



Estudio de la diversidad de microalgas y peces en las lagunas La Encantada y Bosque Azul del Parque Nacional Lagunas de Montebello

Silvia Monserrat Morales-Hernández¹, Alfonso Ángel González-Díaz², Arnulfo Rosales-Quintero¹, Víctor Manuel Ruiz-Valdiviezo¹, José Humberto Castañón-González^{1*}

¹Laboratorio 9 del Polo Tecnológico de Investigación. Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.

²Laboratorio de Ictiología. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

Resumen

El impacto de las actividades humanas en el Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) se ha reflejado en el cambio de coloración de algunas lagunas, por lo que el objetivo de la investigación fue evaluar la variación de la diversidad de microalgas y peces, y sus características como bioindicadores de contaminación en dos lagunas de Montebello, en temporada de estiaje y lluvia. En este sentido, se realizó la caracterización fisicoquímica del agua y se evaluó la riqueza y abundancia de peces y microalgas de las lagunas La Encantada y Bosque Azul. La caracterización fisicoquímica permitió determinar que la calidad del agua de ambas lagunas se clasifica como contaminada. Con respecto a la ictiofauna, se identificaron un total de ocho especies, cuatro en La Encantada y siete en Bosque Azul. En cuanto a las microalgas se identificaron un total de siete géneros, seis en La Encantada y siete en Bosque Azul. Especies de peces como *Poecilia sphenops*, *Oreochromis niloticus* y *Chuco intermedium*, así como los géneros en microalgas *Monoraphidium*, *Limnothrix* y *Scenedesmus* pueden ser útiles como bioindicadores de contaminación debido a su presencia, abundancia y tolerancia a ambientes contaminados y a altas concentraciones de metales pesados.

Palabras clave:

Contaminación del agua
Microalgas
Parámetros fisicoquímicos
Peces

Keywords:

Water contamination
Microalgae
Physicochemical parameters
Fish

Study of the diversity of microalgae and fish in “La Encantada” and “Bosque Azul” lakes of the Lagunas de Montebello National Park

Abstract

The impact of human activities in the Lagunas de Montebello National Park (LMNP) has been reflected in the change in color of some lagoons, so the objective of the research was to evaluate the variation in the diversity of microalgae and fish, and their characteristics as bioindicators of pollution in two lagoons in Montebello Park, in the dry and rainy season. Physicochemical characterization of the water was carried out and the richness and abundance of fish and microalgae in the La Encantada and Bosque Azul lagoons was evaluated. The physicochemical characterization allowed us to determine that the water quality of both lagoons is classified as contaminated. Regarding the ichthyofauna, a total of eight species were identified, four in La Encantada and seven in Bosque Azul. Regarding microalgae, a total of seven genera were identified, six in La Encantada and seven in Bosque Azul. Fish species such as *Poecilia sphenops*, *Oreochromis niloticus* and *Chuco intermedium*, as well as the microalgae genera *Monoraphidium*, *Limnothrix* and *Scenedesmus* can be useful as pollution bioindicators due to their presence, abundance, and tolerance to contaminated environments and high concentrations of heavy metals.

* Autor para correspondencia:

Laboratorio 9 del Polo Tecnológico de Investigación. Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carretera Panamericana km 1080. Colonia Juan Crispín. C.P. 29050. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.
Teléfono: + 52 9616150138 ext. 304.
Correo-electrónico: jose.cg@tuxtla.tecnm.mx

