

Influence of physicochemical parameters on phytoplankton distribution in the lagoon system of Mandinga, Mexico

Influencia de los parámetros fisicoquímicos en la distribución de fitoplancton en el Sistema lagunar de Mandinga, México

Salcedo-Garduño, M.G.¹, Castañeda-Chávez, M.R.¹, Lango-Reynoso, F.¹, Sosa-Villalobos, C.A.¹, Landeros Sánchez, C.², Galaviz-Villa, I.^{1*}

¹Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA), Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Kilómetro 12, Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río 94290, Veracruz, Mexico.

²Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Apartado Postal 421, Veracruz 91700, Veracruz, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Salcedo-Garduño, M.G., Castañeda-Chávez, M.R., Lango-Reynoso, F., Sosa-Villalobos, C.A., Landeros Sánchez, C., Galaviz-Villa, I. (2019). Influence of physicochemical parameters on phytoplankton distribution in the lagoon system of Mandinga, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6, e427. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e427>



ABSTRACT

Coastal systems in Mexico shelter a variety of wildlife, the distribution of phytoplankton will depend on the relationship of physicochemical parameters, availability of nutrients and the presence of phytoplankton species that control primary productivity. The objective of this work was to determine the abundance of diatoms and dinoflagellates, and their relationship with physicochemical parameters, such as nitrates, phosphates, silicates and chlorophyll-a in the lagoon system of Mandinga, located on Mexico's coast. Sample collection was performed monthly at five sites during North winds and dry seasons, showing the following results: maximum temperature values of 29.1 ± 0.8 °C, salinity of 31.0 ± 2.2 psu, dissolved oxygen levels 9.3 ± 1.3 mg L⁻¹. Plus, the concentration of chlorophyll-a was 14.6 ± 5.6 mg m⁻³ in April, 2012; maximum monthly means for nitrate, silicate and phosphates were of 20.3 ± 44.9 , 256.2 ± 25.2 and 2.9 ± 4.2 μM, respectively. In regards of the physicochemical

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 24th 2017

Accepted/Aceptado: May 08th 2018

Available on line/Publicado: June 12nd 2019

*Corresponding Author:

Itzel Galaviz-Villa. Kilómetro 12, Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río 94290, Veracruz, Mexico. Tel. +52-229-690-5010 (ext. 113). Email. itzelgalaviz.itboca@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8404-1365>

RESUMEN

En México, los sistemas costeros albergan una gran variedad de vida silvestre, la distribución del fitoplancton dependerá de la relación de los parámetros fisicoquímicos, donde la disponibilidad de nutrimentos controla la productividad primaria. El objetivo de este trabajo fue determinar la abundancia de diatomeas y dinoflagelados, y en relación con los parámetros fisicoquímicos, tales como nitratos, fosfatos, silicatos y clorofila-a en el sistema lagunar Mandinga, en la costa de México. La toma de muestras se realizó mensualmente en cinco sitios, durante la temporada de nortes y estiaje, y se obtuvieron los siguientes resultados: valores máximos de temperatura de 29.1 ± 0.8 °C, salinidad de 31.0 ± 2.2 psu, y niveles de oxígeno disuelto de 9.3 ± 1.3 mg L⁻¹. Además, una concentración de clorofila-a de 14.6 ± 5.6 mg m⁻³ en abril de 2012; las medias máximas mensuales de nitratos, silicatos y fosfatos fueron 20.3 ± 44.9 , 256.2 ± 25.2 y 2.9 ± 4.2 μM, respectivamente. Las cuales se registraron, principalmente, durante los

parameters, they were mainly recorded during March and April, 2012. Where forty-seven microalgae, thirty-one genera and sixteen species were identified; sorting in that time four dinoflagellates and twenty-seven diatoms. Given the above, it is important to mention that, some genera were known to produce Harmful Algal Blooms (HABs), including *Pseudo-nitzschia*. Canonical-Correlation Analysis (CCA) showed that the abundance and distribution of phytoplankton in the lagoon system of Mandinga accounted for 62.67 % of the variance ($p = 0.0001$) in the physicochemical parameters, such as silicates, dissolved oxygen, salinity and temperature.

KEY WORDS

Coastal lagoons; diatoms; dinoflagellates; HABs; *Pseudo-nitzschia*

Introduction

Coastal lagoons, in Mexico, are aquatic systems noted for their floral and faunal biodiversity, which increase their economic importance in terms of fisheries, industry, trade and recreation (Alcocer, 2007). Coastal lagoons have internal hydrological variability that depends on land connections and influences from other freshwater bodies. These salinities range from hyperhaline to oligohaline, depending on their size, location and season. Salinity in coastal lagoons is a physicochemical parameter that helps to maintain their hydrological variability, biological diversity and ecology (Herrera-Silveira, 2006).

Unfortunately, the ecological equilibrium in coastal lagoons are heavily affected by various factors such as: a) seasonal variability (rain and winds off-season), b) geomorphological and hydrological characteristics of the area, c) ocean acidification, d) atmospheric nitrogen deposition, and e) waste from nearby human activities that provide pollutants and high nutrient concentrations. Among the latter are primarily orthophosphates, nitrogen (nitrate and nitrite) and silica, substances unlikely to be flushed into the ocean, resulting in higher concentrations of these compounds, especially in enclosed coastal systems or those having little circulation (Contreras *et al.*, 1997; La Barre *et al.*, 2014).

meses de marzo y abril de 2012. Se identificaron 47 microalgas, 31 géneros y 16 especies; clasificando cuatro dinoflagelados y 27 diatomeas. Algunos géneros son conocidos por producir Florecimientos de Algas Nocivos (HABs), e incluyen *Pseudo-nitzschia*. El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) mostró que la abundancia y distribución de fitoplancton en el sistema lagunar de Mandinga representa el 62.67 % de la varianza ($p = 0.0001$) en los parámetros fisicoquímicos: silicatos, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura.

PALABRAS CLAVE

Lagunas costeras; diatomeas; dinoflagelados; HABs; *Pseudo-nitzschia*

Introducción

En México, las lagunas costeras son sistemas acuáticos que se caracterizan por su biodiversidad de flora y fauna silvestre, la cual aumenta su importancia económica debido a sus pesquerías, industria, comercio y áreas recreativas (Alcocer, 2007). Las lagunas costeras tienen una variabilidad hidrológica interna que depende de las conexiones terrestres y las influencias de otros cuerpos de agua dulce. Pueden ser hiperhalina a oligohalina, dependiendo de su tamaño, ubicación y estación. La salinidad en las lagunas costeras es un parámetro fisicoquímico que ayuda a mantener su variabilidad hidrológica, diversidad biológica y ecología (Herrera-Silveira, 2006).

Lamentablemente, el equilibrio y la ecología biológica en los ecosistemas costeros son fuertemente impactados por fenómenos producidos por diversos factores, tales como: a) variabilidad estacional (lluvias y vientos fuera de temporada), b) características geomorfológica e hidrológicas del medio, c) acidificación de los océanos, d) depósitos atmosféricos, y e) desechos de las actividades humanas aledañas a los ecosistemas que suministran algunos contaminantes y concentraciones elevadas de nutrimentos. Entre éstos, se encuentran principalmente, ortofosfatos en forma de fósforo, nitrógeno (nitratos y nitritos) y sílice, con pocas probabilidades de ser desalojados hacia el mar. Esto origina una mayor concentración de estos compuestos, principalmente en sistemas costeros cerrados o con poca circulación (Contreras *et al.*, 1997; La Barre *et al.*, 2014).

Accompanying aquatic nutrient availability is an increased variability of physicochemical parameters and trophic status (Kormas *et al.*, 2001; Sosnovsky and Quirós, 2006). Variations in nutrient concentrations cause different trophic states in coastal lagoons during seasons. The different trophic states are produced mainly by: effect of winds, water contributions and denitrification processes (López-Cortés, 2003). This promotes algal blooms including harmful algal blooms (HABs) that are toxic to aquatic organisms and humans (Contreras *et al.*, 1996; Shaw *et al.*, 2003). These phenomena have a negative impact in many regions of the world on public or animal health, plus adversely affecting the environment. The effects of harmful algal blooms are as follows: 1) massive mortality of marine, cultivated or wild organisms; 2) impairing coastal economic activities; 3) alteration of the landscape, 4) effects on public health (toxic syndromes: paralytic, diarrheal, amnesic and cyclogenetic) (García-Mendoza *et al.*, 2016).

The presence of *Pseudo-nitzschia* sp. also was recorded, it represents a wide distribution in marine and coastal waters. This genus includes several species of algae. Some of these have the property of producing a neurotoxin called domoic acid. More than forty species have been reported and about fourteen of them are domoic acid producers (Lim *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2013). This toxin causes amnesic poisoning when consuming contaminated bivalve molluscs. It is noteworthy to mention that potentially toxic *Pseudo-nitzschia* species such as *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. brasiliana* (Parsons *et al.*, 2012) have been recorded in the coastal area of Veracruz.

The phytoplankton communities in the coastal systems are mainly composed of diatoms and dinoflagellates, these are energy producers at the beginning of the trophic chain (Orduña-Medrano, 2012). They also promote the sustainability of fisheries in coastal environments, and contribute to the nutrient dynamics and biogeochemical cycles in these areas (Ceballos-Corona, 2006; Waters, 2007). Availability of nutrients, such as orthophosphate, is related to the discharge from anthropogenic activities in the ecosystem. This compound

Al presentarse disponibilidad de nutrientes en el agua se produce una mayor variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y un estado trófico (Kormas *et al.*, 2001; Sosnovsky & Quirós, 2006). Las variaciones en las concentraciones de nutrientes causan diferentes estados tróficos en las lagunas costeras durante las estaciones del año. Los diferentes estados tróficos se producen principalmente por efecto de los vientos, contribuciones del agua y procesos de desnitrificación (López-Cortés, 2003). Esto da origen a eventos asociados a florecimientos algales nocivos (HABs) que producen intoxicaciones en organismos acuáticos y afectaciones a la salud pública (Contreras *et al.*, 1996; Shaw *et al.*, 2003). Los HABs son fenómenos que se caracterizan por el incremento de biomasa compuesta por microalgas nocivas, o productoras de toxinas marinas. Estos fenómenos tienen un impacto negativo en muchas regiones del mundo sobre la salud pública o salud animal, y afectan el ambiente. Los efectos de la proliferación de algas nocivas son los siguientes: 1) mortalidad masiva de organismos marinos, cultivados o silvestres; 2) afectación a las actividades económicas costeras; 3) alteración del paisaje y, 4) efectos en la salud pública (síndromes tóxicos: paralíticos, diarreicos, amnésicos y ciclogénicos) (García-Mendoza *et al.*, 2016).

La presencia de *Pseudo-nitzschia* sp. también fue registrada y tiene una amplia distribución en aguas marinas y costeras. Este género incluye varias especies de algas. Algunos de estos tienen la propiedad de producir una neurotoxina llamada ácido domoico. Se han reportado más de 40 especies y aproximadamente 14 de ellas son productoras de ácido domoico (Lim *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2013). Esta es una toxina que causa el envenenamiento amnésico del consumo de moluscos bivalvos contaminados. Cabe mencionar que, especies del género *Pseudo-nitzschia* son potencialmente tóxicas, como *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens* y *P. brasiliana* (Parsons *et al.*, 2012) las cuales han sido identificadas en la zona costera de Veracruz.

La comunidad fitoplanctónica se encuentra constituida principalmente por diatomeas y dinoflagelados. La productividad primaria fitoplanctónica forma parte del primer eslabón de la cadena trófica (Orduña-Medrano, 2012), además, promueve la sustentabilidad de diferentes pesquerías en ambientes costeros, ya que forma parte de la dinámica de los nutrientes y de algunos ciclos biogeoquímicos del medio (Ceballos-Corona, 2006; Waters, 2007). La disponibilidad de algunos nutrientes, como los ortofosfatos, se encuentra relacionada con la presencia de descargas causadas por actividades antropogénicas al

is involved in the eutrophication of coastal lagoons by reducing oxygen at deeper levels of the water column via the decomposition of organic matter. Nitrates and nitrites in coastal systems can influence the formation of blooms of nitrogen-fixing cyanobacteria (Aubriot *et al.*, 2005).

The Gulf Coast of Veracruz has a wide variety of environments. The lagoon system of Mandinga is an estuarine system formed by fishery resources of great economic and ecological value. It is one of the leading producers of oysters *Crassostrea virginica* (Gmelin) in the Gulf of Mexico (INEGI, 2015). Considering that the socio-economic activities carried out by the population close to the lagoon system are mainly: tourism, agriculture, commerce and fishing (Lara-Dominguez *et al.*, 2009; Aldasoro, 2015). The Mandinga lagoon system generates an important source of income from the oyster resource, oyster extraction, being that the exploitation of these resources represents the main productive activity of the surrounding population, in addition to complementing other fish products such as: flake, crab and shrimp. In which, a maximum income of up to \$ 2,575.00 Mexican pesos per week is earned during the dry and rainy season (Navarrete-Rodríguez *et al.*, 2015).

Due to the previously mentioned, this study assessed the abundance and distribution of diatoms and dinoflagellates, and their relationship with aquatic physicochemical parameters in the lagoon system of Mandinga, during dry and North winds season.

