



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR INVESTIGACIÓN**

TÍTULO

**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS
HIDROLÓGICOS EN LA LAGUNA DE SONTECOMAPAN,
RESERVA DE LA BIOSFERA LOS TUXTLAS, VERACRUZ**

QUE PRESENTA EL ALUMNO:

David Juárez Silva

Matrícula: 2163023829

ASESOR INTERNO

**M. en C. Arturo Aguirre-León
No. Económico: 18686**

México, CDMX, a 5 de septiembre de 202

Resumen

En este estudio se realizó un análisis espacio temporal de los parámetros hidrológicos en la Laguna de Sontecomapan, ubicada en la Reserva de la Biosfera lo Tuxtlas, Veracruz. Se utilizaron registros ambientales que forman parte de las bases de datos del Laboratorio Ecología Costera y Pesquerías del Departamento El Hombre y su Ambiente realizados en diferentes años (2014 a 2022) y temporadas climáticas del año (nortes y secas). Se utilizó una red de 10 sitios de muestreo previamente definidos para cubrir las diferentes condiciones ambientales de la laguna. Se registraron parámetros físicos y químicos en cada estación de muestreo como la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH en la columna de agua (superficie y fondo) asimismo la profundidad y transparencia. Igualmente se determinó la concentración de amonio, nitratos, nitritos y ortofosfatos, así como de la clorofila a. Para su determinación se utilizaron técnicas por espectrofotometría. Se realizaron mapas de isolíneas de la laguna utilizando los datos fisicoquímicos de superficie y fondo para representar la variación espacial y temporal de las variables ambientales, así como de la biomasa fitoplanctónica (clorofila a) en las temporadas de nortes y secas. Se determinó la calidad del agua de la laguna, contrastando los resultados con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) y los indicadores para evaluación expuestos por la Comisión Nacional de Agua en la NOM-001-ECOL-1997. Los valores más altos de salinidad se presentaron en la boca lagunar y los menores en la cabecera de la laguna, mientras que la salinidad de fondo fue mayor que la de superficie presentando estratificación y una cuña salina permanente. Esta fue mayor en febrero 2016 y menor en octubre 2017, febrero 2018 y enero 2020. Los valores más bajos de temperatura se presentaron en estaciones cercanas a la desembocadura de los ríos y no se presentó estratificación térmica. Esta fue mayor en octubre 2014 y 2015 y menor en enero 2020. Para el oxígeno disuelto no se presentó una distribución espacial clara, sin embargo, en estaciones cercanas a ríos las concentraciones aumentaron, y se presentó una ligera estratificación, con valores altos en superficie y menores en fondo. Este fue mayor en febrero 2016 y 2018 y menor en octubre 2017 y enero 2020. El pH mostró poca variabilidad espacio temporal, permaneciendo en un valor neutro en la columna de agua. La profundidad y transparencia presentaron poca variabilidad espacio temporal. El amonio presentó valores altos al interior de la laguna y en estaciones cercanas a la desembocadura de los ríos. Este fue mayor en febrero 2016 y octubre 2015, mientras que en el resto de los años las concentraciones fueron bajas. Los nitratos fueron mayores en octubre 2018 y menores en febrero 2015, 2018, octubre 2017 y enero 2020. Los nitritos presentaron una distribución espacial parecida a la de amonio relacionada a la desembocadura de los ríos. Estos fueron mayores en octubre 2018 y menores en octubre 2015 y febrero 2018. Los ortofosfatos no presentaron una distribución espacial clara. Fueron mayores en noviembre 2022 y menores en octubre 2014 y febrero 2016. Ninguno de los nutrientes presentó estratificación en la columna de agua. La clorofila a (biomasa fitoplanctónica) presentó las mayores concentraciones en zonas de baja salinidad el interior de la laguna, presentando valores más altos en agua de fondo. Esta fue mayor en febrero 2016 y menor en febrero 2016, octubre 2015 y 2018. De acuerdo con la norma NOM-001-ECOL-1997 los valores de temperatura y pH están dentro de la norma y según la norma CE-CCA-001/89 las concentraciones de nutrientes se encuentran fuera del rango máximo establecido. Los resultados del índice TRIX indican que esta laguna es oligotrófica con valores bajos de nutrientes y productividad fitoplanctónica con buena calidad de agua.

Introducción

Las lagunas costeras son ecosistemas muy fluctuantes caracterizados fundamentalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas, esta intensidad y frecuencia de mezcla determina en su mayor parte los cambios estacionales de las características fisicoquímicas del agua (Comín, *et al.* 1987). En estos sistemas la comunicación con el mar se da a través de una entrada natural, la cual favorece el intercambio de agua, nutrientes, materia orgánica y el desplazamiento de organismos, convirtiéndolas en importantes ecosistemas para la zona marina adyacente (Herrera-Silveira, *et al.* 1994). Generalmente estos sistemas costeros manifiestan un comportamiento hidrológico estacional debido a su dependencia de los aportes de agua dulce y sus efectos en la mezcla del agua en sus cuencas (Ringwood y Keppler, 2002), como consecuencia de las estaciones climáticas de lluvias y estiaje. Esto hace que las variaciones de los ciclos de nutrientes sean particularmente complejas, así como los factores que controlan la productividad primaria en la columna de agua al estar determinada por múltiples factores, así como una estrecha y compleja relación entre ellos (Contreras-Espinosa *et al.* 2005). Referente a ello, López-Portillo *et al.* (2017) mencionan que las variables físicas y químicas dependen de la condición de apertura/cierre de la entrada naturales de las lagunas, el volumen de agua proporcionado por los ríos, el tamaño y la morfología de la laguna y las áreas de mayor cobertura de manglares, estos factores son los principales impulsores de la variabilidad de los sistemas estuarinos (Lill *et al.*, 2013; Whitfield *et al.*, 2012) y debido a esta complejidad de factores, un cambio en alguno de ellos podría alterar la dinámica de la laguna. Por ejemplo, Ferreira *et al.* (2005) mencionan que en las lagunas costeras una disminución en el suministro del agua continental ocasiona un aumento en la salinidad, lo que modifica la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica, lo que podría propiciar que especies marinas oportunistas produjeran proliferaciones. Aké-Castillo *et al.* (2014) menciona que en Sontecomapan se han reportado siete casos de proliferaciones algales. Guerra y Lara (1996), Aké-Castillo y Vázquez (2008) y Muciño-Márquez *et al.* (2011) encontraron 27 especies formadoras de FAN, las cuales pueden llegar a ser peligrosas.

Otro factor importante es que el comportamiento hidrológico manifiesta un efecto no fácilmente predecible en la distribución, cantidad y calidad de agua el cual es particular en cada sistema litoral (Contreras *et al.* 1997; Mecca, 2008). Adicionalmente, la geomorfología, que modifica y restringe la circulación, también propicia la estratificación y los procesos difusivos (Aston, 1980), que no son homogéneos a nivel espacial en lagunas costeras, esto genera una distribución en parches de los nutrientes, el fitoplancton, la vegetación sumergida y el zooplancton (Álvarez-Borrego *et al.*, 1977), que hacen su distribución aún más heterogénea. En este contexto es primordial conocer las condiciones físicas y químicas, su influencia e impacto ecológico en la calidad del agua y su repercusión en los organismos. En México los criterios de calidad del agua de protección a la vida acuática para ambientes estuarinos y costeros (SEDUE, 1989), supone similitud de las aguas costeras (Pacífico, Golfo de México y Caribe), e ignora la utilidad de indicadores de salud de ecosistemas costeros utilizados en otras regiones (Clorofila-a, florecimientos algales nocivos, vegetación acuática sumergida) (Herrera, 2006). Los índices de estado trófico son una parte importante de los estudios de calidad del agua, estos índices ayudan a determinar la probabilidad de proliferación de algas nocivas que dañan la calidad del agua, además es una propiedad que está profundamente relacionada con el funcionamiento de los ecosistemas y la influencia antropogénica y puede ayudar en el proceso de toma de decisiones al gestionar la eutrofización de reservorios y estimar el riesgo de floraciones de fitoplancton (Dodds y Cole, 2007 y Fernández-Cunha *et al.*, 2013). Conocer la calidad de agua en las lagunas litorales permite establecer cuáles son los cambios que representan las variables fisicoquímicas de estos sistemas, tal como lo destaca Morales-Abril (1999). Con base en lo anterior se puede realizar un

diagnóstico de las condiciones hidrológicas de un sistema, para comprender los cambios espacio temporales de las variables ambientales, lo cual ayuda a sentar las bases para plantear estrategias y acciones adecuadas y factibles para la conservación de la calidad del agua y el funcionamiento de las comunidades bióticas asociadas a las lagunas costeras.

Marco Teórico

En la Laguna de Sontecomapan se han realizado diferentes estudios sobre flora, fauna y contaminantes presentes en el sistema. En la mayoría de estos estudios se registran los valores de las variables fisicoquímicas, pero pocos se enfocan en la distribución espacio temporal de los mismos, y muy pocos hablan sobre la calidad del agua (González *et al.*, 1994; García y Reguero, 1995; Calva, 1999).

García y Reguero (1995) analizaron la distribución de moluscos en Sontecomapan y mencionan que localmente no se observó un gradiente térmico a nivel de fondo y superficie, ni en su distribución horizontal, registrándose valores medios de 24°C. También reportan que el perfil halino se modificó debido a que el análisis puntual de la salinidad registrada indica que en las distintas estaciones de muestreo se incrementó desde condiciones mesohalinas (5-10 UPS), hasta euhalinas (30-40 UPS), a medida que se aproximan hacia la zona de comunicación con el mar. Las mayores extensiones presentan condiciones mesohalinas y polihalinas (10 -18 y 25 - 30 UPS). Asimismo, observaron que existe un patrón de circulación de tipo estuarino, ya que el agua salobre menos densa, de origen fluvial y pluvial, se desplaza en la superficie y el agua más salada y densa que penetra desde el océano y fluye por el fondo, lo cual se refleja en este cuerpo de agua con diferencias hasta de 20 UPS entre los valores de fondo y los de superficie.

Según el manifiesto de impacto ambiental realizado por CONAPESCA (2012), para la construcción de la barra en Sontecomapan la disponibilidad de agua de baja calidad dentro de la laguna, se debe al acceso de agua salada hacia la misma, ya que la composición arenosa de la barra, frente a la incidencia periódica de "nortes", y ocasional de huracanes, propicia condiciones de inestabilidad en la boca junto con un asolvamiento progresivo en el canal de acceso, generando un achicamiento en el canal natural de comunicación que genera una merma en el intercambio de agua. Generando la pérdida del radio hidráulico en el canal de comunicación lagunar, lo que impide una adecuada propagación de la onda de marea al interior de la laguna, con lo cual el intercambio de agua es menor. Y mencionan que el cambio de uso de suelo ha generado una elevada carga de sólidos en suspensión, propiciada por los escurrimientos superficiales que arrastran mayores concentraciones de contaminantes y materia orgánica a la laguna, la combinación de ambos efectos ejerce una presión sobre la integridad del ecosistema lagunar que empieza a hacerse evidente a través del decremento de la producción pesquera.

Benítez-Díaz *et al.* 2014 en un estudio sobre la variación espacio temporal del zooplancton, observaron una alta variabilidad espacial y temporal de las variables abióticas y bióticas en esta laguna, donde los intercambios con el mar, a través de la boca lagunar permanentemente abierta, están condicionados por la influencia de las mareas, donde las amplitudes de las mareas fueron de 1.03, 0.87 y 0.83 m durante las temporadas de secas, lluvias y de nortes respectivamente. También mencionan que el aporte de agua dulce proviene principalmente de los ríos La Palma, Basura y el Sábalo y, a pesar de que no se dispone de datos sobre sus caudales, se considera que su influencia es estacionalmente importante ya que se observa una disminución significativa de la salinidad durante la temporada lluviosa. También observaron que los aportes de agua dulce probablemente provocan un aumento importante de nitratos durante la temporada de lluvias y una disminución del pH local cerca de la desembocadura de los ríos Basura y La Palma.

Gómez, *et al.* (2014) mencionan que en cuanto a la calidad de agua de la laguna Sontecomapan,

en el caso de la salinidad la media en las estaciones de agua superficial fue de 5 ups mientras que a un metro de profundidad la media fue de 27 ups, lo que muestra es una influencia de una masa de agua salobre desplazándose sobre una masa de agua salada en la columna de agua lagunar. Y mencionan que posiblemente los gradientes de cargas de amonio y de fosfatos que son mayores hacia el interior de la laguna, se deban por lo ríos y arroyos que pasan por zonas agrícolas y ganaderas y que luego descargan en la zona. Este compuesto del nitrógeno y fosforo son los comúnmente utilizados como fertilizantes.

López-Portillo *et al.* (2017) analizaron la distribución y dinámica temporal de las variables químicas del agua en cuatro lagunas diferentes el litoral de Veracruz, entre las que se encuentra Sontecomapan, La Mancha, Chica y Grande y el Ostión, y se encontró que las mayores concentraciones de compuestos nitrogenados correspondieron a nitrato y amonio, así como los niveles más altos de oxígeno se registraron en Sontecomapan. También observaron una estratificación en La Mancha y en Sontecomapan, especialmente durante la temporada seca, cuando el agua de mar entra a estos sistemas por debajo del agua superficial.

Aguirre-León *et al.* (2018) analizaron la estructura de la comunidad de peces y su relación con el comportamiento ambiental en Sontecomapan y mencionan que la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en el sistema lagunar está condicionada por su forma y tamaño, por el ingreso de agua de mar a través de la entrada marina y canal de marea del Golfo de México, y por el agua dulce de los ríos y arroyos que desembocan en la laguna. Mencionan que existe un gradiente de salinidad que tuvo valores más altos cerca del canal del mar y más bajos cerca de la cabecera del sistema. En cuanto a la temperatura del agua, reportaron poca variación en todo el sistema, con diferencias de 1,1 °C a 1,3 °C entre las estaciones de registro y entre la superficie y el fondo. En cuanto a las concentraciones del oxígeno disuelto reportaron poca variación espacial en el sistema y mencionan que los valores son más altos en la superficie y más bajos en el fondo. Encontraron que la profundidad y la transparencia mostraron una tendencia espacial similar, con valores más altos en la entrada marina y el canal de marea (estaciones 1-4) y más bajos hacia la cabeza del sistema (estaciones 8-10) e identificaron tres ambientes o hábitats, con un análisis de conglomerados con datos de salinidad, pH, profundidad y transparencia, con diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Esquivel y Soto (2018) analizaron la caracterización espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos del agua desde un enfoque multivariado y encontraron que la calidad del agua fue hipereutrófica en base a fósforo total (medias geométricas 0,202 a 0,386 mg L⁻¹), mientras que fue oligotrófica para clorofila a (medias geométricas 0,40 a 2,08 mg m⁻³). Y dicen que en comparación con los valores de clorofila a reportados para Sontecomapan desde principios de la década de 1990, muestra que los datos presentados aquí son los más bajos para el período y esto parece estar relacionado con un aumento en el flujo de plancton al mar. Realizaron un análisis de componentes principales y mostró que el fósforo reactivo soluble y el amonio se correlacionaron negativamente o fueron independientes de la salinidad, por lo que estos nutrientes se originaron en arroyos o escorrentías. Y mencionan que la laguna Sontecomapan se puede dividir en zonas mesohalinas, polihalinas y euhalinas, con Arroyo La Palma como punto independiente.

Según el análisis multivariado encontraron que se formaron cuatro grupos o hábitats. Donde el primer grupo se presentó, al inicio de la temporada de lluvias, cuando se encontraron las mayores concentraciones de clorofila a y SRP. El segundo grupo fue principalmente para el pico de la temporada de lluvias (septiembre de 2009). Un tercer conglomerado fue para la estación seca (marzo de 2009), pero solo para los puntos de muestreo en las partes exterior y media. Estos mismos puntos de muestreo, pero de la temporada de vientos del norte, conformaron un cuarto

conglomerado; en el otro subgrupo, los puntos de muestreo de la laguna interior se entremezclaron para el viento del norte y las estaciones secas.

Figueroa-Torres *et al.* (2018) en un estudio sobre las comunidades fitoplanctónicas, observaron que la profundidad varió poco en las estaciones de muestreo entre los dos periodos, excepto en El Real que fue mucho más profunda en la época lluviosa (cerca de 230 cm) que en la seca (73 cm), sin embargo, mencionan que el resto de las estaciones fueron someras, alcanzando sólo unos pocos centímetros de profundidad. En cuanto a la tempera del agua mencionan que fue más alta en la estación lluviosa. Observaron que las salinidades más altas se presentaron en época seca (20 PSU) y mencionan que los valores más bajos (0,7 PSU) se observaron cerca de la desembocadura del río (ríos La Palma y Basura) y los más altos (18-19 PSU) en Arroyo la Boya cerca de la desembocadura de la laguna. Observaron que la laguna tiene un pH cercano a la neutralidad (de 6.7 a 7.9) y está bastante bien oxigenada con concentraciones que presentan mayores fluctuaciones en la estación lluviosa (3.3 mg/L a 11.6 mg/L) que en la estación seca (5.3 mg/L a 7,8 mg/L), manteniéndose dentro de los intervalos adecuados para la vida acuática.

Ferrera *et al.* (2018) en un estudio sobre la contribución de la comunidad bacteriana al nitrógeno fijación y producción de óxidos nitrosos, mencionan que las tasas más altas se registraron durante la temporada de "Nortes" (noviembre de 2004 y febrero de 2005), cuando las concentraciones de oxígeno en el agua de fondo ($7 \pm 1,5 \text{ mg L}^{-1}$) fueron los más altos. También observaron que el amonio del agua de fondo se debe a los fuertes vientos y efectos de las mareas que provocaron la resuspensión de los sedimentos permitiendo así la difusión del NH_4^+ hacia el agua del fondo. Y mencionan que las altas salinidades registradas en el agua de fondo inhibieron la fijación de N_2 .

Cortes (2019) analizó la variación espacio temporal de la biomasa fitoplanctónica en Sontecomapan y menciona que los valores de clorofila a presentan diferencias espaciales, en donde se distinguen dos ambientes, el primero corresponde a las estaciones cercanas a la boca con las concentraciones más bajas y el segundo que corresponde a las estaciones cercanas a la desembocadura de los ríos donde se observa un aumento significativo en la concentración de clorofila a . Mientras que la distribución espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos permitió definir tres ambientes bien definidos en el sistema, los cuales reflejaron el comportamiento ligado a la interacción de este con el mar, así como una zona de mezcla central en la laguna y otra con permanente influencia fluvial.

Objetivo General

Analizar los cambios espaciales y temporales de los parámetros fisicoquímicos y de producción primaria fitoplactónica con relación a la hidrología del sistema lagunar de Sontecomapan para detectar posibles cambios en la calidad del agua.

Objetivos Específicos

1. Analizar las gradientes de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, profundidad y transparencia.
2. Analizar las variaciones de la concentración de amonio (NH_3), nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y ortofosfatos (PO_4) en el sistema.
3. Analizar los cambios de la biomasa fitoplanctónica en la laguna.
4. Establecer con base en las variables fisicoquímicas y de productividad del fitoplancton la calidad del agua.

- Determinan la calidad del agua y su relación con los procesos hidrológicos del sistema.

Área de estudio

La Laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, está situada dentro de la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas en la región de la cuenca que forma el volcán de San Martín Tuxtla y la sierra de Santa Marta (Muciño-Márquez *et al.*, 2011). Se localiza en las coordenadas 18° 30' y 18° 34' N y 95° 00' y 95° 04' W (Fig. 1).

Este sistema tiene una superficie de 8.91 km² y mide aproximadamente 12 km de largo por 1.5 km de ancho y está permanentemente conectada al Golfo de México (Guerra y Lara, 1996; Aké-Castillo y Vázquez, 2008). Tiene una profundidad promedio de 1.50 m, con una transparencia media de 0.60 m y una temperatura superficial promedio de 24°C, similar a la de fondo (Gómez, 2003).

El clima se caracteriza por ser Am (fi) cálido húmedo, y se distinguen tres épocas climáticas definidas: “lluvias” en verano y en parte de otoño (junio-octubre), “nortes”, con un alto porcentaje de lluvias invernales y fuertes vientos (octubre-febrero) y “secas” (febrero-junio) siendo mayo el mes más cálido del año (Aké-Castillo y Vázquez, 2008).

