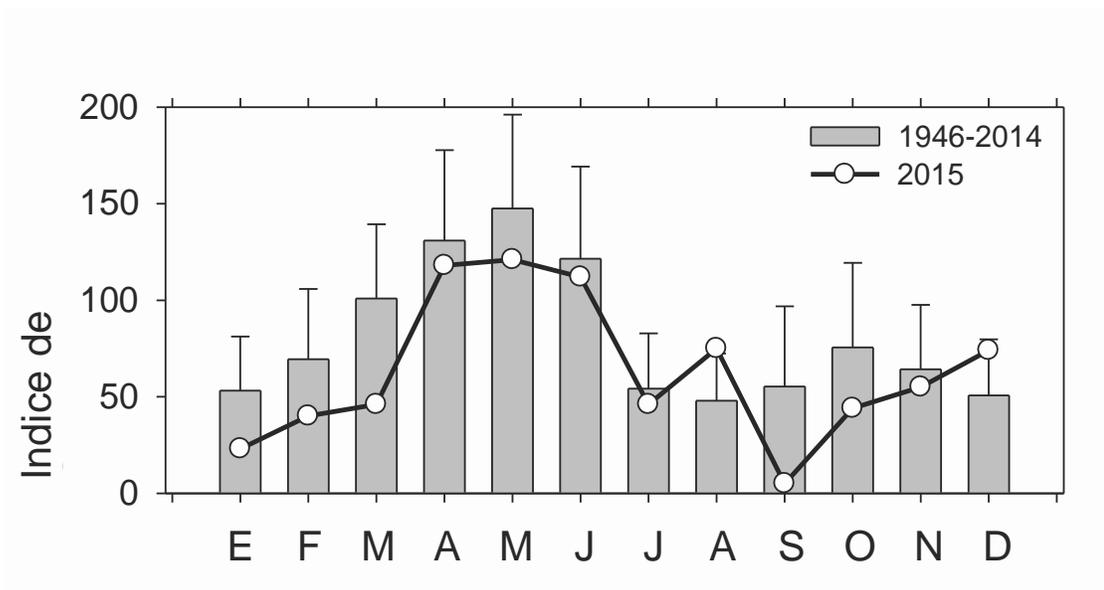
de silicato de  $8.58 \pm 8.63$ ;  $6.17 \pm 5.60$  y  $7.05 \pm 4.74 \mu\text{M}$ , respectivamente. La principal fuente de silicato en estos sitios posiblemente sea debido a aporte de polvo de la zona de dunas y el afloramiento del agua de surgencia de la plataforma continental de abril a junio. De acuerdo con algunos estudios previos en la zona, los nutrientes de las surgencias son llevados desde la capa subsuperficial (aprox. 70m) del océano a la superficie y luego éstos son transportados hacia el interior de Bahía Magdalena por las corrientes de marea (Zaysev *et al.*, 2007, Robinson *et al.*, 2007; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2007; Cervantes-Duarte *et al.*, 2012).

La concentración de clorofila-*a* durante el evento El Niño 2015 presentó una amplia variación similar a la reportada en otros estudios (Cervantes-Duarte *et al.*, 2007; 2010; 2012; 2013; Murillo-Murillo *et al.*, 2013), aunque sin los máximos frecuentes en el periodo de marzo a julio, periodo en el que los nutrientes estimulan la producción primaria (Fig. 9). Las mayores concentraciones se observaron en la porción más somera y dentro del estero San Carlos (estación A) (Fig. 1 y 9). Esta zona tiene el aporte de nutrientes de diferentes fuentes (descargas residuales, resuspensión de sedimento rico en materia orgánica, aporte de la materia orgánica de los bosques de manglar, entre otros) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2014). Las menores concentraciones de clorofila-*a* se observaron en la estación H (boca principal), la cual además de ser la más profunda (aprox. 40 m) presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la columna de agua posiblemente relacionadas con la estratificación de la columna de agua, el gradiente de luz y nutrientes. Aunque no se observó una clara estacionalidad en la clorofila, los valores máximos tendieron a registrarse en los meses de abril, mayo y junio, cuando los aportes de nutrientes por surgencias fueron altos. Asimismo, las condiciones más oligotróficas ( $0.05$  a  $0.63 \text{ mg m}^{-3}$ ) ocurrieron en agosto y septiembre, cuando se registraron bajas concentraciones de nutrientes y mayor temperatura asociada al intenso calentamiento por El Niño.

Los eventos El Niño en el ambiente pelágico de esta región subtropical se han caracterizado por la advección de aguas tropicales y la profundización de la termoclina y de la nutriclina que provocan cambios en las producciones primaria y secundaria (Norton *et al.*, 1985, Lynn *et al.*, 1998); aunque el efecto del calentamiento en aguas neríticas puede ser reducido por procesos locales de mezcla turbulenta que llevan nutrientes a la capa de mezcla y mantienen altas biomásas de fitoplancton y zooplancton (Petersen *et al.*, 1986). Los cambios registrados en Bahía Magdalena durante los eventos El Niño son suficientes para modificar la trama trófica (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998; Palomares-García *et al.*, 2003) y tener repercusiones sobre la abundancia y distribución de otros organismos



**Figura 9.** Valores de clorofila-a en los 9 sitios de muestreo. Los símbolos vacíos corresponden con las estaciones de la sección oriental y los símbolos llenos con la sección occidental.