Material and Methods

Our research was conducted in the lagoon system of Mandinga, which has a surface area of 3,250 ha and is located between 18°58'N, 96°07'W and 19°06'N, 96°01'W (Figure 1) in the state of Veracruz, Mexico. The system is associated with the Atoyac and Jamapa river basins connecting the Sierra Madre Oriental and coastal plains of the Gulf of Mexico. The system is separated from the sea by a barrier of sand dunes, although being connected to the Jamapa River estuary in the Gulf of Mexico, near Boca del Río.

The lagoon system of Mandinga has a North-South orientation, while the Gulf coastline is oriented Northeast to Southeast. Together, form the Punta de Antón Lizardo. The lagoon system is a low energy, tropical environment with an average temperature of

rededor de los ecosistemas. Este elemento interviene en el proceso de eutrofización de lagunas costeras por la disminución de oxígeno en el fondo, principalmente, por la descomposición de la materia orgánica. Los nitratos y nitritos en los sistemas costeros pueden influir en la formación de florecimientos de cianobacterias fijadoras de estos compuestos nitrogenados (Aubriot *et al.*, 2005).

La zona costera de Veracruz cuenta con una amplia variedad de ambientes, el sistema lagunar de Mandinga es un sistema de estuarios compuesto por recursos pesqueros de gran valor económico y ecológico, además es uno de los principales productores de ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin) en el Golfo de México (INEGI, 2015). Considerando que las actividades socioeconómicas realizadas por la población aledaña al sistema lagunar son el turismo, agricultura, ganadería, comercio y pesca, principalmente (Lara-Domínguez *et al.*, 2009; Aldasoro, 2015); el sistema lagunar de Mandinga genera una importante fuente de ingresos y representa la principal actividad productiva. La cual se complementa con otros productos pesqueros como escama, jaiba y camarón. Esto representa un ingreso semanal de hasta \$2,575.00 pesos mexicanos en temporada estiaje y lluvias (Navarrete-Rodríguez *et al.*, 2015).

Por lo tanto, este estudio evaluó la abundancia y distribución de diatomeas y dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos del agua en el sistema lagunar Mandinga, durante la temporadas estiaje y nortes.

Material y métodos

La investigación se realizó en el sistema lagunar Mandinga, el cual cuenta con una extensión de 3,250 ha y está ubicado entre las coordenadas 18°58'N, 96°07'W y 19°06'N, 96°01'W (Figura1) en el estado de Veracruz, México. El sistema está asociado con las cuencas de los Ríos Atoyac y Jamapa que conectan la Sierra Madre Oriental y las llanuras costeras del Golfo de México. El sistema está separado del mar por una barrera de dunas de arena, pero con comunicación en el estuario del Río Jamapa en el Golfo de México cerca de Boca del Río.

El sistema lagunar de Mandinga tiene una orientación Norte-Sur, mientras que la costa del Golfo está orientada de Noreste a Sudeste. Juntos, forman la punta de Antón Lizardo. El sistema lagunar tiene un ambiente tropical de baja energía con una temperatura promedio de 27 °C y los niveles de salinidad

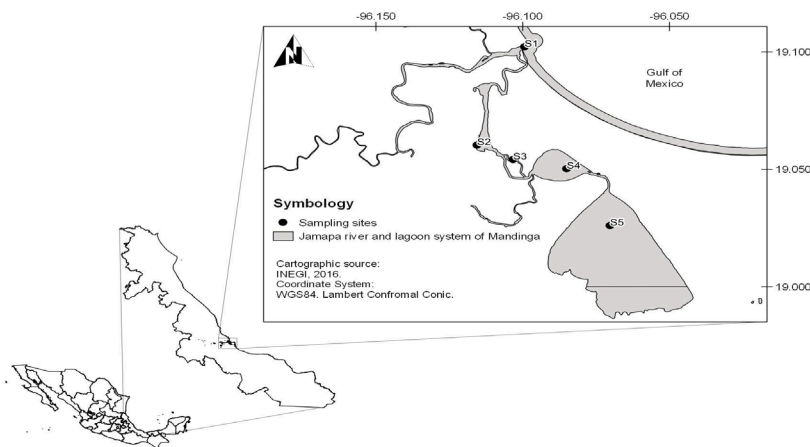


Figure 1. Sampling site locations in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz, Mexico.

27 °C and salinity levels (18 psu) stay low due to its indirect connection to the sea, but are sufficient to host the sea grass species *Ruppia maritima* L. (now known to be cryptic species complex). Oxygen levels are high and can reach saturation in some areas of the system due to North winds and photosynthetic activity. Quartz and some iron-magnesium minerals, as well as biota typical of low energy areas are present (Castañeda & Contreras, 1993; INEGI, 2015).

The lagoon system of Mandinga is characterized by the establishment of oyster banks, and its collection is an important economic activity in the area (Arias De León, 2014). Its fish fauna consists of marine, estuarine and freshwater species, from different trophic levels (carnivores, herbivores and detritivores); euryhaline species predominate during the rainy season (Gómez-Sánchez, 2013; Castán-Aquino, 2013).

Water and phytoplankton sampling

Sample collection was performed monthly during North winds and dry seasons (November 2011 to April 2012). Five sampling sites were considered (Table 1) among which, four oyster banks and a site near the sea were located, as a reference, because they are marine organisms. Physicochemical parameters, such as dissolved oxygen, temperature, and salinity, were recorded *in*

(18 psu) se mantienen bajos debido a su conexión indirecta con el mar, pero son suficientes para albergar la especie de pastos marinos *Ruppia maritima* L. (actualmente conocida como un complejo de especies crípticas). Los niveles de oxígeno son altos y pueden alcanzar la saturación en algunas áreas del sistema debido a los vientos del norte y la actividad fotosintética. Además, podemos encontrar algunos minerales de hierro-magnesio y cuarzo, así como la biota típica de las áreas de baja energía (Castañeda & Contreras, 1993; INEGI, 2015).

El sistema lagunar Mandinga se caracteriza por el establecimiento de bancos de ostión, y su recolección es una actividad económica importante en la zona (Arias De León, 2014). Su ictiofauna está compuesta por especies marinas, estuarinas y dulceacuícolas, con características alimenticias diferentes (carnívoros, herbívoros y detritívoros); predominan las especies eurihalinas durante la temporada de lluvias (Gómez-Sánchez, 2007; Castán-Aquino, 2013).

Muestreo de agua y fitoplancton

La recolección de muestras se realizó mensualmente durante la temporada de nortes y estiaje (noviembre 2011 a abril 2012). Se consideraron cinco sitios de muestreo (Tabla 1) entre los cuales se ubicaron cuatro bancos ostrícolas y un sitio próximo al mar, como referencia de las especies marinas. Se registraron parámetros fisicoquímicos *in situ* tales como: oxígeno disuelto, temperatura y sali-

situ using an YSI 6600 Multi-parameter, Water Quality Probe. During the process, water was collected using a 3L Van Dorn bottle at a depth of 30 cm. The volume of each sample was 1L and was used for quantification of phytoplankton, which was fixed *in situ* using 0.5 to 1 mL of lugol acetate solution per 100 mL (Ferrario *et al.*, 1995). Samples for analysis of phosphates (PO_4^{3-}), nitrates (NO_3^-), silicates (SiO_2) and chlorophyll-*a* were collected in 500 mL polyethylene bottles.

idad, con una sonda multiparamétrica Mod. Water Quality YSI 6600. El agua se recolectó utilizando una botella Van Dorn de 3 L de capacidad, a una profundidad de 30 cm. El volumen de cada muestra fue de 1 L y se utilizaron para la cuantificación de fitoplancton, que se fijó *in situ* utilizando 0,5 a 1 mL de solución de acetato de lugol por 100 mL (Ferrario *et al.*, 1995). Las muestras para el análisis de fosfatos (PO_4^{3-}), nitratos (NO_3^-), silicatos (SiO_2) y clorofila-*a* se colectaron en frascos de polietileno de 500 mL.

Table 1.
Geographic coordinates of the sampling sites.

Tabla 1.
Posición geográfica de los sitios de muestreo.

Site	N Latitude	W Longitude
S1	19°06.223'	096°05.798'
*S2	19°03.385'	096°06.489'
*S3	19°02.824'	096°05.159'
*S4	19°02.923'	096°04.687'
*S5	19°02.923'	096°04.265'

*Oyster bank
*Banco ostrícola

Phytoplankton samples were collected to identify complex species by towing a 60- μm mesh net and 250 mL collection tube behind a boat with an outboard motor for 5 minutes as it maneuvered slowly in circles. Samples were fixed with a final solution of 4 % formalin for later identification (Ferrario *et al.*, 1995; Band-Schmidt *et al.*, 2011) and transported to the Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA), at the Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Laboratory analysis

Chlorophyll-*a* determination was performed using the techniques of Jeffrey and Humphrey (1975), water samples were filtered in the laboratory, using Whatman GF/C Glass microfiber filters, Grade GF/C of 47 mm, placed in 90% acetone and refrigerated at 4° C for 24 hours for extraction, after this, samples were read in a Thermo Scientific Genesys 20 spectrophotometer. The nutrients PO_4^{3-} , NO_3^- and SiO_2 were determined using the colorimetric method CHEMets® Water Test Kit: K-8510, K-6904 and K-9010 respectively. Phytoplankton sample processing was performed directly by observation

Se recolectaron muestras de fitoplancton para la identificación de especies. Esto se llevó a cabo por arrastre de una red de fitoplancton con luz de malla de 60 μm y un tubo de recolección de 250 mL en una embarcación con un motor fuera de borda durante 5 minutos, mientras se maniobraba lentamente en círculos. Las muestras se fijaron con una solución de formalina al 4 % para su posterior identificación (Ferrario *et al.*, 1995; Band-Schmidt *et al.*, 2011) y se transportaron al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA), en el Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Análisis de laboratorio

La determinación de clorofila-*a* se realizó mediante la técnica de Jeffrey & Humphrey (1975). Las muestras de agua fueron filtradas en el laboratorio, se emplearon filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C de 47 mm, los que se colocaron en acetona al 90 % para ser refrigerados a 4°C durante 24 horas; posteriormente, el extracto fue leído en un espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 20. Los nutrientes PO_4^{3-} , NO_3^- y SiO_2 se determinaron por el método colorimétrico CHEMets® Kit K-8510, K-6904 y K-9010 respectivamente. La identificación de fitoplancton se realizó directamente por observación

of a subsample and preliminary identification mainly of genus of diatoms and dinoflagellates was made using rapid recognition of taxonomic characteristics. Identification of phytoplankton was based on published keys (Hallegraeff, 1995; Esqueda-Lara & Hernández-Becerril, 2010). The observations were made using a binocular optical microscope Carl Zeiss Axiostar 47190 and a 10x objective. The total cell count for each phytoplankton sample was performed using a Sedgewick Rafter Counting Chamber (1 mL). Phytoplankton abundance was reported, according to the number of cells per liter (cel L⁻¹). The analysis focused primarily on the diatoms and dinoflagellates as the predominant groups contributing to primary productivity.

Statistical analysis

To achieve normality, all the data were transformed using a logarithmic function ($\log_2 X + 1$) (Aké-Castillo, 2015), and the Levene test was used to check for homoscedasticity of variances. The software program STATISTICA version 7 (StatSoft, 2016), a Kruskal-Wallis nonparametric analysis of variance, a parametric F-test, a parametric analysis of variance (ANOVA), and the Tukey test were used to search for significant differences among physicochemical parameters of the water during sampling months, November 2011 to April 2012, in sampling sites. The relationship between water physicochemical parameters and phytoplankton were evaluated using a multivariate Canonical Correspondence Analysis in an Addinsoft® XLSTAT version 2015.

Results and Discussion

Monthly mean values of the physicochemical parameters

Maximum mean temperatures were recorded in March (29.1 ± 0.8 °C) and April, 2012 (28.0 ± 0.5 °C), and minimum mean temperatures were observed in November, 2011 (21.9 ± 0.7 °C). The analysis of variance showed temporal variation between months. The temperature recorded in January, March and April were different from the rest of the samplings ($F = 76.9, p \leq 0.05$) (Table 2). The results obtained show the maximum temperatures recorded are similar to those reported by Martínez Del Rosario (2011) during the dry season (March and April), as well as those reported by Zaballa-Carranza (1982) during spring (April) (28.12 °C), and winter (February) (25.27 °C).

de una submuestra; la identificación preliminar, principalmente del género de diatomeas y dinoflagelados, se realizó mediante un rápido reconocimiento de las características taxonómicas. La identificación del fitoplancton se realizó con las claves taxonómicas correspondientes (Hallegraeff, 1995; Esqueda-Lara & Hernández-Becerril, 2010). Las observaciones se realizaron utilizando un microscopio óptico binocular Carl Zeiss Axiostar 47190 y objetivo 10x. El recuento total de células para cada muestra de fitoplancton se realizó utilizando una cámara de recuento Sedgewick-Rafter (1 mL). La abundancia del fitoplancton se expresó mediante el número de células por litro (cel L⁻¹). El análisis del fitoplancton se enfocó principalmente a diatomeas y dinoflagelados como los grupos predominantes que contribuyen a la productividad primaria.

Análisis estadístico

Para lograr la normalidad, todos los datos se transformaron utilizando una función logarítmica ($\log_2 X + 1$) (Aké-Castillo, 2015), y para verificar la homocedasticidad de las varianzas se utilizó la prueba de Levene. Utilizando el programa de software STATISTICA versión 7 (StatSoft, 2016), se aplicó un análisis de la varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis, una prueba F paramétrica, un análisis de varianza (ANOVA) paramétrico y la prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre parámetros fisicoquímicos del agua y meses de muestreo (noviembre 2011 a abril 2012). Se evaluó la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua y el fitoplancton mediante un análisis multivariado de correspondencia canónica (CCA) en la versión XLSTAT 2015, Addinsoft®.