1. Introducción

El parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) fue designado como Área Natural Protegida (ANP) y como humedal de importancia internacional por la convención Ramsar. Se caracteriza por la coloración verde y azul de las lagunas siendo un sitio de alto atractivo turístico. Actualmente, las consecuencias de las actividades antropogénicas se hacen notar en los cambios que han sufrido los ecosistemas naturales; como la degradación de los humedales sobrecargados de nutrientes o contaminados por descargas de aguas residuales, parásitos, virus y fertilizantes; provocando la muerte de los organismos (Peña et al., 2018). Tal es el caso de la laguna “La Encantada” perteneciente al PNLM que hace más de seis años presentó un cambio en la coloración de azul a pardo sin poder recuperarse; ocasionando un riesgo para las lagunas cercanas, la biodiversidad de especies, la población circundante y el turismo. Algunas investigaciones se han centrado en la determinación de parámetros fisicoquímicos, el estado trófico de la laguna, la comunidad de bacterias y arqueas en sedimentos y columnas de agua (Pulido, 2020; Diaz et al., 2018; García et al., 2018), y la identificación de microalgas en la laguna Bosque Azul (Olan et al., 2018); sin embargo, la problemática continúa, y es necesario conocer la dinámica de las comunidades biológicas, las cuales denotan las condiciones del ecosistema y en este sentido son llamados bioindicadores. Los bioindicadores son organismos que se utilizan para mostrar ese impacto de positivos o negativos de los cambios naturales del entorno, debido a su resistencia a la variabilidad ecológica (Parmar et al., 2016). Las características para considerar un bioindicador son, alta sensibilidad a factores de estrés ambiental, taxonómicamente bien documentado y de fácil reconocimiento, abundante y

común, alta capacidad de cuantificación, poca movilidad, idóneo para experimentación en laboratorio, con resultados interpretables con facilidad, su respuesta reflejada de la población, comunidad y ecosistema (Li et al., 2010). En ecosistemas acuáticos las microalgas y los peces son organismos detectores, explotadores y acumuladores del medio y resultan útiles como bioindicadores debido a su sensibilidad, ciclo de vida y que pertenecen al nivel uno y tres de la cadena alimenticia.

En la presente investigación se realizó la caracterización fisicoquímica del agua, la identificación de microalgas y peces, la comparación de riquezas y abundancias, así como la determinación de metales pesados de los peces en las lagunas La Encantada y Bosque Azul del PNLM. Asimismo, se propusieron algunas especies útiles como bioindicadores del estado de contaminación o la calidad del agua del sitio.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos temporadas (estiaje y lluvias). Se seleccionaron tres puntos de muestreo P1(16°07'38.7", 91°43'57.9"), P2 (16°07'14.8", 91°43'54") y P3 (16°07'31.5", 91°43'16.6"). La Figura 1 muestra el polígono que delimita el área del PNLM donde también pueden observarse las dos lagunas de estudio y la ubicación de los tres diferentes puntos de muestreo. Las muestras se colectaron en botellas de polietileno estériles sumergidas a una profundidad de 15-30 cm, por triplicado, en los mismos puntos se realizó la colecta de microalgas en botellas estériles color ámbar, por el método de filtración y preservadas a 4 °C en oscuridad para su traslado al “Polo Tecnológico Nacional de Pruebas Analíticas en Biocombustibles” del Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

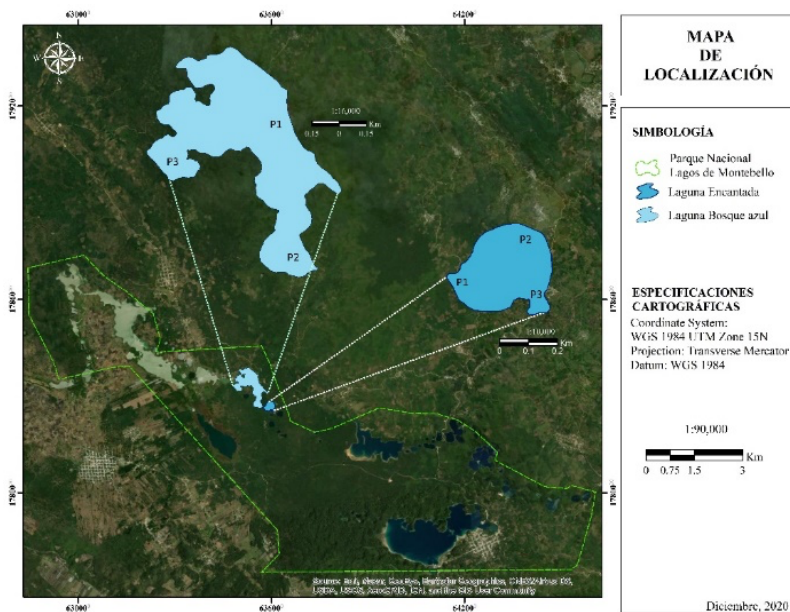


Figura 1. Mapa de ubicación de dos lagunas del PNLM.

2.1. Determinación de parámetros en campo

Se midieron cuatro parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD), evaluados con una sonda multiparamétrica Global Water®.

