



## Nutrient fluxes and net metabolism in a coastal lagoon SW peninsula of Baja California, Mexico

## Flujo de nutrientes y metabolismo neto de una laguna costera del SW de la península de Baja California, México

Cervantes Duarte, R.

Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México.

### ABSTRACT

Fluxes of nutrients and net metabolism were estimated in coastal lagoon Magdalena Bay using LOICZ biogeochemical model. *In situ* data were obtained from 14 sites in the lagoon and also from a fixed site in the adjacent ocean area. Intense upwelling (February to July) and faint upwelling (August to January) were analyzed from monthly time series. The Temperature, nitrite + nitrate, ammonium and phosphate within the lagoon showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between the two periods. Salinity ( $p = 0.408$ ) was more homogeneous (no significantly different) due to mixing processes. During the intense upwelling period, nutrients increased in and out of the lagoon due to the influence of Transitional Water and Subarctic Water transported by the California Current. However, during the faint upwelling, from August to January, the Transition Water and Subtropical Surface Water were predominant. Magdalena Bay showed denitrification processes of throughout the year as it occurred in other semi-arid coastal lagoons. It also showed a net autotrophic metabolism during intense upwelling and heterotrophic metabolism during faint upwelling. Understanding nutrient flows and net metabolism through simple biogeochemical models can provide tools for better management of the coastal zone.

#### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 30<sup>th</sup> 2015.

Accepted/Aceptado: November 27<sup>th</sup> 2015.

### RESUMEN

Los flujos de nutrientes y el metabolismo neto de la laguna costera Bahía Magdalena, fueron evaluados mediante la aplicación del modelo biogeoquímico LOICZ. Los datos hidrológicos provienen de muestreos realizados en el interior de la laguna y de un sitio fijo en la zona oceánica adyacente. Para el análisis temporal de la serie se consideraron dos periodos: surgencias intensas (febrero a julio) y surgencias débiles (agosto a enero). La temperatura, nitrito + nitrato, amonio y fosfato en el interior de la laguna presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ambos periodos, excepto la salinidad ( $p = 0.408$ ) que fue más homogénea, debido a los procesos de mezcla. Durante el periodo de surgencias intensas los nutrientes se incrementaron dentro y fuera de la laguna, debido a la influencia de Agua de Transición y Agua Subártica transportada por la Corriente de California en esta época del año. En cambio durante el periodo de surgencias débiles, de agosto a enero, predominó en la zona el Agua de Transición y Agua Subtropical Superficial. Bahía Magdalena presentó procesos dominantes de desnitrificación durante todo el año como otras lagunas costeras de zonas semi-áridas y un metabolismo neto autótrofo durante el periodo de surgencias intensas y heterótrofo en surgencias débiles. El entendimiento de los flujos de nutrientes y el metabolismo neto a través de modelos biogeoquímicos sencillos, puede proveer de herramientas para el mejor manejo de la zona costera.

#### \*Corresponding Author:

Cervantes Duarte Rafael, Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México. Phone: +52(01) 612 122 5366. E-mail.: rcervan@ipn.mx

---

**KEY WORDS**

---

LOICZ model, coastal upwelling, California current.

---

**PALABRAS CLAVE**

---

Modelo LOICZ, surgencia costera, corriente de California.

**Introduction**

As a result from the meeting "LOICZ WORKSHOP ON MEXICAN COASTAL LAGOONS" organized by researchers from the project Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) in 1997, Nitrogen and Phosphorous balances in eight coastal bodies of water from the country were performed, in accordance to LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines (Gordon *et al.*, 1996). This model allows to easily quantify the capacity of coastal ecosystems to transform, accumulate or export dissolved matter, and it provides information on: the balance of salt and water, the fluxes of nutrients, and the stoichiometry to estimate the net metabolism of the ecosystem (MNE) (Smith & Atkinson, 1994; Kemp *et al.*, 1997). The MNE is positive (autotrophic) when the production exceeds the respiration and negative (heterotrophic) when the respiration exceeds the production (Odum, 1969); balance between organic carbon and the load of nutrients is critical to determine the balance between autotrophy and heterotrophy (Caffrey, 2003). Applied balances with the cases of the biogeochemical model LOICZ in coastal hypersaline lagoons have shown their usability in response of the ecosystem to anthropogenic loads of nutrients, and in the environmental management to prevent effects of eutrophication (Botello-Ruvalcaba and Valdez-Holguin, 1997; Souza *et al.*, 2003; Camacho-Ibar *et al.*, 2003; Arreola-Lizárraga *et al.*, 2004; Valenzuela-Siu *et al.*, 2007). Lagoon systems studied so far in Northeast Mexico have not addressed the occidental coast of Baja California Sur, characterized by its elevated biological and fishing productivity as a result of the processed of nutrient contribution by coastal upwelling processes and which joint with the tidal currents represent an important mechanism of fertilization in coastal lagoons (Zaitsev *et al.*, 2003). These transitory events, which last from days to weeks, occur during all year in this zone, and even their higher nutrient intake in the period of February to July, and lower from August to January (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013), they have not been quantified, neither their effect in the net metabolism of the lagoon. Hence, the objective of this study is to estimate the fluxes of nutrients and net metabolism in Bahía Magdalena, in intense and faint upwelling periods, through the application of the biogeochemical model LOICZ.