Resultados y discusiones

Valores medios mensuales de los parámetros fisicoquímicos

Los valores máximos de la medias de temperatura se registraron en marzo (29.1 ± 0.8 °C) y abril de 2012 (28.0 ± 0.5 °C), y las temperaturas medias mínimas se observaron en noviembre de 2011 (21.9 ± 0.7 °C). El análisis de varianza mostró variación temporal entre los meses. La temperatura registrada en enero, marzo y abril es diferente con respecto al resto de los muestreos ($F = 76.9, p \leq 0.05$) (Tabla 2). Los resultados obtenidos muestran que las temperaturas máximas registradas son similares a las reportadas por Martínez Del Rosario (2011) durante la temporada de estiaje (marzo y abril), así como las reportadas por Zaballa-Carranza (1982) durante la primavera (abril) (28.12 °C), e invierno (febrero) (25.27 °C).

Maximum mean salinity was recorded in March and April, 2012 (30.8 ± 1.1 and 31.0 ± 2.2 psu, respectively), while minimum mean salinity was recorded in November, 2012 (20.6 ± 3.6 psu). Salinity showed differences in the first three months of sampling with respect to the rest, the latter presented the highest ($F = 15.20$, $p \leq 0.05$) (Table 2). The variation of temperature and salinity during the last months of sampling is associated with seasonal change, and that the lagoons system of Mandinga is shallow (1-8 m in depth), is permanently connected to the sea, and is influenced by freshwater inputs from the Jamapa and Arroyo Hondo rivers (Ruíz-Barreiro, 2012).

Maximum mean dissolved oxygen levels occurred in November 2011, and February 2012 (9.3 ± 1.3 mg L⁻¹ and 8.8 ± 0.7 mg L⁻¹, respectively), and a minimum mean of 6.7 ± 0.5 mg L⁻¹ in April 2012. Analysis of variance (ANOVA) allowed observing significant differences during the month of April with respect to November and February $F = 5.29$, $p = 0.05$ (Table 2).

Values of dissolved oxygen obtained during the study are similar to the average value of 4.5 mg L⁻¹ reported by Contreras & Castañeda (2004). These variations are due to North winds and evaporation, characteristics of the seasonal climate in the area (Zaballa-Carranza, 1982; Martínez Del Rosario, 2011). Bornn & Ruíz-Zamites (1982) reported an even lower mean concentration of 1.73 mg L⁻¹ in April, 1982; due to the increase of organic matter in suspension and biochemical demand caused by dredging in the system.

A maximum mean concentration of chlorophyll-*a* was 14.6 ± 5.6 mg m⁻³ in April 2012 and a minimum level of 7.9 ± 4.1 mg m⁻³ occurred in December 2011. Analysis of variance showed variations in the concentrations of silicates and chlorophyll-*a* during November, February and April ($F = 6.83$, $p \leq 0.05$; $F=6.78$, $p \leq 0.05$) (Table 2). The chlorophyll-*a* in the lagoons system was consistent with Barreiro-Güemes & Aguirre-León (1999), who reported mean values of 8.7 and 14 mg m⁻³ of chlorophyll-*a* in areas with greater influence of the tide, greater turbulence and less transparency. While, in November 2011 and April 2012 (Table 2), a minimum mean for silicates was 119.8 ± 24.6 µM and the maximum mean was 256.2 ± 25.2 µM. The silicate concentration is inversely proportional to that of chlorophyll-*a*, where values obtained were not considered limiting within the system (Bornn & Ruíz-Zamites, 1982).

Las medias máximas de salinidad se observaron en marzo y abril de 2012 (30.8 ± 1.1 y 31.0 ± 2.2 psu, respectivamente), mientras que el mínimo se registró en noviembre de 2012 (20.6 ± 3.6 psu). La salinidad mostró diferencias en los primeros tres meses de muestreo con respecto al resto, estos últimos presentaron los valores más altos ($F = 15.20$, $p \leq 0.05$) (Tabla 2). La variación de temperatura y salinidad durante los últimos meses de muestreo puede estar asociada a un cambio de temporada; además, el sistema lagunar Mandinga se caracteriza por ser un ecosistema de poca profundidad (1-8 m), con una boca conectada permanentemente al mar. También, se encuentra influenciado por aportes de aguas continentales provenientes del río Jamapa y el río Arroyo Hondo (Ruíz-Barreiro, 2012).

Los niveles medios máximos de oxígeno disuelto ocurrieron en noviembre de 2011 y febrero de 2012 (9.3 ± 1.3 mg L⁻¹ y 8.8 ± 0.7 mg L⁻¹, respectivamente), con una media mínima de 6.7 ± 0.5 mg L⁻¹ en abril 2012 (Tabla 2). El análisis de varianza (ANOVA) permitió observar diferencias significativas en el mes de abril con respecto a noviembre y febrero $F = 5.29$, $p = 0.05$ (Tabla 2).

Los valores de oxígeno disuelto obtenidos durante el estudio son similares al valor promedio de 4.5 mg L⁻¹ reportado por Contreras & Castañeda (2004). Estas variaciones podrían estar asociadas a eventos relacionados con vientos provenientes del norte y al efecto de la evaporación, condición característica de la temporada climática de la zona (Zaballa-Carranza, 1982; Martínez Del Rosario, 2011). Bornn & Ruíz-Zamites (1982), reportaron una concentración media aún menor de 1.73 mg L⁻¹ en abril de 1982; debido al aumento de la materia orgánica en suspensión y la demanda bioquímica de oxígeno causada por el dragado en el sistema.

La concentración media máxima de clorofila-*a* fue de 14.6 ± 5.6 mg m⁻³, en abril de 2012, y el nivel mínimo de 7.9 ± 4.1 mg m⁻³ ocurrió en diciembre de 2011. El análisis de varianza mostró variaciones en las concentraciones de silicatos y clorofila-*a* durante los meses de noviembre, febrero y abril ($F = 6.83$, $p \leq 0.05$; $F = 6.78$, $p \leq 0.05$) (Tabla 2). La clorofila en el sistema lagunar fue consistente con Barreiro-Güemes & Aguirre-León (1999), quienes reportaron valores promedios de 8.7 y 14 mg m⁻³ de clorofila-*a* en zonas con mayor influencia de la marea, mayor turbulencia y menor transparencia. La media mínima para silicatos fue de 119.8 ± 24.6 µM y la media máxima de 256.2 ± 25.2 µM registradas en noviembre de 2011 y abril de 2012, respectivamente (Tabla 2). La concentración de silicato es inversamente proporcional a la de clorofila-*a*, los

Maximum monthly means for nitrates were recorded in February and March, 2012, with 4.0 ± 0.0 and 20.3 ± 44.9 μM , and a minimum mean of 0.2 ± 0.4 μM in April, 2012. Nitrogen compounds showed significant differences in January, February and April with respect to the rest of the samples ($W = 12.18$, $p \leq 0.05$, Table 2).

valores obtenidos no fueron considerados limitantes dentro del sistema (Bornn & Ruiz-Zamites, 1982).

Las medias máximas mensuales de nitratos se registraron en febrero y marzo de 2012, con 4.0 ± 0.0 y 20.3 ± 44.9 μM , y una media mínima de 0.2 ± 0.4 μM en abril de 2012.

Table 2.
Results from analyses of variance of monthly means for the water physicochemical parameters from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Tabla 2.
Resultados de los análisis de la varianza de las medias mensuales para los parámetros fisicoquímicos del agua de Noviembre de 2011 a Abril de 2012, en el sistema de lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

Physicochemical Parameters	Monthly Means						ANOVA/ <i>p</i>
	November	December	January	February	March	April	
T (°C)	21.9±0.7 ^a	25.2±0.4 ^b	27.0±0.9 ^c	24.1±0.3 ^d	29.1±0.8 ^c	28.0± 0.5 ^c	F= 76.9/ 0.00001
S (psu)	20.6±3.6 ^a	22.9±2.9 ^a	25.3±1.9 ^a	28.5±0.8 ^b	30.8±1.1 ^c	31.0±2.2 ^c	F= 15.20/ 0.000001
DO (mg L ⁻¹)	9.3±1.3 ^a	7.14±0.6 ^b	7.2±0.5 ^b	8.8±0.7 ^{ac}	8.3±1.8 ^{abc}	6.7±0.5 ^{bc}	F= 5.29/ 0.002
NO ₃ (μM)	3.9±4.4 ^a	0.8±1.8 ^a	2.4±0.9 ^a	4.0±0.0 ^{ab}	20.3±44.9 ^{ab}	0.2±0.4 ^{ac}	*KW-H = 12.18/0.03
PO ₄ (μM)	1.3±1.4 ^a	1.3±0.7 ^a	0.8±0.3 ^a	2.9±4.2 ^a	1.0±0.0 ^a	2.3±2.2 ^a	F = 1.09/ 0.39
SiO ₂ (μM)	256.2±25.2 ^a	222.9±58.3 ^a	232.9±62.2 ^a	193.0±59.5 ^a	149.7±40.7 ^{ab}	119.8±24.6 ^{bc}	F = 6.83/ 0.0004
Chlorophyll-a (mg m ⁻³)	9.9±2.5 ^a	7.9±4.1 ^a	11.7±13.7 ^a	9.3±3.5 ^{ab}	10.3±7.6 ^{ab}	14.6±5.6 ^{bc}	F = 6.78/ 0.0005

*KW-H= Kruskal Wallis non-parametric test. Different letters indicate significant differences.

*KW-H= Prueba no paramétrica Kruskal Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas.

The variability in nitrate concentrations that were recorded during the study may be due to climatic or extemporaneous factors, which caused turbulence in the bottom, mobilizing and incorporating to the water column the nitrogen accumulated in the sediment. For Kennish & Perl (2010), nitrogen and other nutrients precipitate and tend to accumulate in the bottom attached to the sediment where the biogeochemical interactions take place.

Los compuestos nitrogenados presentaron diferencias significativas en enero, febrero y abril con respecto al resto de los muestreos ($W = 12.18$, $p \leq 0.05$; Tabla 2).

La variabilidad de las concentraciones de nitratos registradas durante el estudio, puede deberse a factores climáticos o extemporáneos que causaron turbulencias en el fondo, movilizándolo a la columna del agua. Para Kennish & Perl (2010), el nitrógeno y otros nutrientes se precipitan y tienden a acumularse en el fondo, unidos al sedimento donde se llevan a cabo las interacciones biogeoquímicas.

Maximum mean of phosphate was $2.9 \pm 4.2 \mu\text{M}$ in February, 2012, and a minimum mean ($0.8 \pm 0.3 \mu\text{M}$) was observed in January, 2012. The analysis of variance allowed recognizing significant differences in physicochemical parameters, with the exception of phosphates ($F = 1.09$, $p = 0.39$) (Table 2). November, 2011, and March, 2012, were transition periods between the windy and rainy seasons, where many nutrients were transported (Contreras *et al.*, 1996). Rodríguez (2008) found that nitrogen compounds are inversely proportional to temperature, and total phosphate is greater during the warmer months. Bornn & Ruíz-Zamites (1982) determined that nutrients are not a limiting factor in phytoplankton growth. Such compounds settle out of the water column to eventually be incorporated by benthic organisms, and have their greatest concentrations in coastal sites.

Monthly averages of water physicochemical parameters in sampling sites

A maximum mean temperature was $29.9 \text{ }^\circ\text{C}$ during March 2012, at site S4. A minimum mean occurred in November 2011, at site S2 ($20.8 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figure 2). A maximum mean salinity predominantly occurred in site S1, as it was the closest site to the ocean. However, in April 2012, a maximum mean occurred at site S2 (33.9 psu), and a minimum mean (17.9 psu) at site S5 in November 2011 (Figure 3). The maximum level of dissolved oxygen was 10.9 mg L^{-1} at site S4 during March 2012, and a minimum during April 2012, (5.8 mg L^{-1}) at site S3 (Figure 4). A maximum mean for chlorophyll-*a* was 35.1 mg m^{-3} , which occurred at site S5 during January 2012, and a minimum mean (0.63 mg m^{-3}) occurred during December 2011, at site S1 (Figure 5).

According to La Barre *et al.* (2014), the variability of physicochemical characteristics of water in coastal systems is due to climate change, rainfall events, off-season winds, and contributions from industrial and household nutrients. The latter can contribute to eutrophication of the environment, resulting in reduced dissolved oxygen and high concentrations of nitrates, phosphates and silicates (Álvarez-Gongóra *et al.*, 2012) (e.g. site S1 in February, 2012). In general, the shallow coastal systems have short hydraulic residence times, which allow a renovation in a few days, entering well-oxygenated seawater. In addition, other factors such as primary production, the mechanical action of wind and

La media máxima de fosfato fue de $2,9 \pm 4,2 \mu\text{M}$ en febrero de 2012, y la media mínima se observó en enero de 2012 ($0,8 \pm 0,3 \mu\text{M}$). El análisis de varianza permitió reconocer diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos, con excepción de los fosfatos ($F = 1.09$, $p = 0.39$) (Tabla 2). Los meses de noviembre de 2011 y marzo de 2012 son períodos de transición entre la temporada de estiaje y lluvias, en las que se lleva a cabo el transporte de una amplia variedad de nutrientes en el agua (Contreras *et al.*, 1996). Rodríguez (2008), reporta que la presencia de compuestos nitrogenados es inversamente proporcional a la temperatura; además de que la concentración de fósforo total es mayor durante los meses más cálidos. Bornn & Ruíz-Zamites (1982), determinaron que los nutrimentos no son factores limitantes en el crecimiento del fitoplancton. Dichos compuestos se asientan fuera de la columna de agua para ser finalmente incorporados por organismos bentónicos, y tienen sus mayores concentraciones en los sitios costeros.