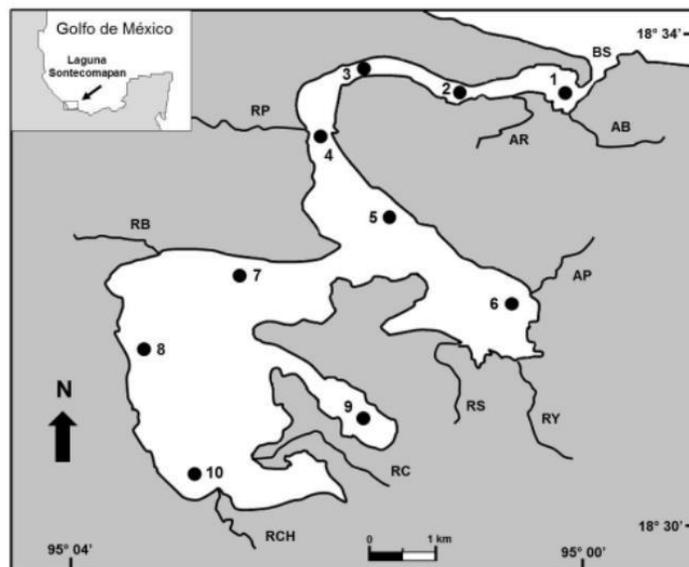


Figura 1.- Ubicación geográfica de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz. Se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo (1-10), los principales rasgos fisiográficos, así como los arroyos y ríos que drenan en la laguna. Arroyo la Boya (AB), Arroyo Remolino (RR), Río La Palma (RP), Río Basura (RB), Arroyo los Pollos (AP), Río Yuhualtijapan, Río Sábalo (RS), Río Coxcoapa (RC), Río Chuniapan (RCH), Boca de Sontecomapan (BS). (Tomado de Aguirre-León *et al.* 2018).

Metodología

Los datos ambientales que se analizaron en este estudio forman parte de las bases de datos del Laboratorio Ecología Costera y Pesquerías del Departamento El Hombre y su Ambiente realizados en diferentes años (2014 a 2022) y temporadas climáticas del año (nortes y secas).

Se utilizó una red de 10 sitios de muestreo previamente definidos para cubrir las diferentes condiciones ambientales de la laguna (Fig. 1). Se tomaron medidas físicas y químicas en cada estación de muestreo utilizando una botella Van-Dorn en la superficie y el fondo. En cada estación de muestreo se registró la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto en la columna de agua (superficie y fondo) utilizando un multiparamétrico YSI-85, el pH fue medido con un potenciómetro de campo Conductronic Modelo 7553, la profundidad con una sonda digital Speedtech instruments y la transparencia con un disco Secchi.

Para determinar la concentración de la clorofila *a* y los nutrientes se utilizó la técnica de determinación de pigmentos por espectrofotometría, mediante el método de Jeffrey y Humphrey (1975) donde se filtraron 250 ml de agua de cada sitio de muestreo con membranas de microfibras GF-C Whatman de 4.7 cm de diámetro en un sistema Millipore.

Para la determinación de nutrientes, se recolectaron muestras de agua superficial y de fondo con una botella Van-Dorn de 2,5 L y se almacenaron a -4 °C hasta su análisis. Se determinaron los siguientes nutrientes: Amonio (NH₄⁺, método de salicilato), Nitrato (NO₃, método de reducción de Cadmio), Nitrito (NO₂, método de diazotización) y Ortofosfato (RP, método de ácido amino) (HACH, 2000).

Se elaborarán mapas de isolíneas de la laguna utilizando datos fisicoquímicos de superficie y fondo para representar la variación espacial y temporal de las variables ambientales, así como de la biomasa fitoplanctónica (clorofila *a*) en las temporadas de nortes y secas. Esto permitió analizar la heterogeneidad ambiental resultante de la dinámica hidrológica presente en la laguna. Se utilizaron paletas de colores que representaron la distribución espacial de cada variable fisicoquímica, utilizando el programa Krita (x64).

Para establecer la calidad del agua de la laguna, los resultados se contrastaron con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) y los indicadores para evaluación expuestos por la Comisión Nacional de Agua en la NOM-001-ECOL-1997, los cuales fijan los límites máximos permisibles de los indicadores de la calidad para aguas nacionales de uso recreativo o para la protección de la vida acuática marina (SEDUE, 1989).

Índice Trófico TRIX

El índice TRIX propuesto por Vollenweider *et al.* (1998) y validado por Escobedo (2010) para el Golfo de California, es útil para comparar información en un alto intervalo de situaciones, al conjugar factores que están directamente relacionados con la productividad (la clorofila *a* y el oxígeno disuelto), y con los nutrientes (nitrógeno y fósforo), de acuerdo a la ecuación:

$$\text{TRIX} = \frac{(\text{Log}[\text{Chl } a \times \text{a\%OD} \times \text{NID} \times \text{PO}_4]) + 1.5}{1.2}$$

Dónde:

TRIX: índice del estado trófico

Cl-a: concentración de Clorofila a en µg/L

A%OD: valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir |100 - % OD|

NID: nitrógeno inorgánico disuelto (N- NO₂- + N- NO₃- +N- NH₄+), en mg/L

PO₄: concentración de fósforo en forma de ortofosfatos en mg/L

Las constantes 1.5 y 1.2 se refieren respectivamente, a los valores mínimos de las variables que componen el índice y a los 4 niveles de jerarquía en que está diseñado, es decir, que el TRIX tiene valores entre 2 y 8 (Tabla 1). Estos representan una variedad de situaciones tróficas con una resolución muy fina, relacionadas con un ambiente costero desde condiciones oligotróficas a eutróficas. Valores cercanos a 8 indican una fuerte eutrofización, caracterizados por altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y clorofila a, además de una baja en el contenido de oxígeno, mientras que, cuando los valores del índice se aproximan a 2, indican aguas con bajo impacto antropogénico (Damar, 2003).

TRIX	Calidad del agua	Características del agua
2-4	Alto	Aguas poco productivas Nivel trófico bajo
4-5	Bueno	Aguas medianamente productivas Nivel trófico medio
5-6	Malo	Aguas entre productividad media y alta Nivel trófico alto
6-8	Pobre	Aguas de alta productividad Nivel trófico muy alto

Tabla 1.-. Nivel trófico y calidad de agua asociado al índice TRIX. (Tomado de Sánchez y Calvario, 2019).

Resultados

El comportamiento de las variables ficosquímicas, de los nutrientes y de la concentración de clorofila a , se presentan por año y se describen a continuación.

Octubre 2014

Salinidad

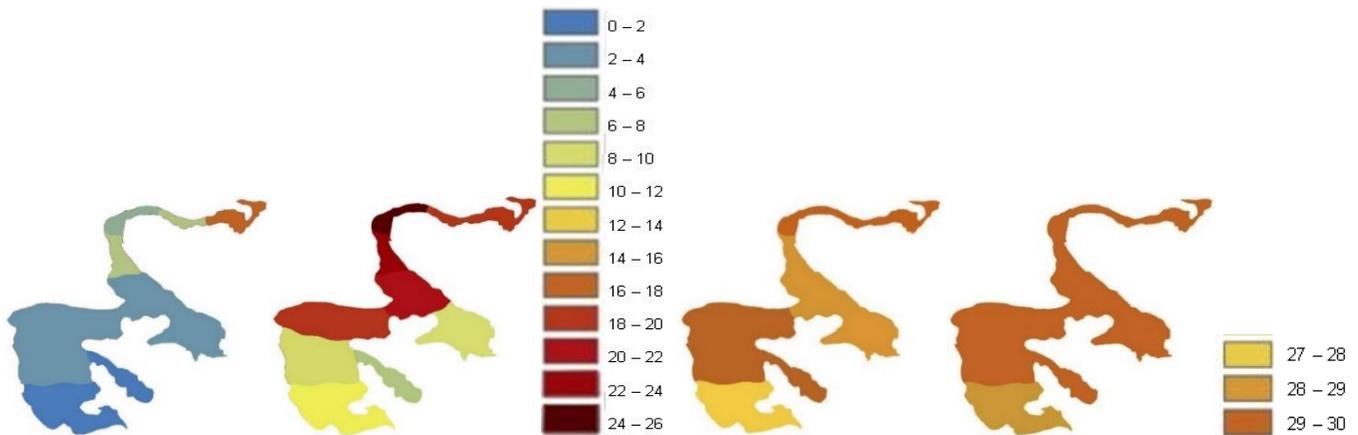
Temperatura

Superficie

Fondo

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

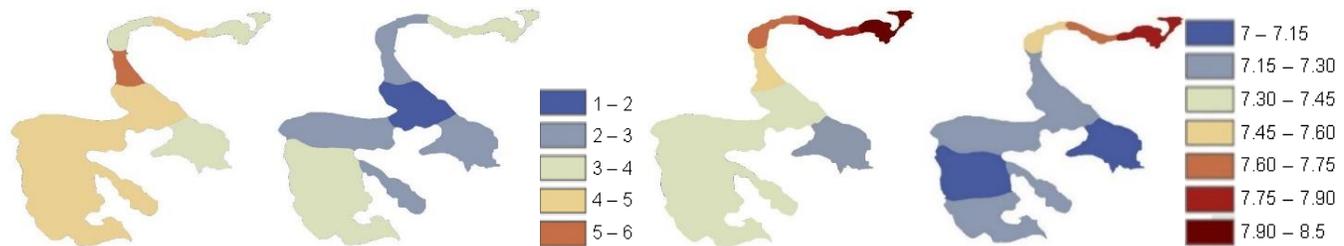
pH

Superficie

Fondo

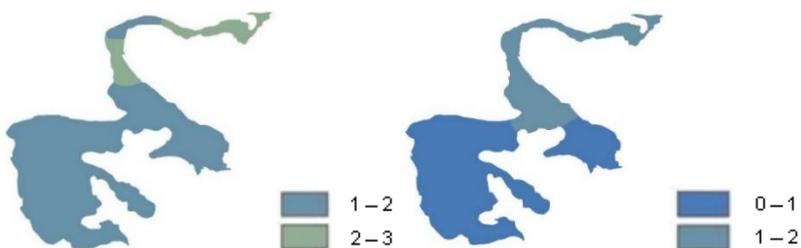
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. En octubre del 2014, la salinidad en la superficie varió de 17.7 a 0.9 UPS de la boca marina a la cabecera de los ríos, los mayores valores se presentaron en la estación 1 con 17.7, mientras que los menores en la estación 10 con 0.9, el promedio en superficie fue de 5.2. En fondo varió de 25.7 a 6.4, los valores más altos se presentaron en las estaciones 3, 4, y 5, con intervalo de 25.7 a 21, mientras que los más bajos en las estaciones 6, 8, 9 y 10 con intervalo de 6.4 a 10.6, el promedio en fondo fue de 15.9. La variación promedio entre niveles fue de 10.7 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 29.5 a 27.8 °C, las mayores se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 7, 8 y 9 con variación de 29.2 a 29.5 y la menor en la estación 10 con un valor de 27.8, el promedio en superficie fue de 29.1. En fondo varió de 30 a 28.8, las más altas se presentaron de la estación 1 a 9 con variación de 30 a 29.1, mientras que la más baja se presentó en la estación 10 con un valor de 28.8, el promedio en fondo fue de 29.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.4 °C.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en superficie varió de 5.3 a 3.2 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 4 con un valor de 5.3 y las menores en las estaciones 1, 3 y 6 con variación de 3.2 a 3.8, el promedio en superficie fue de 4.1. En fondo varió de 3.4 a 1.7, los más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 8 y 10 con variación de 3.1 a 3.4, mientras que el más bajo en la estación 5 con un valor de 1.7, el promedio en fondo fue de 2.7. La variación promedio entre niveles fue de 1.4 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 8 a 7.2, el mayor valor se presentó en la estación 1 con 8.0, mientras que el menor en la estación 6 con un valor de 7.2, el promedio en superficie fue de 7.5. En fondo varió de 7.9 a 7.0, el más alto se presentó en la estación 1 con un valor de 7.9, mientras que los más bajos en las estaciones 6 y 8 con un valor de 7.0 en ambas estaciones, el promedio en fondo fue de 7.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.1.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 1.9 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron 1 y 4 con valores de 2.9 y 2.8, respectivamente, esta disminuyó a partir de la estación 5 a la 10 con variación de 1.9 a 1.3 m.

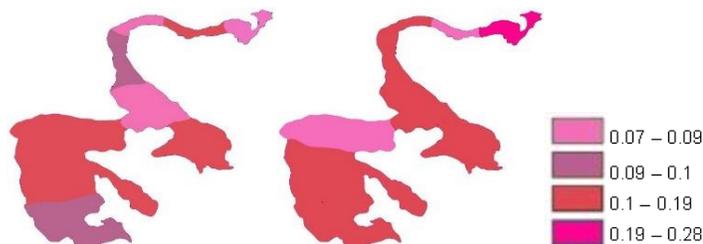
Transparencia. La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 1.1 m en el sistema, las estaciones con mayores valores fueron de la 1 a la 5 con variación de 1.9 a 1.2, mientras que a partir de la estación 5 a la 10 esta disminuyó de 1 a 0.9 m.

Octubre 2014

Amonio

Superficie

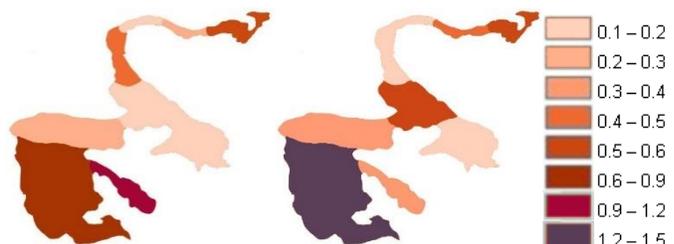
Fondo



Nitratos

Superficie

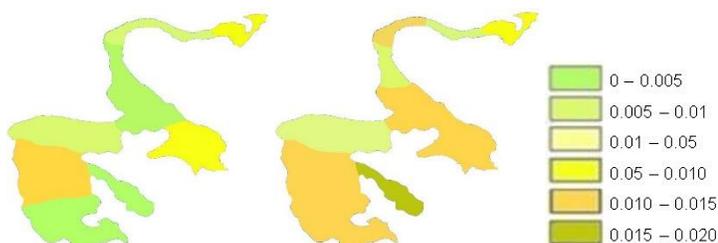
Fondo



Nitritos

Superficie

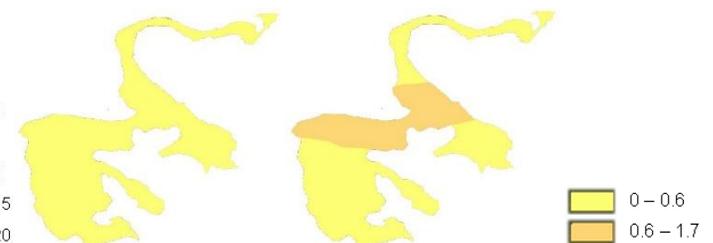
Fondo



Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. El amonio en superficie varió de 0.1 a 0.09 mg/L. Las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 6, 7, 8 y 9 con un valor de 0.1 en todas y las menores en las estaciones 1, 3 y 5 con un valor de 0.09, el promedio en superficie fue de 0.09. En fondo varió de 0.2 a 0.09, el más alto se presentó en la estación 1 con 0.2, mientras que los más bajos en las estaciones 2 y 7 con un valor de 0.09, en ambas estaciones, el promedio en fondo fue de 0.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.01 mg/L.

Nitratos. Los nitratos en superficie variaron de 1 a 0.1 mg/L, el mayor se presentó en la estación 9 con un valor 1.0, y los menores en las estaciones 3, 5 y 6 con variación de 0.1 a 0.2, el promedio en superficie fue de 0.4. En fondo varió de 1.4 a 0.2, los valores más altos se presentaron en las estaciones 8 y 10 con 1.25 y 1.4 respectivamente, mientras que los más bajos en las estaciones 3, 4 y 6 con variación de 0.1 a 0.2, el promedio en fondo fue de 0.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.010 a 0.002 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1 y 8 con un valor de 0.10, mientras que las menores en las estaciones 4, 5, 9 y 10 con variación de 0.002 a 0.004, el promedio en superficie fue de 0.006. En fondo varió de 0.015 a 0.008, el valor más alto se presentó en la estación 9 con un valor de 0.015, y los más bajos en las estaciones 2, 4 y 7 con variación de 0.01 a 0.008, el promedio en fondo fue de 0.011. La variación promedio entre niveles fue de 0.005 mg/L.

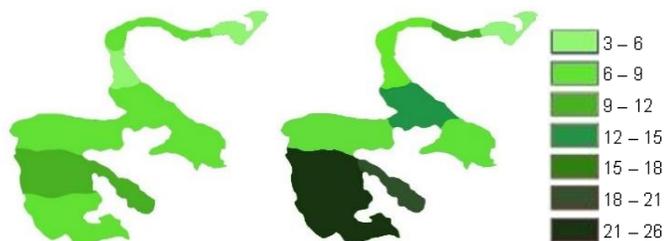
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 0.7 a 0.0 mg/L, sin presentar cambios significativos a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 0.3. En fondo varió de 1.0 a 0.05, los valores más altos se presentaron en las estaciones 5 y 7 con 1.0 en ambas, mientras los más bajos en el resto de estaciones con variación de 0.05 a 0.9, el promedio en fondo fue de 0.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.2 mg/L.

Octubre 2014

Clorofila a

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila a en superficie varió de 11.2 a 4 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 8 y 9 con valores de 11.2 y 9.5 respectivamente, mientras que las menores en las estaciones 1 y 4 con un valor de 4.0, el promedio en superficie fue de 7.4. En fondo varió de 24.6 a 4.0, los valores más altos se presentaron en las estaciones 8, 9 y 10 con 24.6, 20.7 y 23.9 respectivamente, mientras la más baja se presentó en la estación 1 con un valor de 1.0, el promedio en fondo fue de 12.9. La variación promedio entre niveles fue de 5.5 mg/m³.

Febrero 2015

Salinidad

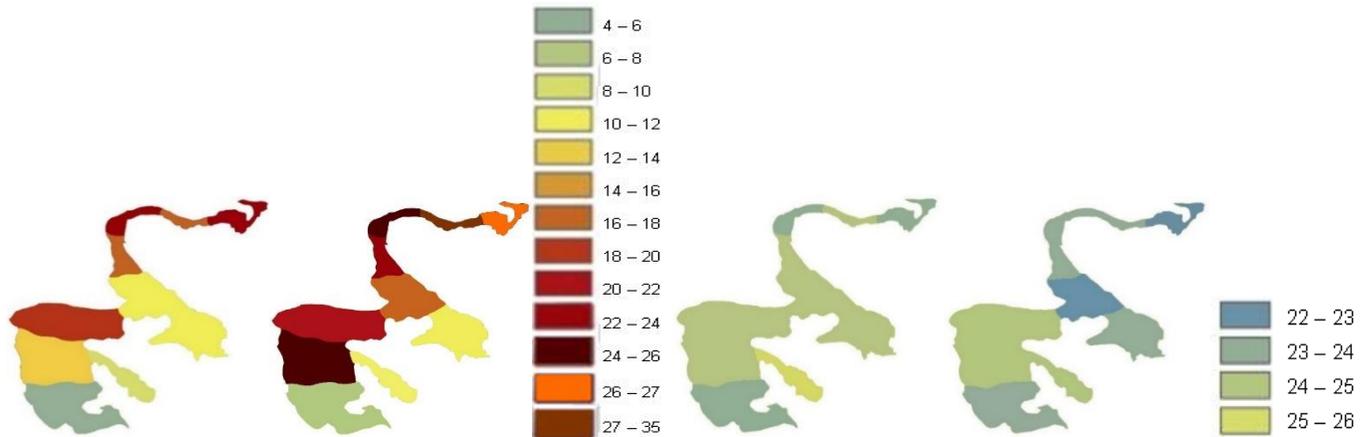
Superficie

Fondo

Temperatura

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

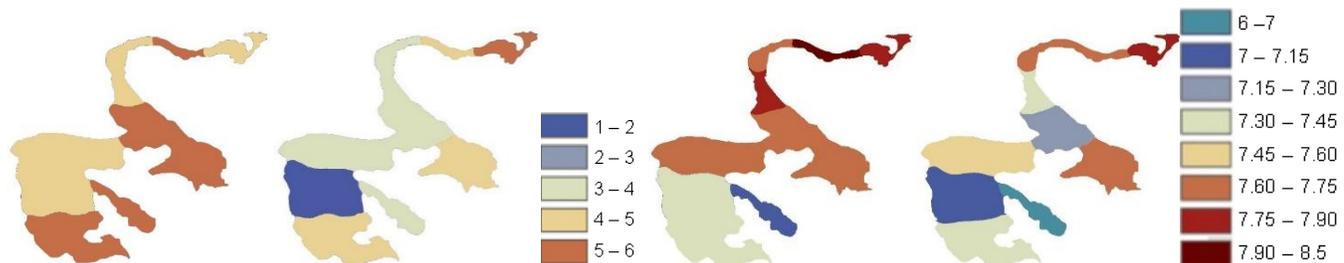
Superficie

Fondo

pH

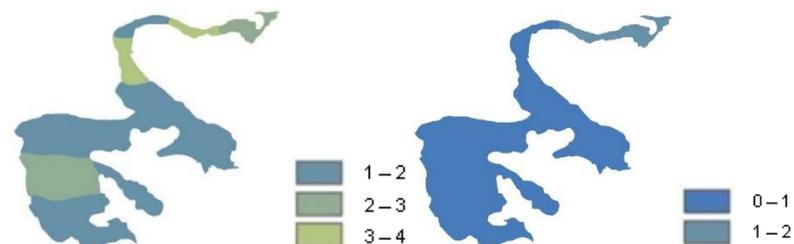
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. En febrero del 2015, los valores de salinidad en superficie variaron de 23 a 5.7 UPS, los mayores se presentaron en las estaciones 1 y 3 con 22.6 y 23 respectivamente, y el menor en la estación 10 con un valor de 5.7, el promedio en superficie fue de 14.9. Mientras que en fondo varió de 27.1 a 6.6, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 4, 7 y 8 con variación de 27.1 a 21.2, mientras que el menor se presentó en la estación 10 con un valor de 6.6, el promedio en fondo fue de 19.2. La variación promedio entre niveles fue de 4.3 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 25.4 a 23.1 °C, la mayor se presentó en la estación 9 con un valor de 25.4 y las menores en las estaciones 1, 3 y 10 con variación de 23.1 a 23.6, el promedio en superficie fue de 24.1. Mientras que en fondo varió de 25 a 22.9, los valores más altos se presentaron en las estaciones 7, 8 y 9 con variación de 24.1 a 25.0, mientras que la estación 1 y 5 presentaron el menor con valores de 22.9 y 23, respectivamente, el promedio en fondo fue de 23.8. La variación promedio entre niveles fue de 0.3 °C.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en superficie varió de 6 a 4.6 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 5, 6, 9 y 10 con variación de 5.2 a 6.0, mientras que las menores en la estaciones 1, 3, 4, 7 y 8 con variación de 4.6 a 4.9, el promedio en superficie fue de 5.2. En fondo varió de 5.7 a 1.7, el valor más alto se presentó en la estación 1 con un valor de 5.7 y el más bajo en la estación 8 con un valor de 1.7, el promedio en fondo es de 3.9. La variación promedio entre niveles fue de 1.3 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 8 a 7.2, el mayor se presentó en la estación 2 con un valor de 8.0, mientras que el menor en la estación 9 con un valor de 7.2, el promedio en superficie fue de 7.6. En fondo varió de 7.8 a 6.9, el mayor valor se presentó en la estación 1 con 7.81 y el menor también en la estación 9 con 6.9, el promedio en fondo fue de 7.4. La variación promedio entre niveles fue de 0.2.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2 m en el sistema, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2 con 3.9 y la estación 4 con 3.1, mientras que a partir de la estación 4 disminuyó con variación de 1.5 a 1.1 para el resto de las estaciones.