2.2. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se realizó de acuerdo con el método 8000 de la US-EPA para aguas, empleando un reactor digital Hach® DRB200 y un espectrofotómetro Hach® DR-5000.

2.3. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Se obtuvo de acuerdo con el método respirométrico BOD Trak II mediante la diferencia de concentración de oxígeno disuelto inicial y posterior a cinco días.

2.4. Fosfatos disueltos

Se determinó por espectrofotometría (Murphy y Riley, 1962) con modificaciones. Se prepararon soluciones de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 5N, molibdato de amonio

((NH₄)₆Mo₇O₂₄) 4 g aforados con 100 mL de agua destilada, tartrato de antimonio y potasio (K₂Sb₂C₈H₄O₁₂·3H₂O) 0.137 g aforados a 50 mL de agua destilada y ácido ascórbico (C₆H₈O₆) al 0.1 M. Se realizó una mezcla con 48 mL de H₂SO₄, 14.4 mL de (NH₄)₆Mo₇O₂₄, 28.8 mL de C₆H₈O₆ y 4.8 mL de K₂Sb₂C₈H₄O₁₂·3H₂O. Para la determinación se agregaron 1.6 mL del mix de reactivos en 8.4 mL de muestra, realizando las lecturas a 882 nm en tubos de ensayo.

2.5. Clorofila

Se determinó por el método 10200H de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, donde se filtraron 150 mL de muestra usando una membrana de 47 mm, se refrigeró por 24 h a -20 °C, posteriormente se agregaron 10 mL de solución de extracción (90% acetona, 10% MgCO₃) y se refrigeró a 4 °C por 2 h, transcurrido el tiempo se centrifugaron a 3000 rpm durante 20 min. Se realizaron las lecturas en un espectrofotómetro Hach® DR-5000 a 630, 647, 664 y 750 nm. Los cálculos de las concentraciones en mg L⁻¹ de clorofila se realizarán de acuerdo a la siguiente fórmula que establece el método.

$$Cl a \left(\frac{mg}{m^3} \right) = (Ve) \frac{[(11.85x(A_{664} - A_{750})) - (1.54x(A_{647} - A_{750})) - (0.08x(A_{630} - A_{750}))]}{(V_f \times L)}$$

Donde, A₇₅₀ = densidad óptica del extracto 750 nm, A₆₆₄ = densidad óptica del extracto 664 nm, A₆₄₇ = densidad óptica del extracto 647 nm, A₆₃₀ = densidad óptica del extracto 630 nm, V_e = volumen de acetona (mL) y V_f = volumen de agua filtrada (L).

2.6. Nitratos y nitritos

Nitratos por el método reducción de cadmio HACH 8192 de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* y nitritos por el método diazotización HACH 8507.

2.7. Colecta, identificación y análisis de peces

Se utilizaron atarrayas, trampas, anzuelos y redes para captura de los peces utilizando el equipo *Fishfinder Ff1108-1* para localizar los puntos con mayor abundancia; en colaboración con el laboratorio de ictiología de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad San Cristóbal, Chiapas, México. Con el material capturado se realizó la identificación taxonómica (Miller et al., 2009) y cuantificación reportando la riqueza como el número de especies en el sitio (Miranda, 2006). La abundancia relativa se reportó en términos de porcentajes, donde se consideró el número de individuos capturados por especie en relación con el número total de individuos colectados (Miranda, 2006).

2.8. Aislamiento e Identificación de microalgas

Se inocularon las muestras en medio BG11 (Andersen y Kawachi, 2004). El aislamiento se realizó por el método de diluciones seriadas en tubo Eppendorf (Andersen y Kawachi, 2004) observando en microscopio óptico binocular Zeiss

Primo Star usando los objetivos 40X y 100X y aplicando la técnica de siembra en caja por extensión con perlas de cristal y posteriormente en estría (Andersen y Kawachi, 2004).

Las cepas se mantuvieron a 24 °C con un fotoperiodo 12:12 con lámparas LED de 18 W con una intensidad de 2000 luxes.

Para la identificación morfológica se utilizó un microscopio Nikon ECLIPSE 80i con cámara para la documentación fotográfica en 40X observando la forma, largo, ancho, vainas y presencia de tilacoides.