Promedios mensuales de parámetros fisicoquímicos del agua en sitios de muestreo

El promedio máximo de la temperatura fue de $29.9 \text{ }^\circ\text{C}$ durante marzo de 2012, en el sitio S4. La media mínima se presentó en noviembre de 2011, en el sitio S2 ($20.8 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figura 2). La salinidad media máxima ocurrió predominantemente en el sitio S1, por ser el sitio más cercano al mar. Sin embargo, en abril de 2012, la media máxima ocurrió en el sitio S2 (33.9 psu) y la media mínima (17.9 psu) en el sitio S5 en noviembre de 2011 (Figura 3). El nivel máximo de oxígeno disuelto fue de 10.9 mg L^{-1} en el sitio S4 durante marzo de 2012, y mínimo durante abril de 2012, (5.8 mg L^{-1}) en el sitio S3 (Figura 4). La media máxima para la clorofila-*a* fue de 35.1 mg m^{-3} que ocurrió en el sitio S5 durante enero de 2012, y la media mínima (0.63 mg m^{-3}) ocurrió en diciembre de 2011, en el sitio S1 (Figura 5).

Según La Barre *et al.*, (2014) la variabilidad de las características fisicoquímicas del agua en los sistemas costeros se debe al cambio climático, los eventos de lluvia, los vientos fuera de temporada y las contribuciones de nutrientes industriales y domésticos. Este último puede contribuir a la eutrofización del medio ambiente, lo que resulta en una reducción del oxígeno disuelto y altas concentraciones de nitratos, fosfatos y silicatos (Álvarez-Gongóra *et al.*, 2012) (por ejemplo, el sitio S1 en febrero de 2012). En general, los sistemas costeros someros poseen tiempos de residencia hidráulicos cortos, que permiten una renovación en pocos días debido al ingreso de agua marina bien oxigenada. Además de otros factores como la producción primaria, la

the lack of barriers that prevent its action, also favor the incorporation of oxygen from the atmosphere (López-Monroy *et al.*, 2017).

Maximum mean concentrations of nitrates and phosphates were 100.7 and 10.5 μM during March (S5) and February 2012 (S1), respectively (Table 3). Concentrations observed in site S5 can be explained by increased tourist and commercial activities in the area. There is also influence from sewage discharge from the population of Mandinga, which has no drainage system. The lowest means for nitrates were detected during December, 2011, March and April, 2012. However, phosphates were at their lowest concentrations during January 2012, followed by consecutive increases during February, March and April 2012. A maximum mean for silicates was recorded during January 2012 (332.8 μM) at site S1, and the minimum mean (83.2 μM) at site S4 during April 2012. Chlorophyll-*a* concentrations increased during March and April, 2012.

acción mecánica del viento y la falta de barreras que impidan su acción, favorecen la incorporación del oxígeno desde la atmósfera (López-Monroy *et al.*, 2017).

Las concentraciones medias máximas de nitratos y fosfatos fueron de 100.7 y 10.5 μM durante marzo (S5) y febrero de 2012 (S1), respectivamente (Tabla 3). Las concentraciones observadas en el sitio S5 pueden explicarse por el aumento de las actividades turísticas y comerciales en la zona. Además de la influencia de las descargas de aguas negras de la población de Mandinga, la cual además, no cuenta con sistema de drenaje. Los promedios más bajos para nitratos se detectaron en los meses de diciembre de 2011, marzo y abril de 2012. Sin embargo, los fosfatos se presentaron en menor concentración en enero y se observó una tendencia positiva en los meses siguientes de febrero, marzo y abril de 2012. Se registró la media máxima de silicatos durante enero de 2012 (332.8 μM) en el sitio S1, y la media mínima (83.2 μM) en el sitio S4 en abril de 2012. Las concentraciones de clorofila-*a* aumentaron durante marzo y abril de 2012.

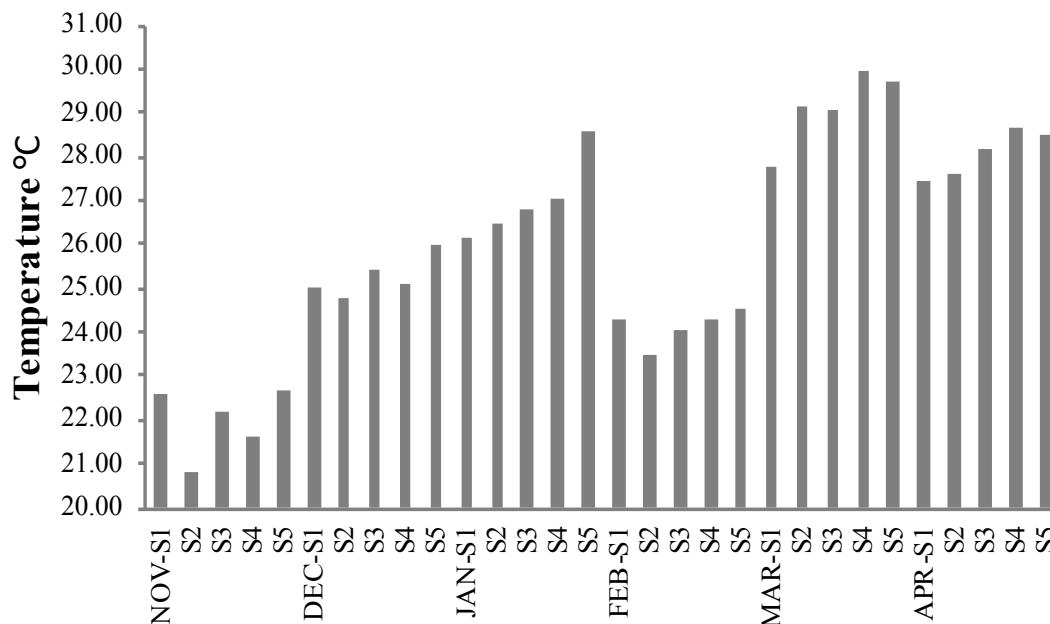


Figure 2. Mean monthly water temperatures, from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 2. Media mensual de la temperatura de la columna del agua, de noviembre 2011 a abril 2012, en el Sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

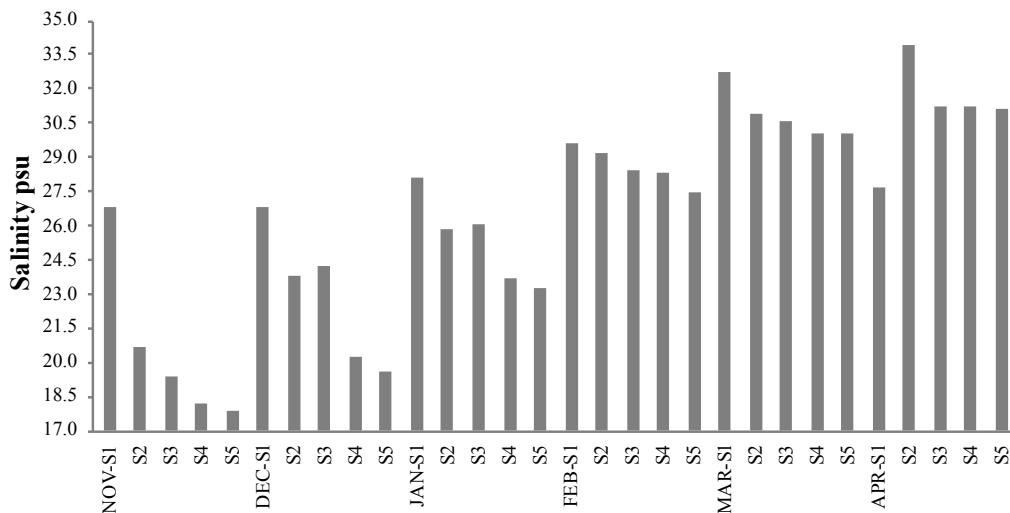


Figure 3. Mean monthly water salinity, from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 3. Promedios mensuales de salinidad en la columna de agua, de noviembre de 2011 a abril de 2012, en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

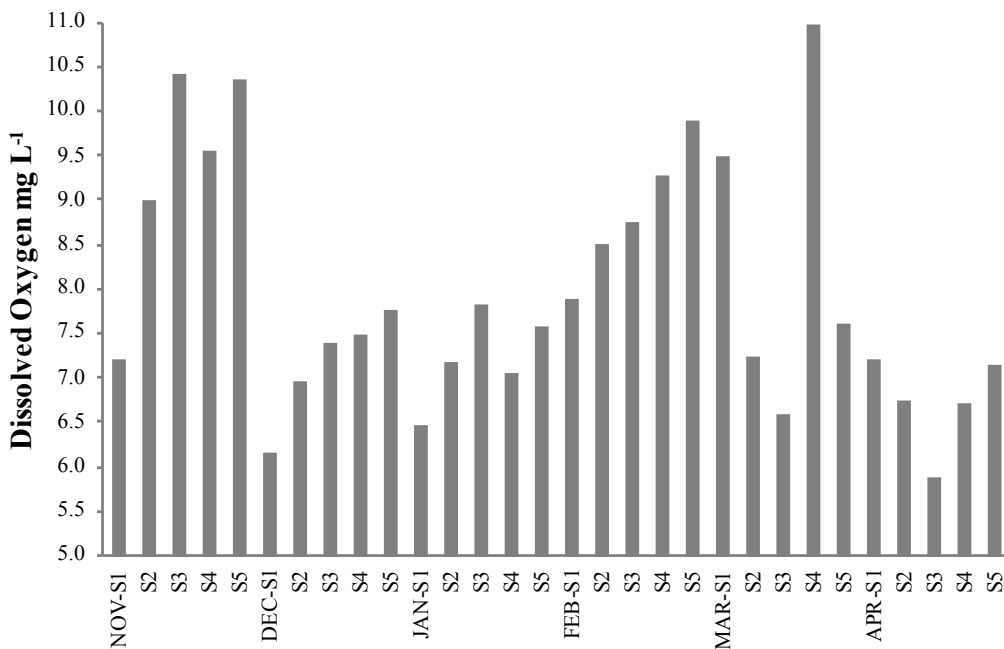


Figure 4. Mean monthly values for dissolved oxygen in the water column, from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 4. Promedios mensuales de oxígeno disuelto en la columna de agua, de noviembre de 2011 a abril de 2012, en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

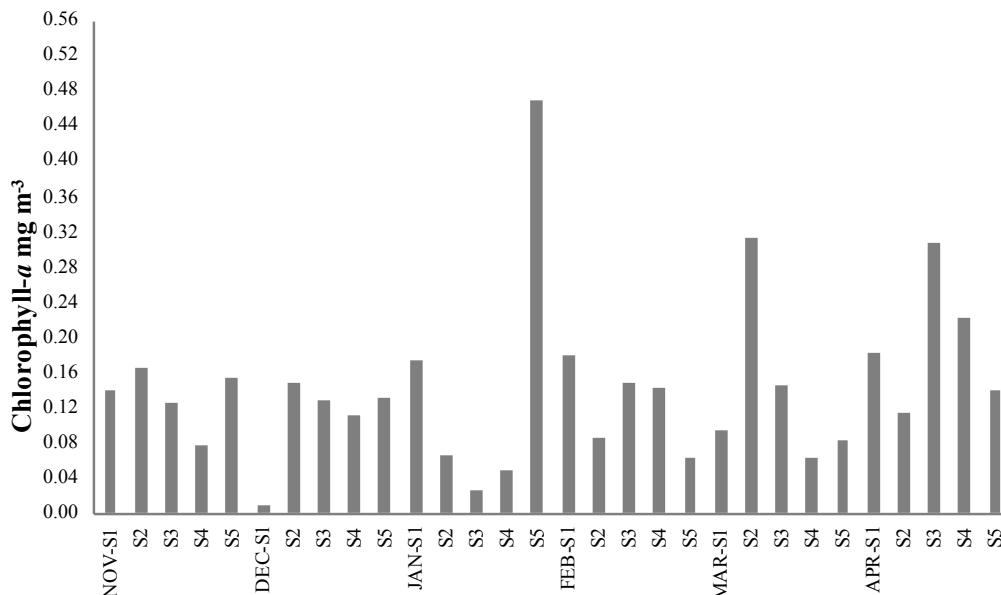


Figure 5. Mean monthly for chlorophyll-a in the water column, from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 5. Promedios mensuales de clorofila a en la columna de agua, de noviembre de 2011 a abril de 2012, en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

Table 3.

Mean monthly for nutrient concentrations in the water column, from November 2011 to April 2012, in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Tabla 3.

Promedios mensuales de la concentración de nutrimentos de la columna de agua durante el período de Noviembre 2011 a Abril 2012, en la laguna de Mandinga, Veracruz.