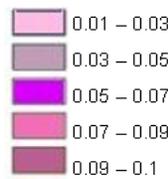
Transparencia. La transparencia tuvo un promedio de 0.8 m en el sistema, las estaciones con mayores valores fueron la 1 y 2 con 1.8 y 1.0 respectivamente, disminuyó al interior de la laguna de la estación 4 a la 10 con variación de 0.8 a 0.5 m.

Febrero 2015

Amonio

Superficie

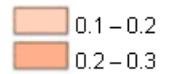
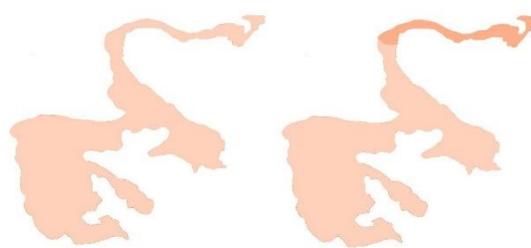
Fondo



Nitratos

Superficie

Fondo



Nitritos

Superficie

Fondo

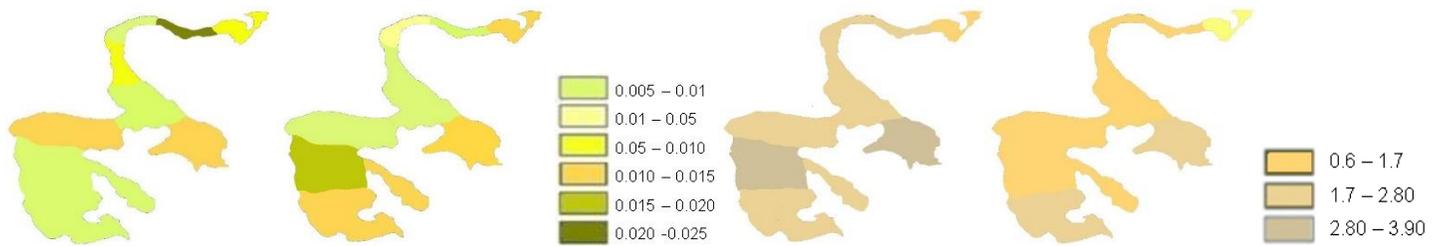


Ortofosfatos

Superficie

Fondo





Amonio. El amonio en superficie varió de 0.05 a 0.02 mg/L, los valores más altos se presentaron en la mayoría de las estaciones con variación de 0.03 a 0.05 y la menor se presentó en la estación 7 con un valor de 0.02. En fondo varió de 0.1 a 0.03, la más alta se presentó en la estación 8 con un valor de 0.1, mientras que en el resto de las estaciones varió de 0.03 a 0.05, el promedio en fondo fue de 0.05. La variación promedio entre niveles fue de 0.01 mg/L.

Nitratos. El nitrato en superficie varió de 0.2 a 0.1 mg/L, sin presentar mayor variación a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 0.1. En fondo varió de 0.25 a 0.1, los valores más altos se presentaron en las primeras 3 estaciones con 0.25 para las tres, mientras que en el resto de la laguna varió de 0.1 a 0.2, el promedio en fondo fue de 0.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.0.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.02 a 0.006 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 2 con un valor de 0.02 y las menores en las estaciones 3, 5, 8, 9 y 10 con variación de 0.006 a 0.007, el promedio en superficie fue de 0.01. En fondo varió de 0.02 a 0.006, el valor más alto se presentó en la estación 8 con un valor de 0.020 y los más bajos en las estaciones 2, 4, 5 y 7 con variación de 0.006 a 0.009, el promedio en fondo fue de 0.01. La variación promedio entre niveles fue de 0.

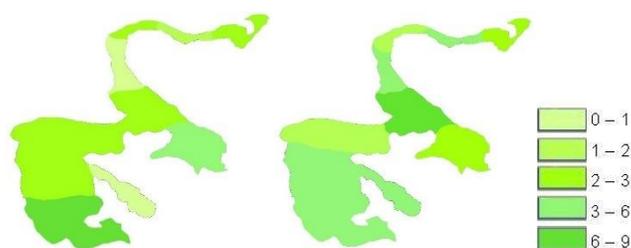
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 1.2 a 3.3 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 6 y 8 con valores de 3 y 3.3, respectivamente, mientras que la menor se presentó en la estación 1 con un valor de 1.2, el promedio en superficie fue de 2.2. En fondo varió de 0.7 a 2.5, los mayores valores se presentaron en las estaciones 6 y 10 con valores de 2.1 y 2.5 respectivamente, mientras la menor se presentó en la estación 1 con un valor de 0.7, el promedio en fondo fue de 1.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 mg/L.

Febrero 2015

Clorofila *a*

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila a en superficie varió de 6.3 a 0.6 mg/m³, la mayor concentración se presentó en la estación 10 con un valor de 6.3, mientras que los más bajos se presentaron en las estaciones 4 y 9 con valores de 0.9 y 0.6 respectivamente, el promedio en superficie fue de 3.0. En fondo varió de 1.7 a 8.5, el valor más alto se presentó en la estación 5 con un valor de 8.5, mientras los más bajos en las estaciones 3 y 7 con un valor de 1.7 y 1.8 respectivamente, el promedio en fondo fue de 3.6. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 mg/L.

Octubre 2015

Salinidad

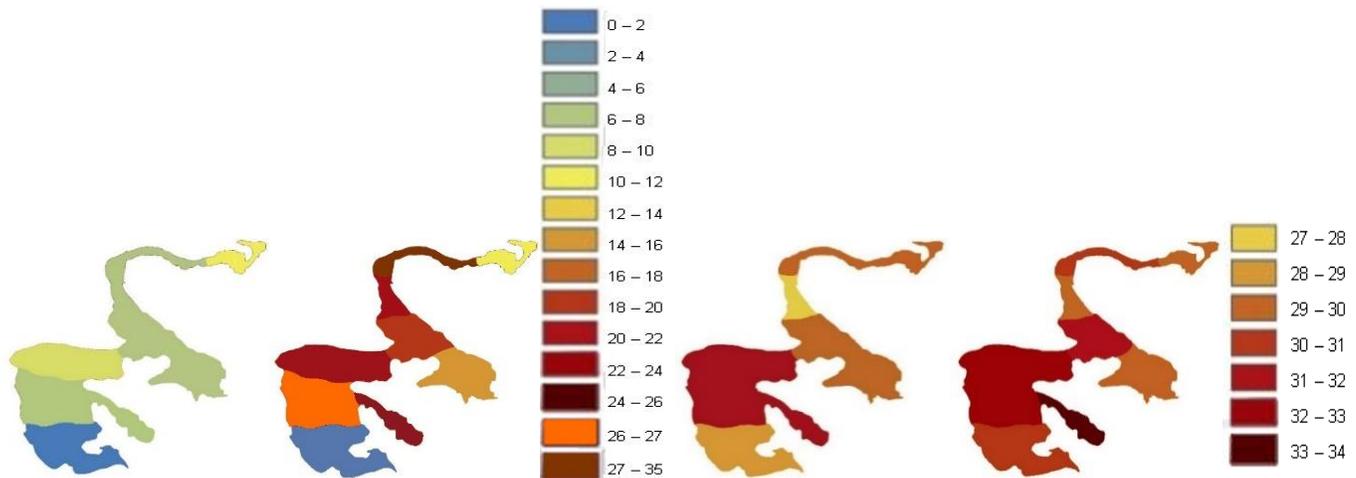
Temperatura

Superficie

Fondo

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

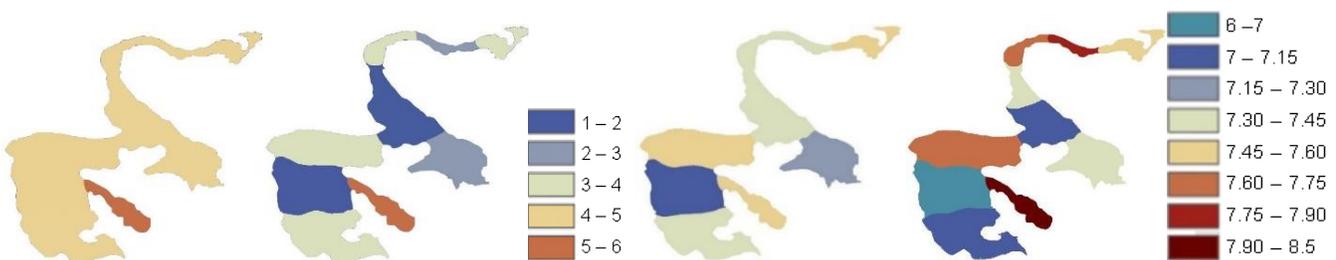
pH

Superficie

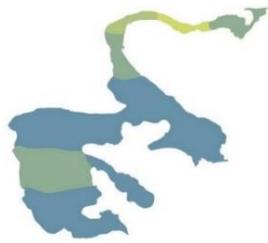
Fondo

Superficie

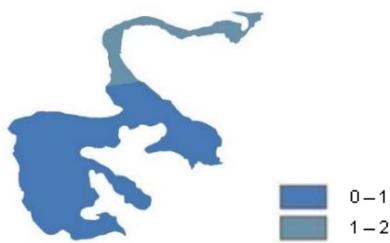
Fondo



Profundidad



Transparencia



Salinidad. En octubre del 2015, los valores de salinidad en la superficie variaron de 11.0 a 2.0 UPS, el mayor se presentó en la estación 1 con 11.0, y el menor en la estación 10 con un valor de 2.0, el promedio en superficie fue de 6.8. En fondo varió de 32.0 a 5.0, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2 y 3 con 32.0 y 31.5 respectivamente, el más bajo en la estación 10 con un valor de 5.0, el promedio en fondo fue de 20.6. La variación promedio entre niveles fue de 13.8 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 31.6 a 27.6 °C, las mayores se presentaron en las estaciones 7, 8 y 9 con variación de 31 a 31.6, la menor en la estación 4 con un valor de 27.6, el promedio en superficie fue de 29.9. En fondo varió de 34.5 a 29.8, el valor más alto se presentó en la estación 9 con un valor de 34.5, y los más bajos en las estaciones 1, 4 y 6 con un valor de 29.9 en las tres, el promedio en fondo fue de 31.2. La variación promedio entre niveles fue de 1.3 °C.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en superficie varió de 5.2 a 4.1 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 9 con un valor de 5.2, las menores se presentaron en el resto de la laguna con variación de 4.1 a 4.7, el promedio en superficie fue de 4.6. En fondo varió de 5.5 a 1.4, el valor más alto se presentó en la estación 9 con 5.5, los más bajos en las estaciones 4, 5 y 8 con variación de 1.4 a 2.0, el promedio en fondo fue de 3.0. La variación promedio entre niveles fue de 1.6 mg/L.

pH. El pH varió en superficie de 7.6 a 7.1, los mayores valores se presentaron en las estaciones 1, 7 y 9 con 7.5 en las tres, el menor se presentó en la estación 8 con un valor de 7.1, el promedio en superficie fue de 7.4. En fondo varió de 7.9 a 6.7, el valor más alto se presentó en la estación 9, con un valor de 7.9, el más bajo se presentó en la estación 8 con un valor de 6.7, el promedio en fondo fue de 7.4. La variación promedio entre niveles fue de 0.0.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2.1 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron la 2 y 3 con valores de 4.7 y 3.3 respectivamente, y disminuyó a partir de la estación 5 a la 10 con variación de 2.0 a 1.2 m.

Transparencia. La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 0.9 m en el sistema, las estaciones con los mayores valores fueron la 1, 2, 3 y 4 con variación de 1.1 a 1.3, mientras que a partir de la estación 5 a la 10, disminuyó con variación de 0.7 a 0.8.

Octubre 2015

Amonio

Nitratos

Superficie

Fondo

Superficie

Fondo



Nitritos

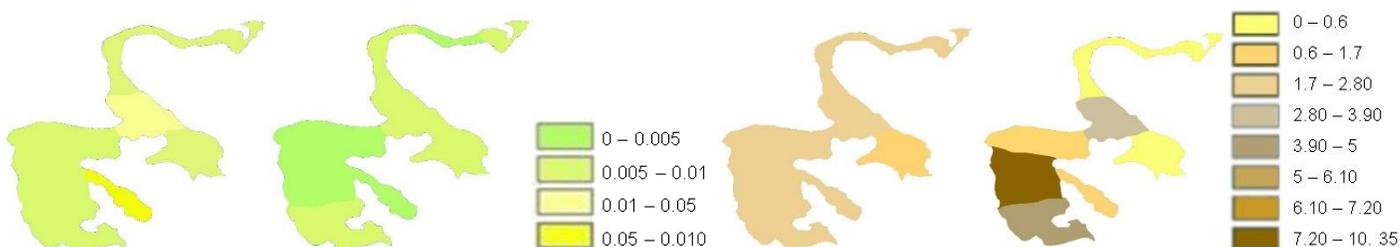
Ortofosfatos

Superficie

Fondo

Superficie

Fondo



Amonio. El amonio en superficie varió de 0.8 a 0.2 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 2 con un valor de 0.8, y la menor en la estación 10 con un valor de 0.2, el promedio en superficie fue de 0.3. En fondo varió de 9.9 a 0.2, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 9 con variación de 3.1 a 9.9, y los más bajos en las estaciones 1 y 10 con variación de 0.2 a 0.5, el promedio en fondo fue de 5.1. La variación promedio entre niveles fue de 4.8 mg/L.

Nitratos. Los nitratos en superficie variaron de 0.5 a 0.15 mg/L, las mayor concentración se presentó en la estación 1 con un valor de 0.5, las menores en las estaciones 5, 9 y 10 con variación de 0.15 a 0.2, el promedio en superficie fue de 0.3. En fondo varió de 0.9 a 0.2, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2, 3, 5 y 7 con variación de 0.75 a 0.9, los más bajos en las estaciones 6 y 10 con un valor de 0.3 y 0.2 respectivamente, el promedio en fondo fue de 0.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.2 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.010 a 0.005 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 9 con un valor de 0.010, y las menores en el resto de estaciones con variación de 0.005 a 0.008, el promedio en superficie fue de 0.007. En fondo varió de 0.008 a 0.0, las menores se presentaron en las estaciones 2, 7, 8 y 9 con variación de 0 a 0.002, el promedio en fondo fue de 0.005. La variación promedio entre niveles fue de 0.002 mg/L.

Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 2.4 a 1.8 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en la mayoría de las estaciones con variación de 1.6 a 2.4, y la

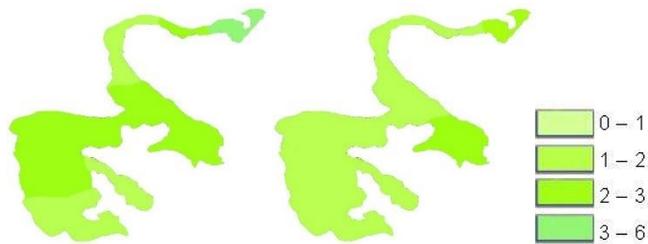
menor en la estación 6 con un valor de 1.6, el promedio en superficie fue de 2.0. En fondo varió de 8.1 a 0.2, el valor más alto se presentó la estación 8 con un valor de 8.1, y los más bajos en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 6 con variación de 0.2 a 0.6, el promedio en fondo fue de 2.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 mg/L.

Octubre 2015

Clorofila *a*

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila *a* en superficie varió de 3.5 a 1.3 mg/m³, la mayor concentración se presentó en la estación 1 con un valor de 3.5, mientras que las menores en las estaciones 3, 4, 9 y 10 con variación de 1.3 a 1.9, el promedio en superficie fue de 2.3. En fondo varió de 2.9 a 1.1, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1 y 6 con valores de 2.9 y 2.8 respectivamente, mientras que en el resto de estaciones varió de 1.1 a 1.4, el promedio en fondo fue de 1.8. La variación promedio entre niveles fue de 0.5 mg/m³.

Febrero 2016

Salinidad

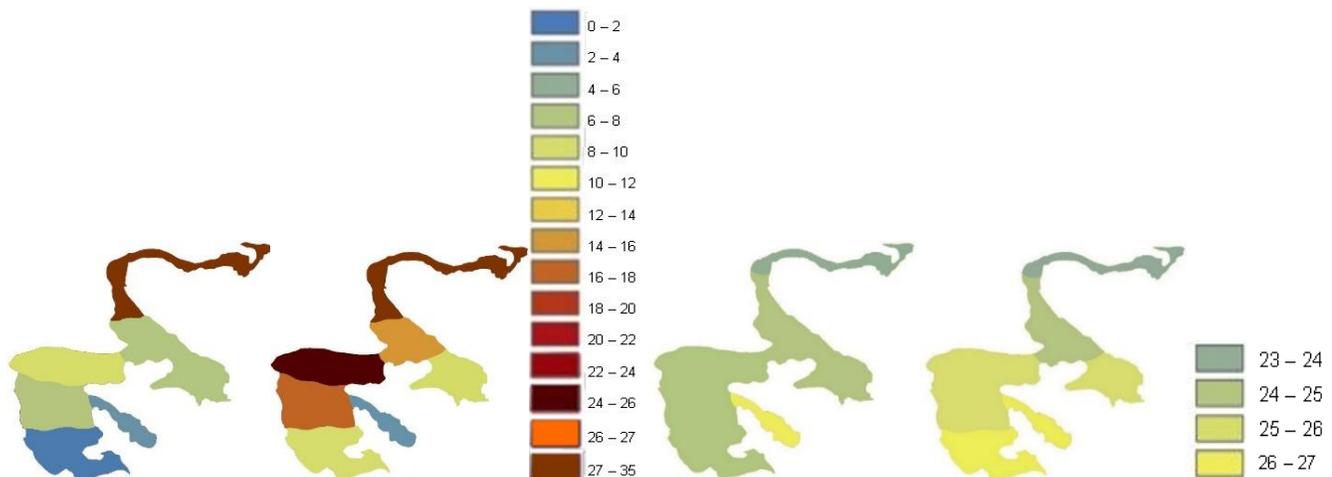
Temperatura

Superficie

Fondo

Superficie

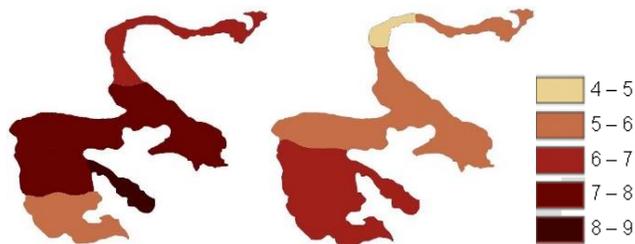
Fondo



Oxígeno disuelto

Superficie

Fondo



pH

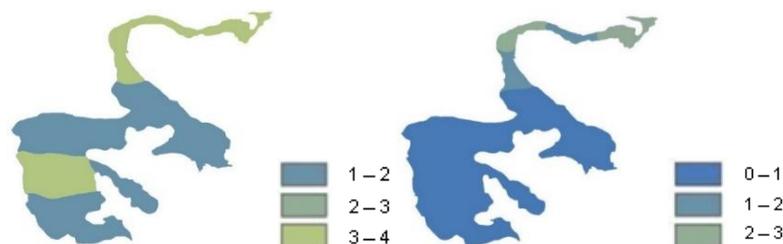
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores en superficie variaron de 34.7 a 0.9 UPS de la boca marina a la cabecera de los ríos, los mayores se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con un intervalo de 34.7 a 29.2, y el menor en la estación 10 con un valor de 0.9, el promedio en superficie fue de 16.6. En fondo varió de 34.8 a 3.7, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con variación de 34.8 a 33.9, y el más bajo en la estación 9 con 3.7, el promedio en fondo fue de 21.6. La variación promedio entre niveles fue de 5.0 UPS.