**Introducción**

Como resultado de la reunión "LOICZ WORKSHOP ON MEXICAN COASTAL LAGOONS" organizada por investigadores del proyecto Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) en 1997, se elaboraron balances de Nitrógeno y Fósforo en ocho cuerpos de agua costeros del país, de acuerdo al LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines (Gordon *et al.*, 1996). Este modelo permite cuantificar de manera simplificada la capacidad de los ecosistemas costeros para transformar, acumular o exportar materia disuelta y proporciona información sobre: el balance de agua y sal, los flujos de nutrientes y la estequiometría para llegar a estimar el metabolismo neto del ecosistema (MNE) (Smith y Atkinson, 1994; Kemp *et al.*, 1997). El MNE es positivo (autótrofo) cuando la producción excede la respiración y negativo (heterótrofo) cuando la respiración excede la producción (Odum, 1969); el balance entre carbono orgánico y la carga de nutrientes es crítico para determinar el balance entre autotrofia y heterotrofia (Caffrey, 2003). Los balances aplicados con los supuestos del modelo biogeoquímico LOICZ, en lagunas costeras hipersalinas, han mostrado su utilidad en la respuesta del ecosistema a cargas antropogénicas de nutrientes, así como en la gestión ambiental para prevenir los efectos de eutrofización (Botello-Ruvalcaba and Valdez-Holguin, 1997; Souza *et al.*, 2003; Camacho-Ibar *et al.*, 2003; Arreola-Lizárraga *et al.*, 2004; Valenzuela-Siu *et al.*, 2007). Los sistemas lagunares hasta ahora estudiados en el noroeste de México, no han abordado la costa occidental de Baja California Sur, área caracterizada por su elevada productividad biológica y pesquera como resultado de los procesos de aportes de nutrientes por procesos de surgencias costeras y que acoplados con las corrientes de marea son un mecanismo primordial de fertilización en las lagunas costeras (Zaitsev *et al.*, 2003). Estos eventos transitorios, con duración de días a semanas, ocurren durante todo el año en esta zona, y aunque tienen su mayor aporte de nutrientes en el periodo de febrero a julio y menor de agosto a enero (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013), éstos no han sido cuantificados, ni su efecto en el metabolismo neto de la laguna. Por lo que el objetivo del presente estudio es estimar los flujos de nutrientes y el metabolismo neto en Bahía Magdalena, en los periodos de surgencias intensas y débiles, mediante la aplicación del modelo biogeoquímico LOICZ.

## Material and Methods

Bahía Magdalena (BM) is located Southeast of the Baja California Peninsula Mexico (24°30'-24°48'N and 111°51'-112°09'W), with an approximate length of 40 km and width of 20 km, and it is part of an extensive lagoon system (Funes-Rodríguez *et al.*, 2007). The lagoon has an approximate area of 565 km<sup>2</sup>, with a total water volume (high-low tide) of 6.8 to 8.1 km<sup>3</sup>. Tides are semidiurnal mixed most part of the year and their range varies from 0.7 to 2.3 m (microtidal). Internal zone is more shallow (<10 m) and occupies approximately half of the lagoon surface, while the deeper zone communicates with the ocean through a mouth of 5.6 km width, and 38 m depth (Figure 1). Circulation towards the interior of the system is modulated mainly by the tidal forcing, provoking a cyclonic turn in the central and deep parts, and an anticyclonic turn in the Southeast portion of the bay (Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2010). Velocities of the tidal currents in the main mouth during the spring tide (up to 0.6 m s<sup>-1</sup> in flux/reflux) were 2.5 times higher than the neap tide in the top flux/reflux (Saldivar, 2007).

The lagoon is influenced by a semi-arid climate, with an average annual rate of evaporation (~1800 mm) superior to precipitation (~100 mm) (<http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php#>). In accordance to the classification of water masses in front of the west coast of Baja California (Durazo and Baumgartner, 2002), water that predominates the lagoon is Transitional Water (TrW), with Subarctic Water (SAW) transported by the California Current, and in less amount with Equatorial Sub-superficial Water (ESsW) in February-July, and with Subtropical Superficial Water (StSW) in August-January (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013).

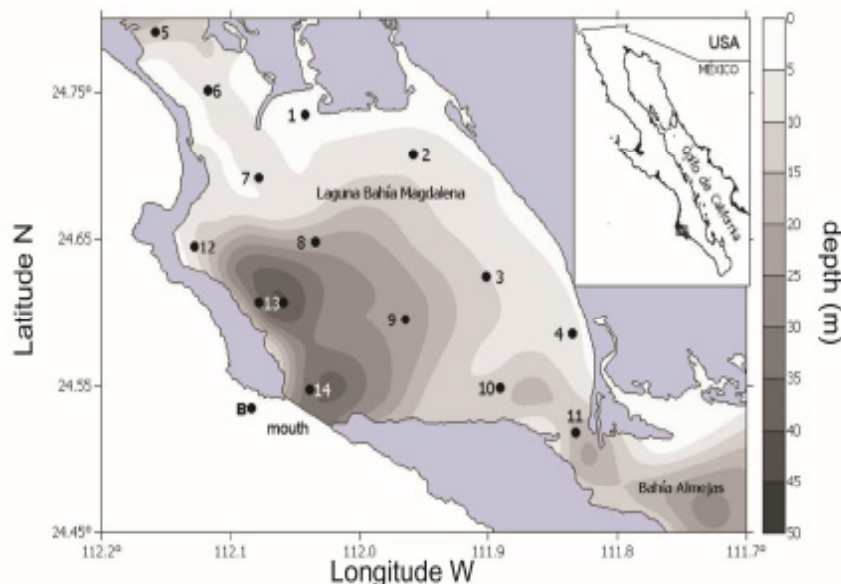
Data were obtained from two series of time performed with the same sampling and analysis methodologies, one in the interior of the lagoon from 2005 to 2011, and the other in a site outside the main mouth from 2008 to 2011 (Figure 1). Vertical profiles of temperature and salinity were obtained using a CTD Sea-Bird 19Plus in each sampling site, and water samples from the surface were collected with Nisking, General Oceanic bottles of 5 L, to determine the concentrations of nitrate, phospho-

## Materiales y Métodos

Bahía Magdalena (BM) está localizada en el suroeste de la península de Baja California, México (24°30'-24°48'N y 111°51'-112°09'W), tiene una longitud aproximada de 40 km y una anchura de 20 km y forma parte de un extenso sistema lagunar (Funes-Rodríguez *et al.*, 2007). La laguna tiene un área de aproximadamente 565 km<sup>2</sup> con un volumen total de agua (marea baja-alta) de 6.8 a 8.1 Km<sup>3</sup>. Las mareas son mixtas semidiurnas la mayor parte del año y su rango varía de 0.7 a 2.3 m (micromareal). La zona interna es más somera (<10 m) y ocupa aproximadamente la mitad de la superficie de la laguna, mientras que la zona más profunda se comunica con el océano a través de una boca de 5.6 km de ancho y 38 m de profundidad (Figura 1). La circulación hacia el interior del sistema está modulada principalmente por el forzamiento de la marea, produciendo un giro ciclónico en la parte central y profunda y un giro anticiclónico en la porción sureste de la bahía (Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2010). Las velocidades de las corrientes de marea en la boca principal durante la fase de marea viva (hasta 0.6 m s<sup>-1</sup> en flujo/reflujo) fueron 2.5 veces mayores que las corrientes de marea muerta en los máximos de flujo/reflujo (Saldivar, 2007).