Nutrients μM	Months/Sampled sites									
	November					December				
	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5
NO ₃	9.3	8.0	< 0.3	< 0.3	2.0	4.1	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
PO ₄	< 0.2	3.8	< 0.2	1.0	< 0.2	2.7	< 0.2	< 0.2	< 0.2	1.0
SiO ₂	282.8	282.8	232.9	249.6	232.9	249.6	249.6	199.6	282.8	133.1
	January					February				
NO ₃	4.03	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
PO ₄	0.2	< 0.2	< 0.2	1.0	< 0.2	10.5	1.0	1.0	1.0	1.0
SiO ₂	332.8	183.0	183.0	249.6	216.3	299.5	166.4	166.4	166.4	166.4
	March					April				
NO ₃	< 0.3	< 0.3	1.0	< 0.3	100.7	< 0.3	1	< 0.3	< 0.3	< 0.3
PO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.3	2.1	1.0	1.0	1.0
SiO ₂	83.2	149.7	149.7	183.0	183.0	149.7	133.1	116.4	83.2	116.4

In the phytoplankton analysis, thirty-one genera of microalgae and sixteen species were identified, classifying four dinoflagellates and twenty-seven diatoms. The keys that correspond to these genera and species are in the last column of Table 4.

En el análisis de fitoplancton, se identificaron 31 géneros de microalgas y 16 especies; clasificando cuatro dinoflagelados y 27 diatomeas. En la última columna de la Tabla 4 se encuentran las claves que corresponden a estos géneros y especies.

Table 4.
Phytoplankton abundance (cel L⁻¹) from November 2011 to April 2012,
in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Tabla 4.
Abundancia de fitoplancton (cel L⁻¹) durante el periodo noviembre 2011 a abril 2012,
en el sistema lagunar Mandinga, Veracruz.

DIATOMS							
Genera and species	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Abbreviation
<i>Amphora</i> sp.	1x10 ³	-	-	3 x10 ³	-	1 x10 ³	<i>Amph_sp</i>
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin	1.2x10 ⁴	1.9 x10 ⁴	8 x10 ³	-	-	-	<i>Cylin_Clos</i>
<i>Coscinodiscus</i> sp.	2x10 ³	1.6x10 ⁴	6 x10 ³	4.1x10 ⁴	2.7x10 ³	7 x10 ³	<i>Cosc_sp</i>
<i>Diploneis</i> sp.	2.7x10 ⁴	2.6 x10 ⁴	5 x10 ³	6x10 ⁴	0	1x10 ³	<i>Dipl_sp</i>
<i>Nitzschia</i> sp.	1.1x10 ⁴	1.8 x10 ⁴	1.9 x10 ⁴	5 x10 ⁴	6 x10 ³	4x10 ³	<i>Nitzs_sp</i>
<i>Gyrosigma</i> sp.	2.3 x10 ⁴	3.2 x10 ⁴	1.3 x10 ⁴	-	-	7 x10 ³	<i>Gyro_sp</i>
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	6.7 x10 ⁴	5x10 ⁴	-	2 x10 ³	-	-	<i>Pseudo_sp</i>
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell	5 x10 ³	3 x10 ³	3 x10 ³	1x10 ³	-	-	<i>Rhizo_seti</i>
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	4 x10 ³	9 x10 ³	-	-	-	-	<i>Thala_nitzs</i>
<i>Chaetoceros</i> sp.	8 x10 ³	4 x10 ³	1 x10 ³	-	-	-	<i>Chaet_sp</i>
<i>Navicula</i> sp.	1.1 x10 ⁴	2 x10 ⁴	-	6x10 ³	4 x10 ³	1 x10 ³	<i>Navi_sp</i>
<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg	-	-	-	4 x10 ³	1 x10 ³	1.1 x10 ⁴	<i>Litho_und</i>
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	-	-	2 x10 ³	3 x10 ⁴	-	-	<i>Skele_cos</i>
<i>Tabellaria</i> sp.	-	1 x10 ³	-	2 x10 ³	-	1 x10 ³	<i>Tabe_sp</i>
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg	-	-	-	3 x10 ³	4 x10 ³	1 x10 ³	<i>Gram_ocea</i>
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	-	2 x10 ³	-	-	6 x10 ³	-	<i>Actino_sen</i>
<i>Actinoptychus</i> sp.	1x10 ³	-	-	-	-	-	<i>Actino_sp</i>
<i>Asterionellopsis gracialis</i>	1 x10 ³	1 x10 ³	-	-	-	-	<i>Aster_gra</i>
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	2 x10 ³	3 x10 ³	-	-	-	-	<i>Lepto_dan</i>
<i>Entomoneis</i> sp.	4 x10 ³	6x10 ³	-	-	-	-	<i>Ento_sp</i>
<i>Licmophora ehrenbergi</i> (Kützing) Grunow	1 x10 ³	1 x10 ³	-	-	-	-	<i>Licmo_ehr</i>
<i>Melossira moniliformis</i> (O. F. Müller) C. Agardh	1.2 x10 ⁴	7 x10 ³	-	1.6x10 ⁴	-	-	<i>Melo_mon</i>

<i>Surirella</i> sp.	1 x10 ³	1 x10 ³	-	-	-	-	<i>Suri_sp</i>
<i>Thalassiosira</i> sp.	-	4 x10 ³	-	-	-	3 x10 ³	<i>Thala_sp</i>
<i>Guirardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle	3 x10 ³	3 x10 ³	-	-	-	-	<i>Guir_stri</i>
<i>Biddulphia alternans</i> (Bailey) Van Heurck	-	1 x10 ³	-	-	-	5 x10 ³	<i>Biddul_alter</i>
<i>Bacteriastrum</i> sp.	-	1 x10 ³	-	-	-	-	<i>Bacter_sp</i>
DINOFLAGELLATES							
<i>Protoperdinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech	-	-	2 x10 ³	1.6 x10 ⁴	5 x10 ³	1 x10 ³	<i>Prot_ocea</i>
<i>Tripos furca</i> (Ehrenberg) F. Gómez	1 x10 ³	2 x10 ³	2 x10 ³	5.3 x10 ⁴	1 x10 ³	2 x10 ³	<i>Trip_fur</i>
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	3 x10 ³	-	1 x10 ³	2 x10 ³	8 x10 ³	4 x10 ³	<i>Proro_mic</i>
<i>Scrippsiella</i> sp.	-	-	-	2 x10 ³	2 x10 ³	1 x10 ³	<i>Scrip_sp</i>

These types of dinoflagellates/diatoms associated with algal blooms have been recorded in different coastal systems, such as: *Tripos furca* (Ehrenberg) F. Gómez; *Prorocentrum micans* Ehrenberg; *Asterionellopsis gracialis* (Castracane) Round; *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin; *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve; *Thalassiosira* spp. and *Chaetoceros* spp. (Guerra-Martínez & Lara-Villa, 1996; Orellana-Cepeda et al., 2002; Gárate-Lizarraga et al., 2007; Nuñez-Vázquez et al., 2008; Muciño-Márquez et al., 2011b; Aké-Castillo et al., 2014; Calvo-Vargas et al., 2016).

Phytoplankton samples from the lagoons system of Mandinga, during the study period, consisted mainly of benthic and planktonic diatoms and dinoflagellates taxa. This is consistent with Okolodkov & Blanco-Pérez (2011), who stated that the microalgal flora in lagoon systems of Veracruz are dominated by benthic diatoms in shallow areas and planktonic forms in coastal lagoons having strong influence from the ocean. The lagoons system of Mandinga has a semi-closed and shallow mouth to the ocean, directly influences primary productivity thus, hydrological characteristics are euryhaline, especially during the rainy season (Castán-Aquino, 2013; Gómez-Sánchez, 2013). As reported by Álvarez-Gongóra et al. (2012), who observed a greater variability in total phytoplankton abundance during the rainy season.

The diversity and ecology of phytoplankton along the coastal zone of Veracruz is influenced by higher densities of diatoms and dinoflagellates, although in the present study the concentrations of these microalgae were not greater than 6.7 x10⁴ cells L⁻¹ (Table 4) (Muciño-Márquez et al., 2011b; Rodríguez-Gómez et al.,

En el presente estudio, se encontraron los siguientes taxones asociados con HABS: *Tripos furca* (Ehrenberg) F. Gómez; *Prorocentrum micans* Ehrenberg; *Asterionellopsis gracialis* (Castracane) Ronda; *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin; *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve; *Thalassiosira* spp. y *Chaetoceros* spp. (Guerra-Martínez & Lara-Villa, 1996; Orellana-Cepeda et al., 2002; Gárate-Lizarraga et al., 2007; Nuñez-Vázquez et al., 2008; Muciño-Márquez et al., 2011b; Aké-Castillo et al., 2014; Calvo-Vargas et al., 2016).

Se encontró que las muestras de fitoplancton obtenidas del sistema lagunar Mandinga, durante el periodo de estudio, están constituidas, por géneros y especies de diatomeas y dinoflagelados bentónicos y planctónicos, principalmente. Esto concuerda con lo descrito por Okolodkov & Blanco-Pérez (2011), quienes afirman que la flora microalgal en los sistemas lagunares de Veracruz se encuentra dominada por diatomeas bentónicas en zonas someras, y planctónicas en lagunas costeras con gran influencia de agua marina. La laguna Mandinga presenta una boca semicerrada con poca profundidad e influencia de agua marina y continental proveniente del mar y del río Jamapa. Además, presenta ictiofauna y características hidrológicas eurihalinas, las cuales se observan también en temporada de lluvias (Castán-Aquino, 2013; Gómez-Sánchez, 2013). Álvarez-Gongóra et al. (2012), reportan una mayor variabilidad en la abundancia de fitoplancton total durante la temporada de lluvias.

La diversidad y ecología del fitoplancton de la zona costera de Veracruz se destaca por presentar mayor densidad de diatomeas y dinoflagelados. Aunque en este estudio las concentraciones de estas microalgas no fueron mayores 6.7 x10⁴ células L⁻¹ (Tabla 4) (Muciño-Márquez et al., 2011b; Rodríguez-Gómez et al., 2015). La disminución de la concentración de diatomeas y dinoflagelados en

2015). Their reduced concentration can be explained by the reportedly greater zooplankton abundance which directly influences primary productivity (Orduña-Medrano, 2012). According Contreras & Castañeda (2004), lagoons and estuaries along the Gulf of Mexico are characterized by the dominance of copepods. According to Contreras (2016), the community structure of zooplankton at the mouth of the Jamapa River is made up of eleven families of copepods and two families of cladocerans that dominate in North winds and rainy seasons, respectively.

Canonical Correspondence Analysis

Canonical Correspondence Analysis (CCA) revealed that the abundance and distribution of phytoplankton in the lagoons system of Mandinga accounted for 62.67 % of the variance ($p = 0.0001$) in physicochemical parameters (Table 5). Salinity ($r = -0.553$) best defined axis 1 followed by temperature ($r = -0.455$). These parameters alone explained 44.90 % of the variance. Muciño-Márquez *et al.* (2011a), also considered salinity as an important factor ($r = 0.90$) that promoted increases in total phytoplankton abundance and HAB forming species. The parameters defining axis 2 were silicates ($r = -0.733$) and dissolved oxygen ($r = -0.598$), and explained 17.76 % of the variation (Figure 6). For Álvarez-Gongóra *et al.* (2012), the axes that best explained 83 % of the variability were: Axis I, related to dissolved oxygen, silicates and chlorophyll-a and Axis II, to temperature, salinity, nitrates and phosphates.

la columna de agua puede explicarse por el aumento de organismos zooplanctónicos que influyen, directamente, en la productividad primaria (Orduña-Medrano, 2012). De acuerdo con Contreras & Castañeda (2004), las lagunas y estuarios del Golfo de México se caracterizan por la presencia predominante de copépodos, integrantes del zooplanctón. De acuerdo con Contreras (2016) la estructura comunitaria del zooplancton en la desembocadura del Río Jamapa se encuentra constituida por 11 familias de copepodos y 2 familias de cladóceros que dominan en temporadas de nortes y lluvias, respectivamente.

Análisis de Correspondencia Canónica

El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) reveló que el 62.67 % de la variación ($p = 0.0001$) de los parámetros fisicoquímicos influye en la abundancia y distribución del fitoplancton en el sistema lagunar de Mandinga, Ver., (Tabla 5). Se encontró que la salinidad ($r = -0.553$) es el parámetro que define mayormente al eje 1, seguido por la temperatura ($r = -0.455$). Estos parámetros explican el 44.90 % del total de la varianza. Muciño-Márquez (2011b), considera a la salinidad como un factor importante ($r = 0.90$) que favorece el incremento de la abundancia del fitoplancton total y de las especies formadoras de HABs. Los parámetros que definen al eje 2 son los silicatos ($r = -0.733$) y el oxígeno disuelto ($r = -0.598$) y explican el 17.76 % de la variación (Figure 6). Para Álvarez-Gongóra *et al.* (2012), los ejes que mejor explican el 83 % de la variabilidad fueron el eje I; relacionado con el oxígeno disuelto, amonio, nitritos, silicatos y clorofila-a; y el eje II, relacionado con la temperatura, salinidad, nitratos y fosfatos.

Table 5.
Restricted Inertia Canonical Correspondence Analysis (RICCA)

Tabla 5.
Inercia Restringida del Análisis de Correspondencia Canónica (RICCA).

	Axis 1	Axis 2	Accumulated
Actual Values	0.426	0.168	0.594
RICCA	44.903	17.765	62.668

High salinity and temperature were related to the presence of dinoflagellates and Diatoms, such as: *Prorocentrum micans*, *Protopteridinium oceanicum*, *Scrippsiella* sp., *Lithodesmium undulatum* and *Grammatophora oceanica* (figure 6).