Temperatura. Esta varió en superficie de 26.1 a 23.2 °C, la mayor se presentó en la estación 9 con un valor de 26.1, las menores en las estaciones 1, 2 y 3 con variación de 23.2 a 24.0, el promedio en superficie fue de 24.7. En fondo varió de 26.2 a 23.3, los valores más altos se registraron en las estaciones 9 y 10 con 26.1 y 26.2 respectivamente, y los menores en las estaciones 1, 2 y 3 con variación de 23.3 a 23.9, el promedio en fondo fue de 24.8. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 °C.

Oxígeno disuelto. En superficie este varió de 8.2 a 5.4 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 9 con un valor de 8.2, y la menor en la estación 10 con valor de 5.4, el promedio en superficie fue de 6.9. En fondo varió de 6.7 a 4.9, los valores más altos se presentaron en las estaciones 8, 9 y 10 con variación de 6.2 a 6.7 y la menor en la estación 3 con un valor de 4.9, el promedio en fondo fue de 5.8. La variación promedio entre niveles fue 1.1 mg/L.

pH. Este parámetro varió en superficie de 8.0 a 6.9, el mayor valor se presentó en la estación 9 con un valor de 8.0, y el menor en la estación 10 con un valor de 6.9, el promedio en superficie fue de 7.6. En fondo varió de 8.2 a 7.1, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 9

con variación de 8.2 a 8.0, mientras que los más bajos en las estaciones 8 y 10 con 7.2 y 7.1 respectivamente, el promedio en fondo fue de 7.7. La variación promedio entre niveles fue de 0.1.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2.2 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron la 1, 2, 3, 4 y 8 con variación de 3.9 a 3.0, y el resto de las estaciones varió de 1.0 a 1.3 m.

Transparencia La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 1.3 m en el sistema, las estaciones con mayores valores fueron la 1, 2, 3 y 4 con variación de 2.3 a 1.8, y disminuyó a partir de la estación 4 a la 10 con variación de 0.8 a 1.0 m.

Febrero 2016

Amonio

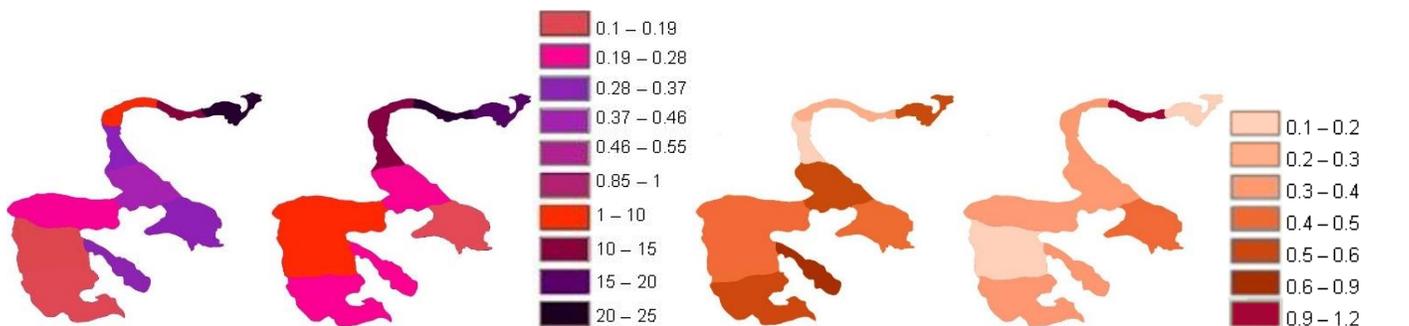
Superficie

Fondo

Nitratos

Superficie

Fondo



Nitritos

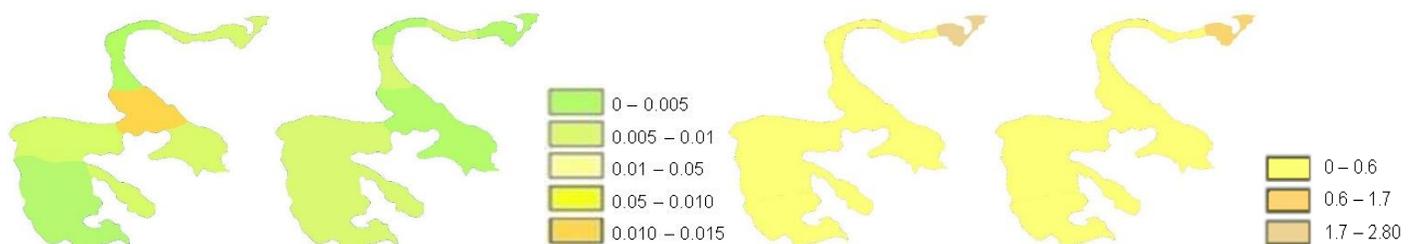
Superficie

Fondo

Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. En la superficie varió de 22.1 a 0.1 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 1 con un valor de 22.1, mientras que las menores se presentaron de las estaciones 8 y 10 con un valor de 0.1 en ambas, el promedio en superficie fue de 4.2. En fondo varió de 20.1 a 0.1, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1 y 2 con 17.5 y 20.1 respectivamente, y el más bajo en la estación 6 con un valor de 0.1, el promedio en fondo fue de 7.1. La variación promedio entre niveles fue de 2.9 mg/L.

Nitratos. Estos variaron en superficie de 0.6 a 0.2 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 9 con un valor de 0.6 y las menores en las estaciones 2, 3, y 4 con variación de 0.2 a 0.3, el promedio en superficie fue de 0.4. En fondo varió de 1.0 a 0.1, el valor más alto se presentó en la estación 2 con un valor de 1.0, el más bajo en las estaciones 1 y 8 con valores de 0.2 y 0.1 respectivamente, el promedio en fondo fue de 0.4. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.010 a 0.004 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 5 con un valor de 0.011 y las menores en las estaciones 3, 4, 8 y 10 con variación de 0.004 a 0.005, el promedio en superficie fue de 0.006. En fondo varió de 0.008 a 0.004, las mayores se presentaron en las estaciones 2, 4, 7, 8, 9 y 10 con variación de 0.0055 a 0.008 y las menores en las estaciones 1, 3, 5 y 6 con variación de 0.004 a 0.005, el promedio en fondo fue de 0.006. La variación entre niveles fue de 0.0 mg/L.

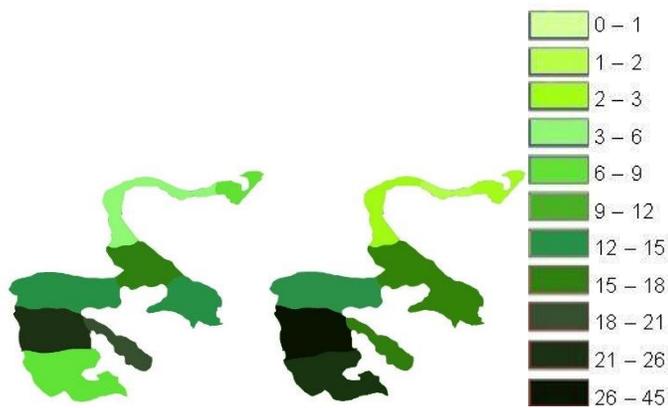
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron en un intervalo de 2.3 a 0.1 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 1 con un valor de 2.3, mientras que las menores en el resto de las estaciones con variación de 0.1 a 0.5, el promedio en superficie fue de 0.4. En fondo varió de 1.5 a 0.05, el valor más alto se presentó en la estación 1 con 1.5 mientras que los más bajos en el resto de estaciones con variación de 0.05 a 0.6, el promedio en fondo fue de 0.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 mg/L.

Febrero 2016

Clorofila *a*

Superficie

Fondo



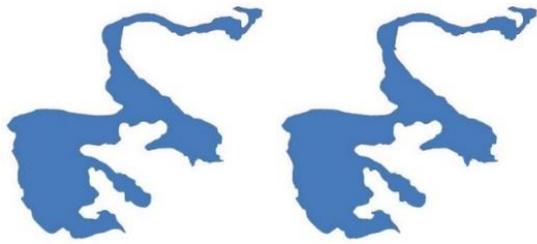
Clorofila. Esta varió en superficie de 23.1 a 5 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 8 y 9 con valores de 23.1 y 18.8 respectivamente, mientras que las menores en las estaciones 2, 3 y 4 con variación de 5 a 5.4, el promedio en superficie fue de 11.8. En el fondo varió de 41.6 a 1.6, los valores más altos se presentaron en las estaciones 8 y 10 con valores de 41.6 y 26.1 respectivamente, y el más bajo en la estación 2 con un valor de 1.6, el promedio en fondo fue de 13.9. La variación promedio entre niveles fue de 2.1 mg/m³.

Octubre 2017

Salinidad

Superficie

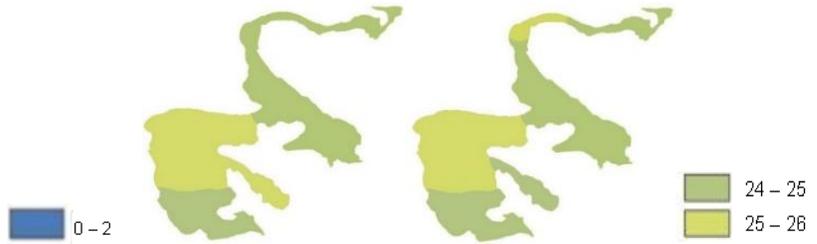
Fondo



Temperatura

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

Superficie

Fondo



pH

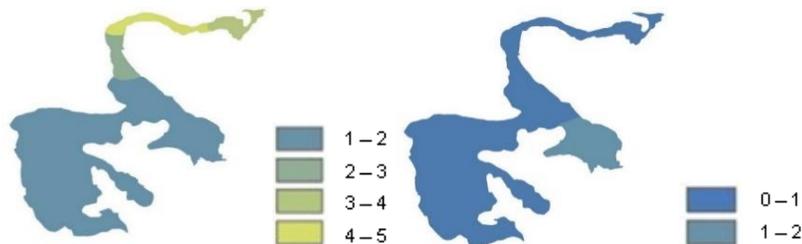
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores en la superficie variaron de 1.2 a 0.0 UPS, la estación 2 presentó el mayor valor con 1.2, el resto de las estaciones variaron de 0.0 a 0.4, el promedio en superficie fue de 0.3. En fondo varió de 1.4 a 0.1, e igualmente la estación 2 presentó el valor más alto de 1.4, en el resto de las estaciones varió de 0.1 a 0.5, el promedio en fondo fue de 0.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 UPS

Temperatura. En superficie varió de 25.4 a 24.6 °C, las mayores se presentaron en las estaciones 7, 8 y 9 con variación de 25.4 a 25.3, y las menores en resto de las estaciones con variación de 24.6 a 24.9, el promedio en superficie fue de 24.9. En fondo varió de 25.2 a 24.3, los valores más altos se presentaron en las estaciones 3, 7 y 8 con variación de 25 a 25.2, mientras que los más bajos se

presentaron en el resto de las estaciones con variación de 24.3 a 24.9, el promedio en fondo fue de 24.8. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 °C.

Oxígeno disuelto. Este parámetro en superficie varió de 2.2 a 2.8 mg/L, sin presentar mayor variación a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 2.5. En fondo varió de 2.8 a 1.6, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2, 8, 9 y 10 con variación de 2.2 a 2.8, y los más bajos en el resto de las estaciones con variación de 1.6 a 1.9, el promedio en fondo fue de 2.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.3 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 8.4 a 7.6, los mayores valores se registraron de la estación 1 a 9 con variación de 8.0 a 8.4, mientras que el menor se presentó en la estación 10 con un valor de 7.6, el promedio en superficie fue de 8.1. En fondo varió de 8.4 a 7.7, los valores más altos se presentaron a partir de la estación 3 a 10 con variación de 8.1 a 8.4 en ambas, mientras que los más bajos en las estaciones 1 y 2 con valores de 7.7 y 7.9 respectivamente, el promedio en fondo fue de 8.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.0.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2.5 m en el sistema, las estaciones más profundas fueron las estaciones 1 a la 4 con variación de 4.4 a 2.8, y de la estación 5 a la 10 con variación de 1.4 a 1.7 m.

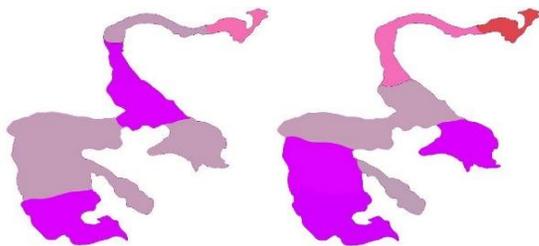
Transparencia. La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 0.8 m, la estación con mayor valor fue la 6 con 1.1, mientras que en el resto de las estaciones presentó una variación de 0.6 a 0.9 m.

Octubre 2017

Amonio

Superficie

Fondo



Nitratos

Superficie

Fondo



Nitritos

Superficie

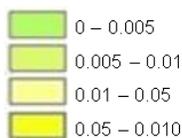
Fondo



Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. El amonio en superficie varió de 0.08 a 0.04 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 1 con un valor de 0.08, y las menores en las estaciones 2, 3, 6, 7, 8 y 9 con variación de 0.04 a 0.05, el promedio en superficie fue de 0.05. En fondo varió de 0.12 a 0.04, el valor más alto se presentó en la estación 1 con 0.1, mientras que las más bajas se presentaron en las estaciones 5, 7 y 9 con variación de 0.04 a 0.05, el promedio en fondo fue de 0.06. La variación promedio entre niveles fue de 0.01 mg/L.

Nitratos. Los nitratos en superficie variaron de 0.3 a 0.1 mg/L, sin presentar mayor variación a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 0.2. En fondo varió de 0.3 a 0.1, los valores más altos se presentaron en las estaciones 5 y 7 con un valor de 0.35 en ambas, mientras que el resto de las estaciones varió de 0.3 a 0.15, el promedio en fondo fue de 0.2. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.010 a 0.004 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2 y 8 con un valor de 0.010 en ambas, y las menores en las estaciones 5 y 6 con un valor de 0.004 para ambas, el promedio en superficie fue de 0.007. En fondo varió de 0.010 a 0.004, los valores más altos variaron de 0.006 a 0.009, mientras que el más bajo se presentó en la estación 5 con un valor de 0.004, el promedio en fondo fue de 0.007. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

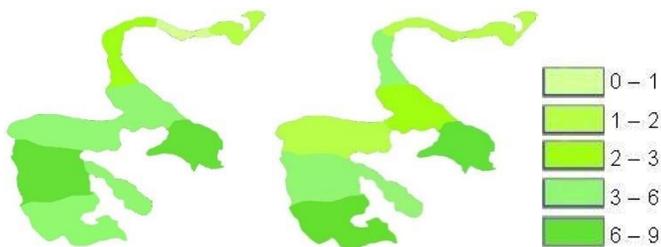
Ortofosfatos. Este nutriente varió en superficie de 2.0 a 1.2 mg/l, la mayor concentración se presentó en las estaciones 2, 3, 6 y 10 con variación de 1.7 a 2.0, mientras que las menores en el resto de estaciones con variación de 1.2 a 1.6, el promedio en superficie fue de 1.5. En fondo varió de 1.9 a 1.0, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 6, 7 y 10 con variación de 1.4 a 1.9, mientras que los más bajos en el resto de estaciones con variación de 1.0 a 1.4, el promedio en fondo fue de 1.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg /L.

Octubre 2017

Clorofila *a*

Superficie

Fondo



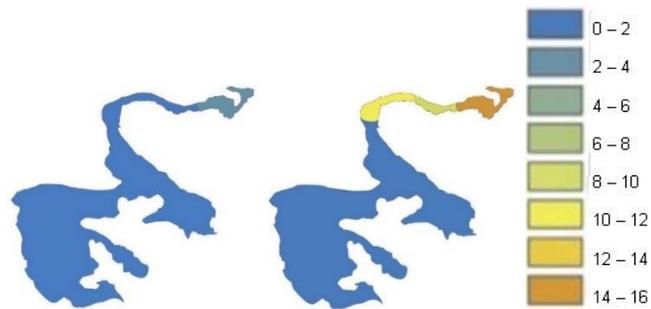
Clorofila. La clorofila *a* en superficie varió de 7.5 a 0.8 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 6 y 8 con valores de 7.5 y 7, y la menor en la estación 2 con un valor de 0.8, el promedio en superficie fue de 3.5. En fondo varió de 6.8 a 1.5, los valores más altos se presentaron en las estaciones 6 y 10 con valores de 6.8 y 6.4 respectivamente, y los más bajos en las estaciones 1, 2, 3 y 7 con variación de 1.3 a 1.8, el promedio en fondo fue de 3.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.2 mg/m³.

Febrero 2018

Salinidad

Superficie

Fondo



Temperatura

Superficie

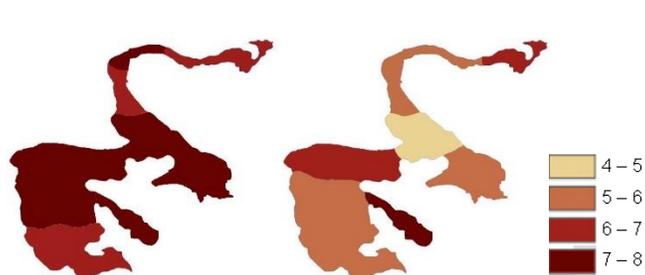
Fondo



Oxígeno disuelto

Superficie

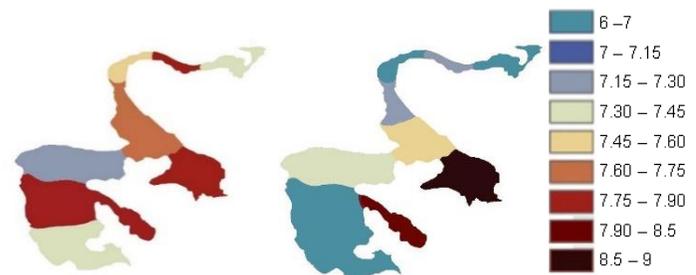
Fondo



pH

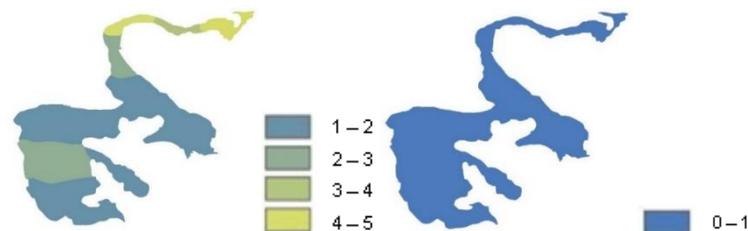
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores de salinidad en superficie variaron de 2.9 a 0.1 UPS de la boca marina a la cabecera de los ríos, el mayor valor se presentó en la estación 1 con 2.9, y a partir de la estación 5 a la 10 se registró una variación de 0.1 a 1.0, el promedio en superficie fue de 1.0. En fondo la salinidad varió de 15.9 a 0.1, el valor más alto se registró también en la estación 1 con un valor de 15.9, los más bajos a partir de la estación 5 a 10 con variación de 0.1 a 1.3, el promedio en fondo fue de 4.2. La variación promedio entre niveles fue de 3.2 UPS.

Temperatura. Este parámetro en superficie varió de 25.2 a 23.2 °C, las mayores temperaturas se presentaron en las estaciones 6, 9 y 10 con un valor de 25.2 en las tres, mientras que las menores en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5 con variación de 23.2 a 23.7, el promedio en superficie fue de 24.2. En fondo varió de 24.1 a 23.0, los valores más altos se presentaron en las estaciones 7, 8 y 9 con un

valor de 24.1 en las tres, el más bajo en la estación 1 con un valor de 23.0, el promedio en fondo fue de 23.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.7 °C.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en superficie varió de 8.0 a 6.6 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 5, 6, 7, 8 y 9 con variación de 7.2 a 8.0 y las menores en el resto de las estaciones con variación de 6.6 a 7.0, el promedio en superficie fue de 7.2. En fondo varió de 7.2 a 4.9, el valor más alto se presentó en la estación 9 con un valor de 7.2, el más bajo en la estación 5 con un valor de 4.9, el promedio en fondo fue de 6.0. La variación promedio entre niveles fue de 1.2 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 7.9 a 7.2, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 6, 8 y 9 con variación de 7.8 a 7.9 y la menor en la estación 7 con un valor de 7.2, el promedio en superficie fue de 7.6. En fondo varió de 9.0 a 6.9, el valor más alto se presentó en la estación 6 con un valor de 9, los más bajos en las estaciones 1, 3, 8 y 10 con variación de 6.7 a 6.9, el promedio en fondo fue de 7.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.3.

