AGUA Y CONOCIMIENTO

Año 2026 | Vol.7 | 42 - 62
ISSN 2411 0027
revistas.unan.edu.ni/index.php/RevAgua

Dinámica Estacional del Fitoplancton y su Relación con los Factores Fisicoquímicos para la Determinación del Estado Trófico del Lago Cratérico Tiscapa

Seasonal Dynamics of Phytoplankton and its Relationship with Physicochemical Factors for the Determination of the Trophic State of Tiscapa Crater Lake

Blanca Azucena Chévez Duarte[1], Oscar Bermúdez Collado[2].

1. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua / Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (UNAN-Managua/CIRA)
2. Amigos de la Tierra.

RESUMEN

Se realizó la caracterización de las comunidades fitoplanctónica del Lago Tiscapa (Nicaragua) en un periodo de estudio de seis meses, durante la estación lluviosa (2006) y seca (2007), con el objetivo de conocer su composición, abundancia y la relación con los factores físicos y químicos en el Lago Tiscapa. De acuerdo con los resultados obtenidos, la comunidad del fitoplancton del Lago Tiscapa registró un total de 24 taxa durante el período de estudio, con la representación de cuatro divisiones algales: Cyanophyta (9 taxa), Chlorophyta (11 taxa), Bacillariophyta (1 taxon) y Euglenophyta (3 taxa). La abundancia del fitoplancton fue alta (73 939 170 $Indl^{-1}$) y biomasa peso – húmedo (21,168 mgl^{-1}), dominando principalmente el grupo de las Cyanophyta. Los factores fisicoquímicos presentes en el Lago Tiscapa destacan fracciones inorgánicas fácilmente asimilables como el ortofosfato 0,043 mg l^{-1} y amonio 2,9 mg l^{-}; baja transparencia del agua (0,42 m), temperatura de la columna de agua que oscila entre 26°C - 31°C (estación lluviosa) y 27°C 30.5 °C (estación seca). En cuanto al comportamiento vertical del oxígeno disuelto en la columna de agua, se registraron valores de 8mg/l^{-1} en los primeros tres metros en ambas estaciones del año, acentuándose en la estación seca. De acuerdo con las concentraciones de Fósforo total, el Lago Tiscapa se sitúa en categoría eutrófica (65% - 72%).

Palabras clave: Fitoplancton, Estado Trófico, Cyanophyta, Biomasa peso-húmedo, Lago cratérico Tropical.

ABSTRACT

The phytoplankton community of Lake Tiscapa (Nicaragua) was characterized over a six-month study period during the rainy season (2006) and the dry season (2007), with the aim of determining its composition, abundance, and relationship with the physical and chemical factors of the lake. According to the results obtained, the phytoplankton community of Lake Tiscapa comprised a total of 24 taxa during the study period, represented by four algal divisions: Cyanophyta (9 taxa), Chlorophyta (11 taxa), Bacillariophyta (1 taxon), and Euglenophyta (3 taxa). Phytoplankton

Recibido: 22/09/2025 | Aceptado: 30/05/2026| Publicado: 05/06/2026

© 2026 por UNAN-Managua/CIRA licencia bajo CC BY-NC 4.0

abundance was high (73,939,170 ind L^{-1}), as was wet-weight biomass (21.168 mg L^{-1}), with Cyanophyta as the dominant group. The physicochemical characteristics of Lake Tiscapa indicate the presence of readily assimilable inorganic fractions such as orthophosphate (0.043 mg L^{-1}) and ammonium (2.9 mg L^{-1}); low water transparency (0.42 m); and water column temperatures ranging from 26–31°C during the rainy season and 27–30.5°C during the dry season. Regarding the vertical distribution of dissolved oxygen, concentrations of 8 mg L^{-1} were recorded within the first three meters in both seasons, with higher values observed during the dry season. Based on total phosphorus concentrations, Lake Tiscapa is classified as eutrophic (65%–72%).

Keywords: Phytoplankton, Trophic State, Cyanophyta, Wet-weight Biomass, Tropical crater lake.

INTRODUCCIÓN

Los lagos cratéricos de Nicaragua constituyen ecosistemas de alto valor paisajístico, recreativo y ecológico, además de representar reservorios estratégicos de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Entre ellos, el Lago Tiscapa destaca por su localización en el centro urbano de Managua, condición que lo diferencia de otros sistemas lacustres del país y lo expone de manera directa y permanente a una intensa presión antrópica. La expansión urbana desordenada, el vertido de aguas residuales domésticas e industriales y el arrastre de sedimentos y contaminantes a través de los cauces pluviales han incrementado progresivamente la carga de nutrientes y materia orgánica que ingresa al lago.

La canalización de escorrentías provenientes de la cuenca facilita el transporte de compuestos nitrogenados y fosforados, así como de otros contaminantes asociados a actividades agrícolas y urbanas, generando alteraciones en la composición fisicoquímica del agua. Estos cambios favorecen procesos de eutrofización y modifican la estructura de las comunidades biológicas, promoviendo la proliferación de organismos tolerantes a la contaminación y reduciendo la diversidad de especies sensibles. La eutrofización, entendida como el enriquecimiento excesivo de nutrientes en un cuerpo de agua, se asocia con incrementos en la biomasa fitoplanctónica, disminución de la transparencia, alteraciones en la concentración de oxígeno disuelto y deterioro general de la calidad del agua.

Los antecedentes científicos del Lago Tiscapa evidencian que los problemas relacionados con la proliferación algal y el deterioro de la calidad del agua no son recientes (Rostrán, 1973). Estudios posteriores documentaron cambios en la composición del fitoplancton y otros componentes bióticos del lago (Mangas et al., 1991; Mora, 2005). Asimismo, Wetzel (1981) y Reynolds (2006) señalan que el crecimiento urbano y el incremento de aportes contaminantes en lagos tropicales favorecen procesos de eutrofización, dominancia de Cyanophyta y simplificación ecológica, lo que resalta la necesidad de evaluaciones actualizadas sobre los cambios ambientales ocurridos en el Lago Tiscapa.

El fitoplancton, conformado por organismos microscópicos fotosintéticos como cianobacterias, diatomeas y otros grupos algales, constituye un componente clave en la dinámica de los ecosistemas acuáticos. Además de su papel en la producción primaria y en el ciclo del carbono, su composición y abundancia funcionan como indicadores sensibles de la calidad del agua y del estado trófico. En sistemas sometidos a alta presión de nutrientes, las comunidades fitoplanctónicas suelen experimentar simplificación estructural y dominancia de

cianobacterias, muchas de ellas potencialmente tóxicas.

En este contexto, el Lago Tiscapa representa un caso emblemático de lago urbano tropical sometido a procesos intensivos de eutrofización asociados a la contaminación de su cuenca. La ausencia de información sistemática y actualizada sobre la dinámica estacional del fitoplancton y su relación con los factores fisicoquímicos limita la comprensión integral del deterioro ecológico del sistema y dificulta la toma de decisiones para su manejo y recuperación.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la dinámica estacional de las comunidades fitoplanctónicas del Lago Tiscapa, a partir de parámetros estructurales como la riqueza de especies, la abundancia numérica y la biomasa peso húmedo, así como evaluar los factores fisicoquímicos que influyen en su comportamiento. Asimismo, se pretende evaluar los cambios históricos en la composición y riqueza de la comunidad fitoplanctónica durante el período 1973–2007.

Además, se estimó el estado trófico del lago con base en la concentración de fósforo total durante dos períodos contrastantes: la estación lluviosa (julio, septiembre y octubre de 2006) y la estación seca (enero, febrero y abril de 2007). De esta manera, se busca aportar evidencia científica que permita dimensionar el impacto de la contaminación urbana y comprender el grado de eutrofización que afecta actualmente a este importante ecosistema lacustre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Lago Tiscapa, se localiza dentro del casco urbano de la ciudad de Managua, NICARAGUA, en las coordenadas geográfica 12°08′22″N 86°16′14″O. Cuenta con una extensión de 24.5 hectáreas, ubicada en la parte norte de la Microcuenca “D”, Subcuenca II, de la Cuenca Sur del Lago Xolotlán. Es un lago cratérico con profundidad máxima de 42 metros (Ver Figura 1). En este se efectuaron 6 muestreos en la matriz agua, durante la estación lluviosa (julio, septiembre, octubre 2006) y seca (enero, febrero, abril 2007). Las muestras se recolectaron en la zona pelágica del Lago o Centro, a diferentes profundidades (0m, 15m y 30m). El propósito muestrear el sitio Centro, fue buscar una zona que refleje mejor las condiciones generales del ecosistema ya que esta, se encuentra menos influenciada de las interacciones directas de la costa.