La laguna está influenciada por un clima semi-árido, con una tasa anual promedio de evaporación (~1800 mm) superior a la precipitación (~100 mm) (<http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php#>). De acuerdo con la clasificación de masas de agua frente a la costa occidental de Baja California (Durazo y Baumgartner, 2002), el agua que predomina en la laguna es el Agua Transicional (TrW), con Agua Subártica (SAW) transportada por la Corriente de California y en menor medida con Agua Ecuatorial Subsuperficial (ESsW) en el periodo Febrero-Julio, y con Agua Subtropical Superficial (StSW) en la temporada Agosto-Enero (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013).

Los datos del presente estudio provienen de dos series de tiempo realizadas con las mismas metodologías de muestreo y análisis, una en el interior de la laguna en el periodo de 2005 a 2011 y otra en un sitio fuera de la boca principal de 2008 a 2011 (Figura 1). En cada sitio de muestreo se obtuvieron perfiles verticales de temperatura y salinidad con un CTD Sea-Bird 19Plus y se recolectaron muestras de agua de superficie mediante botellas Niskin, General Oceanic de 5 L, para determinar las concentraciones de nitrato, fosfato y clorofila-a. Para cada muestra se filtraron hasta 2 L de agua en un sistema Millipore con filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 25 mm de diámetro.



**Figure 1. Localization of study area. Internal net of 14 stations and one external station (B).**

**Figura 1. Localización del área de estudio. Red interna de 14 estaciones y una estación externa (B).**

te and chlorophyll-a. Up to 2 L of water were filtered for each sample, in a Millipore system with fiberglass Whatman GF/F of 25 mm diameter. Chlorophyll extraction was made without destroying the filter, in accordance to Venrick and Hayward (1984), and chlorophyll-a concentration was estimated by using the equations according to the method by Jeffrey and Humphrey (1975), using a spectrophotometer Spectronic® Genesys-2™. One part of the filtration was used to determine the ammonium concentration, which was analyzed within standard spectrophotometric techniques (Strickland & Parsons, 1972) using a Spectronic® Genesys-2™.

A non-parametric variance analysis (ANOVA) with a significance of  $p < 0.05$  was applied to determine existing differences in temperature, salinity and nutrient variables between the conditions of intense and faint upwellings, results were presented through a box-and-whiskers plot. The statistical package used was SIGMAPLOT 11.0. Nutrients fluxes and net metabolism of the ecosystem were estimated using a biogeochemical model LOICZ, described by Gordon *et al.*, (1996).

La extracción de clorofila se realizó sin destruir el filtro de acuerdo con Venrick y Hayward (1984) y la concentración de clorofila-a se estimó empleando las ecuaciones según el método descrito por Jeffrey y Humphrey (1975), mediante un espectrofotómetro Spectronic® Genesys-2™. Una parte del filtrado se utilizó para determinar la concentración de amonio, el cual se analizó dentro de las 6 h posteriores a la colecta y otra parte se almacenó hasta por un periodo de 15 días en un congelador a  $-50^{\circ}\text{C}$  para posteriormente analizar nitrato, nitrito y fosfato como ortofosfato. La determinación de nutrientes se realizó mediante técnicas espectrofotométricas estándares (Strickland y Parsons, 1972) usando un equipo Spectronic® Genesys-2™.

Para determinar si había diferencias en las variables de temperatura, salinidad y los nutrientes entre las condiciones de surgencia intensa y débil, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico (ANOVA) con una significancia de  $p < 0.05$  y los resultados se presentaron mediante gráficos de cajas y bigotes. El paquete estadístico utilizado fue SIGMAPLOT 11.0. Los flujos de nutrientes y el metabolismo neto del ecosistema se estimaron mediante el modelo biogeoquímico LOICZ, descrito en Gordon *et al.*, (1996).

### Description of the model

The model is built in three stages consisting in: (1) water balance, (2) salt balance and (3) non-conservative materials balance. General equations used to calculate these balances are:

$$dV/dt = V_Q + V_P + V_G + V_O - V_E + V_R \quad (\text{Ec. 1})$$

$$d(VS)/dt = V_P S_P - V_E S_E + V_R S_R + V_X (S_{OCN} - S_{SIS}) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$d(VY)/dt = V_R Y_R + V_X (Y_{OCN} - Y_{SIS}) + \Delta Y \quad (\text{Ec. 3})$$

Where:

$V_Q$  represent residual agricultural waters (zero assumed),  $V_P$  are rains,  $V_G$  is the intake of the water table (zero assumed),  $V_O$  are other intakes (zero assumed),  $V_E$  is the evaporation and  $V_R$  is the residual flow, which contain the volume in the system.

$S_{OCN}$  and  $S_{SIS}$  are the ocean and system salinities (Bahía Magdalena), respectively.  $S_P$ ,  $S_E$  and  $S_R$  is the salinity average that is due to precipitation (zero assumed), evaporation and residual flow between two borders, for example: the ocean and the system.

$\Delta Y$  is the flow of non-conservative material (phosphorous and nitrogen).  $Y_R$  is the average value of non-conservative material between two borders.  $Y_{OCN}$ ,  $Y_{SIS}$  are average non-conservative material values of the ocean and the system, respectively.