Profundidad. Esta tuvo un promedio de 2.5 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron la 1 y la 3 con un valor de 5.1 y 4.5 respectivamente, esta disminuyó de las estaciones 4 a la 10 con variación de 2.7 a 1.4 m.

Transparencia. La transparencia tuvo un promedio de 0.5 m en el sistema, con variación de 0.6 a 0.4 sin presentar mayores cambios a lo largo de la laguna.

Febrero 2018

Amonio

Superficie

Fondo

Nitratos

Superficie

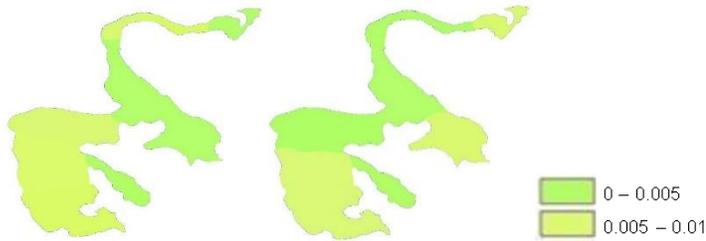
Fondo



Nitritos

Superficie

Fondo



Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. Este varió en superficie de 0.02 a 0.005 mg/L, sin presentar mayor variación a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 0.01. En fondo varió de 0.4 a 0.02, el valor más alto se presentó en la estación 8 con 0.4 y los más bajos en las estaciones 2, 4, 7 y 9 con variación de 0.02 a 0.03, el promedio en fondo fue de 0.08. La variación promedio entre niveles fue de 0.07 mg/L.

Nitratos. Los nitratos en superficie variaron de 0.3 a 0.1 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 8 con un valor de 0.3, mientras que en el resto de las estaciones varió de 0.1 a 0.25, el promedio en superficie fue de 0.2. El fondo varió de 0.3 a 0.2, los valores más altos se presentaron en las estaciones 6 y 8 con un valor de 0.3 en ambas, mientras que en el resto de las estaciones varió de 0.1 a 0.25, el promedio en fondo fue de 0.2. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

Nitritos. Estos variaron en superficie de 0.007 a 0.003 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 3, 7, 8 y 10 con variación de 0.006 a 0.007, mientras que las menores en las estaciones 1, 4, 5, 6 y 9 con variación de 0.003 a 0.004, el promedio en superficie fue de 0.005. En fondo varió de 0.007 a 0.002, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 6, 8 y 10 con variación de 0.006 a 0.007, mientras los menores en las estaciones 2, 4, 5, 7 y 9 con variación de 0.002 a 0.004, el promedio en fondo fue de 0.005. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

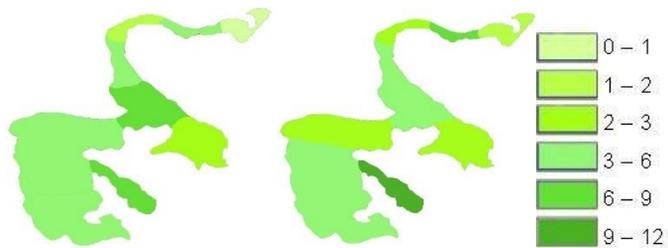
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 1.8 a 0.4 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1 y 6 con valores de 1.7 y 1.8, respectivamente, la menor se presentó en la estación 5 con un valor de 0.4, el promedio en superficie fue de 1.3. En fondo varió de 1.7 a 1.1, el valor más alto se presentó en la estación 2 con un valor de 1.7, mientras que en el resto de estaciones varió de 1.1 a 1.6, el promedio en fondo fue de 1.4. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 mg/L.

Febrero 2018

Clorofila a

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila a en superficie varió en un intervalo de 8 a 0.8 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 5 y 9 con valores de 8 y 7.1 respectivamente, mientras que la menor en la estación 1 con un valor de 0.8, el promedio en superficie fue de 3.9. En fondo varió de 9.5 a 1.1, el valor más alto se presentó en la estación 9 con 9.5, mientras que el más bajo en la estación 1 con un valor de 1.1, el promedio en fondo fue de 4.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 mg/m³.

Octubre 2018

Salinidad

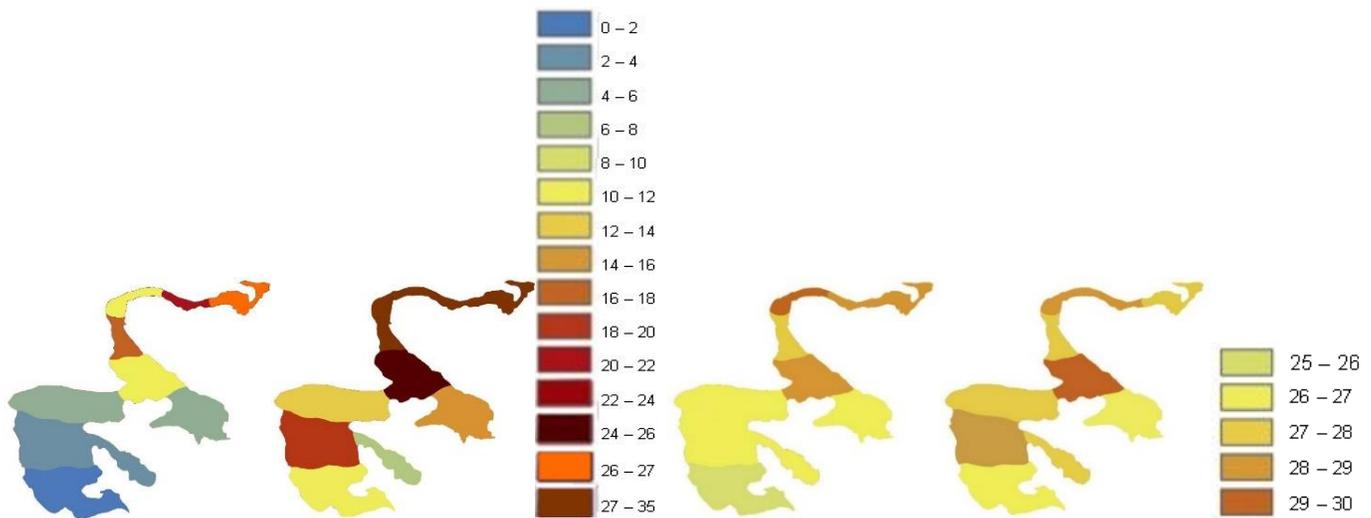
Superficie

Fondo

Temperatura

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

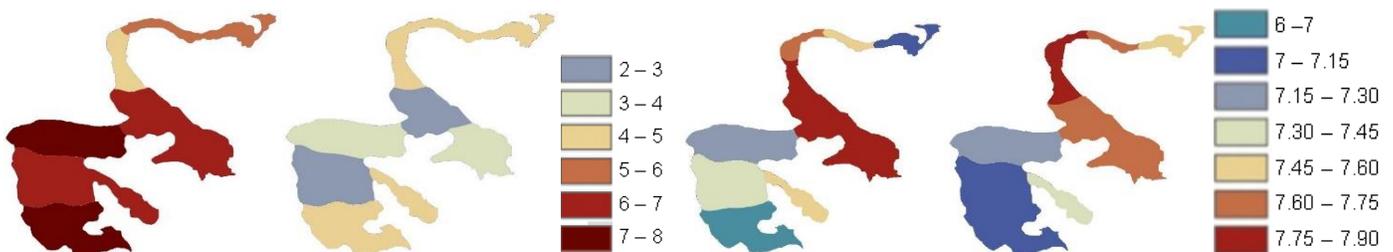
Superficie

Fondo

pH

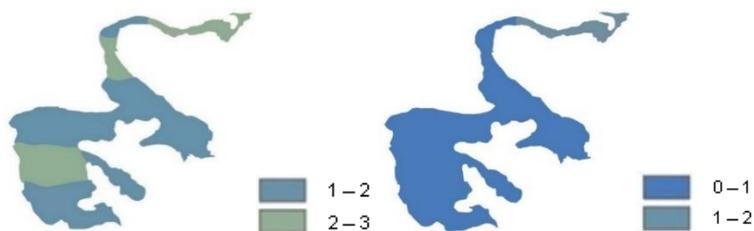
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores de salinidad en la superficie variaron de 26.1 a 0.7 UPS, los mayores se presentaron en las estaciones 1 y 2 con valores de 26.1 y 21.0 respectivamente, las menores en las estaciones 8, 9 y 10 con valores de 3.2, 3.5 y 0.7 respectivamente, el promedio en superficie fue de 10.5. En fondo varió 32.7 a 7.5, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con variación de 29.5 a 32.7 y el más bajo en la estación 9 con 7.5, el promedio en fondo fue de 21.0. La variación promedio entre niveles fue de 10.5 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 29.4 a 25.1 °C, la mayor se presentó en la estación 3 con un valor de 29.4, mientras que la menor en la estación 10 con un valor de 25.1, el promedio en superficie fue de 27.4. En fondo varió de 29.0 a 26.9, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2 y 3 con un valor de 29.0 en ambas, mientras que las menores en las estaciones 6 y 10 con un valor de 26.9 para los dos sitios, el promedio en fondo fue de 28.0. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 °C.

Oxígeno disuelto. Este parámetro en superficie varió de 7.2 a 5.0 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 7 y 10 con valores de 7.2 y 7.1 respectivamente, la menor en la estación 4 con un valor de 5.0, el promedio en superficie fue de 6.2. En fondo varió de 4.7 a 2.5, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 4, 9 y 10 con variación de 4.1 a 4.7 y los más bajos en las estaciones 5 y 8 con valores de 2.4 y 2.8 respectivamente, el promedio en fondo fue de 3.9. La variación promedio entre niveles fue de 2.3 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 7.8 a 6.9, los mayores valores se registraron en las estaciones 4, 5 y 6 con variación de 7.7 a 7.8, y el menor en la estación 10 con un valor de 6.9, el promedio en superficie fue de 7.4. En fondo varió de 7.8 a 7.1, los valores más altos se presentaron en las estaciones 3 y 4 con un valor de 7.8 en ambas, los más bajos en las estaciones 9 y 10 con un valor de 7.1 en ambas, el promedio en fondo fue de 7.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.1.

Profundidad. Este parámetro tuvo un promedio de 1.9 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron de la 1 a la 4 con variación de 1.8 a 2.3, mientras que de la estación 5 a 10 disminuyó con variación de 1.5 a 1.8 m.

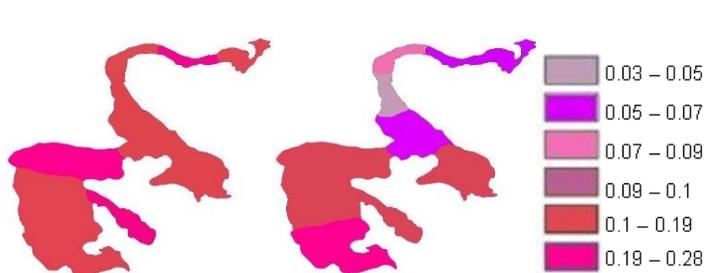
Transparencia. La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 0.8 m en el sistema, las estaciones con mayores valores fueron la 1 y 2 con 1.5 y 1.2 respectivamente, el resto de las estaciones variaron de 0.5 a 0.9 m.

Octubre 2018

Amonio

Superficie

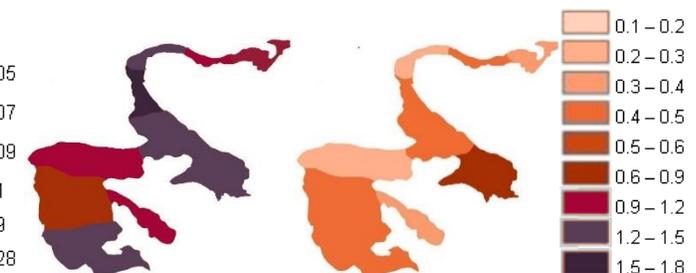
Fondo



Nitratos

Superficie

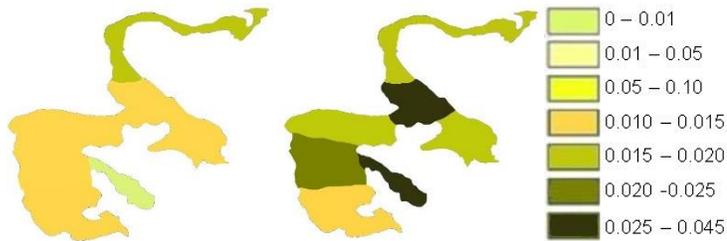
Fondo



Nitritos

Superficie

Fondo



Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. El amonio en superficie varió de 0.1 a 0.2 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 7 y 9 con un valor de 0.2 en las tres, mientras que las menores en el resto de las estaciones con un valor de 0.1, el promedio en superficie fue de 0.1. En fondo varió de 0.2 a 0.05, el valor más alto se presentó en la estación 10 con un valor de 0.2, mientras que la más baja en la estación 4 con un valor de 0.05, el promedio en fondo fue de 0.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

Nitratos. Este nutriente en superficie varió de 1.75 a 0.8 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 4 con un valor de 1.75, mientras que la menor en la estación 8 con valores de 0.8, el promedio en fondo fue de 1.1. En fondo varió de 0.65 a 0.25, el valor más alto se presentó en la estación 6 con un valor 0.65, los más bajos en las estaciones 3, 7 y 9 con variación de 0.3 a 0.25, el promedio en fondo fue de 0.4. La variación entre niveles fue de 0.7 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.018 a 0.009 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con variación de 0.017 a 0.020, la menor se presentó en la estación 9 con un valor de 0.009, el promedio en superficie fue de 0.01. En fondo varió de 0.028 a 0.04, los valores más altos se presentaron en las estaciones 5 y 9 con valores de 0.040 y 0.028 y el más bajo en la estación 10 con un valor de 0.013, el promedio en fondo fue de 0.020. La variación promedio entre niveles fue de 0.1 mg/L.

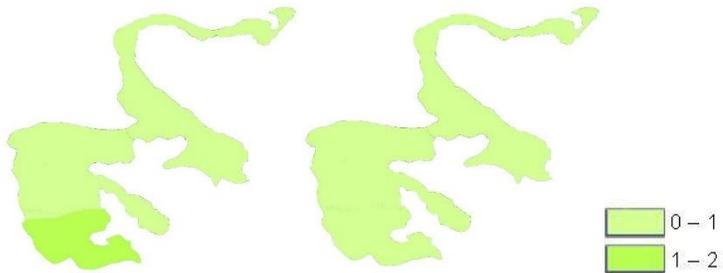
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 2.7 a 1.6, mg/L, las mayores concentraciones se presentaron de la estación 2 a la 10 con variación de 2.0 a 2.7, mientras que la menor en la estación 1 con un valor de 1.6, el promedio en superficie fue de 2.2. En fondo varió de 1.7 a 0.9, el valor más alto se presentó en la estación 10 con un valor de 1.7 y los más bajos en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con un valor de 0.9 en los cuatro sitios, el promedio en fondo fue de 1.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.9 mg/L.

Octubre de 2018

a

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila a en superficie varió de 1.5 a 0.1 mg/ m³, sin presentar mayor variación a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 0.6. En fondo varió de 1.0 a 0.1, sin presentar mayor variación, el promedio en fondo fue de 0.4. La variación promedio entre niveles fue de 0.2 mg/ m³.

Enero 2020

Salinidad

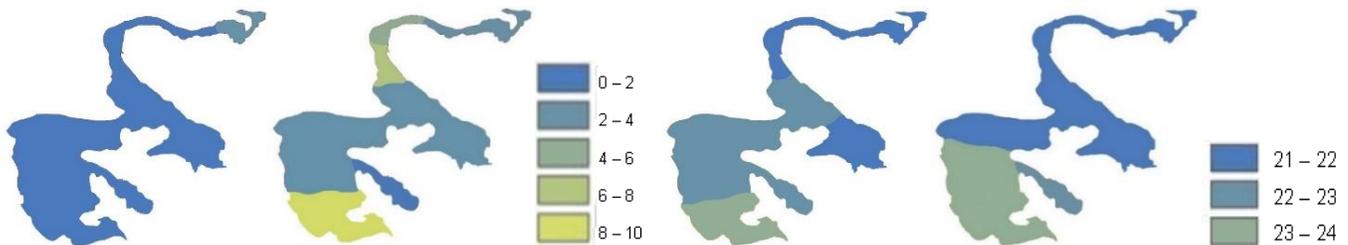
Temperatura

Superficie

Fondo

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

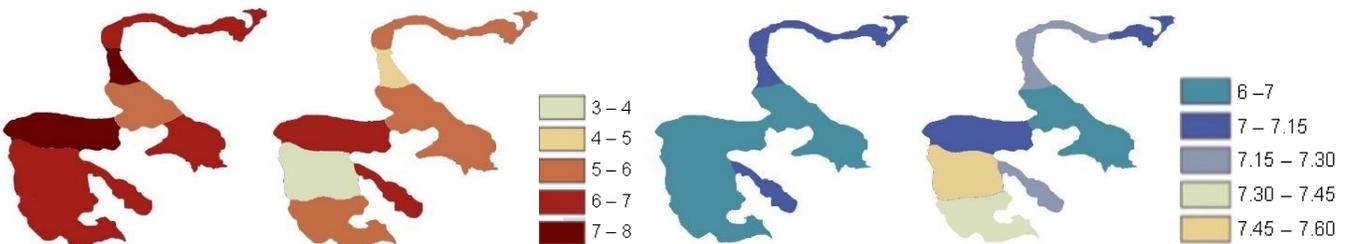
pH

Superficie

Fondo

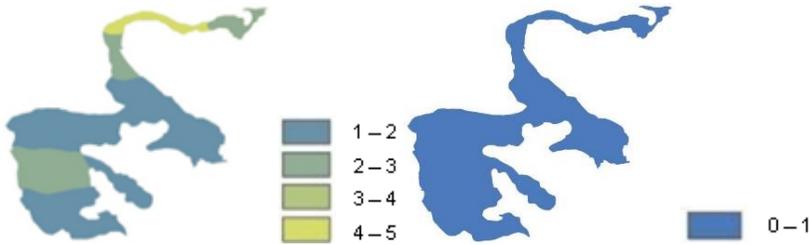
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores de salinidad en superficie variaron de 2.6 a 0.1 UPS de la boca marina a la cabecera de los ríos, la mayor se presentó en la estación 1 con 2.6 y las menores en el resto de las estaciones con variación de 1.2 a 1.1, el promedio en superficie fue de 0.9. En fondo la salinidad varió de 8.1 a 1.7, el valor más alto se presentó en las estación 10 con un valor de 8.1, la más baja en la estación 9 con un valor de 1.7, el promedio en fondo fue de 3.7. La variación promedio entre niveles fue de 2.8 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 23.0 a 21.3 °C, la mayor se presentó en la estación 10 con un valor de 23.0 y las menores en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 6 con variación de 21.3 a 21.8, el promedio en superficie fue de 21.9. En fondo varió de 23.7 a 21.5, las más altas se presentaron en las estaciones 10 y 8 con valores de 23.1 y 23.7 respectivamente, las más bajas a partir de la estación 1 a 7 con variación de 21.5 a 21.9, el promedio en fondo fue de 22.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.2 °C.

Oxígeno disuelto. Este varió de 7.1 a 5.9 mg/L, la mayor concentración se presentó en las estaciones 4 y 7 con un valor de 7.1 en ambas y la menor en la estación 5 con un valor de 5.9, el promedio en superficie fue de 6.7. En fondo el valor más alto se presentó en las estaciones 9 y 7 con 6.1 y 6.4 respectivamente, y el más bajo en la estación 8 con 3.7, el promedio en fondo fue de 5.4. La variación promedio entre niveles fue de 1.3 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 7.0 a 6.7, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 9 con un valor de 7.0 para todas, mientras que las menores en el resto de las estaciones con variación de 6.7 a 6.9, el promedio en superficie fue de 6.9. En fondo varió de 7.5 a 6.8, el valor más alto se presentó en la estación 8 con 7.5, y los más bajos en las estaciones 5 y 6 con valores de 6.8 y 6.9 respectivamente, el promedio en fondo fue de 7.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.2.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2.5 m en el sistema, las estaciones con mayor profundidad fueron la 2 y 3 con 4.5 y 4.4 respectivamente, mientras que en el resto de las estaciones la profundidad varió de 1.6 a 2.6 m.