Las altas concentraciones de salinidad y la temperatura se relacionaron con la presencia de dinoflagelados y diatomeas, tales como: *Prorocentrum micans*, *Protopteridinium oceanicum*, *Scrippsiella* sp., *Lithodesmium undulatum* y *Grammatophora oceanica* (Figura 6).

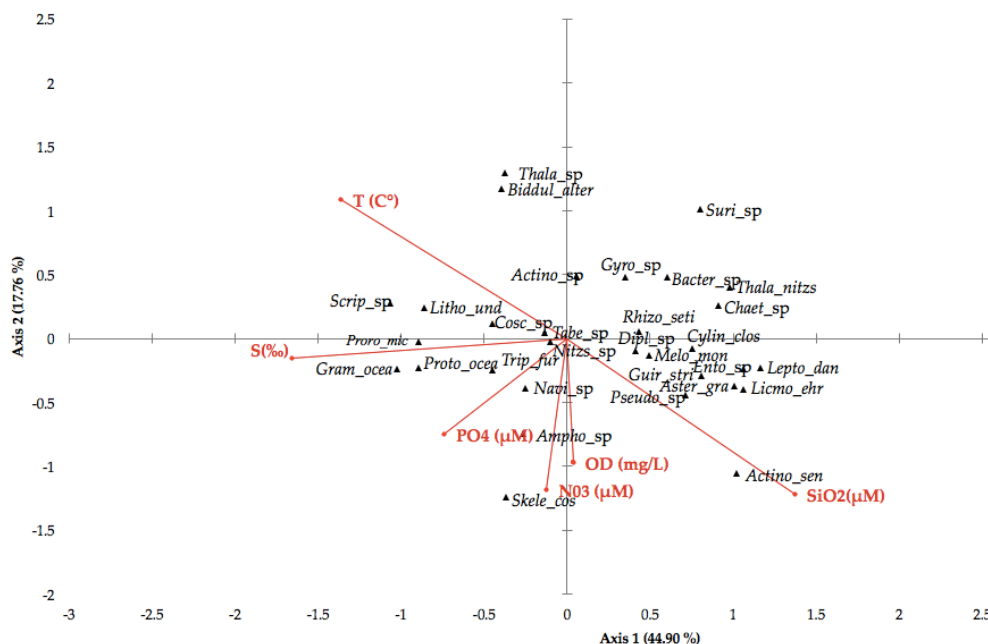


Figure 6. Canonical Correspondence Analysis (CAC): Ordination diagram for microalgae taxa (▲) and physicochemical parameters (vectors) in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico.

Figura 6. Análisis de Correspondencia Canónica (CAC): Diagrama de ordenación para la taxa de microalgas (▲) y parámetros fisicoquímicos (vectores) en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México.

Other microalgae such as *Triplos furca*, *Navicula* sp., *Amphora* sp. and *Skeletonema costatum* prefer environments having medium to high concentrations of dissolved oxygen, phosphates and nitrates. The diatom taxa *Coscinodiscus* sp., *Tabellaria* sp., *Nitzschia* sp. and *Melossira moniliformis* was present in 66 % of samples. The diatoms *Pseudo-nitzschia* sp., *Asterionellopsis gracialis*, *Entomoneis* sp., *Guirnardia striata*, *Leptocylindrus danicus* and *Licmophora ehrenbergi* predominantly occurred at medium to high concentrations of silicates and dissolved oxygen, and at lower temperatures. Other taxa such as *Diploneis* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Rhizosolenia setigera*, *Gyrosigma* sp., *Chaetocero* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Bacteriastrum* sp. and *Surirella* sp. preferred environments with less salinity, dissolved oxygen, and nutrients, and lower temperatures.

According to Ayala (2008) *Prorocentrum micans*, *Protoperdinium* sp., occur under conditions of salinity and high temperatures. Álvarez-Gongóra et al. (2012), found that the dinoflagellate *Triplos furca* is related to the presence of salinity, temperature and nutrients (nitrates and phosphates). García et al. (2015), mention that diatoms,

Otras microalgas como *Triplos furca*, *Navicula* sp., *Amphora* sp. y *Skeletonema costatum* prefieren entornos que tengan concentraciones de oxígeno, fosfatos y nitratos de medio a alto. Diatomeas como *Coscinodiscus* sp., *Tabellaria* sp., *Nitzschia* sp. y *Melossira moniliformis* estuvo presente en el 66% de las muestras. Las diatomeas *Pseudo-nitzschia* sp., *Asterionellopsis gracialis*, *Entomoneis* sp., *Guirnardia striata*, *Leptocylindrus danicus* y *Licmophora ehrenbergi* se observaron en la columna de agua en concentraciones medias y altas de silicatos, oxígeno disuelto, y a bajas temperaturas. Otros géneros y especies, como *Diploneis* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Rhizosolenia setigera*, *Gyrosigma* sp., *Chaetocero* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Bacteriastrum* sp. y *Surirella* sp. prefieren ambientes menos salobres con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y descensos de temperaturas; además de concentraciones mínimas de nutrimentos.

De acuerdo con Ayala (2008), *Prorocentrum micans*, *Protoperdinium* sp. se presentan en condiciones de salinidad y temperaturas altas. Álvarez-Gongóra et al. (2012), encontraron que el dinoflagelado *Triplos furca* está relacionado con la presencia de salinidad, temperatura y nutrientes (nitratos y fosfatos). García et al. (2015),

such as *Leptocylindrus danicus* and *Pseudonitzschia seriata* complex are favored by having availability of nutrients and low temperatures.

Bucheli (2016) refers that *Cylindrotheca closterium* is a species that has a greater relation with nutrients. On the other hand (García et al., 2015) related its growth to low temperatures. Unlike Ayala (2008) in a study conducted in two lagoons, different phytoplankton species such as *Prorocentrum micans*, *Proto-peridinium* sp., *Scrippsiella* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Asterionellopsis gracialis*, *Rhizosolenia setigera* have a successful correlation with values closer to the N:P ratio and high concentrations of oxidized nutrients. While, *Lithodesmium undulatum*, *Proto-peridinium* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., tends to predominate under conditions of high temperatures and concentrations of silicic acid.

According to Okolodkov (2008), dinoflagellates in the genus *Proto-peridinium* proliferate at high salinities and are represented by 46 species in the Parque Nacional Sistema Veracruzano (PNSV). According Muciño-Márquez et al. (2011a), *Prorocentrum* spp. is widely distributed along the Gulf Coast of Mexico. In the Sontecomapan Lagoon, Veracruz, five species were identified including *P. micans*. Muciño-Marquez et al. (2011a), reported that salinity is a determining factor for the abundance and distribution of the genus *Prorocentrum*, which also was tested in the present study (Figure 6). However, we found no relationship between the presence of dinoflagellates and nutrient concentrations except for *Tripes furca*. Dortch (1990) states that there is significant variation between species, both in the inhibition and the preference of nutrients such as nitrogen and ammonium without any apparent pattern, which is influenced by environmental conditions. Gárate-Lizárraga et al. (2008), reported a proliferation of *Prorocentrum micans* during tidal flows in Magdalena Bay. This suggests that *Prorocentrum* occurs in shallow sampling sites, approximately 5 to 10 m in depth, and within a narrow temperature range. This information coincides with the results in the present study.

Reductions in freshwater input lead to increased salinity, and changes in the structure and composition of phytoplankton assemblages (Ferreira et al., 2005). This could lead to proliferation of opportunistic marine species, which can produce HABs, such as *Tripes furca*

reportan que diatomeas como *Leptocylindrus danicus* y *Pseudonitzschia* complejo seriata son favorecidas por la disponibilidad de nutrientes y temperaturas bajas.

Bucheli (2016), menciona que *Cylindrotheca closterium* es una especie que tiene mayor relación con la presencia de nutrientes. Por otro lado García et al. (2015), relaciona su crecimiento a las bajas temperaturas. A diferencia de Ayala (2008), en un estudio realizado en dos lagunas, diferentes especies fitoplanctónicas como *Prorocentrum micans*, *Proto-peridinium* sp., *Scrippsiella* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Asterionellopsis gracialis*, y *Rhizosolenia setigera*; tienen una correlación exitosa bajo condiciones cercanas a la proporción N:P y altas concentraciones de nutrientes oxidados. Otras como *Lithodesmium undulatum*, *Proto-peridinium* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., tienden a predominar bajo condiciones de altas temperaturas y altas concentraciones de ácido silícico.

De acuerdo con Okolodkov (2008), dinoflagelados del género *Proto-peridinium* proliferan en altas salinidades y está representado por 46 especies, identificadas en el Parque Nacional Sistema Veracruzano (PNSV). Según Muciño-Márquez et al. (2011a), especies del género *Prorocentrum* se encuentran ampliamente distribuidas en las costas mexicanas. En la laguna de Sontecomapan, Ver., se han identificado cinco especies, entre ellas *P. micans*. Ésta se considera formadora de florecimientos algales nocivos. Muciño-Márquez et al. (2011a), reportaron que la salinidad es un factor ambiental determinante para la abundancia y distribución del género *Prorocentrum*, lo que fue comprobado en este estudio (Figura 6). Sin embargo, no se encontró relación entre la presencia de dinoflagelados y las concentraciones de nutrientes, a excepción de *Tripes furca*. Para Dortch (1990) existe una significativa variación entre especies tanto en la inhibición como en la preferencia de nutrientes como el nitrógeno y amonio sin ningún patrón aparente, que se encuentra influenciado por condiciones ambientales. Gárate-Lizárraga et al. (2008), reportaron una proliferación de *Prorocentrum micans* durante el flujo de marea en Bahía Magdalena. Esto sugiere que las proliferaciones de las especies del género *Prorocentrum* ocurren en sitios de muestreos someros, con profundidad aproximada de 5 a 10 m, y con un intervalo de temperatura estrecho. Lo anterior coincidió precisamente con lo reportado en este estudio.

Las reducciones en la entrada de agua dulce conducen a un aumento de la salinidad, y cambios en la estructura y composición del fitoplancton (Ferreira et al., 2005). Esto podría propiciar que especies marinas oportunistas

in the lagoons system of Mandinga (Guerra-Martínez & Lara-Villa, 1996). The presence of *Triplos furca* in the lagoons system of Mandinga was recorded during the windy season (January-February, 2012), and reported as a common species in the Gulf of Mexico and Pacific Ocean (Okolodkov, 2010). This dinoflagellate produces hypoxia and anoxia in these regions, causing death by suffocation of aquatic species (e.g. Puerto Escondido and Baja California in 2002).

Dinoflagellate in the genera *Prorocentrum* and *Ceratium*, two dominant HAB species found along the Pacific coast of Guerrero (Gárate-Lizárraga et al., 2008), *Prorocentrum* produces toxins that, when consumed, cause diarrheal shellfish poisoning (Hernández-Becerril et al., 2007). According to Calvo-Vargas et al. (2016), *T. furca* is associated with HABs such as *P. micans* at maximum concentrations of 20×10^3 cel L⁻¹ during warm months (April), at temperatures near 27 °C, dissolved oxygen levels of 5.8 mg L⁻¹, and salinities of 34 psu. The presence of *S. costatum*, also associated with HABs has been observed during the rainy season, at maximum abundances of 6.5×10^6 cel L⁻¹, temperatures near 27 °C, 30 psu salinity and dissolved oxygen concentrations near 7 mg L⁻¹. Such conditions also were recorded in Costa Rica during El Niño events from 2008 to 2010.

According to Wells et al. (2015), temperature is a parameter that affects various metabolic processes of organisms that produce algal blooms. This parameter has a strong influence on the presence and trajectory of the phytoplankton community. However, there is no significant evidence linking temperature changes to toxin production. In this investigation, the highest temperatures were recorded during March and April, identifying the presence of *Coscinodiscu* sp., *Thalassiosira* sp., *Triplos furca* and *Prorocentrum micans*, phytoplankton reported by other authors as algal blooms. However, no changes in water color or other characteristics indicating algal blooms were observed.

In this study, *Pseudo-nitzschia* had maximum abundance in November (6.7×10^4 cel L⁻¹) and December 2011 (5×10^4 cel L⁻¹) (Table 4). This genus was associated with low temperatures and high concentrations of dissolved oxygen and silicates, even though it has optimum growth at salinities of 32.5 to 34.4 psu and temperatures of 19 to 23 °C (Méndez and Ferrario, 2009). According to Aké-Castillo et al. (2014), the

produzcan HABs, por *Triplos furca*, en el sistema lagunar Mandinga (Guerra-Martínez & Lara-Villa, 1996). La presencia de *Triplos furca* en el sistema lagunar Mandinga se registró en la temporada de nortes (enero-febrero 2012) y se reportó como una especie común en el Golfo de México y Océano Pacífico (Okolodkov, 2010). Este dinoflagelado produce hipoxia y anoxia en el medio, lo que ocasiona la muerte por asfixia de especies acuáticas (por ejemplo, Puerto Escondido y Baja California en 2002).