### Water balance

Equation 1 describes the conservation of water volume. In the case of the lagoon Bahía Magdalena, balance between input and output fresh water fluxes from the system must be equal to the storage volume within the system.

$$VR = -VP + VE$$

### Salt balance

Equation 2 describes salt that is added or removed from the system by circulation of water. Circulation processes that move the salt not only include  $V_R$ , but also water exchange from the mouth of the lagoon (for example, mixing) with the net flux of water. The mixing ( $V_X$ ) releases water to the ocean and removes water of the lagoon. Salt balance was calculated assuming a stationary state:

$$V_X = V_R S_R / (S_{SIS} - S_{OCN})$$

### Descripción del modelo

El modelo se construye en tres etapas que consisten en: (1) balance de agua, (2) balance de sal y (3) balance de materiales no conservativos. Las ecuaciones generales que se utilizan para calcular estos balances son:

$$dV/dt = V_Q + V_P + V_G + V_O - V_E + V_R \quad (\text{Ec. 1})$$

$$d(VS)/dt = V_P S_P - V_E S_E + V_R S_R + V_X (S_{OCN} - S_{SIS}) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$d(VY)/dt = V_R Y_R + V_X (Y_{OCN} - Y_{SIS}) + \Delta Y \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$V_Q$  son aguas residuales agrícolas (se asumió cero),  $V_P$  son lluvias,  $V_G$  es el aporte del manto freático (se asumió cero),  $V_O$  son otros aportes (se asumió cero),  $V_E$  es evaporación y  $V_R$  es el flujo residual, que contiene el volumen en el sistema.

$S_{OCN}$  y  $S_{SIS}$  son las salinidades del océano y sistema (Bahía Magdalena), respectivamente.  $S_P$ ,  $S_E$  y  $S_R$  es el promedio de salinidad que se debe a la precipitación (se asumió cero), evaporación y flujo residual entre dos fronteras, ejemplo: el océano y el sistema.

$\Delta Y$  es el flujo del material no conservativo (fósforo y nitrógeno).  $Y_R$  es el valor promedio del material no conservativo entre dos fronteras.  $Y_{OCN}$ ,  $Y_{SIS}$  son los valores promedio del material no conservativo del océano y sistema, respectivamente.

### Balance de agua

La ecuación 1 describe la conservación del volumen de agua. En el caso de la laguna Bahía Magdalena el balance entre los flujos de entrada y salida de agua dulce del sistema debe ser igual al volumen almacenado dentro del sistema.

$$VR = -VP + VE$$

### Balance de sal

La ecuación 2 describe la sal que es adicionada o removida del sistema por circulación del agua. Los procesos de circulación que mueven la sal incluyen no solamente  $V_R$ , sino también el intercambio del agua de la boca de la laguna (ejemplo, mezcla) con el flujo neto del agua. La mezcla ( $V_X$ ) libera agua al océano y remueve agua de la laguna. El balance de sal se calculó suponiendo un estado estacionario:

$$V_X = V_R S_R / (S_{SIS} - S_{OCN})$$

$S_R$  es la salinidad asociada al flujo residual y representa el promedio entre la salinidad de la laguna ( $S_{SIS}$ ) y la salinidad del mar adyacente ( $S_{OCN}$ ). Los balances de agua y sal des-

$S_R$  represents the salinity associated to residual flux and represents the average between the salinity of the lagoon ( $S_{SIS}$ ) and salinity of the adjacent sea ( $S_{OCN}$ ). Water and salt balances describe, altogether, advective and mixing processes between the lagoon and the adjacent sea.

### Nutrients balance

Equation 3 describes mass balance of any non-conservative material Y. Inorganic dissolved nitrogen (NID) and inorganic dissolved phosphorous (FID) that will exchange between the adjacent sea and the coastal lagoon based in the established criteria of water and salt balance. General equations for the calculation of nutrients flux are exemplified with the phosphorous flux  $\Delta FID$ :

$$\Delta FID = -V_R FID_R - V_X (FID_{OCN} - FID_{SIS})$$

Where:  $FID_{OCN}$  and  $FID_{SIS}$  represent the molar concentrations of inorganic dissolved phosphorous in the adjacent sea and in Bahía Magdalena,  $FID_R$  is the concentration associated to the residual flux (average between  $FID_{SIS}$  and  $FID_{OCN}$ ). Same equation was used to calculate  $\Delta NID$ .

### Estimations of MNE and (Nfij – Desnit)

Net metabolism of the ecosystem (MNE), which represents the difference between carbon production (p) and respiration (r), was estimated with the following equation:

$$(p-r) = -\Delta FID \times (C:P)_{part}$$

Where:  $(C:P)_{part}$  is the carbon ratio to phosphorous in particulate organic matter that is being recycled in the coastal lagoon. A molar proportion of C:P (106:1) was assumed (Redfield, 1934).

Balance between fixation of nitrogen and denitrification was estimated with the equation:

$$(Nfij - Desnit) = \Delta NID_{obs} - \Delta FID \times (N:P)_{part}$$

donde:  $\Delta NID_{obs}$  is the non-conservative flux of estimated NID and the expression  $\Delta FID \times (N:P)_{part}$  represents the non-conservative expected NID.  $(N:P)_{part}$  is the nitrogen ratio to phosphorus, and it represents the amount of phosphorous attributed to the decomposition of organic matter, supposing a molar proportion (16:1) (Redfield, 1934).

It has been established that the difference between observed  $\Delta NID$  and the expected  $\Delta NID$  is equivalent to the dif-

criben, en conjunto, los procesos advectivos y de mezcla entre la laguna y el mar adyacente.

### Balance de nutrientes

La ecuación 3 describe el balance de masa de cualquier material no conservativo Y. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo inorgánico disuelto (FID) que se intercambiarán entre el mar adyacente y la laguna costera con base en los criterios establecidos en el balance de agua y sal. Las ecuaciones generales para el cálculo de los flujos de nutrientes se ejemplifican con el flujo del fósforo  $\Delta FID$ :

$$\Delta FID = -V_R FID_R - V_X (FID_{OCN} - FID_{SIS})$$

Donde:  $FID_{OCN}$  y  $FID_{SIS}$  representan las concentraciones molares del fósforo inorgánico disuelto en el mar adyacente y en Bahía Magdalena,  $FID_R$  es la concentración asociada al flujo residual (promedio entre  $FID_{SIS}$  y  $FID_{OCN}$ ). La misma ecuación se utilizó para el cálculo de  $\Delta NID$ .