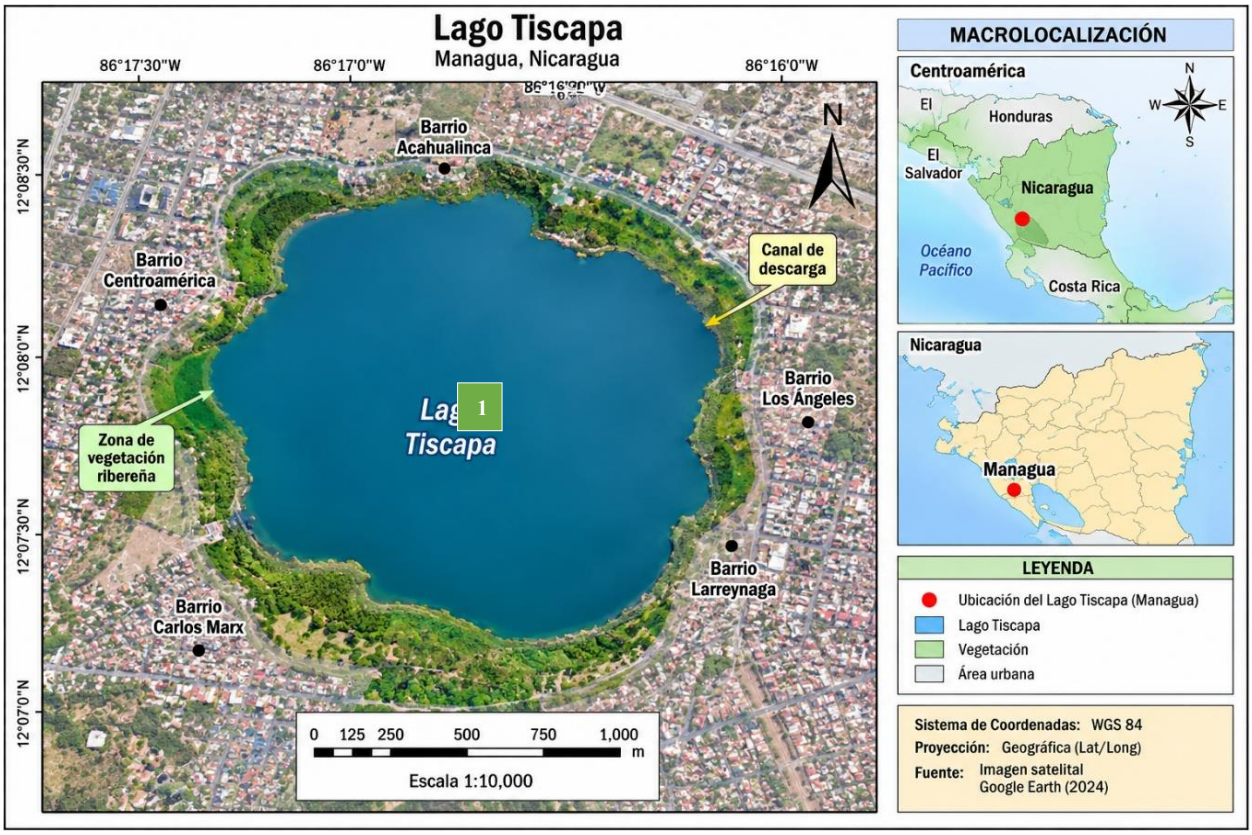

Figura 1. Mapa de localización de los puntos de muestreos en el Lago Tiscapa: punto Centro (1). Fuente: Elaboración propia mediante imágenes satelitales y asistencia de inteligencia artificial (IA), 2026.

Fitoplancton (análisis de muestras y preservación)

Para el estudio algal se realizaron dos estrategias de recolección. Para el análisis cualitativo se recolectaron las muestras mediante arrastres verticales en la columna de agua a través de una red de 25µ de luz de malla. Las muestras obtenidas fueron transferidos a frascos de polietileno de 250 ml y almacenadas en un termo con hielo, hasta su arribo al Laboratorio de Hidrobiología del CIRA UNAN. Para el análisis cuantitativo, se recolectaron muestras integrarles a 10, 20 y 30m de profundidad con una botella hidrográfica tipo Van Dorn (2,5 litros). Las muestras fueron trasvasadas en recipientes plásticos de 250ml y preservadas con solución Lugol (3 gotas/100ml de muestra), finalmente almacenadas en un termo con hielo, hasta su procesamiento en el Laboratorio.

La identificación taxonómica de las células algales se realizó a través de un microscopio compuesto Leitz Labovert (25x, 40x y 100x) apoyándose con claves dicotómicas especializadas (Huber-Pestalozzi (1961); Pascher, A. (1925); Patrick R. & Ch. Reimer (1966); Carter, J. R. (1981); Utermöehl, H. (1958).

La determinación de la abundancia algal se llevó a cabo a partir del conteo en las células en cámaras de sedimentación según el método de Utermöhl (1968) y la biomasa peso húmedo se estimó utilizando el volumen promedio de cada especie calculada a partir de fórmulas geométricas, usando un microscopio invertido Olympus (100x).

Determinación de los factores físico – químico

Las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos (temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, pH, fosforo total, ortofosfato, nitrato y amonio) A, B, C, D, E se recolectaron en el Centro de la Laguna, utilizando una botella hidrográfica tipo Van Dorn (2,5 l.) a tres profundidades (0m, 15m y 30m). Después de su colecta, estas muestras fueron transferidas a recipientes de polietileno (1000 ml, 500 ml y 250 ml), debidamente etiquetados y almacenados en un termo con hielo, hasta su arribo a los Laboratorios de Aguas Naturales, UNAN-Managua/CIRA, donde se analizaron siguiendo los procedimientos establecidos en el **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (25.ª edición, 2025). Los parámetros in situ: pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura, se midieron también en la zona Pelágica, empleando una sonda multiparamétrica marca YSI (Xylem Brand).

Análisis de la información

La información generada fue procesada en una base de datos sistematizadas en Microsoft Office 2007. Se realizó un análisis estadístico descriptivo para determinar frecuencias y porcentajes, permitiendo identificar tendencias temporales. Los resultados se consolidaron en tablas resumen y representados en graficas de barras para facilitar la visualización y comparación de variables fisicoquímicas y biológica.

Evaluación histórica de la comunidad fitoplanctónica

Con el propósito de evaluar los cambios temporales en la composición y riqueza fitoplanctónica del Lago Tiscapa, se realizó una revisión y comparación histórica de información limnológica correspondiente a diferentes períodos de estudio entre 1973 y 2007. Para ello, se utilizaron datos secundarios provenientes de investigaciones previas desarrolladas en el lago, específicamente los trabajos de Rostrán (1973), Mangas et al. (1991), Mora (2005) y Chévez & Bermúdez (2006–2007).

La evaluación se enfocó en el análisis comparativo de la riqueza taxonómica del fitoplancton, considerando el número total de taxa algales registrados en cada período de estudio. Los organismos fueron agrupados según las principales divisiones fitoplanctónicas reportadas en la literatura consultada (Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, Chrysophyta, entre otras). Para homogenizar la información histórica, se revisó la nomenclatura taxonómica reportada en cada estudio y se realizaron equivalencias cuando fue necesario.

Los datos correspondientes a 1973 y 1989–1991 fueron obtenidos de estudios limnológicos históricos realizados en el Lago Tiscapa, mientras que los registros de 2005 y 2006–2007 provinieron de investigaciones enfocadas en el estado trófico y dinámica fitoplanctónica del sistema. Posteriormente, se comparó la riqueza total de taxa entre períodos con el fin de identificar tendencias temporales en la estructura de la comunidad fitoplanctónica y posibles cambios asociados al proceso de eutrofización y deterioro ambiental del lago.

Determinación del estado Trófico

La clasificación del estado trófico del sistema se realizó mediante la metodología propuesta para lagos tropicales por Salas (2001), basada en la concentración de fósforo total (PT). Los intervalos de utilizaos de referencia que indican el nivel trófico fueron Oligotrófico (< 10 µg/l); Mesotrófico (10 – 20 µg/l); Eutrófico (20 – 50 µg/l) e Hipereutrófico (> 50 µg/l).

RESULTADOS

Fitoplancton

Estructura comunitaria

Un total de 24 taxa fueron identificados en el Lago de Tiscapa (Tabla 1) durante el período de estudio (estación lluviosa: julio, septiembre, octubre 2006 y seca: enero, febrero, abril 2007), con la representación de cuatro divisiones algales: Cyanophyta Chlorophyta, Bacillariophyta y Euglenophyta.