Análisis de datos

Los datos de parámetros fisicoquímicos se analizaron usando una prueba de Tukey con un nivel de confiabilidad de 95% en el programa *Statgraphics*®. Con las especies identificadas en ambas lagunas y de acuerdo con las características de un bioindicador (Li et al., 2010) se proponen microalgas y peces con potencial bioindicador.

3. Resultados

Los resultados permitieron conocer la calidad del agua de ambas lagunas, el estado trófico y las consecuencias que podría ocasionar a las comunidades biológicas, así como los organismos identificados permitieron conocer el panorama y la relación que existe entre ellas y el medio que habitan, estudio sin antecedentes en el sitio de trabajo.

3.1. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros *in situ* se presentan en el Cuadro 1, donde se observa diferencias significativas en los parámetros de

temperatura y conductividad eléctrica entre lagunas, a pesar de tener un área limítrofe común.

Cuadro 1. Determinación de parámetros fisicoquímicos *in situ*.

Temporada	Lagunas	pH	T (°C)	CE (μS cm ⁻¹)	OD (mg L ⁻¹)
Estiaje	La Encantada	8.21±0.10 ^a	25.47±0.55 ^b	370.80±29.90 ^a	6.88±0.42 ^a
	Bosque Azul	8.15±0.09 ^a	23.27±0.21 ^{ab}	415.40±32.60 ^b	6.67±0.12 ^a
Lluvias	La Encantada	8.60±0.89 ^a	21.27±1.00 ^a	427.25±1.83 ^{bc}	6.50±0.27 ^a
	Bosque Azul	8.36±0.18 ^a	22.63±1.66 ^a	445.00±4.10 ^c	6.74±0.39 ^a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencia significativa a partir del ANOVA y la prueba *a posteriori* de Tukey.

En el Cuadro 2, se presentan los parámetros que se encuentran estrechamente relacionados con la cantidad de materia orgánica presente en las lagunas. Por lo tanto, según la clasificación de la SEMARNAT (2016), el agua de ambas lagunas en las dos temporadas se clasifica como contaminada y de acuerdo con lo establecido por la OMS (2017), el agua no es apta para consumo humano, debido a que puede ocasionar enfermedades gastrointestinales. En la temporada de lluvias las concentraciones fueron menores comparadas con estiaje, debido a las diluciones ocasionadas por la lluvia.

Cuadro 2. Determinación de parámetros fisicoquímicos relacionados con la cantidad de materia orgánica presente en el medio.

Temporada	Lagunas	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)
Estiaje	La Encantada	130.87±12.3 ^b	18.87±1.53 ^b
	Bosque Azul	129.00±4.33 ^b	18.87±1.22 ^b
Lluvias	La Encantada	110.75±5.42 ^a	15.2±1.25 ^{ab}
	Bosque Azul	102.75±3.50 ^a	12.87±1.97 ^a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencia significativa a partir del ANOVA y la prueba *a posteriori* de Tukey.

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros relacionados con nutrientes, los cuales originan la con la productividad primaria de las lagunas. La SEMARNAT (2012) establece una concentración de 0.1 mg L⁻¹, como límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de cuerpos de agua. La OCDE (1970) declara que cuerpos de agua con concentración superior a 0.0844 mg L⁻¹ son considerados eutrofizados. Es decir, ambas lagunas presentan eutrofización.

Cuadro 3. Determinación de parámetros fisicoquímicos relacionados con el estado trófico de las lagunas.

Temporada	Lagunas	Fosfatos (mg L ⁻¹)	Nitratos (mg L ⁻¹)	Nitritos (mg L ⁻¹)	Clorofila-a (μg L ⁻¹)
Estiaje	La Encantada	0.88±0.017 ^a	0.230±0.06 ^{ab}	0.016±0.002 ^{bc}	22.88± 1.88 ^{ab}
	Bosque Azul	0.88±0.016 ^a	0.360±0.15 ^b	0.017±0.002 ^c	54.47±9.35 ^c
Lluvias	La Encantada	1.19±0.140 ^b	0.029±0.01 ^a	0.012±0.002 ^{ab}	33.31±1.55 ^b
	Bosque Azul	1.29±0.100 ^b	0.040±0.01 ^a	0.009±0.001 ^a	22.72±2.34 ^a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencia significativa a partir del ANOVA y la prueba *a posteriori* de Tukey.

