

Caracterización fenotípica de microalgas y cianobacterias del perifiton de los ríos aportantes del embalse La Mica

Phenotypic characterization of microalgae and cyanobacteria of the periphyton of the rivers contributing to the La Mica reservoir

Autores: Karen Rodríguez Sabando^{1*} y Diana Astorga García^{1**}

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Microbiología Aplicada, Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito, Ecuador

*krodriguez633@puce.edu.ec, ** dastorga199@puce.edu.ec

RESUMEN.-

Los microorganismos fotosintéticos que conforman el perifiton son importantes indicadores de contaminación y cambios ambientales en cuerpos de agua y su caracterización representa una herramienta útil para determinar el estado de estos ecosistemas. Con el objeto de caracterizar fenotípicamente las microalgas y las cianobacterias del perifiton en los aportantes y puntos periféricos del embalse altoandino La Mica, se realizaron dos muestreos: uno en septiembre y otro en octubre del 2019. El primero se enfocó en los ríos Alambrado, Moyas, Sarpache y Socavón, aportantes del embalse; y el segundo, en el dique, el muelle, rocas e islotes del embalse La Mica. Las muestras se analizaron mediante microscopía invertida de campo claro con lentes de aumento 40, 63 y 100X. Se utilizaron claves taxonómicas para la clasificación fenotípica de los especímenes a nivel de género y, en casos particulares, hasta especie. Se identificaron 61 taxones, entre los que sobresalieron 25 con potencial bioindicador de calidad de agua. La presencia de microalgas y cianobacterias intolerantes a la contaminación permite determinar, a nivel biológico, que el embalse La Mica y sus aportantes presentan aún un nivel bajo de contaminación orgánica e inorgánica, pero se advierten indicios de enriquecimiento.

PALABRAS CLAVE: Bioindicador, cianobacterias, floraciones, microalgas, perifiton.

ABSTRACT. -

The photosynthetic microorganisms that make up the periphyton are important indicators of pollution and environmental changes in water bodies. Their characterization represents a useful tool to determine the state of these ecosystems. Thus, characterizing the photosynthetic microorganisms of the periphyton is important to determine the state of aquatic ecosystems. The aim of this study was to phenotypically characterize the periphyton microalgae and cyanobacteria in tributary rivers and peripheral areas of the high-Andean reservoir La Mica. For this, two samplings took place, one September and the other in October 2019. The first one focused on Alambrado, Moyas, Sarpache and Socavón streams and the second in the dam, the dock, surrounding rocks and islets of La Mica reservoir. Samples were analyzed by inverted bright field microscopy with objective lenses 40, 63 and 100X. Taxonomic keys were used to phenotypically classify specimens up to genus and, in cases, up to species. Sixty one taxa were identified, 25 of which were highlighted as potential bioindicators of water quality. The presence of microalgae and cyanobacteria that are intolerant to contamination suggests that La Mica and its tributary rivers still exhibit a low level of organic and inorganic contamination, but there are clear signs of enrichment.

KEYWORDS: Bioindicators, blooming, cyanobacteria, microalgae.

INTRODUCCIÓN.-

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), Ecuador, represó una parte importante del embalse La Mica, en las faldas del volcán Antisana, para crear una reserva que provea agua potable al Distrito Metropolitano de Quito, específicamente al sector sur (Rosero, 2018). Este sistema de almacenamiento aprovecha las corrientes que se originan en los páramos y glaciares del volcán (EPMAPS, 2018). El impacto del cambio climático, la escorrentía que entregan los ríos captados por el sistema y la variación de factores bióticos y abióticos son aspectos prioritarios de estudio para asegurar el suministro de agua y su calidad a más de 600 000 personas durante las próximas décadas (Rosero, 2018).

Los ríos aportantes del embalse tienen características propias y específicas, como las corrientes de agua longitudinales, que permiten una selección particular de bioindicadores y la elaboración de protocolos individuales para la evaluación de la calidad de sus aguas (Garcés, Medina y Revelo, 2017). El término bioindicador hace referencia a la especie o conjunto de especies que proveen información sobre los parámetros de un ecosistema, mediante cambios de presencia-ausencia, abundancia, morfología, comportamiento y variaciones en la estructura de la comunidad microbiana (Gallo y Apolo, 2012; Reynolds, 2006; Vicente et al., 2005). Dichas variaciones se producen porque estos microorganismos poseen requerimientos fisicoquímicos específicos que están estrechamente ligados al estado del hábitat. Por ello, resultan útiles al evaluar la resiliencia de un cuerpo de agua ante perturbaciones ambientales, en el marco de normativas gubernamentales o propias de una compañía privada de gestión de agua para consumo humano (Doughty, 1994).