Se reporta la frecuencia de aparición de los géneros y/o taxa registrados para cada uno de los muestreos en las dos estaciones del año. Cinco taxa estuvieron siempre presente: cuatro perteneciente a las Cyanophyta (*Cylindrospermopsis raciborskii*, *Lyngbya* sp, *Merismopedia tenuissima* y *Oscillatoria* sp) y un taxón a las Chlorophyta (*Dictyosphaerium pulchellum*). Otros se registraron únicamente para la estación lluviosa (*Anabaenopsis circularis*, *Oocystis lacustris*, *Tetrastrum peterfii*, *Nitzschia* sp, *Phacus pyrum* y *Trachelomonas volvocina*) y seca (*Anabaena circularis*, *Microcystis pseudofilamentosa*, *Coelastrum microporum* y *Kirchneriella* sp).

Tabla 1. Lista taxonómica de géneros y/o especies del fitoplancton identificados en el Lago Tiscapa (estación lluviosa 2006 y estación seca 2007)

Clasificación taxonómica	Estación lluviosa 2006			Estación seca 2007		
	Jul.	Sep.	Oct.	Ene.	Feb.	Abr.
Cyanophyta						
Anabaenopsis circularis	*	*	*	–	–	–
Anabaena circularis	–	–	–	*	*	–
Cylindrospermopsis raciborskii	*	*	*	*	*	*
Chroococcus sp.	*	*	*	*	–	–
Lyngbya sp.	*	*	*	*	*	*
Merismopedia tenuissima	*	*	*	*	*	*
Microcystis pseudofilamentosa	–	–	–	–	–	*
Microcystis aeruginosa	*	*	*	–	*	*
Oscillatoria sp.	*	*	*	*	*	*
Chlorophyta						
Actinastrum hantzschii	–	*	*	–	*	–
Chlamydomonas sp.	*	*	*	–	–	*
Chlorella sp.	*	*	*	–	*	*
Coelastrum microporum	–	–	–	–	–	*
Dictyosphaerium pulchellum	*	*	*	*	*	*
Kichneriella sp.	–	–	–	–	–	*
Oocystis lacustris	*	–	*	–	–	–

Clasificación taxonómica	Estación lluviosa 2006			Estación seca 2007		
	Jul.	Sep.	Oct.	Ene.	Feb.	Abr.
Oocystis sp.	*	*	*	–	–	*
Scenedesmus acuminatus	*	*	*	–	–	*
Scenedesmus ovalternus	*	–	*	*	*	–
Tetrastrum peterfii	–	*	–	–	–	–
Bacillariophyta						
Nitzschia sp.	*	*	–	–	–	–
Euglenophyta						
Euglena sp.	*	*	*	–	–	*
Phacus pyrum	*	–	–	–	–	–
Trachelomonas volvocina	*	*	–	–	–	–

En la Figura 2 se ilustra el aporte de los principales grupos algales a la riqueza total. En general, las Chlorophyta (45%) y Cyanophyta (38%) fueron los grupos más diversos (11 y 9 taxa respectivamente), seguido de las Euglenophyta (3 taxas). Los resultados sugieren que Cyanophyta y Chlorophyta presentan un amplio rango de tolerancia a cambios ambientales. asociados con el establecimiento de la estación lluviosa y seca (aporte de nutrientes, cambios hidrográficos: estratificación y mezcla de la columna de agua), así como las particularidades propias de este grupo.

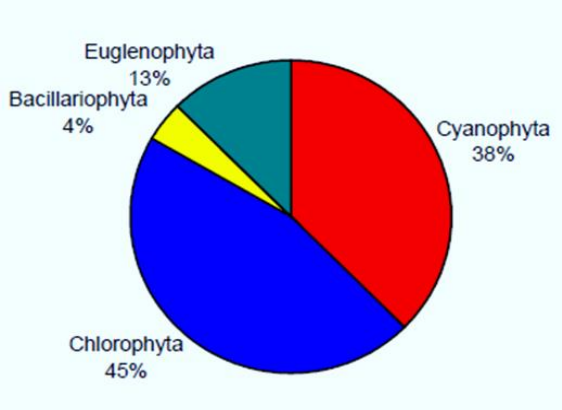

Figura 2. Contribución porcentual de los principales grupos algales a la riqueza de especies en el punto centro del Lago Tiscapa. (2006-2007).

La Figura 3 muestra la contribución relativa de los principales grupos algales a la riqueza de especies en el punto central del Lago de Tiscapa durante el período 2006–2007. En la estación seca, la riqueza disminuye marcadamente en enero, con una recuperación parcial en febrero. En términos de composición, Cyanophyta y Chlorophyta fueron los grupos que más contribuyeron a la riqueza total en todos los meses evaluados. Cyanophyta mantuvo un número relativamente constante de taxa a lo largo del año, mientras que Chlorophyta presentó variaciones más marcadas, con mayor representación durante la estación lluviosa. Bacillariophyta se registró únicamente durante la estación lluviosa y con baja contribución, en tanto Euglenophyta, estuvo presente principalmente en julio, septiembre y octubre, desapareciendo en enero y febrero.

Abundancia numérica (Ind l^{-1})

En las Figuras 4a y 4b se ilustra el comportamiento de la abundancia numérica total del fitoplancton del Lago de Tiscapa en los diferentes meses y estaciones del año, así como el aporte de los grupos algales a la misma.

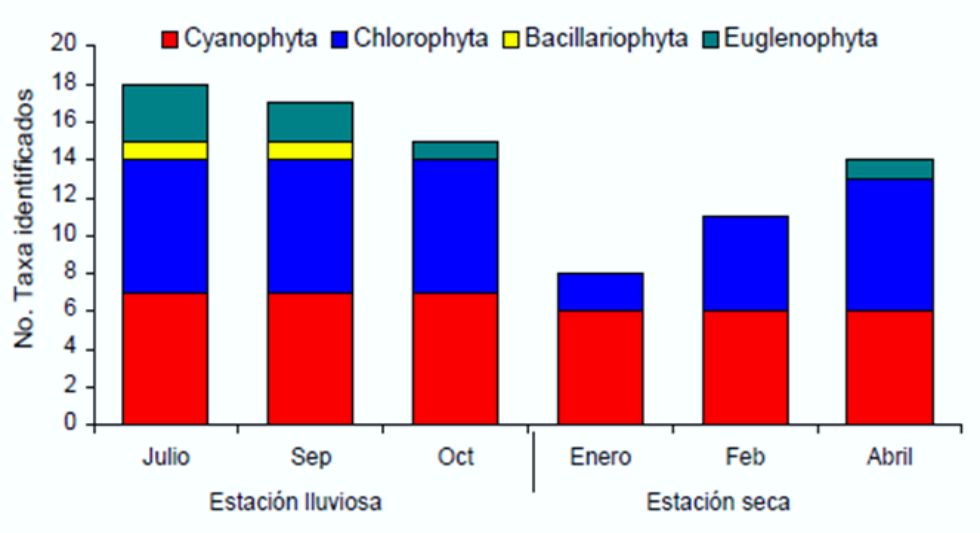

Figura 3. Contribución de los grupos algales a la riqueza de especies en los diferentes meses y estación en el punto centro del Lago Tiscapa (2006-2007).

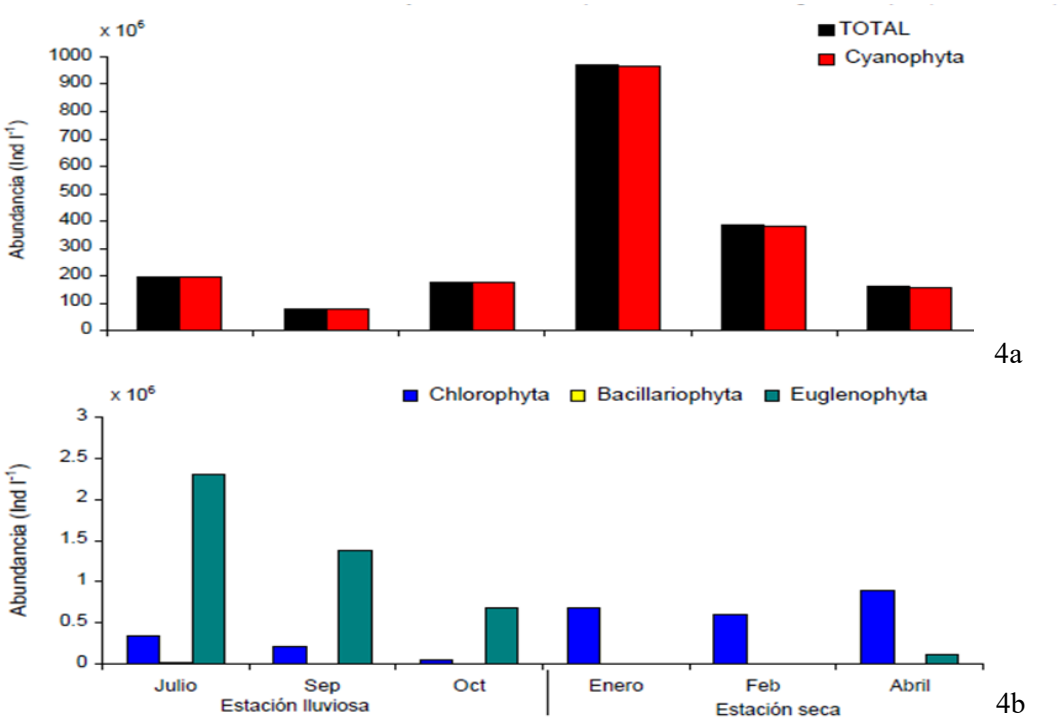

Figura 4a y 4b. Comportamiento y aporte de los grupos algales a la abundancia total del fitoplancton en los diferentes meses y estación en el punto centro del Lago Tiscapa (2006-2007).