3.2. Identificación de peces

En la laguna La Encantada estiaje y lluvias se obtuvo una riqueza de 4 y 3 especies, respectivamente, y en Bosque Azul una riqueza de 7 especies en cada temporada. Las abundancias relativas variaron en cada temporada, *P. sphenops* presentó mayor abundancia en temporada de estiaje con 84.62 y 52.38% en La Encantada y Bosque Azul, respectivamente (Figura 2). Cuatro especies se reportan como nativas de acuerdo a su ubicación dentro de estas: *Chuco intermedium* se encuentra sujeta a protección especial geográfica (Miller et al., 2009) enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, la especies restantes se categorizan como especies introducidas al medio para consumo humano geográfica (Miller et al., 2009).

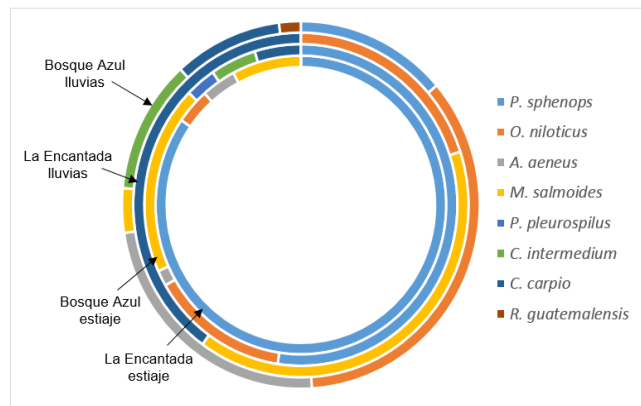


Figura 2. Abundancia de especies de peces, en dos lagunas, en las temporadas de lluvias y estiaje.

3.3. Identificación de microalgas

No se presentaron diferencias en la diversidad de las microalgas identificadas, en La Encantada y Bosque Azul, se obtuvo una riqueza de 5 géneros en temporada de estiaje, mientras para temporada de lluvias La Encantada se obtuvo una riqueza de 6 géneros y Bosque Azul una riqueza de 7 géneros (Figura 3). Las abundancias relativas variaron en cada temporada, presentando mayor abundancia el género *Pectinodesmus*, con 79.6-57.3% en La Encantada y Bosque Azul estiaje, respectivamente, en temporada de lluvia presentó una abundancia de 89.4-80.5% en La Encantada y Bosque Azul, respectivamente. *Limnothrix* continuó con mayor abundancia en estiaje con 14.4-34.7% en La Encantada y Bosque Azul, respectivamente y en lluvias 3.9 - 5.9% en La Encantada y Bosque Azul, respectivamente.

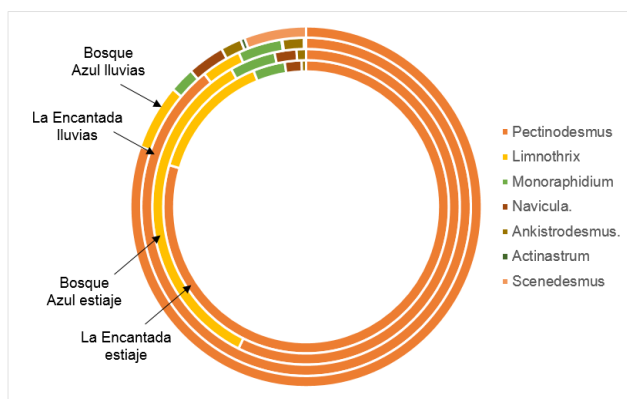


Figura 3. Abundancia relativa de géneros de microalgas identificadas en el PNLM.