### Estimaciones de MNE y (Nfij – Desnit)

El metabolismo neto del ecosistema (MNE), que representa la diferencia entre la producción de carbono (p) y la respiración (r) fue estimado con la siguiente ecuación:

$$(p-r) = -\Delta FID \times (C:P)_{part}$$

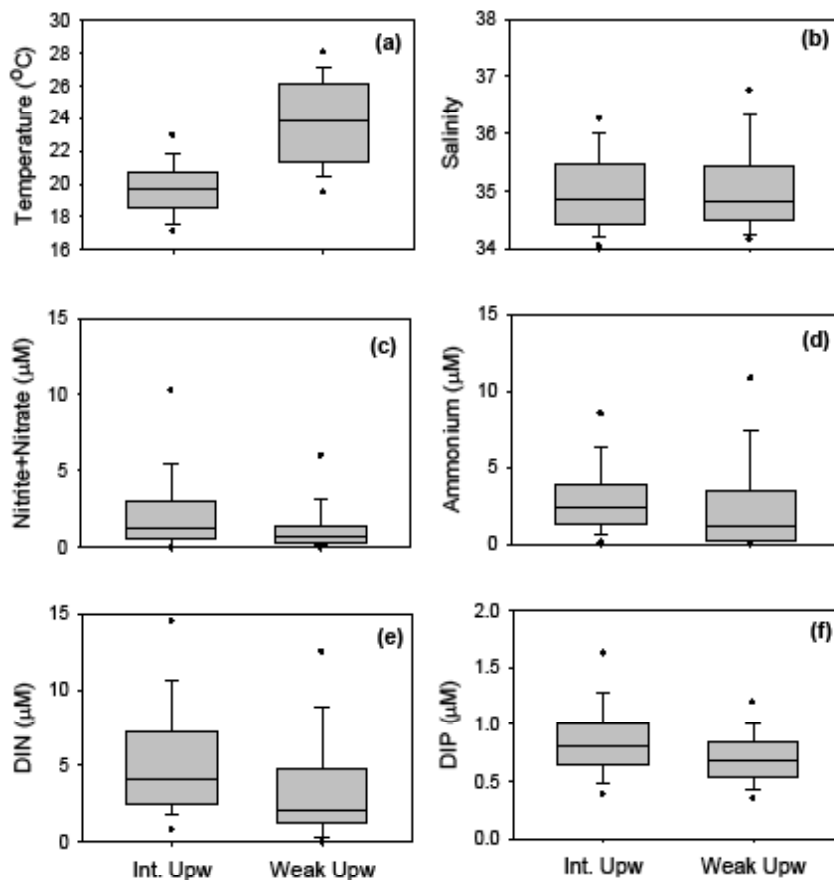
Donde:  $(C:P)_{part}$  es la razón carbono a fósforo en la materia orgánica particulada que está siendo reciclada en la laguna costera. En la estimación se supone una proporción molar de C:P (106:1) (Redfield, 1934).

El balance entre fijación de nitrógeno y desnitrificación fue estimado con la ecuación:

$$(Nfij - Desnit) = \Delta NID_{obs} - \Delta FID \times (N:P)_{part}$$

Donde:  $\Delta NID_{obs}$  es el flujo no conservativo de NID estimado y la expresión  $\Delta FID \times (N:P)_{part}$  es el flujo no conservativo de NID esperado.  $(N:P)_{part}$  es la razón nitrógeno a fósforo y representa la cantidad de fósforo atribuida a la descomposición de la materia orgánica, suponiendo una proporción molar (16:1) (Redfield, 1934).

Se ha establecido que la diferencia entre el  $\Delta NID$  observado y el  $\Delta NID$  esperado es equivalente a la diferencia entre la fijación de nitrógeno y la desnitrificación. Las estimaciones del balance de agua, balance salino, flujos de nutrientes, metabolismo neto y (Nfij-Desnit), se realizaron tanto para



**Figure 2.** Variables measured in Surface during intense upwellings and faint upwellings in the interior of Bahía Magdalena. In each box the median and 5th and 95th percentiles is shown.

**Figura 2.** Variables medidas en superficie durante los periodos de surgencias intensas (S. Int) y surgencias débiles (S. Deb) en el interior de Bahía Magdalena. En cada caja se muestra la mediana y los percentiles del 5 y 95 %.

ference between the fixation of nitrogen and denitrification. Water balance estimations, saline balance, nutrients fluxes, net metabolism and (N<sub>fij</sub>-Desnit), were performed for both intense upwelling periods (February-July) and faint upwellings (August-January).

## Results

Superficial temperature in the interior of the lagoon had intervals of 15-25 °C in Intense Upwellings (IU)

periodos de surgencias intensas (febrero-julio) como para surgencias débiles (agosto-enero).

## Resultados

La temperatura superficial en el interior de la laguna tuvo intervalos de 15–25 °C en Surgencias Intensas (SI) y de 18–30 °C en Surgencias Débiles (SD), con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ambos periodos. La salinidad registró intervalos de 34–37 en SI y de 34–38 en SD,

**Table 1.**  
Average values and standard deviation of salinity and nutrients during upwelling periods in Bahía Magdalena and adjacent sea.

**Tabla 1.**  
Valores promedio y desviación estándar de salinidad y nutrientes durante periodos de surgencia en Bahía Magdalena y mar adyacente.

		n	Salinity	FID	NID	Ammonium	NID/FID
Intense	ocean	35	34.2 ± 0.3	1.06 ± 0.46	11.5 ± 9.0	2.94 ± 2.68	9.8 ± 4.0
	lagoon	181	35.0 ± 0.7	0.86 ± 0.39	5.53 ± 4.56	3.01 ± 2.69	6.2 ± 4.1
Faint	ocean	47	34.5 ± 0.3	0.53 ± 0.22	4.5 ± 5.2	1.41 ± 1.01	5.5 ± 2.6
	lagoon	187	35.1 ± 0.8	0.70 ± 0.24	3.71 ± 4.13	2.54 ± 3.39	5.2 ± 5.3

**Table 2.**  
Residence times, nutrient flows and net metabolism in Bahía Magdalena, during periods of upwelling.

**Tabla 2.**  
Tiempo de residencia, flujos de nutrientes y metabolismo neto en Bahía Magdalena, durante los periodos de surgencia.