Los resultados de abundancia de las Cyanophyta se grafican paralelo a la abundancia total y por separado de los demás grupos por registrar valores muy cercanos al total y muy altos con respecto a los otros grupos restantes (Chlorophyta, Bacillariophyta y Euglenophyta). Este grupo aporta 99% a la abundancia numérica total.

La menor y mayor abundancia total del fitoplancton (Tabla 2) se registró para el mes de septiembre (79 515 140 Ind l^{-1}) y enero (971 116 723 Ind l^{-1}) respectivamente. La concentración promedio por estación del año, reporta una menor abundancia para la estación lluviosa de 149 974 432 Ind l^{-1} ±62 024 068 Ind l^{-1} con respecto a la estación seca (444 939 119 Ind l^{-1} ± 320 497 428 Ind l^{-1}).

Tabla 2. contribución relativa de las principales especies a la abundancia total en el lago de Tiscapa.

Meses	**Abundancia Total (Ind l^{-1})**	**Sp Dominante (%)**
Jul.	196 321 684	*Merismopedia tenuissima:* 61%
Sept.	79 515 140	*Cylindrospermopsis raciborskii:* 30%
Oct.	174 086 472	*Merismopedia tenuissima:* 45%
En.	971 116 723	*Merismopedia tenuissima:* 97%
Feb.	385 161 397	*Merismopedia tenuissima:* 93%
Abr.	158 539 236	*Merismopedia tenuissima:* 59%

Biomasa peso – húmedo (mg l^{-1})

El aporte de los grandes grupos algales a la biomasa peso húmedo total son graficados de igual manera que los datos de abundancia del fitoplancton del Lago de Tiscapa, por registrar un grupo (Cyanophyta) con valores cercanos al total y muy altos con respecto a los otros grupos restantes (Chlorophyta, Bacillariophyta y Euglenophyta). Figuras 5a) y 5b).

En la Tabla 3 se presentan los aportes relativos de las taxa dominantes y que contribuyen mayormente a la biomasa total. Cabe destacar que los dos taxa (Oscillatoria y Cylindrospermopsis) reportados pertenecen a las Cyanophyta y que su elevado aporte a la biomasa obedece a su volumen celular (1 301,3μ^3 y 287,5μ^3 respectivamente) y a su abundancia en el Lago de Tiscapa.

Tabla 3. contribución relativa de las principales especies a la biomasa total en el lago de Tiscapa.

Meses	Biomasa total peso húmedo (mg l^{-1})	Sp Dominante (%)
Jul.	37, 179	Oscillatoria sp: 80%
Sept.	24,399	*Oscillatoria* sp: 67%
Oct.	27,701	*Oscillatoria* sp: 51%
En	11,796	*Oscillatoria* sp: 72%
Feb.	8,239	*Oscillatoria* sp: 79%
Abr.	17,705	*Cylindrospermopsis raciborskii:* 72%

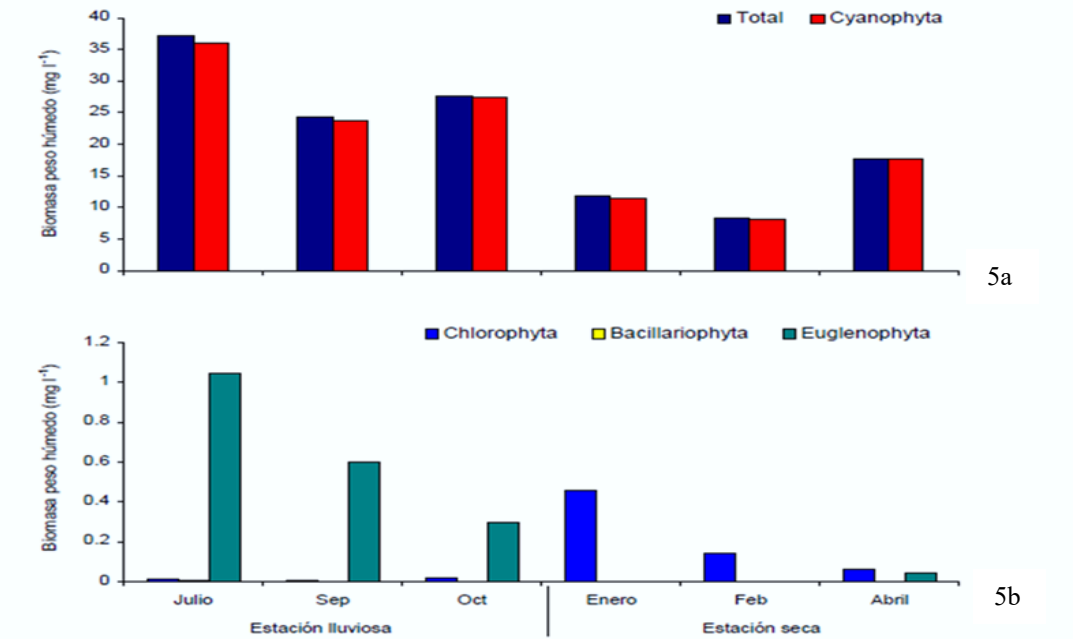

Figura 5a y 5b. Comportamiento y aporte de los grupos algales a la biomasa total del fitoplancton en los diferentes meses y estación en el punto centro del Lago Tiscapa (2006-2007).

Valores fisicoquímicos del agua

La dominancia del grupo de las Cyanophyta en el Lago de Tiscapa, está fuertemente asociado a la transparencia del agua (r = -0.83); con valores de transparencia de entre 25cm - 70cm (Figura 6). Se muestra la variación estacional de la biomasa de Cyanophyta y la transparencia del agua en el punto central del Lago de Tiscapa (2006–2007). Los resultados evidencian un patrón inverso claramente definido entre ambas variables (r = -0.83), indicando una fuerte correlación negativa.

La Figura 7 muestra la variación estacional de las concentraciones de ortofosfato (PO_4^{3-}) y amonio (NH_4^+) en el punto centro del Lago de Tiscapa durante el período 2006–2007, comparando la estación lluviosa (julio–octubre) con la estación seca (enero–abril).

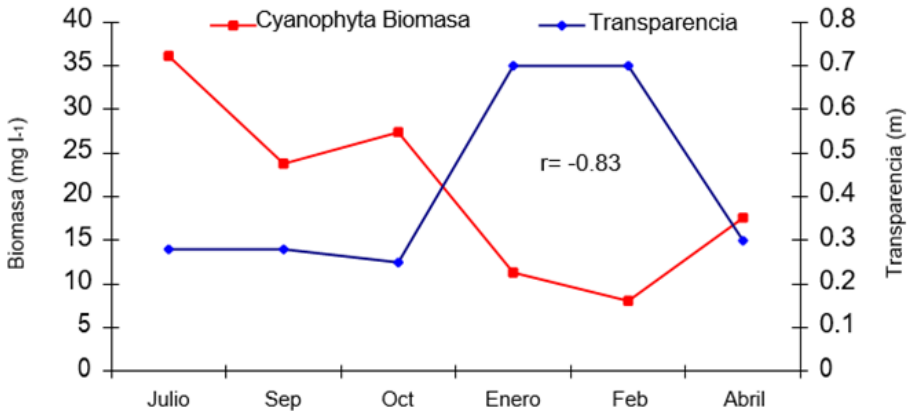

Figura 6. Comportamiento de la biomasa de Cyanophyta y transparencia del agua en diferentes meses y estaciones del año en el punto centro del Lago Tiscapa (2006-2007).