4. Discusión

Los parámetros obtenidos en campo se encuentran dentro de los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo, en cuanto a la DQO ambas lagunas presentan concentraciones superiores a 40 mg L⁻¹, La Encantada presentó concentraciones de 130.87 y 110.75 mg L⁻¹ y Bosque Azul de 129 y 102.75 mg L⁻¹ en temporada de estiaje y lluvias, respectivamente. Dichas concentraciones son superiores a lo reportado por Díaz et al. (2018) donde el promedio en La Encantada fue 48.3±27.57 y 82.36±4.64 mg L⁻¹ en temporada de estiaje y lluvias, respectivamente y en Bosque Azul Olán et al. (2018) reportaron concentraciones de 1-30 mg L⁻¹ en temporada de estiaje, muy inferior a lo que se reporta en este estudio. Se observa un aumento considerable de la DQO y DBO en las lagunas conforme el paso de los años, de acuerdo con los reportes y resultados actuales. Tales concentraciones permiten categorizar la calidad del agua de ambas lagunas como contaminadas (SEMARNAT, 2016) por las concentraciones de DQO que oscilan entre 40-200 mg L⁻¹. En cuanto a la DBO se categoriza como aceptable porque oscila en el rango 6-30 mg L⁻¹. Estas condiciones se deben principalmente a la presencia de descargas de aguas residuales crudas (CONAGUA, 2014), lo que podría ocasionar malas condiciones para la vida

acuática, especialmente para organismos mayores como los peces.

La concentración de clorofila se usa como indicadora de la cantidad de biomasa del fitoplancton (Aubriot y Bonilla, 2013) lo cual permite conocer un medio y los procesos de eutrofización. En cuanto a las concentraciones de clorofila, en La Encantada fueron de 22.8 y 33.3 mg L⁻¹ y en Bosque Azul de 54.4 y 22.7 mg L⁻¹ en temporada de estiaje y lluvias, respectivamente. Se reportan concentraciones promedio de clorofila en temporada de estiaje de lagos impactados dentro de los cuales clasifica a la Encantada y Bosque Azul de 31.9±27.6 µg L⁻¹ (Rivera et al., 2019). En 2020 se reportaron concentraciones de clorofila en la Encantada entre 22.8 y 29.86 µg L (Aubriot y Bonilla, 2013). Las concentraciones de clorofila-a según el índice OCDE pueden clasificar a un lago como oligotrófico (1-2.5 µg L⁻¹), mesotrófico (2.5-7.9 µg L⁻¹), eutrófico (8-25 µg L⁻¹) e hipertrófico (>25 µg L⁻¹). De acuerdo con esta clasificación, ambas lagunas presentan un estado hipertrófico. Esto repercute en la salud de las lagunas reflejado un cambio en la coloración del agua, y el enriquecimiento de nutrientes reflejado en las concentraciones de nitratos y fosfatos, favoreciendo la proliferación de organismos productores, que inicialmente pueden oxigenar el agua, pero a medida que los nutrientes escasean, las algas mueren y su descomposición viene acompañada de la disminución del oxígeno, que lleva a la eliminación casi completa de la fauna normal (Lemley y Adams, 2019). La Encantada presentó concentraciones de 0.88 y 1.19 mg L⁻¹ y Bosque Azul de 0.88 y 1.29 mg L⁻¹ en temporada de estiaje y lluvias, respectivamente. En 2019 se reportaron concentraciones de fosfatos disueltos en la Encantada en un rango de 0.004-0.23 mg L (Rivera et al., 2019). Observando el incremento de nutrientes en el transcurso de un año y a pesar de que, por la pandemia ocasionada por COVID-19, el área tuvo una baja afluencia turística.

Estas características en las lagunas podrían estar ocasionando pérdida de especies icticas y proliferación de microalgas principalmente en La Encantada donde se observan menor riqueza de peces; sin embargo, en cuanto a microalgas en la riqueza no hay variación. Los peces tienen características específicas, especialmente las especies introducidas que podrían causar interacciones perjudiciales con especies nativas o en el funcionamiento del ecosistema pudiendo afectar a la biodiversidad a través de la depredación, competencia, hibridación, uso de hábitat, reproducción, crianza y transmisión de enfermedades. Los impactos se reflejan sobre la fauna nativa, especialmente si adquieren el carácter de invasoras, debido a que proliferan a costa de las autóctonas (Gozlan et al., 2010) como es el caso de *O. niloticus* y *M. salmoides* que presentan altas abundancias principalmente en Bosque Azul. Muchas de estas especies no nativas, invasoras, son hábiles colonizadoras que toman ventaja de la limitada competencia, y suelen ser resistentes a la degradación de los hábitats (Elvira, 2005), por tal motivo una especie introducida puede resultar útil como

bioindicadora. No obstante, las especies nativas debido a las afectaciones que podrían tener en su hábitat y disminución o aumento de abundancias también podrían presentar información relevante.