**Figura 10.** Índice de surgencia costero promedio mensual ( $m^3 s^{-1} \cdot 100m$  de línea de costa) ( $24.4^\circ N$  y  $-112.5^\circ O$ ).

en la región. El efecto de El Niño del 2015 en Bahía Magdalena se presentó como un aumento anómalo de la TSM asociado con la presencia de agua de origen subtropical superficial, mientras que el debilitamiento en la intensidad de las surgencias costeras provocó la disminución del transporte de nutrientes al interior de Bahía Magdalena modificando el patrón estacional en la biomasa de fitoplancton.

#### AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional proyecto SIP2015-0526 en colaboración con el Instituto Nacional de Pesca. Asimismo, agradecemos el apoyo logístico de Roberto Flores Aguilar y colaboradores de BAJASEAS durante el trabajo de campo. El segundo autor (FJGR) es becario BEIFI del IPN.

#### REFERENCIAS

- Álvarez-Borrego, S., L.A. Galindo-Bect & A. Chee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas*, 2: 94-110.  
<https://doi.org/10.7773/cm.v2i2.285>
- Baumgartner, T.R. & J.N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.*, 43: 825-848.  
<https://doi.org/10.1357/002224085788453967>
- Bizarro J. 2008. A review of the physical and biological characteristics of the Bahía Magdalena lagoon complex (Baja California Sur, Mexico). *Bull. Southern California Academy of Sciences*, 107(1): 1-24.  
[https://doi.org/10.3160/0038-3872\(2008\)107\[1:AROTPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3160/0038-3872(2008)107[1:AROTPA]2.0.CO;2)
- Bustos-Serrano, H. & R. Castro-Valdez. 2006. Flux of nutrients in the Gulf of California: Geostrophic approach. *Mar. Chem.*, 99: 210-219.  
<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.09.012>
- Cervantes, R., S. López & E. González. 2007. Características hidrológicas de Bahía Magdalena, BCS, México, en el periodo 2001-2003. *CICIMAR Oceanides*, 22(1,2): 1-11.  
<https://doi.org/10.37543/oceanides.v22i1-2.33>
- Cervantes, R., S. López, E. González & S. Futema. 2010. Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceanides*, 25(2): 111-120.  
<https://doi.org/10.37543/oceanides.v25i2.87>
- Cervantes-Duarte, R., S. López-López, F. Aguirre-Bahena, E. González-Rodríguez & S. Futema-Jiménez. 2012. Relevancia de fuentes nitrogenadas nuevas y regeneradas en la columna de agua en Bahía Magdalena (SO) Península de Baja California), México. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(3): 587-592.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-1957201200030021>
- Cervantes-Duarte, R., R. Prego, S. López-López, F. Aguirre-Bahena & N. Ospina-Álvarez. 2013. Annual patterns of nutrients and chlorophyll in a subtropical coastal lagoon under the upwelling influence (SW of Baja-California Peninsula). *Est. Coast. Shelf Sci.*, 120: 54-63.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.01.020>
- Cervantes-Duarte, R., A.J. Marmolejo-Rodríguez, J. Santos-Echeandía, S. Futema-Jiménez, F. Barrera-González & S. López-López. 2014. Análisis del agua litoral en San Carlos, Baja California Sur, México. *Naturaleza y Desarrollo*, 12(2): 50-62.
- Félix-Uraga, R., F.N. Melo-Barrera & C. Quiñonez-Velázquez. 2007. *Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico Sardinops sagax y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoque de stocks*. 223-234, En: Funes-Rodríguez R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México.
- Filonov, A.E., I.E. Tereshchenko & C.O. Monzón. 2003. Hydrographic monitoring of El Niño 97-98 off the coast of southwest Mexico. *Geofís. Int.*, 42 (3): 307-312.
- Gárate-Lizárraga, I. & D.A. Siqueiros. 1998. Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 El Niño event (1984 to 1986). *Pacif. Sci.*, 52: 79-97.
- Gaxiola-Castro, G., M.E. De la Cruz-Orozco, S. Nájera-Martínez, M.D. Martínez-Gaxiola & A. Rodríguez-Gamboa. 2010. *Nutrientes: efectos de procesos locales y de gran escala*. 207-225, En: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.). Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997-2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California.
- Herrera-Cervantes, H., S.E. Lluch-Cota, D.B. Lluch-Cota, G. Gutiérrez De-Velasco-San-Román & D. Lluch-Belda. 2010. ENSO influence on satellite-derived chlorophyll trends in the Gulf of California. *Atmósfera*, 23: 253-262.
- Kahru, M., S.G. Marinone, S.E. Lluch-Cota, A. Parés-Sierra & G.B. Mitchell. 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: Scales from days to ENSO. *Deep-Sea Res. II*, 51: 139-146.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.04.001>
- Lavaniegos, B.E., G. Gaxiola-Castro, L.C. Jiménez-Pérez, M.R. González-Esparza, T. Baumgartner & J. García-Cordova. 2003. 1997-98 El Niño effects on the pelagic ecosystem of the California current off Baja California, Mexico. *Geofís. Int.*, 42 (3): 483-494.
- Lavín, M.F., E. Palacios-Hernández & C. Cabrera. 2003. Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California. *Geofís. Int.*, 42 (3): 363-375.