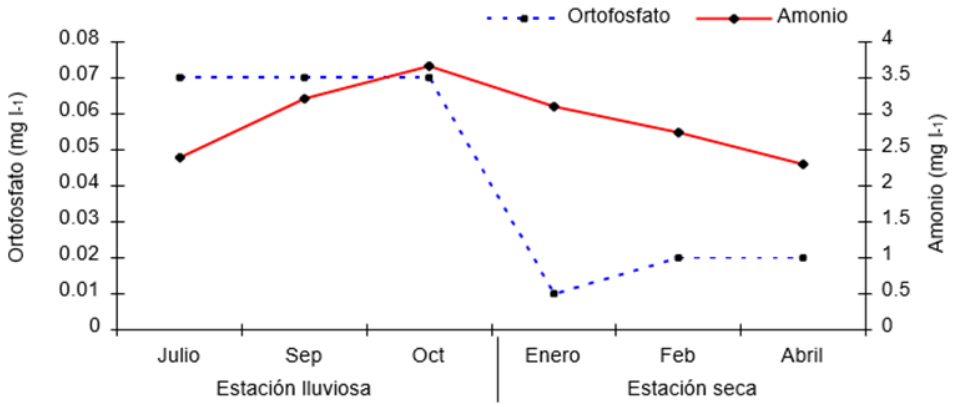

Figura 7. Concentraciones de ortofosfato y amonio en las dos estaciones del año en el punto centro del Lago Tiscapa (2006-2007).

Durante la estación lluviosa (julio y octubre) las concentraciones de ortofosfato se mantienen relativamente estables, alrededor de 0.069–0.070 mg L^{-1}. En contraste, el amonio muestra una tendencia creciente en este mismo período, pasando aproximadamente de 2.4 mg l^{-1} en julio a un máximo cercano a 3.6 mg l^{-1} en octubre.

En la estación seca, se observa una disminución marcada del ortofosfato en enero (~0.01 mg l^{-1}), seguida de una leve recuperación en febrero y abril (~0.02 mg l^{-1}), aunque sin alcanzar los valores registrados en la estación lluviosa. El amonio, por su parte, disminuye progresivamente desde enero (~3.0 mg l^{-1}) hasta abril (~2.3 mg l^{-1}).

Esta situación coincide con la estratificación de la columna de agua principalmente durante la estación lluviosa (Figura 8) al establecerse dos capas con densidades diferentes, restringiendo la mezcla y permitiendo la presencia únicamente a organismos con capacidad de flotación positiva (vacuolas de gas y mucílago).

El gráfico (Figura 8) muestra perfiles verticales de temperatura (°C) hasta 30 m de profundidad durante meses representativos de la estación lluviosa 2006 (julio, septiembre, octubre) y la estación seca 2007 (enero, febrero, abril).

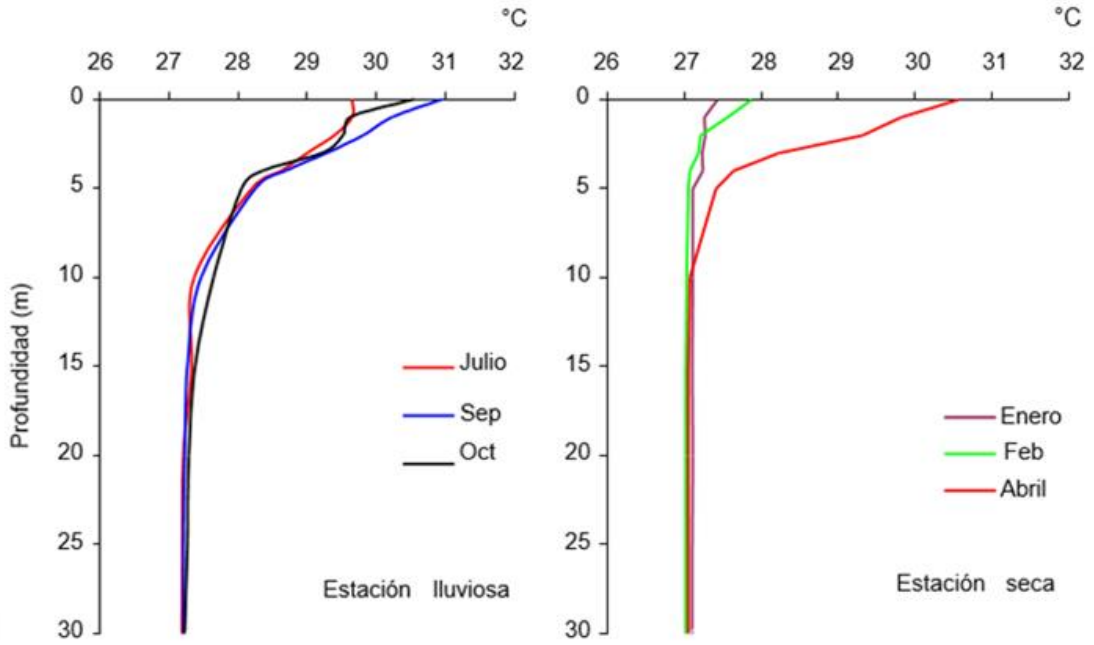

Figura 8. Comportamiento vertical de la temperatura en los diferentes meses y estación del año del Lago Tiscapa (2006-2007).

En la estación lluviosa, los perfiles térmicos evidencian una marcada estratificación vertical. Las temperaturas superficiales oscilaron entre 30 y 31 °C. Se identificó una termoclina bien definida entre aproximadamente 3 y 8 m de profundidad, donde la temperatura disminuyó abruptamente desde valores cercanos a 30 °C hasta aproximadamente 28 °C. Por debajo de los 15 m, la columna de agua presentó una tendencia a la homogeneidad térmica, con valores cercanos a 27–28 °C hasta el fondo (30 m).

En la estación seca, los perfiles térmicos también reflejan una estratificación persistente. En enero y febrero, las temperaturas superficiales fueron menores (27–28 °C), mientras que en abril se registró un incremento notable hasta valores cercanos a 31 °C. La termoclina se observó más superficial y pronunciada en abril, indicando mayor gradiente térmico vertical. En profundidades mayores a 10 m, la que ha temperatura se mantuvo relativamente constante (~27 °C), evidenciando estabilidad en la zona profunda de la columna de agua.

El comportamiento vertical del oxígeno disuelto (OD) en el Lago Tiscapa (Figura 9) mostró una marcada estratificación en ambas estaciones del año (lluviosa y seca), con concentraciones elevadas en superficie y una disminución abrupta con la profundidad.

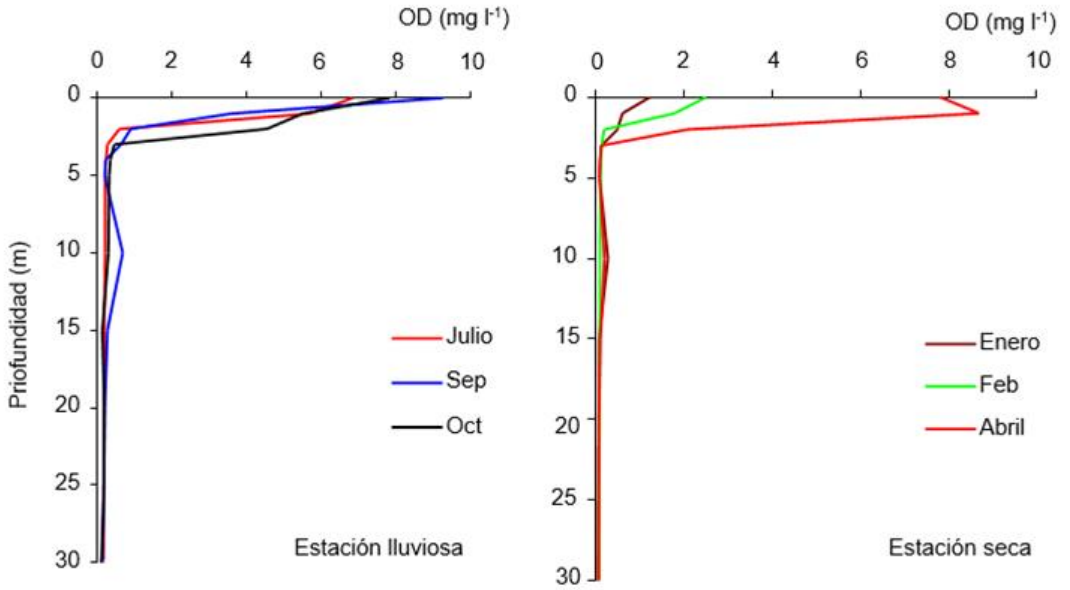

Figura 9. Comportamiento vertical del oxígeno disuelto en los diferentes meses y estación del año del Lago Tiscapa (2006-2007).