Dinoflagelados del género *Prorocentrum* y *Ceratium*, forman parte de las especies predominantes formadoras de HABs en las costas de Guerrero (Gárate-Lizárraga et al., 2008), las cuales también se encontraron en la zona de estudio. *Prorocentrum* está relacionado con la producción de toxinas causantes del envenenamiento diarreico por consumo de mariscos (Hernández-Becerril et al., 2007). De acuerdo con Calvo-Vargas et al. (2016), *T. furca* se encuentra asociada a HABs por *P. micans* en concentraciones máximas de 20×10^3 cel L⁻¹ en meses cálidos (abril), con temperaturas desde 27 °C, niveles de oxígeno disuelto de 5.8 mg/L⁻¹, y salinidades de 34 PSU. La presencia de *S. costatum*, también asociada a HABs, se ha presentado en temporada de lluvias, con abundancias máximas de 6.5×10^6 cel L⁻¹, temperatura de 27 °C, salinidad de 30 psu, y concentraciones de oxígeno disuelto de 7 mg/L⁻¹. Estos eventos se registraron en Costa Rica durante el fenómeno del niño, en el periodo de 2008-2010.

Según Wells et al. (2015), la temperatura es un parámetro que afecta a varios procesos metabólicos de organismos que producen floraciones algales. Este parámetro tiene una fuerte influencia en la presencia y trayectoria de la comunidad de fitoplancton. Sin embargo, no hay pruebas significativas que relacionen los cambios de temperatura con la producción de toxinas. En este estudio las temperaturas más altas se registraron durante marzo y abril; y se identificó la presencia de *Coscinodiscu* sp., *Thalassiosira* sp., *Triplos furca* y *Prorocentrum micans*, fitoplancton reportado como formador de florecimientos algales. Sin embargo, no se observaron cambios en el color del agua ni otras características que indicaran un florecimiento algal.

En este estudio, *Pseudo-nitzschia* registró abundancias máximas en noviembre (6.7×10^4 cel L⁻¹) y diciembre de 2011 (5×10^4 cel L⁻¹). Este género se asoció con bajas temperaturas, altas concentraciones de oxígeno disuelto y silicatos, aun cuando presenta un crecimiento óptimo en salinidades de 32.5 a 34.4 PSU y temperaturas de 19 a 23 °C (Méndez & Ferrario, 2009). De acuerdo con Aké-Castillo et al. (2014),

availability of high concentrations of orthophosphates and nitrates, and increases in water temperature are some factors that have triggered HABs in the coastal zone of Veracruz, Mexico. Thus, and in accordance with Rodríguez-Gómez *et al.* (2015), continuous monitoring of phytoplankton in the coastal zones of Veracruz is necessary for recognition of the diversity, abundance and seasonality of phytoplankton, especially with regard for those species involved in toxic algal blooms. This resistance to environmental variability may be influenced by the presence of non-endemic species that have been introduced into coastal areas by the ballast water of ships that land in the state of Veracruz (Okolodkov *et al.*, 2007; Aké-Castillo *et al.*, 2014). Water and sediments may contain dinoflagellate cysts capable of resisting for a long time (Meave Del Castillo, 2014). The strategic plan for biological diversity carried out by different foreign government agencies puts pressure on the Mexican legal framework, which requires decision makers to act more effectively in aspects related to invasive species already introduced and potential bio invasions through maritime transport (Okolodkov & García-Escobar, 2014).

According to Okolodkov *et al.* (2007), it is essential to develop legislation for emptying ballast water in Veracruz marine waters from ships and other vessels. In addition to strict regulatory oversight of the maximum permissible limits on discharges of wastewater into natural bodies of water. The construction of a drainage system in the areas surrounding coastal systems, could reduce the availability of nutrients and the formation of algal blooms.

Conclusions

Coastal lagoons, in the state of Veracruz, are a fundamental part of aquatic activities, since they are carried out in open or closed systems, as well as in cages or ponds to produce marine and freshwater organisms. The importance of phytoplankton species, in the Mandinga lagoon system, lies in its resistance to changes in environmental conditions and that tolerates high salinities and temperatures. These parameters influence the abundance and diversity of diatoms and dinoflagellates present in the study area.

Although low phytoplankton densities were obtained in the present study, species associated with algal

la disponibilidad de altas concentraciones de ortofosfatos y nitratos, e incrementos de la temperatura del agua son algunos factores que han provocado HABs en la zona costera de Veracruz, México. De acuerdo con Rodríguez-Gómez *et al.* (2015), es necesario realizar monitoreos continuos de fitoplancton en las zonas costeras de Veracruz; con la finalidad del reconocimiento de la diversidad, abundancia y temporalidad del fitoplancton, en especial, de las especies tóxicas. Esta resistencia a la variabilidad ambiental puede verse influida por la presencia de especies no endémicas que han sido introducidas en las zonas costeras por el agua de lastre de los buques que desembarcan en el estado de Veracruz (Okolodkov *et al.*, 2007; Aké-Castillo *et al.*, 2014). El agua y los sedimentos pueden contener quistes de dinoflagelados capaces de resistir tiempos prolongados (Meave Del Castillo, 2014). El plan estratégico para la diversidad biológica llevado a cabo por diferentes agencias gubernamentales extranjeras ejerce presión sobre el marco legal mexicano, que requiere que los tomadores de decisiones actúen más eficazmente en aspectos relacionados con especies invasoras ya introducidas y bioinvasiones potenciales a través del transporte marítimo (Okolodkov & García-Escobar, 2014).

De acuerdo con Okolodkov *et al.* (2007), es esencial desarrollar una legislación para vaciar el agua de lastre en aguas marinas de Veracruz de los barcos y otros buques. Además de la estricta supervisión regulatoria de los límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales en cuerpos naturales de agua. La construcción de un sistema de drenaje en las áreas circundantes a los sistemas costeros, podría reducir la disponibilidad de nutrientes y la formación de floraciones de algas.

Conclusiones

En las lagunas costeras del estado de Veracruz se realizan actividades acuícolas en sistemas abiertos y cerrados, en jaulas o estanques; para la producción de organismos marinos y dulceacuícolas. La relevancia de las especies de fitoplancton presentes en el sistema lagunar Mandinga es su resistencia a factores ambientales, ya que toleran altas salinidades y temperaturas. Estos parámetros guardan una relación estrecha con la abundancia y diversidad de diatomeas y dinoflagelados en la zona de estudio.

Aun cuando se reportaron bajas densidades de fitoplancton en este estudio, se identificaron especies formadoras de florecimientos algales nocivos o tóxicos (HABs), que son

blooms were identified, posing a risk to the ecosystem and public health. Phytoplankton in the lagoon system of Mandinga consists mainly of benthic and planktonic diatoms and dinoflagellates, and its abundance is associated with the presence of nutrients, mainly nitrates and silicates. The Mandinga lagoon system is cataloged by the Federal Commission for the Detection of Sanitary Risks (COFEPRIS), as a priority area for the certification of areas of oyster extraction destined for human consumption, in compliance with the sanitary specifications of the NOM-242 -SSA1-2009. It is because of this, that collaboration with public and private associations and institutions is required in order to identify the causes of HABs. In addition, it is necessary to plan and implement new strategies for the prevention and control of these phenomena, in order to reduce damage to aquatic systems and public health by the consumption of contaminated bivalve mollusk.

un riesgo potencial para el ecosistema y la salud pública. El fitoplancton del sistema lagunar Mandinga se encuentra principalmente constituido por diatomeas y dinoflagelados bentónicos y planctónicos. La abundancia del mismo, en el sistema lagunar Mandinga, se encuentra asociada a la presencia de nutrimentos, principalmente, nitratos y silicatos. Cabe mencionar, que la Comisión Federal para la Detección de Riesgos Sanitarios de México (COFEPRIS) cataloga al sistema lagunar de Mandinga como una zona prioritaria para la certificación de áreas de extracción ostrícola destinada al consumo humano, en cumplimiento de las especificaciones sanitarias de la NOM-242-SSA1-2009. Por ello, es necesaria la colaboración entre instituciones públicas y privadas, con el propósito de identificar las causas que originan los florecimientos algales. Además de la planeación e implementación de nuevas estrategias de prevención y control de estos fenómenos, a fin para disminuir los daños al ecosistema acuático y a la salud pública por el consumo de moluscos bivalvos contaminados.

References

- Aké-Castillo, J. A. (2015). Descripción morfológica y autoecología de *Thalassiosira cedarkeyensis* A.K.S.K. Prasad (Bacillariophyta: Thalassiosirales), en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. *Cymbella, Revista de Investigación y Difusión sobre Algas* 1(1): 12-18. http://cymbella.mx/img/numeros/01/Num_01_Descripcion_morfologica_y_autoecologia_de_Thalassiosira_cedarkeyensis.pdf
- Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y., Rodríguez-Gómez, C. and Campos-Bautista, G. (2014). Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). In: *Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Botello A, Rendón-Von Osten J, Benítez J, Gold-Bouchot G, Eds.; https://www.researchgate.net/profile/Carlos_F_Rodriguez-Gomez/publication/270285936_Florecimientos_algales_nocivos_en_Veracruz_especies_y_posibles_causas_2002-2012/links/5596e3cf08ae5d8f39328f53.pdf
- Alcocer, J. (2007). El agua epicontinental de México. *Revista Ciencia*, 66: 26-35. http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/05-548.pdf
- Aldasoro S, G. A. (2015). La microcuenca de Mandinga: aportaciones a su historia ambiental (Tesis de Maestría). Maestría en ecología y Pesquerías. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Veracruz, Mex. 1-79 pp. <https://www.uv.mx/veracruz/mep/files/2012/10/Tesis-Gabriel-Aldasoro-Said.pdf>
- Álvarez-Gongóra, C. C., Liceaga-Correa, M. A. and Herrera-Silveira, J. A. (2012). Variaciones estacionales de la estructura comunitaria del fitoplancton en zonas de descarga de agua subterránea en la costa norte de la Península de Yucatán. *Revista de Biología Tropical*, 1:157-172. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44923251011>
- Arias De León, C. (2014). La pesquería mexicana del ostión *Crassostrea virginica* (Gmerlin, 1791) del Golfo de México: limitantes de su desarrollo (Tesis de Doctorado). Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 1-174 pp. <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/41442/1/AriasDeLeonCesar.pdf>
- Aubriot, L., Conde, D., Bonilla, S., Hein, V. and Britos, A. (2005). Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización, En: Vila, I and Pizarro, J., Eds.; Taller Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses. CYTED XVIIIB. 65-85 pp. Patagonia. <https://www.yumpu.com/es/document/view/17821770/vulnerabilidad-de-una-laguna-costera-reserva-de-biosfera-indicios>
- Ayala R, G. A. (2008). Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del sistema lagunar Topolobambo-Ohuira-Santa María (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. México. 1-149 pp. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/13651>

- Band-Schmidt, C., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, F. E. and Hernández-Sandoval, F. E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21: 381-413. www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v21n3/v21n3a13.pdf
- Barreiro-Güemes, M. T. and Aguirre-León, A. (1999). Distribución espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Portal de Revistas Académicas*, 47: 27-35 <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/26136>
- Bornn, D. L. and Ruíz-Zamites, R. I. (1982). Análisis cuantitativo del fósforo en la laguna de Mandinga, Edo. de Veracruz, Mex. Informe Final de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. pp. 44. Iztapalapa, B.C.S., México. <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/asp/am/presentatesis.php?recno=7556&docs=UAM7556.PDF>
- Bucheli Q, R. (2016). Comportamiento temporal del plancton ante factores oceanográficos y eventos climáticos en las estaciones de Esmeraldas, Puerto López y Salinas (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales. Guayaquil, Ecuador. 106 pp. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11669>
- Calvo-Vargas, E., Berrocal-Artavia, K. and Boza-Abarca, J. (2016). Floraciones algales nocivas durante el período 2008-2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista ciencias Marinas y Costeras*, 8: 129-149, <https://doi.org/10.15359/revmar.8-1.9>
- Castán-Aquino, Y. I. (2013). Análisis ecológico de la comunidad zooplanctónica del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz, durante las temporadas de secas y lluvias 2008 y secas 2009 y 2010 (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepanitla, México. 129 pp.
- Castañeda, L.O. and Contreras, E. (1993). Baja California Norte y Sur. Serie "Bibliografía Comentada sobre Ecosistemas Costeros Mexicanos". CONABIO-UAMI-CDELM, México, p. 489.
- Ceballos-Corona, J. G. A. (2006). Análisis de los dinoflagelados potencialmente nocivos en el fitoplancton de la zona nerítica de la costa michoacana (enero-mayo, 2004) (Tesis de Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Morelia, México. 1-165 pp.
- Contreras E, M. L. (2016). Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables oceanográficas en la desembocadura del Río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias) (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Veracruz, México. 102 pp. <https://www.uv.mx/veracruz/mep/files/2012/10/Tesis-Lorena-Contreras-Espinoza.pdf>
- Contreras, F. and Castañeda, L. (2004). Lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos, In: *Diagnostico Ambiental del Golfo de México*; Caso, M.; Pisant, I.; Ezcuna, E., Eds.; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología, A.C. Harte research Institute for Gulf of Mexico, Volume 1, 373-416 pp.
- Contreras, F., Castañeda, O. and Torres, R. (1997). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiología*, 7: 9-17. <http://www.redalyc.org/pdf/578/57870102.pdf>
- Contreras, F., Castañeda, O., Torres-Alvarado, R. and Gutiérrez, M. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista Biológica Tropical*, 44: 417-425. https://www.researchgate.net/profile/Ofelia_Castaneda/publication/266286421_Nutrientes_en_39_lagunas_costeras_mexicanas/links/547358ba0cf216f8cfaf805a/Nutrientes-en-39-lagunas-costeras-mexicanas.pdf
- Dorcht, Q. (1990). The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 61: 183-20. <https://doi.org/10.3354/meps061183>
- Esqueda-Lara, K. and Hernández-Becerril, D. U. (2010). Dinoflagelados microplanctónicos marinos del Pacífico central de México (Isla Isabel, Nayarit y Costas de Jalisco y Colima). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 206 pp.
- Ferrario, M. E., Sar, E. A. and Sala, S. A. (1995). Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas, In: Manual de métodos fisiológicos. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. and Sar, S. A. Eds. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 1-23 pp.
- Ferreira, J. G., Wolff, W. J., Simas, T. C. and Bricker, S. B. (2005). Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology? *Economic Models*, 187: 513-523. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.013>