Por otro lado, las microalgas son de los principales detectores de contaminación debido a su vida corta y sensibilidad a los cambios en el ambiente (Yassin y Mahmoud, 2016); éstas, al formar parte del primer eslabón de la cadena trófica pueden repercutir en gran manera en los organismos mayores que se alimentan de ellas como algunos peces omnívoros; así como en el medio, debido a que microalgas pertenecientes a la clase Bacillariophyceae producen toxinas que pueden llegar a ser nocivas para los peces (Sandoval et al., 2017) y algunas otras del género *Navicula* y *Ankistrodesmus* se han identificado en ambientes contaminados (Yassin y Mahmoud, 2016) o cuerpos de agua dulces con cargas altas de materia orgánica (Vélez et al., 2016) siendo altamente tolerantes a estos sitios. Durante el periodo de estudios se identificaron cuatro distintos géneros de fitoplancton que muestran una diversidad taxonómica. Chlorophyta fue el filo predominante durante el periodo de estudio.

La relación entre el enriquecimiento de nutrientes y la riqueza de fitoplancton ha demostrado muy a menudo ser proporcional (Fanuko, 1984). No obstante, el ingreso de contaminantes en un medio puede ocasionar la reducción tanto de riqueza, como de abundancia del fitoplancton. La clase Bacillariophyceae, comúnmente llamadas diatomeas, son comunes y abundantes tanto en zonas enriquecidas orgánicamente como zonas no enriquecidas (Nather, 1990), de acuerdo a los resultados de los parámetros como DQO, DBO y nutrientes, podría ser el caso de su presencia en zonas enriquecidas.

Se identificaron microalgas que por su riqueza fueron relacionadas con la eutrofización y contaminación del agua dentro de las cuales se encuentran los filos Euglenófitos, Chlorophytas y Diatomeas (Serrano et al., 2014). De los géneros identificados, se reportan *Pectinodesmus* y *Limnothrix* en Bosque Azul, Montebello, Chiapas (Olan et al., 2018), sin embargo, no hay reporte de estos géneros en La Encantada. De estas especies, se menciona *Pectinodesmus*, la cual se caracteriza por su abundancia en ambientes eutróficos (Olan et al., 2018), tal es el caso de ambas lagunas, por lo tanto, es importante prestar atención en estos sitios con la presencia de este.

5. Conclusión

Ambas lagunas estudiadas presentan un estado de contaminación debido a las altas concentraciones de DQO y DBO. El estado trófico de las dos lagunas aumentó considerablemente a lo largo de los años evidenciando el impacto en la Bosque Azul que en años anteriores, no se clasificó como contaminada. Es de suma importancia la atención oportuna a las lagunas estudiadas ya que ambas están contaminadas, lo que podría reflejar afectación en los organismos evidenciado en la disminución de las abundancias en especies nativas. La diversidad de peces fue

mayor en Bosque Azul, sin embargo, ambas lagunas presentaron la misma diversidad de microalgas. Por lo tanto, especies como *P. sphenops*, *O. niloticus*, *Pectinodesmus* y de la clase Bacillariophyceae pueden ser útiles como bioindicadores de contaminación debido a su presencia en ambas lagunas, mayores abundancias, de fácil identificación, taxonomía conocida e idóneos para experimentación. Es necesaria la evaluación de estas por si solas en bioensayos para conocer su comportamiento.