	T	ΔDIP	ΔDIN	(p-r)	(Nfij – Denit)
	(days)	(mmoles m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	(mmoles m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	(mmoles m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	(mmoles m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
<b>Intense</b>	338	-0.008	-0.23	0.90	-0.10
				autotrophic	denitrification
<b>Weak</b>	104	0.02	-0.11	-2.11	-0.42
				heterotrophic	denitrification

Salt and water balances indicated residence times of 338 and 104 days for IU and FU, respectively (Table 2). During IU, phosphorous fluxes were negative, and in FU they were positive, while the nitrogen fluxes were negative in both periods. Net metabolism of the ecosystem (NME) was autotrophic in IU and heterotrophic in FU, however, denitrification process dominated in both (Table 2).

Los balances de agua y sal indicaron tiempos de residencia de 338 y 104 días para SI y SD, respectivamente (Tabla 2). En SI, los flujos de fósforo fueron negativos y en SD fueron positivos, mientras que los flujos de nitrógeno fueron negativos en ambos periodos. El metabolismo neto del ecosistema (MNE) fue autotrófico en SI y heterotrófico en SD, sin embargo en ambos dominó el proceso de desnitrificación (Tabla 2).

and 18 – 30 °C in Faint Upwellings (FU), with significant differences ( $p < 0.05$ ) between both periods. Salinity recorded intervals of 34–37 in IU and 34–38 in FU, no significant differences were observed ( $p = 0.408$ ) (Figure 2). Average concentrations of nutrients were significantly higher ( $p < 0.05$ ) in the intense upwelling periods in contrast to the faint upwellings (Figure 2).

no se observaron diferencias significativas ( $p = 0.408$ ) (Figura 2). Las concentraciones promedio de nutrientes fueron significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) en el periodo de surgencias intensas respecto al de surgencias débiles (Figura 2). Los valores de salinidad fueron mayores en la laguna con respecto al mar adyacente tanto en SI como en SD; asimismo, las concentraciones de



Salinity values were higher in the lagoon in regard to adjacent sea, in both IU and FU; likewise, nutrients concentrations were higher during the intense upwellings period in both sites (Table 1).

## Discussion

During intense upwellings (February to July) and faint (August to January), marked changes in the measured variables in both the interior and exterior of the adjacent ocean to Bahía Magdalena were observed. The superficial average temperature difference between both periods of upwelling was 4 °C in the interior of the Bahía Magdalena, where mixing processes are more intense and 6 °C in the exterior of the bay, due to the high influence of the California Current in spring and beginning of summer (Durazo and Baumgartner, 2002; Zaitsev *et al.*, 2003; Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). Salinity presented a lower variation in respect to temperature. During the intense upwellings, major differences were observed between the interior and exterior of the lagoon, corresponding the lower values to oceanic water ( $34.2 \pm 0.3$ ). During faint upwellings, salinity tends to increase in the interior and exterior part of the bay, as a result of the influence of more saline water from Equatorial origin (Durazo and Baumgartner, 2002) and the high rate of evaporation in the period August to January. In the interior, salinity increases due to the evaporation of values higher to 35, and due to the scarce precipitation, an inverse estuarine gradient is developed (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

Average water balance in the lagoon is dominated by continuous evaporation processes (926 mm from February to July and 865 mm from August to January) more than for precipitation (16 mm and 81 mm, respectively) and scarce inputs of fresh water, being a semi-arid zone. The higher influence occurs due to the coupled effect of tidal currents and wind through its main mouth (Zaitsev *et al.*, 2007). Water residence times estimated by the model in a box by LOICZ were highly elevated (338 days from February to July and 104 days from August to January) in respect to those calculated by the tidal prism (6 tide cycles during spring tides and 30 cycles during neap tide) reported by other authors (Sánchez-Montante *et al.*, 2007) and better compared with those obtained for a similar lagoon in Baja California (Camacho-Ibar *et al.*, 1997).

During the intense upwelling period, nutrients increased within and outside the Bahía Magdalena, due to the influen-

nutrientes fueron mayores durante el periodo de surgencias intensas en ambos sitios (Tabla 1).

## Discusión

Durante los periodos de surgencia intensa (febrero a julio) y débil (agosto a enero) se observaron marcados cambios en las variables medidas tanto en el interior como en el océano adyacente a Bahía Magdalena. La diferencia de temperatura promedio superficial entre ambos periodos de surgencia fue de 4° C en el interior de Bahía Magdalena, donde los procesos de mezcla son más intensos y de 6° C en el exterior de la bahía, debido a la mayor influencia de la Corriente de California en primavera y principios de verano (Durazo y Baumgartner, 2002; Zaitsev *et al.*, 2003; Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). La salinidad presentó una menor variación respecto a la temperatura. Durante las surgencias intensas se observaron las mayores diferencias entre el interior y exterior de la laguna, correspondiendo los menores valores al agua oceánica ( $34.2 \pm 0.3$ ). Durante las surgencias débiles la salinidad tiende a aumentar en la parte interior y exterior de la bahía, como resultado de la influencia de agua más salina de origen Ecuatorial (Durazo y Baumgartner, 2002) y por la elevada tasa de evaporación en el periodo de agosto a enero. En el interior la salinidad se incrementa por la evaporación a valores mayores de 35, y debido a la escasa precipitación se desarrolla un gradiente estuarino inverso (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

El balance de agua promedio en la laguna está dominado por los continuos procesos de evaporación (926 mm de febrero a julio y 865 mm de agosto a enero) más que por la precipitación (16 mm y 81 mm, respectivamente) y escasos aportes de agua dulce, por ser una zona semi-árida. La mayor influencia ocurre por el efecto acoplado de las corrientes de marea y viento a través de su boca principal (Zaitsev *et al.*, 2007). Los tiempos de residencia del agua estimados mediante el modelo de una caja de LOICZ fueron muy elevados (338 días de febrero a julio y 104 días de agosto a enero) respecto a los calculados mediante el prisma de mareas (6 ciclos de marea durante mareas vivas y 30 ciclos de marea durante mareas muertas) reportado por otros autores (Sánchez-Montante *et al.*, 2007) y que se comparan mejor con los obtenidos para una laguna similar en Baja California (Camacho-Ibar *et al.*, 1997).