Transparencia. La transparencia tuvo un promedio de 0.7 m en el sistema, con variación de 0.6 a 1 sin presentar mayores cambios a lo largo de la laguna.

Enero 2020

Amonio

Superficie

Fondo



Nitratos

Superficie

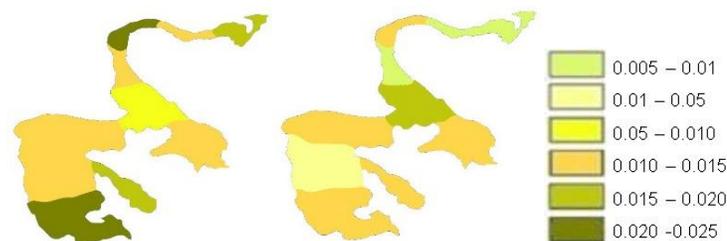
Fondo



Nitritos

Superficie

Fondo



Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. El amonio en superficie varió de 0.16 a 0.02 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1 y 3 con valores de 0.16 y 0.10 respectivamente, y la menor en la estación 7 con un valor de 0.02, el promedio en superficie fue de 0.08. En fondo varió de 0.12 a 0.03, los valores más altos se presentaron en las estaciones 2, 4 y 10 con valores de 0.12, 0.1 y 0.10 respectivamente, el más bajo se presentó en la estación 3 con un valor de 0.03, el promedio en fondo fue de 0.08. La variación promedio entre niveles fue de 0.0 mg/L.

Nitratos. Estos variaron en superficie de 0.45 a 0.2 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en la estación 1 y 7 con un valor de 0.35 y 0.45 respectivamente, mientras que en el resto de las estaciones varió de 0.1 a 0.2, el promedio en superficie fue de 0.24. En fondo varió de 0.5 a 0.2, el valor más alto se presentó en la estación 8 con un valor de 0.5, mientras que en el resto de estaciones varió de 0.1 a 0.3, el promedio en fondo fue de 0.26. La variación promedio entre niveles fue de 0.015 mg/L.

Nitritos. Los nitritos en superficie variaron de 0.010 a 0.023 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 3 y 10 con un valor de 0.020 y 0.023 respectivamente, y la menor en la estación 5 con un valor de 0.010, el promedio en superficie fue de 0.015. En fondo varió de 0.016 a 0.008, el valor más alto se presentó en la estación 5 con un valor de 0.016 y los más bajos en las estaciones 1, 2 y 4 con variación de 0.008 a 0.009, el promedio en fondo fue de 0.011. La variación promedio entre niveles fue de 0.004 mg/L.

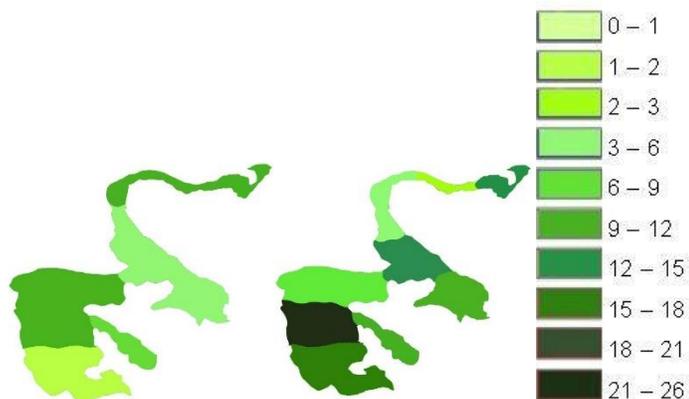
Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 1.6 a 0.8 mg/L, sin presentar mayores cambios a lo largo de la laguna, el promedio en superficie fue de 1.23. En fondo varió de 2.4 a 1.8, los valores más altos se presentaron en la mayoría de las estaciones con variación de 1.8 a 2.4, y los más bajos en las estaciones 8 y 9 con un valor de 1.6 en ambas, el promedio en fondo fue de 1.90. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 mg/L.

Enero 2020

Clorofila a

Superficie

Fondo



Clorofila. La clorofila a en superficie varió de 11.6 a 1.2 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 1, 2, 3, 7 y 8 con variación de 9.1 a 11.6, y la menor en la estación 10 con un valor de 1.2, el promedio en superficie fue de 7.2. En fondo varió de 23.9 a 2.9, el valor más alto se presentó en la estación 8 con un valor de 23.9, y el más bajo en la estación 2 con un valor de 2.9, el promedio en fondo fue de 10.8. La variación promedio entre niveles fue de 3.6 mg/m³.

Noviembre 2022

Salinidad

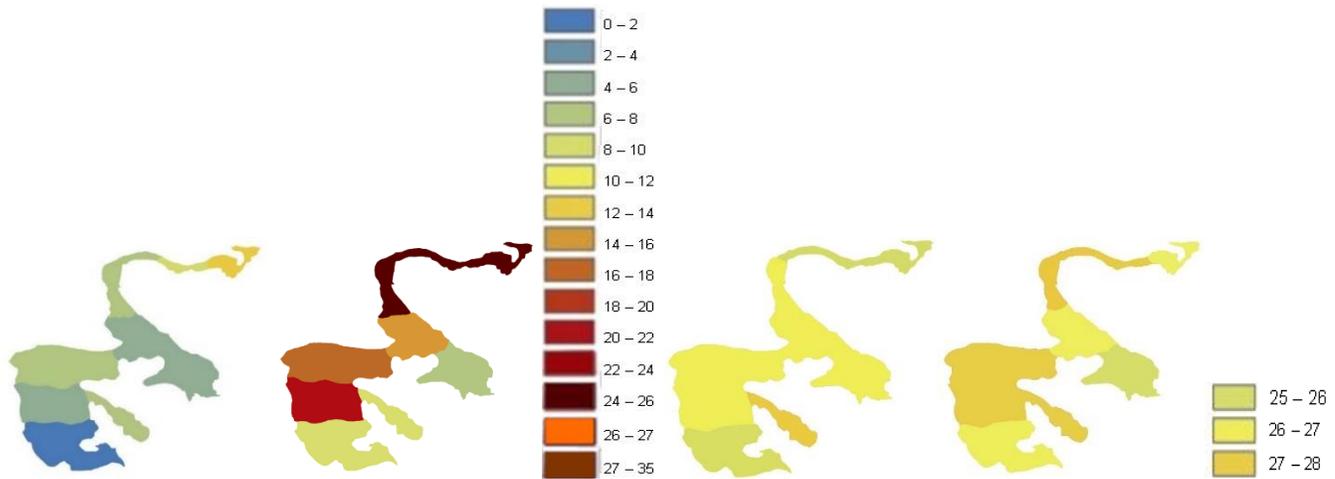
Superficie

Fondo

Temperatura

Superficie

Fondo



Oxígeno disuelto

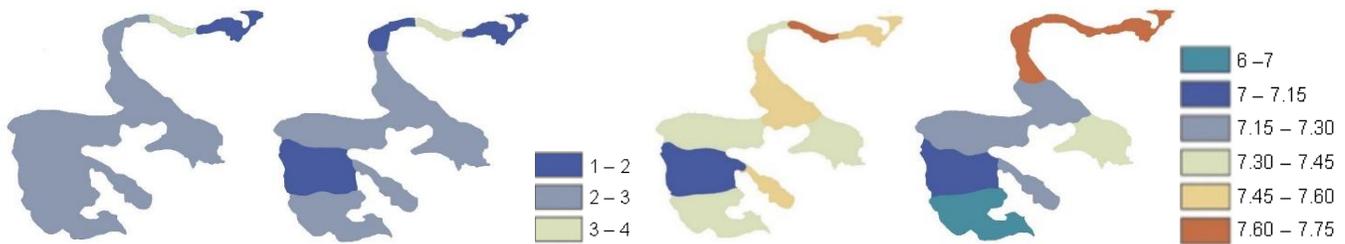
Superficie

Fondo

pH

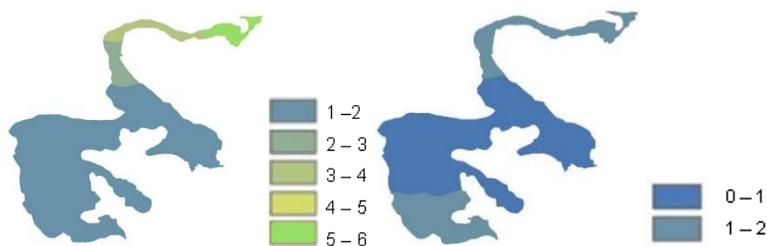
Superficie

Fondo



Profundidad

Transparencia



Salinidad. Los valores de este parámetro en superficie variaron de 13.4 a 1.2 UPS, los mayores se presentaron en las estaciones 1 y 2 con 13.4 y 8.9, respectivamente y el menor en la estación 10 con

un valor de 1.3, el promedio en superficie fue de 6.8. En el fondo varió de 28.2 a 6.2, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con variación de 25.0 a 28.3, el más bajo se presentó en la estación 6 con un valor de 6.2, el promedio en fondo fue de 18.7. La variación promedio entre niveles fue de 11.9 UPS.

Temperatura. La temperatura en superficie varió de 25.3 a 27.1 °C, la mayor se presentó en la estación 9 con un valor de 27.1 y las menores en las estaciones 1, 2, 3 y 10 con variación de 25.3 a 25.9, el promedio en superficie fue de 26.1. En fondo la temperatura varió de 25.9 a 27.8, las más altas se presentaron en las estaciones 2, 3, 4, 7, 8 y 9 con variación de 27.0 a 27.8, la más baja en la estación 6 con un valor de 25.9, el promedio en fondo fue de 26.9. La variación promedio entre niveles fue de 0.8 °C.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en superficie varió de 1.9 a 3.5 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 2 con 3.5, mientras que en el resto de la laguna varió de 1.9 a 2.4, el promedio en superficie fue de 2.4. En fondo varió de 3.2 a 1.4, el valor más alto se presentó también en la estación 2 con 3.2, mientras que los más bajos en las estaciones 1, 3 y 8 con valores de 1.6, 1.5 y 1.3, respectivamente, el promedio en fondo fue de 2.1. La variación promedio entre niveles fue de 0.3 mg/L.

pH. El pH en superficie varió de 7.0 a 7.6, el mayor valor se registró en la estación 2 con un valor de 7.7, el menor en la estación 8 con un valor de 7.0, el promedio en superficie fue de 7.4. En fondo varió de 7.6 a 6.9, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1, 2, 3 y 4 con variación de 7.6 a 7.5, el más bajo en la estación 10 con un valor de 6.9, el promedio en fondo fue de 7.3. La variación promedio entre niveles fue de 0.1.

Profundidad. La profundidad tuvo un promedio de 2.3 m en el sistema, la mayor se presentó en la estación 1 con 5.4 y disminuyó a partir de la estación 5 hasta la 10 con variación de 1.7 a 1.1 m.

Transparencia. La transparencia en la columna de agua tuvo un promedio de 0.9 m en el sistema, las estaciones con mayores valores fueron la 1, 2, 3 y 4 con variación de 1.1 y 1.2, esta disminuyó a partir de las estaciones 5 a 9 con variación de 0.5 y 0.9, y en la estación 10 la transparencia aumentó a 1.1 m.

Noviembre 2022

Amonio

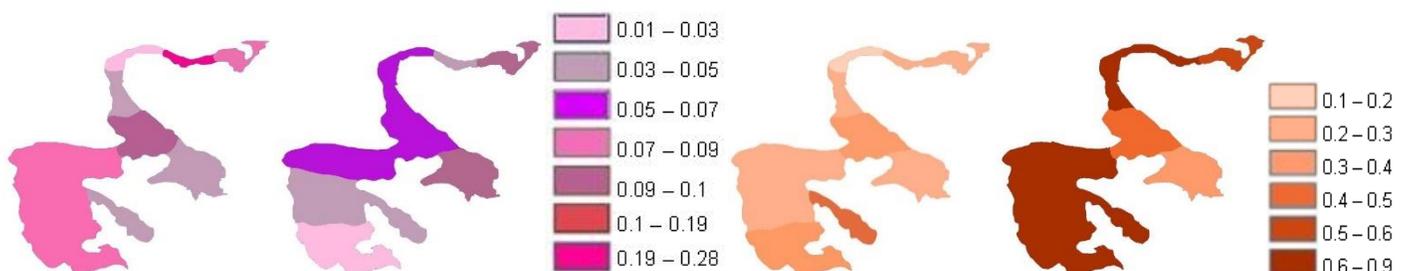
Superficie

Fondo

Nitratos

Superficie

Fondo



Nitritos

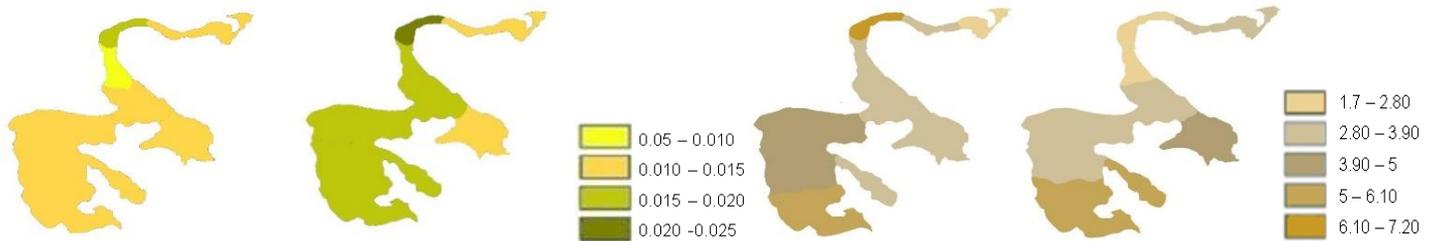
Superficie

Fondo

Ortofosfatos

Superficie

Fondo



Amonio. Este nutriente en superficie varió de 0.02 a 0.1 mg/L, las mayor concentración se presentó en la estación 2 con un valor de 0.19, la menor en la estación 3 con un valor de 0.02, el promedio en superficie fue de 0.07. En fondo varió de 0.02 a 0.09, los valores más altos se presentaron en las estaciones 1 y 6 con un valor de 0.09 en ambas, y el más bajo en la estación 10 con un valor de 0.02, el promedio en fondo fue de 0.05. La variación promedio entre niveles fue de 0.02 mg/L.

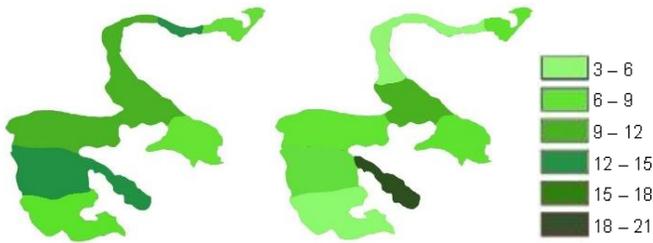
Nitratos. Los nitratos en superficie variaron de 0.25 a 0.45 mg/L, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 9 y 10 con un valor de 0.45 y 0.4 respectivamente, y la menor en la estación 3 con un valor de 0.2, el promedio en superficie fue de 0.3. En fondo varió de 0.35 a 0.9, los valores más altos variaron entre 0.5 y 0.9 en la mayoría de las estaciones, el más bajo se presentó en la estación 6 con un valor de 0.35, el promedio en fondo fue de 0.6. La variación promedio entre niveles fue de 0.3 mg/L.

Nitritos. Estos variaron en superficie de 0.010 a 0.017 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 3 con un valor de 0.017, la menor en la estación 4 con un valor de 0.010, el promedio en superficie fue de 0.013. En fondo varió de 0.014 a 0.021, el valor más alto también se presentó en la estación 3 con un valor de 0.021 y los más bajos en las estaciones 1, 2 y 6 con un valor de 0.014 para las tres, el promedio en fondo fue de 0.016. La variación promedio entre niveles fue de 0.003 mg/L.

Ortofosfatos. Los ortofosfatos en superficie variaron de 2.6 a 6.4 mg/L, la mayor concentración se presentó en la estación 3 con un valor de 6.4 y la menor en la estación 1 con un valor de 2.6, el promedio en superficie fue de 2.2. En fondo varió de 5.3 a 2.4, el valor más alto se presentó en la estación 9 y 10 con un valor de 5.3 y 5.2, respectivamente, y los más bajos en las estaciones 3 y 4 con un valor de 2.6 y 2.4, el promedio en fondo fue de 1.5. La variación promedio entre niveles fue de 0.6 mg/L.

Noviembre de 2022

Clorofila a



Clorofila. Esta varió en superficie de 6.4 a 13.2 mg/m³, las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 2, 8 y 9 con variación de 12.1 a 13.2 y las menores en las estaciones 1, 6 y 10 con variación de 6.4 a 8.0, el promedio en superficie fue de 10.0. En fondo varió de 3.2 a 19.8, el valor más alto se presentó en la estación 9 con un valor de 19.8, los más bajos en las estaciones 2, 3, 4 y 10 con variación de de 3.2 a 6.0, el promedio en fondo fue de 7.8. La variación promedio entre niveles fue de 2 mg/m³.

Parámetros fisicoquímicos y calidad del agua

Salinidad. Según Lara *et al.* 2011, el grado de salinidad en la mayoría de las lagunas están dentro de un intervalo entre 10 y 30 unidades prácticas de salinidad (ups), lo que indica una dominancia de aguas de meso a polihalinas, en este estudio se observó un intervalo de 0.1 a 34.3 UPS.

Temperatura. Todos los valores permanecen dentro del rango indicado en la NOM-001-ECOL-1996 para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (*40° C de temperatura promedio diaria*).

Oxígeno. En este estudio se observó una variabilidad entre 1.2 y 8.2 mg/l, De la Lanza y Gutiérrez (2017) reportan que el 40% de las lagunas presentaron un promedio entre 4 y 5 mg/l y el 24% presento un máximo entre 5 y 6, lo cual coincide con febrero 2016, febrero 2018 y enero 20120, por otra parte según la NOM-001-ECOL-1996 los años octubre 2014, octubre 2015, octubre 2017, octubre 2018 y noviembre 2022 están debajo del límite máximo establecido en los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática marina (*5.00 mg/l*).

pH. Todos los valores en los diferentes años se hallaron dentro del rango permitido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (*5-10 unidades de pH*). Calva (1999) reportó valores de 7.4 y según Ringwood y Keppler (2002) los animales pueden ser capaces de tolerar salinidades más bajas o condiciones de OD más bajas si el pH permanece alto, pero en condiciones de pH bajo, la tolerancia disminuirá.

Profundidad. González *et. al* (1994) reporto una profundidad máxima promedio de 2.7 m, y un promedio mínimo de 1.14 m, mientras que García y Reguero (1995) reportaron que La laguna tiene una profundidad promedio de un metro, salvo en el canal de comunicación con el mar, en donde varía entre 2 y 3.5m y Calva (1999) reportó una profundidad media es de 1,67 m, es este estudio varió de 1.9 a 2.5.

Transparencia. En este estudio varió de 0.5 a 1.1 en todos los años, Calva (1999) reportó una transparencia de 0.68, Aguirre-León *et al.* (2018) reportó un intervalo de 0.5 a 1.1 y Figueroa-Torres *et al.* (2018) uno de reporto 0.85 a 0.90.

Oxígeno disuelto. Según la Norma CE-CCA-001/89 que establece los mínimos permisibles de oxígeno disuelto (5.00 mg/l) para la conservación de la vida acuática marina en áreas costeras. En febrero 2016, febrero 2018 y enero 2020 todas las estaciones se hallaron dentro del rango, en superficie y fondo. Mientras que en octubre 2017 y noviembre 2022 todas las estaciones se encontraron por debajo del mínimo establecido. En febrero 2015 y octubre 2018 todas las estaciones en superficie se hallaron dentro del rango permitido, mientras que en fondo se encuentran por debajo del mínimo permisible, a excepción de la estación 1 (5.7 mg/l). Para octubre 2015 las estaciones 7, 8 y 9, tanto en superficie como en fondo se hallaron dentro del rango permitido, mientras que el resto de estaciones se encuentran debajo del mínimo permisible.

De acuerdo con un estudio realizado en sistemas costeros de México (De la Lanza y Gutiérrez, 2017) se encontró que el 44% de las lagunas costeras presentan condiciones bien aireadas u oxigenadas (de 4 a >5 mg/L), en esta laguna se registraron concentraciones dentro de este rango en la mayoría de los años, por otra parte encontraron que el 10% presentaron concentraciones mínimas de 1.5 a 2.0, es este estudio se registraron concentraciones dentro de ese rango en octubre 2014, febrero 2015, octubre 2015, octubre 2017 y noviembre 2022 en agua de fondo y principalmente en las estaciones 5 y 9.

Concentración de nutrientes, producción primaria y estado trófico

Amonio. Todos los valores en todos los años, tanto en superficie y fondo se hallaron fuera del límite máximo establecido en los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática CE-CCA-001/89 (0.01 mg/l), a excepción de febrero 2018 en superficie, donde se hallaron dentro de rango establecido.