Durante la estación lluviosa (julio, septiembre y octubre), las concentraciones superficiales oscilaron entre aproximadamente 8 y 10 mg L^{-1}. En la estación seca (enero, febrero y abril) se registró un comportamiento similar, con estratificación vertical pronunciada. Las concentraciones de oxígeno se ubicaron entre 2 y 4 m de profundidad. Por debajo de 5–7 m se establecieron condiciones hipóxicas a anóxicas persistentes hasta el fondo. En la En la Figura 10 se ilustra los cambios cualitativos experimentado la comunidad fitoplanctónica en el tiempo. La riqueza total de taxa algales en el Lago de Tiscapa mostró una tendencia decreciente a lo largo del período evaluado (1973–2007). En 1973 se registraron aproximadamente 60 taxa, disminuyendo ligeramente a 55 taxa en 1989–1991, situación que se fundamenta con los datos de Rostrán (1973), Mangas et al, (1991) y Mora (2005). Posteriormente, la riqueza se redujo de manera marcada a 32 taxa en 2005 y a 24 taxa en 2006–2007.

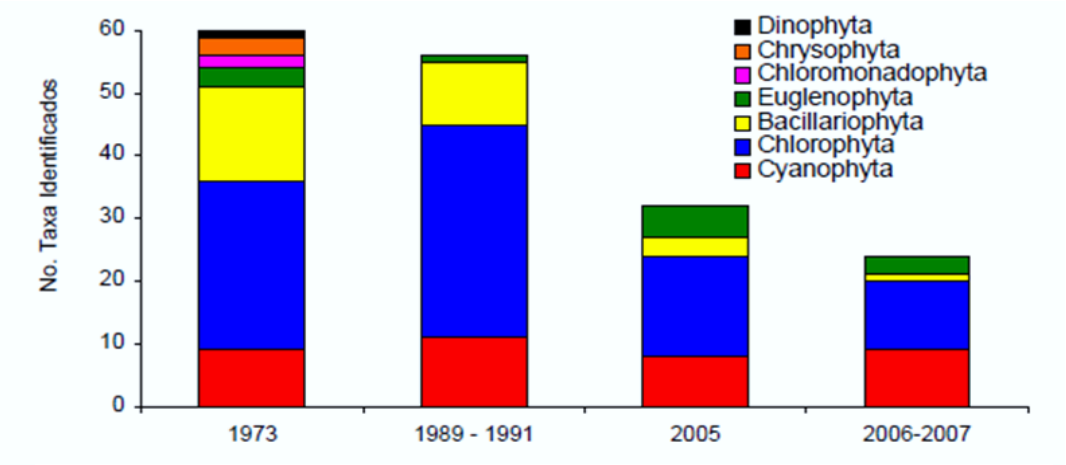

Figura 10. Contribución de los principales grupos algales a la riqueza de especies del Lago Tiscapa en diferentes años.

Las Cyanophyta mantuvieron una riqueza relativamente constante en términos absolutos a lo largo del tiempo; no obstante, su contribución relativa aumentó en los años recientes debido a la disminución de otros grupos algales. Por su parte, Euglenophyta mostraron una presencia baja en 1973 y 1989–1991, incrementándose en 2005 y disminuyendo ligeramente en 2006–2007.

Los grupos Dinophyta, Chrysophyta y Chloromonadophyta, presentes en 1973, redujeron notablemente su representación en los periodos posteriores, hasta prácticamente desaparecer en los muestreos más recientes.

En conjunto, los resultados evidencian una simplificación progresiva de la comunidad algal, caracterizada por la reducción en la riqueza total y la pérdida de grupos taxonómicos menos representativos.

Estado Trófico

Los valores porcentuales obtenidos en los períodos evaluados sitúan al Lago Tiscapa en categorías que oscilan entre mesotrófica, eutrófica e hipereutrófico, de acuerdo con los criterios de clasificación trófica propuestos por Salas (2001), basados principalmente en la concentración de fósforo total como indicador del estado trófico en lagos tropicales (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de probabilidades (%) de nivel trófico en el Lago de Tiscapa (2006-2007).

	Estado Trófico			
Meses	**Oligotrófico (%)**	**Mesotrófico (%)**	**Eutrófico (%)**	**Hipereutrófico (%)**
Jul-2006	0	7	65	28
Sep-2006	0	12	70	18
Oct-2006	0	12	70	18
Ene-2007	0	12	70	18
Feb-2007	0	10	68	22
Abr-2007	0	18	72	10

DISCUSIÓN

El reporte periódico de cuatro taxa de Cyanophyta durante todo el período de estudio en el Lago de Tiscapa, supone un problema de salud pública principalmente cuando se registran organismos productores de metabolitos secundarios con un alto potencial de toxicidad, como es *Cylindrospermopsis raciborskii.* La presencia de este microorganismo de forma filamentosa, fijadora de nitrógeno molecular, representa un peligro para la salud humana, ya que su toxina (cylindrospermopsina), produce una variedad de problemas desde gastroenteritis hasta enfermedades en el hígado.

Es evidente la dominancia absoluta de las Cyanophyta durante todo el período de estudio (99%), alcanzando su máxima abundancia en enero 2007. Las especies que contribuyeron a esta alta abundancia fueron: *Merismopedia tenuissima* y *Cylindrospermopsis raciborskii* (Tabla 3). La primera especie se caracteriza por ser de pequeño tamaño celular (aproximadamente 1µ), exhibe una agrupación colonial con disposición en tabletas y sus células contienen vacuolas de gas que se encuentran recubiertas con una película mucilaginosa. Estas dos últimas consideraciones les permite mantenerse dentro de la zona iluminada (zona fótica), condición necesaria para realizar el proceso fotosintético y de esta manera poder crecer y multiplicarse. Según Reynolds (2006), las cianobacterias poseen vacuolas gaseosas que les permiten regular su flotabilidad y mantenerse en la zona fótica, favoreciendo así su eficiencia fotosintética y competitividad ecológica

La segunda especie, *Cylindrospermopsis raciborskii,* sobresale únicamente para el mes de septiembre con un aporte de 30% a la abundancia total. Este valor podría considerarse bajo si se compara con los aportes de *Merismopedia.* Sin embargo, es necesario aclarar que los datos de *Cylindrospermopsis* corresponden a conteos de filamentos, no así de células individuales debido a la escasa diferenciación de estas.

Las Cyanophyta y Chlorophyta estuvieron presentes durante todo el período de estudio, los demás grupos tuvieron una presencia esporádica y casual.

Las Cyanophyta reportan valores de biomasa altos durante la estación lluviosa y experimentan leves descensos en el período seco. Sin embargo, aportan significativamente a la biomasa total (98%) y registra un comportamiento altamente variable en el tiempo.

La biomasa total del fitoplancton expresado como peso húmedo (mg l^{-1}) registró su mínimo valor en la estación seca (febrero: 8,239 mg l^{-1}) y su máximo en la estación lluviosa (julio: 37,149 mg l^{-1}), lo cual podría estar asociado al arrastre e ingreso de nutrientes hacia el sistema procedente de su cuenca de drenaje.

La ocurrencia y aporte altamente significativo de las Cyanophyta a la abundancia numérica (99%) y biomasa peso húmedo (98%) del Lago de Tiscapa, puede ser la respuesta a un amplio rango de condiciones ambientales que este grupo fácilmente puede explotar. Cronberg (2006) señala la existencia de al menos ocho hipótesis:

1. Baja intensidad lumínica subacuática.
2. Nitrógeno inorgánico en Cyanophyta no fijadora de nitrógenos son tomada por NH_4 - N.
3. Elevada temperatura del agua.
4. Escaso consumo del zooplancton herbívoro.
5. Capacidad de flotación (vacuola de gas).

6. Requerimiento de elemento traza.
7. Estrategia de almacenamiento (P).
8. Baja relación (NT: PT), que justifican su abundancia y algunas de ellas parecen explicar la situación del Lago de Tiscapa.

Es notorio que durante la estación seca se registran los valores más bajos de riqueza, principalmente en los meses de enero y febrero, la cual obedeció principalmente a la disminución de taxa perteneciente a las Chlorophyta y Bacillariophyta. Caso contrario ocurre con las Cyanophyta que mantienen casi inalterable su aporte en los diferentes meses y estaciones del año.