Durante el periodo de surgencias intensas los nutrientes se incrementaron dentro y fuera de Bahía Magdalena, debido a

ce of Transition Water and Subarctic Water (colder and with higher content of nutrients) transported by the California Current this time of year. In contrast, during the period of faint upwellings, from August to January, it predominates in the Transition Water and Subtropical Superficial Water zone (warmer and more saline, with lower content of nutrients) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). It is considered that the main source of nutrients is the ocean (Cervantes-Duarte *et al.*, 2012) similar to what was reported in the lagoon of San Quintín, Baja California (Camacho-Ibar *et al.*, 2003; Ribas-Ribas *et al.*, 2011). However, the influence of the vegetation in the lagoon (mangroves, grass, macroalgae) on the capitation and remineralization of nutrients and organic matter processes have not been evaluated.

FID fluxes indicated that the lagoon behaved as drain during the intense upwelling period and as a source during the faint upwelling period. Phosphorous availability is high in this lagoon, due to its location amongst phosphate minerals of the region (Shumilin *et al.*, 2005) and it is not considered a limiting factor for the primary productivity (Cervantes-Duarte *et al.*, 2010). NID fluxes indicated that the lagoon worked as a nitrogen drain during all year, even the flux magnitude was double from February to July, in respect of August to January, mainly associated to the nitrate input transported by the upwelling events.

LOICZ model is appropriate to perform seasonal or annual estimations from the Net Metabolism of the Ecosystem (NME) in a body of water (Caffrey, 2004). In some semi-arid coastal lagoons of NW Mexico with strong seasonal changes, denitrification processes and heterotrophic metabolism dominate (Valenzuela-Siu *et al.*, 2007). The NME in intense upwellings (February to July) was autotrophic, similar to what was reported in Lobos lagoon, during winter and spring, when it is influenced by the coastal upwellings (Lluch-Cota, 2000). While in faint upwellings, from August to January, the NME is heterotrophic, where inputs of organic matter by mangroves can modify the nitrogen and phosphorous fluxes in estuary and become net sources of nutrients (Dittmar and Lara, 2001).

The high fishing and aquaculture potential of Bahía Magdalena is due in higher measure to the fertility of its waters, hence the understanding of nutrient fluxes and net metabolism through simple models can provide tools for a better management of the coastal zone.

la influencia de Agua de Transición y Agua Subártica (más fría y con mayor contenido de nutrientes) transportada por la Corriente de California en ésta época del año. En cambio durante el periodo de surgencias débiles, de agosto a enero, predomina en la zona Agua de Transición y Agua Subtropical Superficial (más cálida y salina, con menor contenido de nutrientes) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). Se considera que la fuente principal de nutrientes es el océano (Cervantes-Duarte *et al.*, 2012) similar a lo reportado en la Laguna de San Quintín, Baja California (Camacho-Ibar *et al.*, 2003; Ribas-Ribas *et al.*, 2011). Sin embargo, la influencia de la vegetación en la laguna (manglares, pastos, macroalgas) sobre los procesos de captación y remineralización de nutrientes y materia orgánica no han sido evaluados.

Los flujos de FID indicaron que la laguna se comportó como sumidero durante el periodo de surgencias intensas y como fuente durante el periodo de surgencias débiles. La disponibilidad de fósforo es alta en ésta laguna, debido a que se encuentra en los minerales de fosforita de la región (Shumilin *et al.*, 2005) y se considera que no es limitante para la productividad primaria (Cervantes-Duarte *et al.*, 2010). Los flujos de NID indicaron que la laguna funcionó como sumidero de nitrógeno todo el año, aunque la magnitud del flujo fue el doble de febrero a julio, respecto a agosto a enero, asociada principalmente al aporte de nitrato transportado por los eventos de surgencia.

El modelo LOICZ es apropiado para hacer estimaciones estacionales o anuales del Metabolismo Neto del Ecosistema (MNE) en un cuerpo de agua (Caffrey, 2004). En algunas lagunas costeras semi-áridas del NW de México con fuertes cambios estacionales dominan los procesos de desnitrificación y el metabolismo heterotrófico (Valenzuela-Siu *et al.*, 2007). El MNE en surgencias intensas (febrero a julio) fue autotrófico, similar a lo reportado en la laguna Lobos, durante la temporada de invierno y primavera cuando está influenciada por las surgencias costeras (Lluch-Cota, 2000). Mientras que en surgencias débiles, de agosto a enero, el MNE es heterotrófico, donde los aportes de materia orgánica por manglares pueden modificar los flujos de nitrógeno y fósforo en estuarios y ser fuentes netas de nutrientes (Dittmar y Lara, 2001).

El alto potencial pesquero y acuícola de Bahía Magdalena es debido en mayor medida a la fertilidad de sus aguas, por lo que el entendimiento de los flujos de nutrientes y metabolismo neto a través de modelos sencillos, puede proveer de herramientas para el mejor manejo de la zona costera.