Es necesaria implementar parte de educación ambiental en la zona y atención a la problemática de la contaminación antes de que pueda llegar a afectar a otras lagunas; así como realizar estudios similares en otras temporadas y en los próximos años, para mayor cantidad de información y una toma oportuna de decisiones por los gobiernos locales, estatales y nacionales para la conservación del PNLM.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONHACYT) por la beca otorgada, para estudios de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica de Silvia Monserrat Morales Hernández y al Tecnológico Nacional de México, por el financiamiento para el proyecto de investigación con clave 10175.21-P.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Andersen RA, Kawachi M. 2004. Traditional microalgae isolation techniques. En Andersen RA. (compilador). Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press. EUA, Pp. 83-100.
- Aubriot L, Bonilla S. 2013. Protocolo para la extracción y el análisis de clorofila-a por espectrofotometría. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República de Uruguay. Uruguay.
- CONAGUA. 2014. El medio ambiente en México, agua y calidad. Recuperado de www.apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_ua/6_2_1.html. Fecha de consulta 18 de junio de 2020.
- Díaz CC, Castañón GJ, Villalobos MJ, Ruíz VV, Baez SR, Gómez JA, Trejo VR. 2018. Quantification of pesticides and heavy metals in sediments of the “Enchanted” lake of the national park ponds of Montebello, Chiapas, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34: Proceedings: 6th International Symposium on Sediment Management 99-104.
- Elvira B. 2005. Peces invasores: una amenaza a escala mundial para la biodiversidad. *Trofeo Pesca* 136: 104-105.
- Fanuko N. 1984. The influence of experimental sewage pollution on lagoon phytoplankton. *Marine Pollution Bulletin* 5: 195-198.
- García RJ, Castañón GJ, Gutiérrez MF, Peña OB, Trejo VR, Ruíz VV. 2018. Assessment of methods for extraction of

- metagenomic DNA from sediments of lakes of the National Park "Lagunas de Montebello", Chiapas, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34: Proceedings: 6th International Symposium on Sediment Management 91-98.
- Gozlan RE, Britton JR, Cowx I, Copp GH. 2010. Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology* 76: 751-786.
- Lemley DA, Adams JB. 2019. Eutrophication. En: Fath B. (ed.). *Encyclopedia of Ecology*. 2a edición. Pp. 86-90.
- Li L, Zheng B, Liu L. 2010. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences* 2: 1510-1524.
- Miller RR, Minckley WL, Norris SM, Schmitter SJ. 2009. Peces dulceacuícolas de México. CONABIO, Sociedad Ictiológica Mexicana, ECOSUR, Consejo de Peces del Desierto.
- Miranda CG. 2006. Distribución altitudinal, abundancia relativa y densidad de peces en el Río Huarinilla y sus tributarios (Cotapata, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 41(1): 79-93.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Nather KISA. 1990. Assessment of water pollution using diatom community structure and species distribution: a case study in a tropical river basin. *Hydrobiology* 75(3): 317-338.
- Olan JK, Rosales QA, Novelo E, Álvarez GP, Castañón GJ, Enciso SS. 2018. Microalgas del lago Bosque Azul, primer reporte de *Limnithrix planctonica* en Montebello, Chiapas, México. *Agroproductividad* 12(11): 27-31.
- Parmar TK, Rawtani D, Agrawal YK. 2016. Bioindicators: The natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science* 2(9): 110-118.
- Peña SJ, Cantera KJ, Muñoz E. 2018. Evaluación de la contaminación en sistemas acuáticos. Ed. Universidad del Valle. 312 p.
- Pulido M. 2020. Simulación del Estado Trófico en la Laguna la Encantada del Parque Nacional Lagunas de Montebello, con Modelos Matemáticos. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. México.
- Rivera HE, Vargas SM, Alcocer J, Oseguera PL. 2019. Impacto antrópico en la biomasa fitoplanctónica de lagos kársticos, Chiapas, México. En: Paz F, Velázquez A, Rojo M. (eds). 2019. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2019. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, Universidad Autónoma de Nayarit, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Nayarit y Stanford University México Economía Limpia 2050-USAID. Texcoco, Estado de México, México. Pp. 318-324.
- Sandoval HC, Paredes HE, Mejía M, Aguilera A, Uribe C. 2017. Floraciones algales nocivas y su impacto en peces. *Microalga* 2017: 12-15.
- SEMARNAT. 2016. Indicadores de calidad. Gerencia de calidad del agua. Fecha de consulta 18 de junio de 2020.
- Serrano JY, Núñez DW, Najjar AP, Mondragón JM, Pereira DT. 2014. Microalgas: indicadores ambientales de calidad de agua del humedal Torca. Resumen de congreso. Fundación Universitaria del Área Andina. Colombia.
- Vélez A, Lozano S, Cáceres T. 2016. Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la cuenca baja del río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada* 15(2): 69-79.
- Yassin H, Mahmoud S. 2016. Phytoplankton abundance and structure as indicator of water quality in the drainage system of the Burullus Lagoon, southern Mediterranean coast, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment* 188: 530.