Y De la Lanza y Gutiérrez (2017) reportan que el 37% de los sistemas costeros presentaron en promedio 0 – 5 μM , en esta laguna la mayoría de los años se encuentra dentro de este intervalo. Por otra parte, encontraron que el 27% tiene como valor máximo una concentración de 20 – 40 μM , en este estudio solamente se registró un valor de 22.1 mg/l en febrero 2016 en superficie.

Nitratos. Todos los valores en todos los años, tanto en superficie y fondo se hallaron fuera del límite máximo establecido en los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática CE-CCA-001/89 (0.04 mg/l). Y De la Lanza y Gutiérrez (2017) encontraron que el 88% de las lagunas costeras presentaron un promedio de 0 a 10 μM , y mencionan que, en sistemas costeros, como las lagunas, concentraciones cercanas a 50 μM , pueden ser consideradas como no eutrofizadas, en este estudio no se observaron concentraciones mayores a 2 mg/l, con valores máximos en octubre 2018 en superficie (1.7 mg/l).

Nitritos. En la mayoría de los años se registraron concentraciones, tanto en superficie como en fondo, fuera del límite máximo establecido (0.002 mg/l) según la norma CE-CCA-001/89. Mientras que en octubre 2014 únicamente en la estación 9 en superficie, en octubre 2015 en las estaciones 2, 7, 8 y 9 en fondo y en febrero 2018 únicamente en la estación 9 en fondo se hallaron dentro del rango establecido.

Ortofosfatos. En la mayoría de los años, tanto en superficie como en fondo las concentraciones se hallaron fuera del límite máximo establecido (0.002 mg/l) según la norma CE-CCA-001/89. Mientras que únicamente en octubre 2014 en las estaciones 1 y 8 en superficie se hallaron dentro del rango establecido.

Y Lara *et al.* (2011) encontró que el 69% de los sistemas costeros registró un promedio que fluctúa entre los 0.01 y los $5.0 \mu\text{g/l}$, y menciona que podría considerarse como el valor normal. Mientras que De la Lanza y Gutiérrez (2017) observaron que se encuentran en un intervalo de no detectable hasta $5 \mu\text{M}$ en 80% de los sistemas costeros, en este estudio se registraron valores entre 0.1 a 3.9 mg/l .

Clorofila *a*. De la Lanza y Gutiérrez (2017) observaron que los intervalos de las concentraciones de este pigmento pueden oscilar entre < 4 a 20 mg/m^3 que representan entre 27% a 50%, de los sistemas costeros, lo cual coincide con este estudio, pues la mayoría de los años se encuentra dentro de este intervalo.

Estado trófico. De acuerdo con el índice trófico TRIX, se presentaron valores entre 1.6 y 3.8 correspondientes a un nivel trófico bajo u oligotrófico en la mayoría de los años, tanto en superficie como en fondo, aunque se observaron algunos sitios de muestreo en estado mesotrófico en agua de fondo en octubre 2015 en la 10, febrero 2016 estación 1 y noviembre 2022 estaciones 7, 9 y 10, mientras que en superficie se presentó un único caso en febrero 2016 en la estación 1. Por esta condición oligotrófica se considera que el sistema presenta buena calidad del agua, no obstante, con aguas poco productivas.

Tabla 2. Índice trófico (TRIX) por año y estación en superficie y fondo

Octubre 2014		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Mesotrófico

Febrero 2015		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Octubre 2015		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Mesotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Mesotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Febrero 2016		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Mesotrófico	Mesotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Octubre 2017		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Octubre 2018		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Enero 2020		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Oligotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Oligotrófico
10	Oligotrófico	Oligotrófico

Noviembre 2022		
Estación	TRIX Superficie	TRIX Fondo
1	Oligotrófico	Oligotrófico
2	Oligotrófico	Oligotrófico
3	Oligotrófico	Oligotrófico
4	Oligotrófico	Oligotrófico
5	Oligotrófico	Oligotrófico
6	Oligotrófico	Oligotrófico
7	Oligotrófico	Mesotrófico
8	Oligotrófico	Oligotrófico
9	Oligotrófico	Mesotrófico
10	Oligotrófico	Mesotrófico

Discusión

La distribución espacio temporal de los factores fisicoquímicos y de los nutrientes está determinada, en mayor o menor medida por las descargas de agua continental, la intrusión de agua marina constante, lo somero del sistema y por condiciones climáticas como los vientos. Especialmente se presentó un gradiente salino con valores altos en las estaciones cercanas a la boca lagunar y disminuye hacia la cabecera lagunar, sobre todo en estaciones cercanas a la desembocadura de los ríos en la mayoría de los años de estudio, lo que indica una intrusión de agua marina por la boca permanentemente abierta y drenaje fluvial continuo. Benítez-Díaz *et al.* (2014), López-Portillo *et al.* (2017) y Figueroa-Torres *et al.* (2018), reportaron un comportamiento similar en este sistema y Aguirre-León *et al.* (2020) en la laguna costera El Ostión en Veracruz. De acuerdo con Muciño-Márquez *et al.* (2011) en Sontecomapan existe una relación significativa de la salinidad con el flujo y reflujo de marea, observando que la salinidad aumenta debido al flujo de agua marina y disminuye por el reflujo y la salida del agua continental, lo cual fue similar con el presente estudio, además se observó una estratificación salina entre niveles con salinidades menores en superficie y valores más altos en fondo, siendo evidente la presencia de una cuña salina presente durante los meses y años analizados. Hernández-Estrada *et al.* (2013) y Aguirre-León *et al.* (2018) reportaron este mismo comportamiento en Sontecomapan, además este comportamiento no cambió en escala temporal. En un estudio realizado en 375 estuarios (Lill *et al.* 2013) ubicados en Australia, Sudáfrica y Nueva Zelanda observaron que, en estuarios cerrados, la salinidad y la descarga anual media fueron significativamente menores que para los estuarios abiertos, lo que destaca la importancia de la boca lagunar permanentemente abierta en esta laguna. Por otra parte, únicamente en octubre 2017 se registró una disminución drástica de la salinidad, donde Esquivel y Soto (2018) observaron que fue debido a las fuertes lluvias y escurrimientos que se presentaron en la temporada de lluvias cuando la salinidad disminuyó a 5 PSU en Sontecomapan, evidenciando la importancia de las descargas de agua dulce provenientes de los ríos y la mezcla de agua marina que se realiza al interior del sistema por el intercambio de aguas de distinto origen.

La temperatura mostró poca variación en la columna de agua y no se observó una estratificación térmica entre superficie y fondo en los diferentes años de estudio, coincidiendo con lo reportado por Carbajal (2009), Muciño-Márquez *et al.* (2011), Hernández-Estrada *et al.* (2013), Benítez-Díaz *et al.* (2014), Esquivel y Soto (2018) y Aguirre-León *et al.* (2018) para este mismo sistema. Calva *et al.* (2005), mencionan que en Sontecomapan la temperatura del agua está relacionada estrechamente con la temperatura del aire y por lo somero del sistema. Posiblemente la disminución de temperatura que se presentó en los meses y años de febrero 2015, 2016, 2018 y en enero 2020, se deba a las condiciones climáticas presentes en esos meses. Aguilar (2015) menciona que la disminución de la temperatura se produce durante la temporada de Nortes, por lo que se relaciona con procesos de convección que ejercen las masas de aire frío sobre el agua en las lagunas, y Aguirre-León *et al.* (2020) observó que en la laguna del Ostión la temperatura estaba asociada a aguas frías proveniente de los ríos, a una baja profundidad y a la buena mezcla vertical. Referente a ello, en todos los años de estudio se observó que en estaciones cercanas a ríos la temperatura fue menor. Morán (2007) menciona que en Sontecomapan el aporte de agua dulce de menor temperatura es considerable, tanto en la temporada de lluvias, como durante la temporada de nortes, por lo que en este estudio se observó este fenómeno.

No se observó un patrón espacial claro de las concentraciones de oxígeno, siendo similar con lo reportado por Muciño-Márquez *et al.* (2011) y Benítez-Díaz *et al.* (2014) y Aguirre-León *et al.* (2020) en la laguna El Ostión Veracruz, sin embargo, las concentraciones fueron levemente mayores en superficie que en fondo en la mayoría de los años de estudio, coincidiendo con lo reportado por Hernández-Estrada *et al.* (2013) y Aguirre-León *et al.* (2018), quienes observaron este mismo comportamiento en Sontecomapan. En un estudio realizado en la bahía de Jarkarta indonesia (Damar, 2003), observaron que hubo una correlación positiva entre la salinidad y la saturación de oxígeno, por lo que se observó un comportamiento similar en esta laguna. Las mayores concentraciones se presentaron en febrero 2015, 2016, 2018 y en enero 2020, posiblemente como resultado de los fuertes vientos. Carbajal (2009) y Figueroa-Torres *et al.* (2018) reportaron que las concentraciones de este gas aumentaron durante la temporada de “Nortes” en este mismo sistema. Aunque también podrían estar asociadas a una disminución en la temperatura, como lo observaron Aguirre-León *et al.* (2020) en la laguna El Ostión Veracruz donde las mayores concentraciones se presentaron cuando hubo una disminución de la temperatura. Escobedo (2010) menciona que las concentraciones de oxígeno aumentaron en la temporada fría en la laguna San Ignacio-Navachiste-Macapule Sinaloa y de acuerdo con Rojas (2010) la disolución del oxígeno depende de la temperatura, aunado a ello, se observó que los años más calurosos octubre 2014 y octubre 2015 presentaron concentraciones de oxígeno bajas en comparación con otros años y en febrero 2016, febrero 2018 y enero 2020 donde hubo una disminución de la temperatura, las concentraciones de oxígeno aumentaron, siendo similar con lo reportado por López-Ortega *et al.* (2012) en Sontecomapan. Ahumada y Ruiz (2008) mencionan que hay una relación inversa que se da entre la temperatura y el oxígeno disuelto, es decir, si la temperatura aumenta el oxígeno disuelto disminuye y viceversa, por lo que se puede decir que las condiciones climáticas predominantes juegan un papel importante en las concentraciones de este gas. Por otra parte, se observó que las altas concentraciones tienden a presentarse al interior de la laguna en estaciones cercanas a los ríos, esto podría explicarse por un efecto de mezcla y por un eficiente patrón de circulación y renovación de aguas interiores propiciado por la entrada de agua dulce proveniente de los ríos y a su vez, una conexión permanentemente con el mar (Aké-Castillo y Vázquez, 2008; Lara *et al.* 2011). En el trabajo realizado por López-Portillo *et al.* (2017) en cuatro lagunas costeras del Golfo de México, encontraron que las concentraciones de oxígeno fueron mayores en Sontecomapan que en otras lagunas, lo que evidencia la importancia de los aportes fluviales y la eficiente circulación de agua en esta laguna, como también lo acota (Calva *et al.* 2005) evidenciando la importancia de los aportes agua continental y marina.

El pH mostró poca variabilidad espacial permaneciendo con valores próximos a la neutralidad en agua de superficie y fondo. Este comportamiento también fue reportada por González *et al.* (1994), Muciño-Márquez *et al.* (2011), Hernández-Estrada *et al.* (2013), Benítez-Díaz *et al.* (2014) y Figueroa-Torres *et al.* (2018) en este mismo sistema, así como Herrera-Silveira (1994) en una laguna costera en Yucatán. En este estudio se observó que los valores aumentaron en la cercanía de la boca marina, lo cual es similar con lo reportado por Aparicio (2009), Escobedo (2010) y Muciño-Márquez *et al.* (2011) en este mismo sistema, de igual manera señala que existe una relación entre pH y salinidad, lo que se relaciona en general con las salinidades más altas registradas hacia la boca marina, donde la mayor influencia de aguas oceánicas incrementa los valores de pH, por lo que los niveles de pH están estrechamente relacionados con los cambios de salinidad, debido a la alta capacidad amortiguadora del agua de mar (Ringwood y Keppler 2002). En este estudio las

concentraciones mínimas de pH se registraron en octubre 2017 cuando los valores de salinidad disminuyeron considerable. Contreras-Espinosa *et al.* (2005) observó en la laguna La Mancha Veracruz, que los valores de pH aumentaron cuando la laguna se encontraba incomunicada con el mar, lo que indica que la comunicación con el mar tiene un efecto importante en las concentraciones de pH.

Se observó un gradiente de profundidad y transparencia, registrando valores mayores hacia la boca marina y menores hacia el interior de la laguna. García y Roguero (1995), Aguirre-León (2018) y Cortes (2019) reportaron el mismo comportamiento de profundidad en Sontecomapan y Aguirre-León *et al.* (2020) en la laguna El Ostión, donde este comportamiento está asociado al régimen de precipitación pluvial, a la geomorfología del sistema y a la variación de la marea (Pérez-Ruzafa *et al.* 2007). Otro factor que contribuye a la disminución de la transparencia es el acarreo de sedimentos por parte de los ríos, y al mismo tiempo las descargas fluviales (Varona y Gutiérrez, 2003).

Nutrientes y clorofila *a*

En cuanto a la distribución espacial de los nutrientes, se observó para el amonio que las altas concentraciones tienden a presentarse al interior de la laguna, coincidiendo con lo reportado por Aké-Castillo y Vázquez (2008) quienes mencionan que en Sontecomapan el amonio se incorpora más eficientemente a los procesos biogeoquímicos en la parte interior de la laguna, sin embargo, en febrero 2016 fueron registrados valores máximos en la boca marina. Herrera-Silveira (1994) en un estudio realizado en la laguna Celestún, observó que existe una relación positiva entre el aumento de amonio y la entrada de agua marina, asimismo este aumento también puede estar relacionado con el uso de fertilizantes amoniacales. Riley *et al.* (2001) comentan que es posible encontrar mayores concentraciones de amonio en los efluentes si los arrastres por riego o precipitación suceden antes de la oxidación del amonio, aunado a ello las concentraciones oxígeno en febrero 2016 son altas, lo cual refuerza la hipótesis de una contaminación agrícola, sin embargo, esta hipótesis debe ser analizada con mayor profundidad. Al mismo tiempo, no se observó una estratificación entre superficie y fondo en la mayoría de los años de estudio y las concentraciones fueron mínimas en la mayoría de los años, posiblemente como resultado de procesos de nitrificación, ya que en la mayoría de los años las concentraciones de oxígeno son elevadas y el amonio pasa a nitratos y nitritos en condiciones de oxigenación. De acuerdo con Aguilar (2015) es razonable suponer que la nitrificación es importante e impide la acumulación de amonio, sin embargo, también puede ser resultado de una buena circulación lagunar. Contreras *et al.* (1995) menciona que los mínimos de amonio se presentan en sistemas con una mayor influencia de aguas oceánicas o aguas oligotróficas, esto última condición prevaleció en este estudio ya que se registraron condiciones oligotróficas en todos los años, evidenciando una baja concentración de nutrientes probablemente por una baja residencia provocada por la circulación de agua.

El patrón espacial del nitrato fue similar al de amonio, ya que las concentraciones fueron mayores al interior de la laguna, en estaciones cercanas a los ríos coincidiendo con lo reportado por López-Portillo *et al.* (2017) en Sontecomapan. Los valores no fueron muy elevados durante los diferentes años de estudio, siendo semejante con lo reportado por Benítez-Díaz *et al.* (2014) en este mismo sistema, además no se observó una diferencia importante de las concentraciones en fondo y superficie. Los valores máximos fueron obtenidos en octubre 2018 posiblemente por procesos de

nitrificación, debido a que en este año las concentraciones de oxígeno y amonio fueron altas, y se crearon condiciones favorables para realizar la conversión de amonio a nitrato (Ruiz-Marín *et al.* 2009). Puesto que la nitrificación consume oxígeno, un exceso de este elemento podría aumentar la tasa de nitrificación a partir del amonio presente en el sedimento (Aguilar, 2015). Asimismo, aunque las concentraciones en octubre 2014 fueron también elevadas las de oxígeno presentaron valores bajos y la nitrificación solo es posible en presencia de oxígeno (Morán, 2007). Posiblemente este aumento de nitratos sea de origen antropogénico, ya que se ha encontrado que en la mayor parte de los trabajos realizados en efluentes agrícolas, mencionan al nitrato como el principal nutriente nitrogenado sin importar la fuente de fertilizante utilizado, y debido a los procesos de nitrificación que se dan lugar en los suelos aeróbicos, estos pueden ser transportados por los excedentes del riego, y/o durante los arrastres por lluvia (Oyarzun *et al.*, 1997; Riley *et al.*, 2001; Haggard *et al.*, 2003).

Con respecto a los nitritos, se observó que los valores más altos se registraron en estaciones cercas a la descarga de ríos. Esquivel y Soto (2018) encontraron que este nutriente alcanza su pico en el inicio de la temporada de lluvias en este mismo sistema. En el presente estudio las concentraciones fueron bajas y similares en todos los años y sin presentarse diferencia entre superficie y fondo, como lo encontrado por Hernández-Estrada *et al.* (2013) y Benítez-Díaz *et al.* (2014) en este sistema y por Escobedo (2010) en el sistema lagunar de Topolobampo en Sinaloa. Esto podría ser resultado de una circulación constante de agua, ya que la concentración de este nutriente está en función del tiempo de recambio de agua dentro de la laguna (Arjonilla y Blasco 2003 y Cravo *et al.* 2003). Por otra parte, el nitrito puede seguir uno de dos caminos: se oxida aún más a nitrato (nitrificación) y se convierte en un nutriente para los productores primarios, o entra en el camino reductor para transformarse en N_2 que se pierde del medio ambiente acuático (desnitrificación), por lo que el nitrito puede considerarse una especie química central en el ciclo del nitrógeno (Ward, 1996; 2007). En este estudio se observó que las concentraciones de nitritos tienden a ser menores que las de nitratos en todos los años de estudio, por lo que se podría suponer que la nitrificación es mayor que la desnitrificación.

En cuanto a los ortofosfatos, no se observó una distribución espacial clara entre años ni entre fondo y superficie, y se registraron concentraciones bajas en la mayoría de los años. Al respecto, Contreras *et al.* (1995) analizó este nutriente en 27 lagunas y observó un intervalo de 0.01 a 5.0 mg/l. De la Lanza y Gutiérrez (2017) observaron un intervalo de concentración bajo a no detectable hasta 5 μM en 80% de los casos, por lo que podría considerarse como un nivel normal. Posiblemente en Sontecomapan esto se explique por una baja residencia de agua donde hay una pérdida lenta y constante que pasa desde los ríos hasta las profundidades del océano (Aguilar, 2015). No obstante, se observó que en los años octubre 2015, febrero 2015 y noviembre 2022 las concentraciones de ortofosfatos fueron mayores. Esquivel y Soto (2018) observaron en Sontecomapan que el fósforo fue mayor a principios de la temporada de lluvias, donde se presenta un aumento en la entrada de agua dulce por parte de los ríos, ya que estos son la principal entrada de ortofosfatos en ambientes estuarinos, los cuales transportan material rocoso intemperizado o lixiviado (De la Lanza, 2014). Por otra parte, Lara *et al.* (2011) reportó formas fosfatadas que se consideran como la principal causa de la presencia de biomasa fitoplanctónica, por lo que su interpretación y seguimiento ofrece algunas claves en el comportamiento espacio temporal de los ecosistemas acuáticos. En este estudio en la mayoría de los años no se observó una relación clara entre las concentraciones de este nutriente y la Cl a. Por ejemplo, en febrero 2015 y octubre 2015 se observó que, aunque los valores de ortofosfatos fueron altos, no se presentó un aumento en las concentraciones de la Cl a. Al mismo

tiempo este aumento de ortofosfatos puede deberse a una mayor entrada por parte de los ríos como efecto antropogénico por el uso de detergentes o a un proceso físico de desorción donde el fosfato absorbido es liberado al agua (Paytan y McLaughlin, 2007). Las altas precipitaciones en las regiones tropicales/subtropicales pueden incrementar la contaminación difusa de áreas urbanas o agrícolas y desequilibrar los ciclos biogeoquímicos (Qin *et al.*, 2010; Thothong *et al.*, 2011). Al respecto solo en noviembre 2022 los valores de ortofosfatos fueron altos al igual de los valores de Cl \underline{a} y en octubre 2014 y febrero 2016 se registraron concentraciones mínimas de ortofosfatos y concentraciones altas de Cl \underline{a} . Contreras *et al.* (1995) menciona que las concentraciones mínimas de fosfatos se detectan después del florecimiento fitoplanctónico primaveral, sugiriendo eliminación por parte de la biomasa fitoplanctónica entre otros factores.

La distribución espacial de la Cl \underline{a} en la mayoría de los años de estudio presentaron valores altos hacia el interior de la laguna. Cortes (2019) reporta este mismo comportamiento en Sontecomapan y Cervantes *et al.* (2017) en la laguna de Bahía Magdalena en Baja California. Guerra y Lara (1996) estudiaron en Sontecomapan un florecimiento de *Ceratium furca* y observaron que la distribución de la especie no se presentó en la boca marina y canal de comunicación donde las salinidades fueron mayores. Esquivel y Soto (2018) encontraron que las concentraciones de clorofila aumentaron al inicio de la temporada de lluvias, y Damar (2003) en un estudio realizado en la bahía Jakarta indonesia, observó una correlación inversa entre las concentraciones de Cl \underline{a} y las de salinidad. En este estudio se registraron las mayores concentraciones de clorofila en estaciones alejadas de la boca marina (sitios 8, 9 y 10) en octubre 2014, febrero 2016 y enero 2020, por lo que podría sugerir que altas salinidades podrían limitar el desarrollo del fitoplancton, aunque se requiere el estudio de esta relación para poder confirmar dicha hipótesis.