Los indicadores biológicos pueden ser utilizados como evaluadores de contaminación o para monitoreo ambiental, puesto que brindan información acerca de las condiciones del ecosistema acuático, el comportamiento temporal de contaminantes, cambios físicos y químicos producidos en el reservorio y cambios ambientales estacionales (Moreno y Aguirre, 2013), en relación con factores como la humedad, el pH o la presencia de compuestos específicos (Arcos et al., 2005). Esto proporciona una percepción completa de la calidad del agua. Los bioindicadores utilizados con mayor frecuencia en ecosistemas acuáticos son las microalgas, entre las que destacan particularmente las diatomeas para el seguimiento de sedimentos contaminantes no específicos como los metales pesados (Bellinger, 2010) y cianobacterias del fitoplancton y del perifiton, las plantas acuáticas, el zooplancton y los peces (Velázquez, 2004).

El perifiton, en su conjunto, también se ha usado como indicador biológico. El término se refiere a comunidades de microorganismos (microalgas, cianobacterias, flagelados heterótrofos y un colectivo de bacterias fotosintéticas) adheridos a sustratos vegetales, rocas o cualquier superficie sumergida (Vicente et al., 2005). Su estudio es importante en ríos, donde el establecimiento de diferentes indicadores vivos es limitado, haciendo de esta comunidad una opción excelente por su estabilidad (Arcos et al., 2005). El perifiton permite una valoración cualitativa de las respuestas del cuerpo de agua a cambios potenciales en un tiempo establecido. Resulta especialmente relevante en estudios de conservación, evaluaciones de impacto ambiental y propuestas de recuperación de ecosistemas, además de análisis ecológicos relacionados a la materia orgánica producida y el intercambio de los componentes físicos, químicos y biológicos de un hábitat (McCormick y Stevenson, 1998; Pan et al., 2000).

Esta investigación buscó caracterizar fenotípicamente al perifiton, comunidad no descrita previamente en el embalse La Mica, para complementar trabajos realizados acerca de indicadores biológicos y determinar su estado trófico en base a microorganismos (Tavera y Novelo, 2011). La caracterización de microalgas y cianobacterias perifíticas puede considerarse un proyecto de bioprospección (Maldonado, 2015). Cada microorganismo puede ser incluido en colecciones algales de importancia y constituiría la primera fase de exploración de ambientes acuáticos de interés público, que puedan contener una gran biodiversidad: un potencial para investigación desde los aspectos ecológicos, taxonómicos, biotecnológicos y ambientales.

La hipótesis sustentada en la presente investigación fue: En el perifiton de los ríos aportantes del embalse La Mica existen especies de microalgas y cianobacterias con potencial bioindicador de la calidad de agua que permiten establecer la línea de base para el monitoreo sistemático de especies que establezcan la aptitud del agua para el consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS.-

Muestreo.-

En los meses de septiembre y octubre, correspondientes a la temporada seca del año 2019, se realizaron dos muestreos de perifiton en el embalse La Mica, de acuerdo con protocolos establecidos por el Laboratorio de Control de Calidad de la EPMAPS. La colecta de septiembre se enfocó en los cuatro tributarios que alimentan al embalse altoandino: Socavón, Sarpache, Moyas y Alambrado. En cada aportante, se obtuvieron por duplicado muestras de sustrato asociado a plantas y raspados de superficies obtenidos con un cepillo de dientes, que fueron colocadas en fundas plásticas herméticas de 25 cm x 36 cm. Además, para determinar la diversidad perifítica en las corrientes de cada aportante, se obtuvieron muestras de agua por duplicado en botellas ámbar de 250 mL en las que se añadieron sustrato y plantas asociadas al perifiton. Tras el muestreo, uno de los duplicados fue fijado inmediatamente con formaldehído al 4% para preservarlo. El otro se mantuvo como muestra fresca, sin añadirsele ningún reactivo.