- López-Cortés, D.J., J.J. Bustillos-Guzmán, I. Gárate-Lizárraga, F.E. Hernández-Sandoval & I. Murillo-Murillo. 2003. Phytoplankton biomasses and hydrographic conditions during El Niño 1997-1998 in Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. *Geofís. Int.*, 42 (3): 495-504.
- Lluch-Belda, D., M.E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez & R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, BCS. *CICIMAR Oceanides*, 15(1): 1-23.
- Lynn, R.J., T. Baumgartner, J. García, C.A. Collins, T.L. Hayward, K.D. Hyrenbach, A.W. Mantyla, T. Murphree, A. Shankle, S.B. Schwing, K.M. Sakuma & M.J. Tegner. 1998. The state of the California Current, 1997-98: transition to El Niño conditions. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep.*, 39: 25-49.
- Murillo-Murillo, I., R. Cervantes-Duarte, G. Gaxiola-Castro, S. López-López, F. Aguirre-Bahena, & E. González-Rodríguez. 2013. Variabilidad de la Productividad Primaria y pigmentos fotosintéticos en una zona de surgencias de la región Sur de la Corriente de California. *CICIMAR-Oceanides*, 28(1): 23-26. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v28i1.121>
- Norton, J.D., D. McLain, R. Brainard & D. Husby. 1985. The 1982-83 El Niño Event off Baja and Alta California and Its Ocean Climate Context. 44-72, In: Wooster, W.S. & D.L. Fluharty (eds.), *El Niño North*. University of Washington.
- Obeso-Nieblas, M., J.H. Gaviño-Rodríguez, H. Obeso-Huerta & S.I. Muñoz-Casillas. 2014. Variabilidad espacial termohalina, masas de agua y circulación geostrofica en Bahía de La Paz, Golfo de California. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 49 (3): 413-426. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000300002>
- Ohman, M.D., K. Barbeau, P.J.S. Franks, R. Goericke, M.R. Landry & A.J. Miller. 2013. Ecological transitions in a coastal upwelling ecosystem. *Oceanography*, 26(3): 210-219. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.65>
- Palomares-García, R. & J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-1984. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 43: 583-595. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0089>
- Palomares-García, R., A. Martínez-López, R. De Silva-Dávila, R. Funes-Rodríguez, M.A. Carballido-Carranza, R. Avendaño-Ibarra, A. Hinojosa-Medina & G.A. López-Ibarra. 2003. Biological effects of El Niño 1997-98 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, Mexico. *Geofís. Int.*, 42 (3): 455-466.
- Petersen, J.H., A.E. Jahn, R.J. Lavenberg, G.E. McGowan & R.S. Grovers. 1986. Physical-chemical characteristics and zooplankton biomass on the continental shelf off Southern California. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep.*, 27: 36-52.
- Ramírez-Manguilar, A.M., R. Durazo, E. Beier & R. Castro. 2010. *Variabilidad anual e interanual en el transporte de volumen, calor y sal*. 149-162, En: Gaxiola-Castro, G. & R. Durazo (eds.). *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997-2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*.
- Ribas-Ribas, M., J.M. Hernández-Ayón, V.F. Camacho-Ibar, A. Cabello-Pasini, A. Mejía-Trejo, R. Durazo, S. Galindo-Bect, A.J. Souza, J.M. Forja & A. Siqueiros-Valencia. 2011. Effects of upwelling, tides and biological processes on the inorganic carbon system of a coastal lagoon in Baja California. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 95: 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.09.017>
- Strickland, J.D. & T.R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, second ed., vol. 167. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Bulletin. 310 p.
- Zaitsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante & A. Gallegos-García. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *J. Oceanogr.*, 59: 489-502. <https://doi.org/10.1023/A:1025544700632>
- Zaitsev, O., A. Trasviña-Castro, J. Linero-Cueto, G. Gaxiola-Castro & J. Cepeda-Morales. 2014. Oceanographic conditions over the continental shelf off Magdalena Bay (Mexico) in 2011-2012. *Cienc. Mar.*, 40(2): 89-112. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i2.2314>

Copyright (c) 2007 Cervantes-Duarte, Rafael & Felipe de Jesús García-Romero.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/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.

*[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)*