Cervantes *et al.* (2017) en un estudio sobre el efecto de la marea en la concentración de nutrientes y clorofila \underline{a} en la laguna de Bahía Magdalena, Baja California Sur, observaron una relación positiva entre la clorofila \underline{a} y los nutrientes, esto es, una mayor disponibilidad de nutrientes aumenta la biomasa fitoplanctónica. En este estudio se encontró que en octubre 2014, febrero 2016 y enero 2020 cuando se registraron máximas concentraciones de Cl \underline{a} , las concentraciones de nutrientes también fueron mayores en comparación con otros años, no obstante, en octubre 2015 y octubre 2018 aunque se presentaron concentraciones altas de nutrientes, los valores de Cl \underline{a} fueron los mínimos registrados. Al respecto, Cervantes *et al.* (2017) observó una relación significativa entre los nutrientes y la temperatura y menciona que las aguas más frías son más densas y con mayor concentración de nutrientes y viceversa, posiblemente las bajas concentraciones de clorofila en octubre 2015 y octubre 2018 sean resultado de este fenómeno, ya que en esos años se registraron concentraciones bajas de nutrientes y un aumento de la temperatura, por lo que se podría suponer que las temperaturas altas limitan la disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton, está hipótesis se ve reforzada por lo observado en febrero 2016, enero 2020 y noviembre 2022 donde se registraron concentraciones altas de nutrientes, bajas temperaturas y altos valores de Cl \underline{a} , aunque es necesario realizar estudios especializados que confirmen esta hipótesis. Damar (2003) menciona que la respuesta del fitoplancton a los diferentes factores no es lineal sino específica del sitio, ya que no sólo depende de la magnitud de las cargas de nutrientes, sino también de otros factores físicos y biológicos locales. Cloern (2001) reveló que además del suministro de nutrientes, existen al menos otros cuatro factores que amplifican o atenúan la respuesta del fitoplancton al enriquecimiento de nutrientes en agua costeras como las características de las mareas, el transporte horizontal, las propiedades ópticas de la luz y la presencia de herbívoros.

Estado trófico

De acuerdo con los valores del índice TRIX la mayoría de los años presentaron un estado oligotrófico, mostrando poca variabilidad entre estaciones y en escala temporal. Los años donde se registraron condiciones mesotróficas fue en octubre 2014, octubre 2015, febrero 2016 y noviembre 2022, principalmente en agua de fondo y en estaciones cercanas a la desembocadura de ríos, donde se observó un incremento en las concentraciones de nitrógeno y ortofosfatos. Cuando una masa de agua oligotrófica se enriquece con estos nutrientes puede deberse a causas antropogénicas, como la descarga de aguas residuales, el uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato), también influyen la deforestación y la erosión en suelos agrícolas en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de la misma, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor (Moreno-Franco *et al.* 2010).

En cuanto a la calidad de agua, relacionada con el índice TRIX se encontró que esta fue buena, semejante con lo reportado por Cortes (2019) en este mismo sistema y con Muciño-Márquez *et al.* (2017) en los sistemas fluviales Pom-Atasta y Palizada del Este en Campeche. En Sontecomapan podría estar relacionado con un menor tiempo de residencia del agua (Soares *et al.*, 2007) el cual puede restringir el desarrollo de biomasa de fitoplancton (Esquivel y Soto, 2028). Referente a esto, López-Portillo *et al.* (2017) mencionan que la calidad del agua está influenciada por la dinámica de apertura/cierre de las ensenadas de lagunas, corrientes de marea y afluencia de agua continental, incluidos arroyos, ríos y escorrentías superficiales y subterráneas, por lo que se puede decir que esta laguna tiene una buena circulación de agua, tanto de origen continental como de agua marina.

Relacionado con lo anterior y de acuerdo con la norma CE-CCA-001/89, se encontró que en la mayoría de los años las concentraciones de nutrientes sobrepasan los límites máximos permisibles, según los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática, como lo reportado por Cervantes-Martínez *et al.* (2015) en la laguna Colombia en Quintana Roo. Esta norma establece sus criterios con base en las concentraciones de nutrientes permitidas en los cuerpos de agua aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, para riego agrícola, acuicultura, o la protección de la vida acuática (SEDUE, 1989). Sin embargo, las concentraciones registradas en este estudio coinciden con lo reportado por De la Lanza y Gutiérrez (2017) quienes encontraron que las concentraciones de amonio presentaron un promedio de 0 – 5 μM , en el 37% de los sistemas costeros. En cuanto a las concentraciones de nitrato reportaron que el 88% de las lagunas costeras presentaron un promedio de 0 a 10 μM . En cuanto a los ortofosfatos Lara *et al.* (2011) y De la Lanza y Gutiérrez (2017) consideran que los valores de ortofosfatos que se encuentran en un intervalo entre 0.01 y los 5.0 $\mu\text{g/l}$, podrían considerarse normales en estos ecosistemas, por lo que podríamos decir que en esta laguna las concentraciones de nutrientes no cumplen con la normativa, pero las concentraciones son similares a lo encontrado en otros sistemas costeros de México, evidenciando que las normas en México tienen que realizar ciertos ajustes para poder determinar con mayor precisión la calidad del agua en este tipo de ecosistemas. Sin embargo, la respuesta de los ecosistemas al enriquecimiento por nutrientes es un proceso continuo más que una condición estática o estado trófico (Cloern, 2001; Smayda, 2005; Glibert & Burkholder, 2006). Por lo que es necesario seguir realizando estudios a largo plazo que permitan entender mejor el cambio del estado

tráfico y su distribución espacio temporal en relación con las concentraciones de nutrientes y la dinámica del sistema Sontecomapan.

Conclusiones

1. Lo somero del sistema mantiene temperaturas sin cambios marcados que favorecen adecuadas concentraciones de oxígeno.
2. Las concentraciones altas de amonio y nitrato podrían estar asociadas a contaminación antropogénica por el uso de fertilizantes.
3. La distribución espacio temporal de los nutrientes está condicionada principalmente por la descarga de agua dulce, y la circulación de agua dentro de la laguna.
4. Es necesario realizar más investigaciones sobre el origen de las concentraciones de nutrientes como amonio y nitrato, para determinar si son de origen natural o antropogénico.
5. La distribución espacio temporal del fitoplancton podrían estar condicionada por la salinidad y la temperatura y la profundidad, siendo la salinidad la que mayor efecto podría tener en la distribución de este.
6. Esta laguna presenta principalmente oligotrofia con bajas concentraciones de nutrientes.
7. La calidad del agua fue buena en el sistema de acuerdo con el índice TRIX, sin embargo, con baja productividad fitoplanctónica.
8. Los valores de nutrientes registrados sobrepasan los límites máximos permitidos, según la norma CE-CCA-001/89 para la protección de la vida acuática y calidad del agua.

Bibliografía

- Aguilar, M., 2015. Variación estacional de parámetros ambientales e hidrológicos de la alguna Chacmochuch, Quintana Roo, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Posgrado en Ciencias del Agua, pp. 141
- Aguirre-León., Díaz-Ruiz, S., y Guillen C.M. 2018. Fish community structure and its relationship with environmental behavior in Sontecomapan Lagoon, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, México, Ecology of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz. First Edition, México, pp. 342
- Aparicio, O. 2009. Contribución de las bacterias fotótrofas rojas no sulfurosas a la producción primaria y caracterización de pigmentos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, Maestría en ciencias agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, pp. 104
- Arjonilla, M., y Blasco, J., 2003. Análisis de nutrientes en aguas estuarinas. Efecto de la salinidad. Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía, España, pp. 7
- Ahumada, S., y Ruiz, G., 2008. Características fisicoquímicas de la laguna Pastoría, Instituto de Recursos, Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, campus Puerto Ángel, Oaxaca, México pp. 16
- Aké-Castillo., Y.B. Okolodkov., Rodríguez-Gómez., y Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012), Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC. UNAM-ICMLY, CINVESTAV-Unidad Mérida, pp. 15
- Aké-Castillo y Vázquez, G., 2008. Phytoplankton variation and its relation to nutrients and allochthonous organic matter in a coastal lagoon on the Gulf of Mexico, Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A. C., Carretera Antigua a Coatepec, Xalapa, Veracruz, México, pp. 10
- Álvarez-Borrego, S., J. R. Lara-Lara., y M.J. Acosta-Ruíz. 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas, pp. 11
- Arjonilla, M. y Blasco, J. 2003. Análisis de nutrientes en aguas estuarinas. Efecto de la salinidad. Ciencias marinas, pp. 29
- Aston, S. R., 1980. Nutrient, dissolved gases, and general biogeochemistry in estuaries. 233-262. In: Olausson, E. y Cato I. (Eds.) Chemistry and biogeochemistry of Estuaries. John Wiley and Sons, Nueva York.
- Benítez-Díaz, M., Castellanos-Páez., Garza-Mouriño., Ferrara-Guerrero., y Pagano, M., 2014. Spatiotemporal variations of zooplankton community in a shallow tropical brackish lagoon (Sontecomapan, Veracruz, México), Zoological studies, México pp. 18
- Calva, B., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in sediments from Sontecomapan Lagoon, Veracruz, México Hidrobiológica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México, pp. 9
- Calva, B., Botello., V., y Ponce, V., 2005. Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan Ver., México, Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Depto. Hidrobiología, México, pp. 11

Carbajal, R., 2009. Diatomeas de la laguna de Sontecomapan, Veracruz y su importancia como indicadores biológicos, División de ciencias biológicas y de la salud, Maestría en ciencias agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, pp. 81

Cervantes-Martínez., Gutiérrez-Aguirre., y Álvarez-Legorreta., 2015. Indicadores de calidad del agua en lagunas insulares costeras con influencia turística: Cozumel e Isla Mujeres, Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo, Cozumel, México, pp. 11

Cervantes, D., Rodríguez, M., y López L., 2017. Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila a y parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México), Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México, pp. 12

CONAPESCA., 2012. Manifestación del impacto ambiental, modalidad particular, para el proyecto: construcción de obra de protección de la barra de Sontecomapan, municipio de Catemaco, Veracruz, pp. 10

Contreras, E., O. Castañeda, L., R. Torres-Alvarado y Gutiérrez, M., 1995. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Depto. de Hidrobiología, México, pp. 9

Contreras, E., y Castañeda, L., 1997. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila a de dos sistemas de lagunares del estado de Chiapas, México. Investigaciones Marinas CICIMAR, pp.73

Contreras-Espinosa., Rivera, Guzmán., y Segura, Aguilar., 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplactónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver) del Golfo de México, Área de Ecosistemas Costeros Departamento de Hidrobiología, División C.B.S., Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, pp. 12

Comín, F.A., Menéndez, M., y Forés, E., 1987. Salinidad y nutrientes en las lagunas costeras del delta del Ebro, Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, pp. 8

Cortes, B., 2019. Variación espacio temporal de la biomasa fitonplanctónica en la laguna de Sontecomapan, Veracruz y su relación con los factores fisicoquímicos del sistema, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 73

Cravo, A., Madureira, M., Rita, F., Silva, A., y Bebbiano M., 2003. Nutrient concentrations in coastal waters: Impact of the Guadiana River. UCTRA, University of Algarve, Ciencias Marinas, Portugal pp. 13

Damar, A. 2003. Effects of enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay (Doctorado). Christian Albrechts Universitat zu Kiel, pp. 249

De la Lanza-Espino, G., 2014. Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012) Versión 1.0 junio 2014. Programa Nacional de Reservas de Agua, pp. 33

De la Lanza-Espino y Gutiérrez-Mendieta., 2017. Intervalos de parámetros no-conservativos en sistemas acuáticos costeros de México, Laboratorio de Hidrobiología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Tercer Circuito exterior, Jardín Botánico S/N, Ciudad Universitaria, CDMX, pp. 22

Dodds, W.K., y Cole, J.J., 2007. Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: it's not just the autotrophs, Division of Biology, Kansas State University, Manhattan, USA, pp. 13

Escobedo, U., 2010. Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias marinas, pp. 298

Esquivel, H., y Soto, C., 2018. A multivariate approach to the spatial and temporal water characterization parameters at the tropical Sontecomapan Lagoon, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, México, Ecology of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz Primera edición, México, pp. 342

Fernández-Cunha, D. G., M. C. Calijuri., y M. Condé-Lamparelli., 2013. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI), Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de Sao Paulo (USP), Brzazil, pp. 9

Ferreira, J.G., W.J. Wolff., T.C. Simas., y S.B. Bricker., 2005. Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology? IMAR-Institute of Marine Research, Centre for Ecological Modelling, Economic Models, pp. 11

Ferrera, G., Morán, V., Aldeco, R., Ángeles, V., Figueroa, T., y Pagano, M., 2018. Bacterial community contribution to nitrogen fixation and nitrous oxides production in the Sontecomapan Lagoon, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, México, Ecology of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz Primera edición, México, pp. 342

Figueroa-Torres., Almanza-Encarnación., Ferrera-Guerrero., y Marca, P., 2018. Phytoplankton of the Sontecomapan Lagoon, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, México, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, México, Ecology of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz Primera edición, México, pp. 342

García, C., y Reguero, M. 1995. Moluscos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. Hidrobiológica, Instituto de ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, pp. 24

González, F., Vásquez, B., Villanueva, F., y Ponce, Vélez., 1994. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México; Hidrobiológica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México, pp. 10

Gómez, F; 2003. Ficha informativa de los humedales de Ramsar. Veracruz: RAMSAR, pp. 8

Gómez, A; Pérez, R; Zaldivar, A; Pérez, L; Cervantes, P; Pérez, J y Escobar, J; 2014. Diagnostico ambiental de los manglares del sitio Ramsar lagunas de Sontecomapan. Catemaco, Veracruz. 1 st ed: Comisión nacional de áreas naturales protegidas, p.11.

Guerra, M., y Lara, V., 1996. "Florecimiento" de *Ceratium furca* (Peridinales: Ceratiaceae) en un ambiente salobre: Laguna de Sontecomapan, México. Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México; pp. 8

Haggard, B. E., P. A. Moore, I. Chaubey y E. H. Stanley., 2003. Nitrogen and phosphorus concentrations and export from an Ozark Plateau Catchment in the United States. Biosystems Engineering, pp. 11

- Hernández-Estrada., Ferrara-Guerrero., Ángeles-Vázquez., Ponce, Mendoza., y Figueroa-Torres., 2013. Evaluación de actividades enzimáticas microbianas en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, Laboratorio de Ecología Microbiana, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, pp. 11
- Herrera-Silveira., 1994. Spatial heterogeneity and season patterns in a tropical coastal lagoon, Centro de investigación y Estudios Avanzados del I.P.N, CORDEMEX, Coastal Education y Research Foundation, Mérida, Yucatán, México pp. 10
- HACH, 2000. Manual de análisis de agua, Loveland, Colorado, EE. UU.; pp. 220
- Herrera-Silveira., 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México, pp. 15
- Jeffrey, S.W. y G.F. Humphrey, 1975. New Spectrometric Equations for Determining Chlorophylls a, b, c1, and c2 in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton, Biochem, Physiol, Pflanzen (BPP), pp. 4
- Lara, A., Contreras, F., Castañeda, O., Barba, E., y Perez, M., 2011. Lagunas costeras y estuarios., <https://www.researchgate.net/publication/234004458>, pp. 17
- Lill, A.W.T., Schallenberg, M., Lal, A., Savage, C., y Closs, G.P., 2013. Isolation and connectivity: relationships between periodic connection to the ocean and environmental variables in intermittently closed estuaries. Department of Zoology, University of Otago, Estuarine, Coastal and Shelf Science, pp. 8
- López-Ortega., Pulido-Flores., Serrano-Solís., Gaytán-Oyarzún., Monks-Sheets., y López-Jiménez., 2012. Evaluación estacional de las variables físicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, Laboratorio de Morfología Animal, Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), México, pp. 7
- López-Portillo., Aké-Castillo., y Lara, A., 2017. Water Quality and Mangrove-Derived Tannins in four coastal Lagoons from the golf of México with Variable Hydrologic Dynamics, Instituto de Ecología A.C. Rede de Ecología Funcional Xalapa, Veracruz, México, pp. 12
- Mecca, C., 2008. Análisis y modelación del comportamiento hidrológico de las lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani Santa Rosa, La Palma, Universidad Nacional de la Pampa, Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas, pp. 146
- Morales-Abril, 1999. Guía para la elaboración de programas de manejo. Natural Conservancy. EUA, pp. 78
- Morán, V., 2007. Influencia de los parámetros físicos y químicos sobre las tasas de fijación de nitrógeno atmosférico y de desnitrificación en la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, pp. 172
- Moreno-Franco., Quintero-Manzano y López-Cuevas., 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia, CBS. Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México, pp. 9

Muciño-Márquez., Figueroa-Torres., y Gárate-Lizárraga., 2011. Especies fitoplanctónicas formadoras de proliferaciones algales nocivas en la boca de la laguna costera de Sontecomapan, Veracruz, México, Laboratorio de Ficología, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, pp. 10

Muciño-Márquez., Arturo Aguirre-León., y Figueroa-Torres. 2017. valuación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México, Posgrado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, pp. 68

Osorio, A., 2009. Contribución de las bacterias fotótrofas rojas no sulfurosas a la producción primaria y caracterización de pigmentos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 103

Oyarzun, C. E., H. Campos y A. Huber., 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso el suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región), Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Revista chilena de historia natural, pp. 13

Paytan, A. y K. McLaughlin., 2007. The oceanic phosphorus cycles. Chemical reviews, Department of Geological y Environmental Sciences, Stanford University, Stanford, California, pp. 14

Qin, H.P., Khu, S.T., y Yu, X.Y., 2010. Spatial variations of storm runoff pollution and their correlation with land-use in a rapidly urbanizing catchment in China, Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Environment and Energy, Pekin University Shenzhen Graduate School, China, pp. 2010

Riley, W. J., I. Ortiz-Monasterio y P. A. Matson., 2001. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. Lawrence Berkley National Laboratory, Berkley, Nutrient Cycling in Agroecosystems, pp. 14

Ringwood, H., y Keppler, J., 2002. Water Quality Variation and Clam Growth: Is Really a Non-issue in Estuaries? Marine Resources Research Institute, South Carolina Department of Natural Resources, 217 Fort Johnson Road, Charleston, South Carolina 29412, pp. 7

Rojas, A., 2010. Aplicación de un modelo de correlación entre las variables temperatura, densidad y oxígeno disuelto para la identificación de termoclina en la estratificación térmica. Reportes Científicos de la FACEN, pp. 14

Ruiz-Marín., Campos-García., Zavala-Loría., y Canedo-López., 2009. Hydrological aspects of the lagoons of atasta and pom, Mexico Tropical and Subtropical Agroecosystems, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 13

Sánchez, R., y Calvario., 2019. Evaluación espacial y estacional del estado trófico en el sistema estuarino Urías, Mazatlán, México, pp. 18

SEDUE. 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua, CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Instituto de Ecología, México. Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre.

SEMARNAT. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-CNA-1996. Que establece los niveles máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 6 de enero.

Soares, M.C.S., Huszar, V.L.M., y Roland, F., 2007. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (Southeast Brazil), Laboratório de Ficologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil, pp. 17

Thothong. W., Huon, S., Janeau. J.L., Boonsaner. A., Rouw, A., Planchon, O., Bardoux, G., y Parkpian, P., 2011. Impact of land use change and rainfall on sediment and carbon accumulation in a water reservoir of North Thailand, Universite Pierre et Marie Curie (UPMC), France, pp.13

Varona-Cordero y Gutiérrez, M. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas, Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Departamento de Hidrobiología, DCBS. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, pp. 18

Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., y Rinaldi, A., 1998. Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, pp. 29

Ward, B. B. 1996. Nitrification and ammonification in aquatic systems. *Life support & biosphere science. International Journal of Earth Space*, 3 (1–2): pp. 29

Ward, B. B. 2007. Nitrogen Cycling in Aquatic Environments. In C. J. Hurst, R. L. Crawford, J. L. Garland, D. A. Lipson, A. L. Mills, L. D. Stetzenbach (eds.). *Manual of Environmental Microbiology* 3a ed. American Society of Microbiology, ASM, pp. 522

Whitfield, A.K., Bate, G.C., Adams, J.B., Cowley, P.D., Froneman, P.W., Gama, P.T., Strydom, N.A., Taljaard, S., Theron, A.K., Turpie, J.K., van Niekerk, L., y Wooldridge, T.H., 2012. A review of the ecology and management of temporarily open/closed estuaries in South Africa, with particular emphasis on river flow and mouth state as primary drivers of these systems. *African Journal of Marine Science*, pp. 18