El muestreo realizado en el mes de octubre se concentró en el dique, el muelle y sustratos asociados a la periferia del embalse. En el dique, se rasparon cinco puntos al azar y se obtuvieron muestras del agua represada. Además, se rasparon cinco rocas de tamaño mediano. Por separado, se tomaron cinco muestras de agua y tierra del muelle y cinco muestras de agua y plantas asociadas en los islotes, siguiendo el protocolo de recolección de raspado y conservación de muestras. Se tomaron dos muestras en cada punto, una se preservó y la otra se mantuvo como muestra fresca para su observación bajo el microscopio óptico ese mismo día y para el aislamiento de microalgas y cianobacterias en laboratorio. Todo el material se rotuló con los datos respectivos de lugar, fecha, hora de recolección, tipo de muestra, código asignado y recolector.

Análisis de muestras perifiton por observación directa

Para el análisis de perifiton, se tomaron submuestras previamente homogenizadas de la muestra fresca o preservada y se colocaron unas gotas en placas portaobjetos y cámaras de precipitación. Tras esperar 15 minutos para la sedimentación de los microorganismos, se procedió a la observación de placas y cámaras bajo un microscopio óptico invertido Carl Zeiss AXIOVERT 4.0. con lentes objetivos de 40, 63 y 100X (Moreno, Medina y Albarracín, 2013). Luego, de cada muestra, se tomaron cinco alícuotas que fueron analizadas por lectura de 10 campos ópticos y un barrido general de la placa, en el que se resaltaron ciertas características de los taxones observados para su posterior identificación mediante claves

taxonómicas. Se tomaron fotografías de todos los taxones hallados a lo largo del barrido de las placas y se registraron las características morfológicas de los especímenes microalgales y cianobacterianos visualizados, que incluyeron tamaño, forma, color, presencia de cloroplastos, mucílago, entre otros.

Posteriormente, se corrieron las claves dicotómicas de Geitler (1933), Bakes y Bold (1970), Prescott (1970), Rippka et al. (1979), Huber et al. (1983), Komárek (1984), Komárek y Anagnostidis (1986), Anagnostidis y Komárek (1989), Komárek y Anagnostidis (2005) y se contrastó la identificación obtenida en páginas web especializadas como AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/search/genus/>), Diatoms of North America (<https://diatoms.org/>) e Integrated Taxonomic Information System (<https://www.itis.gov/>) para la identificación a nivel de género y especie, cuando fue posible. Se recurrió a profesionales nacionales especializados como la MSc. Diana Ontaneda y el Lcdo. Andrés Arévalo de la EPMAPS y la Mb. Kelly López del Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Microbiología Aplicada de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y al experto internacional PhD. Ricardo Echenique de la Universidad de la Plata, Argentina, para la corroboración de las identificaciones conseguidas.

Aislamiento e identificación de cianobacterias del embalse a partir de muestras de perifiton en medio de cultivo semisólido

Para el aislamiento de microalgas y cianobacterias presentes en el perifiton, las muestras frescas se filtraron a través de membranas de microfibras de vidrio de 0,45 μm de poro que, posteriormente, fueron colocadas boca abajo sobre placas Petri con medio de cultivo BG11 semisólido. Además, se colocaron directamente sobre el agar porciones del sustrato de origen. Para la incubación de los cultivos, las condiciones en el laboratorio fueron establecidas de manera que se asemejasen a las de su medio natural, con iluminación de lámparas fluorescentes a una intensidad baja de 10-75 $\mu\text{mol fotones m}^2 \text{s}^{-1}$, un fotoperiodo de 12:12 horas y una temperatura de 20-25°C por cerca de un mes (Waterbury, 2006).

Cuando se obtuvieron cultivos mixtos, se realizó el aislamiento de microalgas y cianobacterias, obteniendo inóculos de cada colonia. Estos inóculos se sembraron en medios selectivos semisólidos BG11 y se colocaron bajo las mismas condiciones de incubación (Waterbury, 2006). Las diatomeas obtenidas se sembraron en medio de cultivo líquido Bristol y fueron puestas en aireación (Morales et al., 2014). Su identificación se realizó mediante caracterización fenotípica por observación directa bajo el microscopio invertido e identificación mediante claves taxonómicas.