## References

- Álvarez-Borrego, S., Galindo-Bect, L. and Chee-Barragán, A. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas* 2(2): 94-110. <http://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/285>
- Arreola-Lizárraga, J.A., Flores-Verdugo, F.J. and Ortega-Rubio, A. 2004. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, México. *Aquatic Botany* 79 (2): 137-143. [https://www.researchgate.net/publication/223177388\\_Structure\\_and\\_litterfall\\_of\\_an\\_arid\\_mangrove\\_stand\\_on\\_the\\_Gulf\\_of\\_California\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/223177388_Structure_and_litterfall_of_an_arid_mangrove_stand_on_the_Gulf_of_California_Mexico)
- Botello-Ruvalcaba, M. and Valdez-Holguín, E. 1997. Estero la Cruz, Sonora. 1997. En: Smith, S. V., Ibarra-Obando, P. R. Boudreau & V. F. Camacho-Ibar (Eds.). Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in mexican coastal lagoons, LOICZ Reports and Studies No. 10, 84 p.
- Caffrey, J.M. 2004. Factors Controlling Net Ecosystem Metabolism in U.S. Estuaries. *Estuaries* 27(1): 90-101. <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02803563#/page-1>
- Caffrey, J.M. 2003. Production, respiration and net ecosystem metabolism in U. S. estuaries. *Environmental Monitoring and Assessment* 81: 207-219. <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021385226315>
- Camacho-Ibar, V., Carriquiry, D. and Smith, V. 2003. Non- conservative P and N fluxes and Net Ecosystem Production in San Quintín Bay, México. *Estuaries* 26 (5): 1220-1237. <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02803626#/page-1>
- Camacho-Ibar, V., Carriquiry, J.D. and Smith, S.V. 1997. Bahía San Quintín, Baja California. En: Smith SV, Ibarra-Obando, Boudreau PR, Camacho-Ibar VF. (Eds.). Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in mexican coastal lagoons, LOICZ Reports and Studies No. 10, 84 p.
- Cervantes-Duarte, R., Prego, R., López-López, S., Aguirre-Bahena, F. and Ospina-Álvarez, N. 2013. Annual patterns of nutrients and chlorophyll in a subtropical coastal lagoon under the upwelling influence (SW of Baja California Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 120: 54-63. <http://digital.csic.es/handle/10261/71843>
- Cervantes-Duarte, R., López-López, S., Aguirre-Bahena, F., González-Rodríguez, E. and Futema-Jiménez, S. 2012. Relevancia de fuentes nitrogenadas nuevas y regeneradas en la columna de agua en Bahía Magdalena (SO) Península de Baja California), México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47(3): 587-592. [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572012000300021&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572012000300021&script=sci_arttext)
- Cervantes-Duarte, R., López-López, S., González-Rodríguez, E. and Futema-Jiménez, S. 2010. Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceanides, México* 25(2): 111-120. <http://148.204.122.250/oasis/Medios/oceanides/p0111-0120rafael.pdf>
- Dittmar, T. and Lara, R.J. 2001. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. *Marine Ecology Progress Series* 213: 67-77. <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v213/p67-77/>
- Durazo, R. and Baumgartner, T.R. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography* 54: 7-31. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661102000411>
- Funes-Rodríguez, R., Gómez-Gutiérrez, J. and Palomares-García, R. 2007. Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR, IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 311p.
- Gordon, D.C. Jr., Boudreau, P.R., Mann, K.H., Ong, J.E., Silvert, W.L. and Smith, S.V. 1996. *LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines, LOICZ Reports & Studies* No. 5, 96 p.
- Jeffrey, S. and Humphrey, J. 1975. New spectrophotometric equations for determining Chlorophylls a, b, c<sub>1</sub> and c<sub>2</sub> in algal phytoplankton and higher plants. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 167, 191-194. <http://www.robthe-oceanographer.com/docs/jeffreyyhumphrey1975.pdf>
- Kemp, W.M., Smith, E.M., Marvin-DiPasquale, M. and Boynton, W.R. 1997. Organic carbon balance and net ecosystem metabolism in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series* 150: 229-248. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70020004>
- Lluch-Cota, S. 2000. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta* 23(6): 731-740. [https://www.researchgate.net/publication/232397879\\_Coastal\\_upwelling\\_in\\_the\\_eastern\\_Gulf\\_of\\_California](https://www.researchgate.net/publication/232397879_Coastal_upwelling_in_the_eastern_Gulf_of_California)
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270. <http://science.sciencemag.org/content/164/3877/262>

- Redfield, A.C. 1934. On the proportions of organic derivatives in seawater and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume, Liverpool, 177-192 pp.
- Ribas-Ribas, M., Hernández-Ayón, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Cabello-Pasini, A., Mejía-Trejo, A. and Durazo, R., *et al.* 2011. Effects of upwelling, tides and biological processes on the inorganic carbon system of a coastal lagoon in Baja California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 95: 367-376. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771411004082>
- Saldívar, R.M. 2007. Variabilidad hidrodinámica en los canales del sistema lagunar Magdalena-Almejas (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México. 1-84 pp. <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/3043>
- Sánchez, A., Choumiline, E., López-Ortiz, B.E., Aguíñiga, S., Sánchez-Vargas, L. and Romero-Guadarrama, A., *et al.* 2010. Patrón de transporte de sedimento en Bahía Magdalena, Baja California Sur México, inferido del análisis de tendencias granulométricas. *Latin American Journal of Aquatic Research* 38: 167-177. [http://www.repositorio-digital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13819/Sanchez\\_Gonzalez\\_Alberto\\_2010\\_Latin\\_American\\_Journal\\_of\\_Aquatic\\_Research\\_3381.pdf?sequence=1](http://www.repositorio-digital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13819/Sanchez_Gonzalez_Alberto_2010_Latin_American_Journal_of_Aquatic_Research_3381.pdf?sequence=1)
- Sánchez-Montante, O., Zaitsev, O. and Saldívar-Reyes, M. 2007. Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. pp. 1-28. In: Funes-Rodríguez, R. (Ed.), Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR, IPN, La Paz, Baja California Sur, México.
- Shumilin, E., Rodríguez-Meza, G.D., Sapozhnikov, D., Lutsarev, S. and Murrillo de Nava, J. 2005. Arsenic concentrations in the surface sediments of the Magdalena-Almejas Lagoon complex, Baja California Peninsula, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 74: 493-500. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00128-005-0612-4?LI=true#page-1>
- Smith, S.V. and Atkinson, M.J. 1994. Mass balance of nutrient flux in coastal lagoons. pp. 133-155. En: Kjerfve B. (Ed.), Coastal Lagoons Processes. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Souza, M.F., Kjerfve, L.B., Knoppers, B., Souza, W.F.L. and Damasceno, R.N. 2003. Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal & Shelf Science* 57: 843-858. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771402004158>
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. In: Bulletin, second ed., vol. 167. *Fisheries Research Board of Canada* 310.
- Valenzuela-Siu, M., Arreola-Lizárraga, J.A., Sánchez-Carrillo, S. and Padilla-Arredondo, G. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiológica* 17(3): 193-202. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972007000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972007000300002&script=sci_arttext)
- Venrick, E. and Hayward, T. 1984. Determining Chlorophyll on the 1984 CALCOFI Surveys. *CalCOFI, Reports XXV* 74-79.
- Zaitsev, O., Sánchez, O. and Robinson, J. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. pp. 29-43. En: Funes R, J Gómez & JR Palomares (eds). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz.
- Zaitsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O. and Gallegos-García, A. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography* 59: 489-502. <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1025544700632#/page-1>

**Cite this paper/Como citar este artículo:** Cervantes Duarte, R. (2016). Nutrient fluxes and net metabolism in a coastal lagoon SW peninsula of Baja California, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 4(2): 104-115. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/174/253>