González (2004) considera que la dominancia de las Cyanophyta en los cuerpos de agua, además de tener efectos profundos sobre la comunidad planctónica, está frecuentemente asociada con condiciones indeseables en la calidad del agua, ya que el exceso de fitoplancton genera problemas estéticos y disminuye el valor recreativo del ecosistema acuático. Este comportamiento ha sido reportado en numerosos lagos tropicales eutróficos, donde las floraciones de cianobacterias están relacionadas con elevadas concentraciones de nutrientes y estabilidad de la columna de agua (Wetzel, 1981; Reynolds, 2006).

El florecimiento de Cyanophyta en el Lago Tiscapa y la dominancia de una o dos taxa parecen estar asociados a las altas temperaturas propias del trópico (>25 °C), condiciones de calma, reducida turbulencia y estabilidad térmica del lago, factores que favorecen el desarrollo de cianobacterias flotantes. Reynolds (2006) señala que las cianobacterias poseen ventajas adaptativas, como vacuolas gaseosas y tolerancia a elevadas temperaturas, que les permiten dominar en ecosistemas lénticos estratificados. De manera similar, Padisák (1997) y Burford et al. (2016) indican que especies como Cylindrospermopsis raciborskii proliferan exitosamente en ambientes tropicales y subtropicales con altas temperaturas y abundancia de nutrientes.

Resultados semejantes fueron observados por Mora (2006) en el mismo Lago Tiscapa, quien reportó condiciones de eutrofización asociadas a elevadas concentraciones de fitoplancton y baja transparencia del agua. Asimismo, Harper (1992) sostiene que los procesos de eutrofización en lagos tropicales suelen intensificarse durante períodos lluviosos debido al incremento de aportes externos de nutrientes provenientes de la escorrentía superficial.

La fuerte correlación negativa entre biomasa de Cyanophyta y transparencia (Figura 6) confirma que la proliferación de cianobacterias constituye un factor determinante en la disminución de la claridad del agua. Este patrón coincide con lo descrito por Esteves (1988), quien menciona que en ambientes eutróficos el aumento de biomasa fitoplanctónica reduce significativamente la penetración lumínica y altera la dinámica ecológica del sistema. Del mismo modo, Wetzel (1981) establece que la transparencia, medida mediante disco Secchi, disminuye conforme aumenta la densidad del fitoplancton, especialmente durante floraciones algales intensas.

En contraste, lagos oligotróficos o con mayor mezcla vertical presentan menor dominancia de Cyanophyta y una comunidad fitoplanctónica más diversa, debido a limitaciones nutricionales y menor estabilidad térmica (Margalef, 1983). Esto sugiere que las características morfométricas y el enriquecimiento nutricional del Lago Tiscapa favorecen condiciones típicas de sistemas eutróficos tropicales.

En la estación seca, la disminución de la biomasa fitoplanctónica y el aumento de la transparencia sugieren una reducción de la productividad primaria, probablemente asociada a menores aportes externos de

nutrientes y a procesos internos como sedimentación y limitación nutricional (Wetzel, 1981; Esteves, 1988). Resultados similares fueron reportados por Mora (2006) en el Lago Tiscapa y por González (2004) en un embalse tropical eutrófico, donde las variaciones estacionales del fitoplancton estuvieron relacionadas con la dinámica hidrológica y el ingreso de nutrientes. En contraste, algunos lagos tropicales eutróficos mantienen alta biomasa durante la estación seca debido al reciclaje interno de nutrientes desde los sedimentos (Margalef, 1983).

Las Cyanophyta son también favorecidas por climas lumínicos subacuáticos bajos y su dominancia en el Lago de Tiscapa está fuertemente asociado a la transparencia del agua, la cual obedece a la alta biomasa que se acumula en los primeros tres centímetros de la columna de agua (Figura 6).

Las concentraciones de ortofosfato y amonio podrían explicar el comportamiento de la biomasa fitoplanctónica observada, ya que estas formas de nutrientes son fácilmente asimilables por las algas. Wetzel (1981) y Reynolds (2006) señalan que el amonio favorece el crecimiento de Cyanophyta no fijadoras de N_2, como Oscillatoria sp., especialmente en ambientes eutróficos. Asimismo, González (2004) reportó que altas concentraciones de nutrientes inorgánicos estuvieron asociadas con elevada biomasa de cianobacterias en un embalse tropical hipereutrófico.

La concentración de ortofosfato (promedio: 43 $\mu g\ l^{-1}$) registrada sugiere que el fósforo no limita el crecimiento fitoplanctónico, condición típica de sistemas eutróficos (Wetzel, 1981). Asimismo, la elevada concentración de amonio (promedio: 2 900 $\mu g\ l^{-1}$) indica intensa descomposición de materia orgánica y mayor disponibilidad de nitrógeno para las algas (Esteves, 1988). Resultados similares fueron reportados por González (2004) en un embalse hipereutrófico de Venezuela y por Mora (2006) en el Lago Tiscapa, donde las altas concentraciones de nutrientes favorecieron la proliferación de Cyanophyta. En contraste, lagos oligotróficos presentan bajas concentraciones de nutrientes y menor biomasa fitoplanctónica (Margalef, 1983; Reynolds, 2006).

Esta situación coincide con la estratificación de la columna de agua, principalmente durante la estación lluviosa (Figura 8), al establecerse dos capas con densidades diferentes que restringen la mezcla y favorecen la permanencia de organismos con capacidad de flotación positiva mediante vacuolas de gas y mucílago (por ejemplo: *Merismopedia tenuissima, Cylindrospermopsis raciborskii, Oscillatoria sp., M. pseudofilamentosa y M. aeruginosa*). La permanencia de un gradiente térmico vertical sugiere un sistema con alta estabilidad de la columna de agua, favorecida por la intensa radiación solar y la limitada variación estacional de temperatura en regiones tropicales (Reynolds, 2006; Wetzel, 1981).

La persistencia de la estratificación térmica limita la mezcla vertical de la columna de agua, reduciendo el transporte de oxígeno hacia las capas profundas y favoreciendo condiciones hipóxicas o anóxicas (Wetzel, 1981). Además, restringe el reciclaje de nutrientes hacia la zona eufótica, afectando la productividad primaria y favoreciendo organismos adaptados a sistemas estables y de baja mezcla vertical (Esteves, 1988; Reynolds, 2006; Margalef, 1983).

El comportamiento vertical del oxígeno disuelto (Figura 9) está fuertemente influenciado por la alta biomasa fitoplanctónica presente en el Lago Tiscapa. El cambio brusco en la concentración de oxígeno a partir del primer y segundo metro de profundidad sugiere que la mayor actividad fotosintética ocurre en ese estrato,

donde existe mayor disponibilidad lumínica y concentración de organismos fotosintéticos (Wetzel, 1981; Esteves, 1988). Reynolds (2006) señala que en lagos eutróficos la elevada biomasa de Cyanophyta puede modificar significativamente los perfiles verticales de oxígeno debido a intensas tasas de fotosíntesis en la superficie y elevada respiración en capas profundas.

Asimismo, Dodds (2002) refiere que las Cyanophyta poseen pigmentos accesorios, como las ficobilinas, que les permiten aprovechar eficientemente la luz verde además de la roja y azul, transfiriendo esa energía a la clorofila-a para la fotosíntesis. Esta capacidad representa una ventaja competitiva frente a otros grupos fitoplanctónicos en ambientes donde las longitudes de onda roja y azul han sido absorbidas por otros organismos fotosintéticos (Margalef, 1983). Según Reynolds (2006), esta adaptación favorece la dominancia de cianobacterias en sistemas eutróficos, estratificados y con alta turbidez.

Los resultados evidencian que el Lago Tiscapa mantiene una estratificación vertical estable durante todo el año, característica común de lagos tropicales cálidos con limitada mezcla vertical. La presencia de una capa superficial bien oxigenada y profundidades anóxicas indica una dinámica controlada principalmente por la estabilidad térmica de la columna de agua, condición descrita por Wetzel (1981) y Reynolds (2006) para sistemas tropicales oligomícticos y eutróficos.

En Nicaragua, Avilés y Peña (2000) documentaron un comportamiento similar en la laguna de Asososca, donde la estratificación persistente durante gran parte del año favoreció ambientes estables, baja mezcla y desarrollo de cianobacterias dominantes. De igual manera, en el reservorio tropical Valle de Bravo (México), la estratificación térmica se relacionó con gradientes verticales de oxígeno y acumulación de nutrientes en profundidad, afectando la dinámica ecológica y metabólica del sistema (Merino, 2021).

La mayor oxigenación superficial observada durante algunos meses, particularmente en abril, podría estar asociada a un incremento en la productividad primaria debido a mayor radiación solar, lo que incrementa la fotosíntesis y, por tanto, la saturación de oxígeno en superficie. En la estación lluviosa, los altos valores superficiales también pueden relacionarse con procesos de mezcla inducidos por precipitación y viento, así como con aportes externos de nutrientes (proveniente de los causes) que estimulan la producción fitoplanctónica.