Evaluación del potencial bioindicador de microalgas y cianobacterias

Después de la identificación de las microalgas y cianobacterias presentes en el perifiton y su corroboración por parte de expertos, se describió cada taxón encontrado: taxonomía; características morfológicas; aspectos ecológicos; y su potencial como bioindicadores de calidad de este ecosistema acuático, con relación al estado trófico del embalse y factores bióticos y abióticos que en él influyen (Garcés, Medina y Revelo, 2017; Doughty, 1994). Además, se compararon los resultados de este estudio con los de monitoreos previos para evaluar posibles contrastes o determinar potenciales cambios en el tiempo en términos de composición y dominancia división-específica. Los datos de presencia/ausencia obtenidos de los taxones identificados en los diferentes puntos de muestreo se tabularon, se determinaron los microorganismos predominantes en este reservorio y, de acuerdo con los grupos de microorganismos fotosintéticos hallados, se determinó el estado trófico actual del embalse (Velázquez, 2004; Bellinger, 2010).

RESULTADOS.-

Las condiciones promedio del embalse La Mica en la época seca del año 2019, se registraron por quintuplicado por el Departamento de Control de la Calidad del Agua de la EPMAPS durante los monitoreos mensuales de septiembre y octubre. En septiembre, se registraron valores promedio de 9,1°C de temperatura y pH neutro en el cuerpo de agua. En octubre, la temperatura fue de 11,2°C y el pH de 3,44. Estas cifras se utilizaron como valores de referencia para determinar el estado del embalse.

En los ocho puntos de muestreo, se identificaron un total de 72 taxones de microalgas y cianobacterias distribuidas en siete divisiones: Chlorophyta, Charophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria, Chrysophyta, Ochrophyta y Miozoa, de acuerdo con la clasificación de Guiry y Guiry (2020). De estas divisiones, en términos de diversidad, en las comunidades perifíticas dominaron las ocofitas con 23 taxones (Tabla 1), presentándose el mayor número de taxones en el primer muestreo, con 60 microorganismos fotosintéticos identificados, donde el río Sarpache destacó como el de mayor diversidad con 51 géneros y predominancia de diatomeas (Anexo1). A nivel de órdenes, los más representativos fueron: Desmidiiales, Fragilariales, Naviculales y Cymbellales y los menos abundantes y diversos fueron Peridinales, Sphaeropleales, Cladophorales y Trebouxiales.

Además, se hallaron taxones poco frecuentes para el perifiton del embalse como: *Botryococcus braunii*, *Closterium* sp., *Gomphonema acuminatum* y siete de los ocho morfotipos (denominados así porque no se logró su identificación a nivel de género). El segundo aportante con mayor diversidad fue el río Alabrado con 49 taxones, especialmente diversos en diatomeas, y algunos poco frecuentes y exclusivos de este aportante, como *Amphipleura*, *Ankyra*, *Botryococcus*, *Pithophora* y *Tetraëdron*.

En constaste con la diversidad reportada para los ríos aportantes, los puntos de muestreo con menor diversidad correspondieron a los islotes con 31 géneros y sin taxones poco frecuentes. Además, en el muelle, donde también se muestreó el cuerpo de agua, solo se presentaron 21 taxones y no hubo presencia de microorganismos fotosintéticos raros.

Los géneros menos comunes fueron *Ankyra*, *Botryococcus*, *Pithophora*, *Tetraëdron*, *Limnoraphis*, *Nodularia* y *Nostoc* y los taxones frecuentes en todo el ecosistema conformado por el embalse de La Mica (ríos aportantes y puntos periféricos) incluyeron mayoritariamente géneros de diatomeas como *Fragilaria*, *Navícula*, *Gomphonema*, *Iconella*, *Synedra* y *Tabellaria*. Adicionalmente, se encontraron muy frecuentemente *Melosira*, *Spirogyra* y *Trachelomonas*. De los géneros identificados, los más abundantes fueron *Fragilaria*, *Cosmarium*, *Closterium*, *Ceratoneis* y *Spirogyra* y, en menor proporción, se hallaron *Pediastrum*, *Ankyra*, *Botryococcus braunii*, *Anabaena* y *Tetraëdron*, entre otros. De estos, resaltaron 27 géneros con potencial bioindicador (Tabla 2). A nivel de especie se identificaron cuatro organismos: *Gomphonema acuminatum*, *Gomphonema constrictum*, *Trachelomonas volvocina* y *Botryococcus braunii* (Figura 1).