- Gárate-Lizárraga, I., Band-Schmidt, C., Bustillos-Guzmán, J. J. y López-Cortés, D. J. (2007). Bloom of *Pseudo-nitzschia fraudulenta* in Bahía de La Paz, Gulf of California (June-July 2006). *Harmful Algae News*, 33: 6-7. https://www.academia.edu/25596702/Bloom_of_Pseudo-nitzschia_fraudulenta_in_Bah%C3%ADa_de_La_Paz_Gulf_of_California_June-July_2006
- Gárate-Lizárraga, I., Pérez-Cruz, B., Díaz-Ortiz, J. and Band-Schmidt, C. (2008). Microalgas y biotoxinas marinas en las costas mexicanas. *Conversus*, 9: 22-26. https://www.researchgate.net/publication/260202139_Microalgas_y_biotoxinas_marinas_en_las_costas_mexicanas
- García A, D., Coello Z, D. and Pernia S, B. (2015). Parámetros abiótico y su relación con la abundancia del fitoplancton y su relación con la abundancia del fitoplancton frente a Puerto López-Ecuador (2011-2012), Provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 2: 33-45. ISSN: 1390-8413. https://www.researchgate.net/profile/Beatriz_Pernia/publication/308315342_Parametros_abioticos_y_su_relacion_con_la_abundancia_del_fitoplancton_frente_a_Puerto_Lopez-Ecuador_2011-2012_Provincia_de_Manabi_Ecuador/links/57e0728e08ae3f2d793eafda.pdf
- García-Mendoza, E., Olivos-Ortiz, A., Quijano-Scheggia, S. I., Núñez-Vázquez, E. J. and Pérez-Morales, A. (2016). FAN: Conceptos básicos, definiciones, impactos negativos y un poco de historia. In: Florecimientos Algales Nocivos en México, García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. and Núñez-Vázquez, E.J. Eds.; RedFAN-CICESE, Ensenada, B.C. México. 10-19 pp. www.researchgate.net/profile/Red_Tematica_Florecimientos_Algaes_Nocivos/publication/314174912_Florecimientos_Algaes_Nocivos_en_Mexico/links/598b7096458515c333a33689/Florecimientos-Algaes-Nocivos-en-Mexico.pdf
- Gómez-Sánchez, J.E. (2013). Composición y variación espacio-temporal de la comunidad de peces en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz, México del año 2007 al 2010 (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepanitla, México.
- Guerra-Martínez, S.L. and Lara-Villa, M.A. (1996). Florecimiento de *Ceratium furca* (Peridinales: Ceratiaceae) en un ambiente salobre: Laguna de Sontecomapan, México. *Revista Biológica Tropical*, 44: 23-30. http://www.ots.ac.cr/rbt/attachments/volumes/vol44-1/02_Guerra_Ceratium_furca.pdf
- Hallegraeff, G.M. (1995). Harmful algal blooms: a global overview. In: Manual of Harmful Microalgae, Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., Cembella, A. D., Eds.; IOC Manuals and Guides, UNESCO, Paris. 25-49 pp. https://www.researchgate.net/profile/Donald_Anderson/publication/290125074_IOC_Manuals_and_Guides_No33/links/56994aff08aea14769433603.pdf#page=22
- Hernández-Becerril, D. U., Bravo-Sierra, E. and Aké-Castillo, J. A. (2007). Phytoplankton on the western coasts of Baja California in two different seasons in 1998. *Scientia Marina*, 71: 735-743. <http://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/article/view/227>
- Herrera-Silveira, J. (2006). Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotropicos*, 19: 94-108.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). URL:<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjE5LjA1ND-Q3LGxvbjotOTYuMDc4NDAseljoxMyxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=> [Last checked October 20th 2015].
- Jeffrey, S. W. and Humphrey, G. P. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie Physiologie Pflanzen*, 167: 191-194. [https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3)
- Kennish, M. and Pearl, H. (Eds). (2010). Coastal lagoons: critical habitats of Environmental change. Florida, USA: Taylor & Francis Group, CRC Press http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/OF_files/Coastal%20Lagoons%20-%20Critical%20%20Habitats%20of%20Environmental%20Change.pdf
- Kormas, K.A., Nicolaid, A. and Reizopoulou, S. (2001). Temporal variations of nutrients, chlorophyll-a and particulate matter in three coastal lagoons of Amvrakikos Gulf (Ionian Sea, Greece). *Marine Ecology*, 22: 201-213. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1439-0485.2001.01720.x>
- La Barre, S., Bates, S. S. and Quilliam, M. A. (2014). Domoic acid. In: Outstanding marine molecules: chemistry, biology, analysis.; La Barre, S., Kornprobst, J.M., Eds.; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany. 189-211 pp. ISBN 978-3-527-33465-0.

- Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Martínez-González, R. and Vázquez-Lule, A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Mandinga, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F. 17 pp.
- Lim, H. C., Leaw, C. P., Su, S. N., Teng, S. T., Usup, G., Mohammad-Noor, N. A., Lundholm, N., Kotaki, Y. and Lim, P. (2012). Morphology and molecular characterization of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) from Malaysian Borneo, including the new species *Pseudo-nitzschia circumpora* sp. Nov. *Journal Phycology*, 48: 1232-1247, <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01213.x>
- Lim, H. C., Teng, S. T., Leaw, C. P. and Lim, P. T. (2013). Three novel species in the *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* complex: *P. batesiana* sp. Nov., *P. lundholmiae* sp. Nov. and *P. fukuyoi* sp. Nov. (*Bacillariophyceae*) from the strait of Malacca, Malaysia. *Journal Phycology*, 49: 902-916. <https://doi.org/10.1111/jpy.12101>
- López-Cortés, D., Gárate-Lizárraga, I., Bustillos-Guzmán, J. J., Alonso-Rodríguez, R. and Murillo-Murillo, I. (2003). *Hidrobiológica*, 13: 195-206.
- López-Monroy, F.M., Troccoli-Ghinaglia, L.E., Poblete, E. and Valerio-González, L.R. (2017). Nutrients dynamics in tropical hypersaline Coastal Lagoon (Las Marites, Margarita Island, Venezuela). *Revista Bio ciencias*, 6: 1-16. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.06.04>
- Martínez Del Rosario, J. F. (2011). Ocurrencia estacional de *Vibrio* spp. en moluscos bivalvos (*Crassostrea virginica*) procedentes de Mandinga, Veracruz (Tesis de Licenciatura). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnista, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Meave del Castillo, M. E. (2014). Plancton marino introducido por agua de lastre. In: Mendoza, R. and Koleff, P. (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 289-308 pp.
- Méndez, S. and Ferrario, M. (2009). First report of *Pseudo-nitzschia multistriata* in Uruguay. *Harmful Algae News*, 40: 5-6 pp.
- Muciño-Márquez, R. E., Figueroa-Torres, M. G. and Esquivel-Herrera, A. (2011b). Variación nictemeral de la comunidad fitoplanctónica y su relación con las especies formadoras de florecimientos algales nocivos en la boca de la laguna costera Sontecomapan, Veracruz, México. *Cicimar Oceanides*, 26: 19-31. <http://oceanides.ipn.mx/index.php/cicimaroceanides/article/view/92>
- Muciño-Márquez, R.E., Figueroa-Torres, M. G. and Gárate-Lizárraga, I. (2011a). Variación nictemeral del género *Prorocentrum* (Dinophyceae) en la laguna costera Sontecomapan, Veracruz, México. *E-Bios*, Instituto Politécnico Nacional 1:3-13. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/12938>
- Navarrete-Rodríguez, G., Landeros-Sánchez, C., Castañeda-Chávez, M. R. and Lango-Reynoso, F. (2016). Dinámica de la actividad ostrícola en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. 2-23 pp. In: Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. R., Galaviz-Villa, I., Montoya-Mendoza, J., Adame-García, J., Martínez-Hernández, M. J., Del Ángel-Pérez, A. L., Gallardo-López, F., Landeros-Sánchez, C. (Editores) Agro Veracruzano; Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla. 625 p.
- Núñez-Vázquez, E. J., Gárate Lizárraga, I., Band Schmidt, C. J., Cordero Tapia, A., López Cortés, D. J., Hernández Sandoval, F. E., Heredia Tapia, A. y Bustillos Guzmán, J. J. (2008). Impacto de las proliferaciones microalgales nocivas en animales silvestres y de cultivo en el golfo de California. In: 1ra Biental de la Agenda de Investigación del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (La Paz, Baja California Sur, México). https://www.researchgate.net/publication/266369632_IMPACTO_DE_LAS_PROLIFERACIONES_MICROALGALES_NOCIVAS_EN_ANIMALES_SILVESTRES_Y_DE_CULTIVO_EN_EL_GOLFO_DE_CALIFORNIA
- Okolodkov, Y. B. (2008). *Protoperdinium* Bergh (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. *Acta Botánica Mexicana*, 84: 93-149. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512008000300006&script=sci_arttext&tlng=en
- Okolodkov, Y. B. (2010). *Ceratium schrank* (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. *Acta Botánica Mexicana*, 93: 41-101. <https://doi.org/10.21829/abm93.2010.275>
- Okolodkov, Y. B. and Blanco-Pérez, R. (2011). Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres. In *Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado*; Publisher: CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. Veracruz, México, Volumen 2, 59-69 p, ISBN 978-607-7607-51-9 https://www.researchgate.net/publication/234077141_Diversidad_de_microalgas_marinas_y_de_aguas_salobres

- Okolodkov, Y. B. and García-Escobar, H. (2014). Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectiva para México. 55-79 pp. In: Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en sistemas costeros de México. Low Pfeng, A. M., Quijón, P. A. and Peters-Recagno, E. M. editores. 1-603 pp. https://www.researchgate.net/profile/Yuri_Okolodkov/publication/268218225_Agua_de_lastre_y_transporte_de_los_organismos_incrustantes_leyes_y_acciones_perspectivas_para_Mexico/links/546586260cf2f5eb17ff3dccc.pdf
- Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, R., Ibáñez, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. and Gutiérrez-Mendieta, F. J. (2007). Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar*, 11: 29-67. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Okodolokov-et-al-20071.pdf>
- Orduña-Medrano, R. E. (2012). Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan, Veracruz, México (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México. 1-200 pp. <https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2012/10/ROSA-ESTELA-ORDUNA-MEDRANO.pdf>
- Orellana-Cepeda, E., Granados-Machuca, C. and Serrano-Esquer, J. (2002) *Ceratium furca*: one possible cause of mass mortality of cultured blue-fin tuna at Baja California, Mexico. Proceedings of the 10th International Conference on Harmful Algae. 21-25 October, St. Petersburg Beach, Florida. 514-516 pp.
- Parsons, M. I., Okolodkov, Y. B. and Aké-Castillo, J. A. (2012). Diversity and morphology of species of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, SW Gulf of Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 98: 51-72. <https://doi.org/10.21829/abm98.2012.1140>
- Pearl, H. W. (1997). Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources. *Limnología Oceanográfica*, 42: 1154-1165. https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1154
- Rodríguez-Gómez, C., Aké-Castillo, J., Campos-Bautista, G. and Okolodkov, Y. (2015). Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-Bios*, Universidad Autónoma Metropolitana 2: 178-191. https://www.researchgate.net/profile/Javier_Bello-Pineda/publication/291830416_aguilera_et_al_2015/links/56a6a5d608ae860e0253ce0e.pdf#page=183
- Rodríguez, P. L. (2008). Estructura y producción primaria del fitoplancton y perfiton en un humedal del bajo Paraná (Tesis Doctoral). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n4394_Rodriguez.pdf
- Ruiz-Barreiro, T. M. (2012). Procesos dinámicos subyacentes al concepto de salud del ecosistema (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS. 1-96 pp. <http://www.biblioteca.cicimar.ipn.mx/oasis/Medios/tesis/ruizb1.pdf>
- Shaw, G. R., Moore, D. P. and Garnett, C. (2003). Eutrophication and algal blooms. *Environmental Ecology Chemical*, 2: 1-21.
- Sosnovsky, A. and Quirós, R. (2006). El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra. *Ecología Austral*, 16: 115-124. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v16n2/v16n2a03.pdf>
- StatSoft, Inc. STATISTICA. <http://www.statsoft.com> (Last checked November 3rd 2016).
- Waters, M. (2007). Historic Transition in Primary Producing Communities in Eastern North Carolina Lakes. Phd Thesis, University of North Carolina at Chapel Hill, December. <https://cdr.lib.unc.edu/indexablecontent/uuid:eeb439c9-948f-42f0-8a50-e517a29543e1>
- Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S. O., Trick, C. G., Kudela, R. M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulff, A., Anderson, D. M. and Cochlan W. P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, 1(49): 68–93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.07.009>
- Zaballa-Carranza, A. M. (1982). Identificación y cuantificación de biomasa de fitoplancton en Mandinga, Veracruz (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México. 1-69 pp.