La rápida disminución del oxígeno por debajo de los 5–7 m indica una alta demanda bioquímica de oxígeno en profundidad, probablemente asociada a la descomposición de materia orgánica sedimentada.

En este sentido, los resultados sugieren que el Lago Tiscapa presenta un estado trófico elevado, con una fuerte estratificación y condiciones anóxicas persistentes en sus profundidades, lo que podría intensificarse ante incrementos en la carga orgánica en el Lago Tiscapa.

La comunidad fitoplanctónica ha experimentado cambios considerables (Figura 10). Actualmente, es poco diversa y estructuralmente muy simplificada, situación que se fundamenta con los datos de Rostrán (1973), Mangas et al., (1991), Mora (2005) y Chévez & Bermúdez (2006 – 2007). La disminución sostenida de la riqueza algal y la pérdida de varios grupos taxonómicos sugieren cambios importantes en las condiciones ambientales del lago a lo largo del tiempo. La reducción de Bacillariophyta y la desaparición de grupos como Dinophyta y Chrysophyta podrían estar asociadas a alteraciones en la calidad del agua, tales como

cambios en la disponibilidad de nutrientes, transparencia o condiciones fisicoquímicas.

La persistencia de Cyanophyta y Chlorophyta indica una mayor tolerancia de estos grupos a condiciones eutróficas o perturbadas, favorecidas por altas concentraciones de nutrientes y baja transparencia (Reynolds, 2006; Esteves, 1988). Resultados similares fueron reportados por González (2004) en un embalse tropical hipereutrófico, donde ambos grupos dominaron la comunidad fitoplanctónica. Estos patrones son característicos de procesos de simplificación estructural y deterioro ecológico en sistemas acuáticos eutrofizados (Margalef, 1983). En contraste, lagos oligotróficos presentan comunidades más diversas con mayor representación de Bacillariophyta, Dinophyta y Chrysophyta (Wetzel, 1981).

La clara simplificación de la comunidad algal se evidencia con la desaparición de ciertos grupos (Chloromonadophyta, Chrysophyta y Dinophyta), así como la drástica disminución en el número de taxa identificados que experimenta el fitoplancton del Lago de Tiscapa. Lo anterior podría considerarse como un reflejo del avanzado deterioro ambiental.

Las Chlorophyta, Bacillariophyta y Cyanophyta reportan descenso en su riqueza, siendo las dos primeras las que registran los cambios más considerables. A diferencia de las demás, las Euglenophyta reportan un leve aumento.

La estimación del estado trófico, fundamentada en la concentración de fósforo total, evidenció una variabilidad estacional significativa. Según la clasificación propuesta por Salas (2001), los valores porcentuales registrados ubican al lago en un rango que fluctúa entre condiciones mesotróficas, eutróficas e hipertróficas, lo que confirma un proceso avanzado de enriquecimiento nutricional y una marcada inestabilidad trófica asociada a la presión antrópica.

Durante el período de estudio, el Lago de Tiscapa alcanza valores porcentuales que lo sitúan en la categoría eutrófica (65% - 72%) e hipereutrófico. Sin embargo, un reciente estudio determinó que el estado trófico del Lago Tiscapa se encuentra en condición de estado hipereutrófico, debido al ingreso de las cargas contaminantes que actualmente se vierten en este cuerpo de agua. (Medina López, J.R. 2023).

CONCLUSIONES

La comunidad fitoplanctónica del Lago de Tiscapa está fuertemente dominada por Cyanophyta, las cuales aportan aproximadamente el 99% de la abundancia numérica y el 98% de la biomasa total, evidenciando un marcado desequilibrio estructural y una simplificación progresiva de la comunidad algal.

Las concentraciones de ortofosfato no evidencian limitación para el crecimiento algal, mientras que las altas concentraciones de amonio sugieren intensa descomposición orgánica y reciclaje interno de nutrientes, reforzando el estado eutrófico del lago.

La predominancia de Cyanophyta en el fitoplancton del Lago Tiscapa, atribuida a la alta eutrofización, indica un proceso de enriquecimiento excesivo de nutrientes que favorece el crecimiento de cianobacterias.

La presencia recurrente de Cylindrospermopsis raciborskii, especie potencialmente productora de cilindrospermopsina, constituye un riesgo para la salud pública, especialmente en un sistema con usos recreativos. Su capacidad de fijar nitrógeno y adaptarse a diversas condiciones ambientales favorece su persistencia y potencial proliferación.

La fuerte correlación negativa entre biomasa de Cyanophyta y transparencia confirma que las floraciones de este grupo son el principal factor de reducción de la claridad del agua, afectando la calidad estética y ecológica del sistema.

La estructura comunitaria del fitoplancton es muy simplificada y ha experimentado una drástica disminución de su riqueza como resultado de su intervención antrópica a través del tiempo.

El lago Tiscapa se encuentra en un estado eutrófico con tendencia a hipereutrofización, según la distribución de probabilidad el nivel trófico basado en los datos de fósforo total.

La estimación del estado trófico, basada en fósforo total, ubica al Lago de Tiscapa en un rango que fluctúa entre eutrófico e hipereutrófico, confirmando un avanzado proceso de enriquecimiento nutricional asociado a presión antrópica. Estudios recientes refuerzan esta condición hipereutrófico, atribuida al continuo ingreso de cargas contaminantes.

AGRADECIMIENTO

Dedicado con gratitud a la memoria de la MSc. **Ninoska Fabiola Chow Wong** quien ya partió a la Presencia de Dios. Su valiosa guía y tutoría en la realización de mi Trabajo Monográfico fueron fundamentales.

Agradezco su dedicación, esmero y el invaluable apoyo que brindó a mi formación profesional. Siempre la recuerdo como un excelente ser humano y una profesional ejemplar.

REFERENCIAS

Avilés, G., & Peña, M. (2000). Estratificación térmica y calidad de agua en la laguna de Asososca, Nicaragua. Ingeniería Civil, 119, 45–52.

Burford, M. A., Beardall, J., Willis, A., Orr, P. T., Magalhães, V. F., Rangel, L. M., & Neilan, B. A. (2016). Understanding the winning strategies used by the bloom-forming cyanobacterium Cylindrospermopsis raciborskii. Harmful Algae, 54, 44–53.

Cronberg, G., & Annadotter, H. (2006). Manual on aquatic cyanobacteria: A photo guide and a synopsis of their toxicology. UNESCO.

Dodds, W. K. (2002). Freshwater ecology: Concepts and environmental applications. Academic Press.

Esteves, F. A. (1988). Fundamentos de limnología. Interciencia.

International Lake Environment Committee [ILEC] & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (1988). Directrices para la gestión de lagos (Vol. 1).

González, E. (1988). El plancton de las aguas continentales. Programa Regional Científico y Tecnológico. Monografía No. 33.

González, E. J. (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria. Interciencia, 29(10), 548–555.

Harper, D. (1992). Eutrophication of freshwaters: Principles, problems and restoration. Chapman & Hall.

Infante, A. (1988). El plancton de las aguas continentales. Monografía No. 33.

Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente [IRENA]. (1983). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca sur del Lago de Managua. Managua, Nicaragua.

Mangas, E. I., Rivas, K., & Mejía, M. (1991). La comunidad planctónica y la actividad fotosintética del lago cratérico Tiscapa [Informe técnico]. CIRA/UNAN.

Margalef, R. (1983). Limnología. Editorial Omega.

Merino-Ibarra, M., Ramírez-Zierold, J., Monroy-Ríos, E., & Vilaclara, G. (2021). Thermal stratification and oxygen dynamics in a tropical reservoir: ecological implications for water quality. Water, 13(21), 3011.

Mora, I. (2006). Evaluación del estado actual de la eutrofización antrópica de la Reserva Natural Lago de Tiscapa en la estación seca y lluviosa del año 2005 [Tesis de maestría].

Molina, A., Quiroz, H., García, J., & Díaz, M. (2005). Distribución vertical del plancton en un estanque rústico de producción piscícola en el municipio de Cuautla. Revista Electrónica de Veterinaria, 6(9).

Padisák, J. (1997). Cylindrospermopsis raciborskii, an expanding highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. Archiv für Hydrobiologie Supplement, 107, 563–593.

Reynolds, C. S. (2006). The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press

Rostran, A. M. (1973). Limnología de la Laguna de Tiscapa.

Salas, H., & Martino, P. (2001). Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. CEPIS/OPS.

Wetzel, R. G. (1981). Limnología. Editorial Omega.