Con respecto a los cultivos obtenidos mediante procesamiento de las muestras frescas, tras 30 días de la siembra en medio BG11 semisólido, se reportó crecimiento de seis de los 72 taxones identificados visualmente tanto en muestras frescas como en muestras preservadas: *Trachelomonas volvocina*, *Leptolyngbya*, *Chlorella*, *Scenedesmus* y diatomeas. Además, proliferó el morfotipo 9, no registrado en la inspección visual de las muestras (Figura 2).

DISCUSIÓN.-

Las características macroscópicas observadas en los tapetes fotosintéticos y diferentes sustratos suelen estar estrechamente ligadas a la composición microbiana (Richert et al., 2006). En efecto, en el embalse La Mica, las diferencias encontradas en el color y la apariencia de las biopelículas microbianas determinaron qué géneros y familias de microalgas predominarían en la muestra. En este estudio, el color verde oscuro y la apariencia enmarañada del tapete asociados a plantas de cada aportante pudieron relacionarse a una composición microbiana dominada por Ochrophyta, con *Fragilaria* como género más abundante, y Charophyta, con *Spirogyra* y *Melosira*, cuyos filamentos se enredaban entre sí junto con cianobacterias como *Oscillatoria* y formaban biopelículas particulares. Esta asociación entre apariencia y composición microbiana también fue comprobada por Komárek y Anagnostidis (2005). Los parches con diferentes tonalidades de marrón, por su parte, estuvieron compuestos, principalmente, por diatomeas del género *Navícula*, de color pardo amarillento, una observación realizada también por Round et al. (2007). El muestreo en diferentes puntos del embalse determinó que existe una variación en la diversidad de taxones, probablemente ligada a las condiciones del ambiente, la disponibilidad de nutrientes, la flora bacteriana acompañante, el tipo de sustrato, el pH y la luz (López-Fuerte y Siqueiros-Beltrones, 2006).

Microalgas como *Epithemia*, *Chlorococcum* y *Scenedesmus*, predominantes en el perifiton de La Mica se han descrito como formadoras de consorcios microbianos (Cujíño, Ruiz, Agudelo, Muñoz, 2016). Se conoce, además, que su presencia contribuye al incremento de los nutrientes disponibles para la proliferación de plantas superiores como las almohadillas (*Azorella*, *Werneria* y *Plantago*), las chuquiraguas (*Chuquiraga jussieui*); y asociaciones de musgos y remanentes de bosques de papel o pantza (*Polylepis incana*) y pumamaqui (*Oreopanax* sp.), siempre entre extensos pajonales (Maldonado, 2015).

El dominio de las diatomeas y las microalgas filamentosas se atribuye a su capacidad de adherencia, debido a la producción de mucílago en géneros como *Cosmarium* (Hall y McCourt, 2015), para el que se distinguieron al menos cuatro diferentes especies; *Cymbella* (Núñez, 2008); *Tabellaria* (DeColibus, 2013); *Nodularia* (Da Silveira et al., 2017); *Limnographis* (Shruthi y Rajashekhar, 2014); *Phormidium* (Santos y Sant'anna, 2010) y *Spirogyra* (Guillén, 2013), siendo éste último uno de los más abundantes. Estudios anteriores (Campbell, 1979; Johansen, 1993; Malam Issa et al., 1999) describen a microalgas y cianobacterias filamentosas como microorganismos dominantes, por su capacidad de crecimiento bajo condiciones climatológicas poco óptimas y en simulaciones de cultivo en laboratorio.

El ecosistema acuático de La Mica puede describirse en función de los organismos bioindicadores que lo componen. Así, algunos elementos de la comunidad fotosintética dan cuenta de aguas oligotróficas y no contaminadas. La presencia de *Iconella*, por ejemplo, indica aguas con baja cantidad de nutrientes y libres de contaminación orgánica e inorgánica (Lara, 2014; Oliva et al., 2005; Pinilla, 2000). Esto se ve corroborado por la presencia de *Mougeotia*, marcador de cuerpos de agua no contaminados y pH de 7- 8,5 (Oliveros, 2016) y *Cocconeis*, que no soporta el enriquecimiento y se desarrolla mejor en ambientes con poca materia orgánica (Stevenson y Stoermer, 1982). *Stigeoclonium* confirma su oligotrofia (Pinilla, 2000) y *Pinnularia*, su baja contaminación. Existen también taxones ligeramente más tolerantes como *Cymbella*, que puede desarrollarse siempre y cuando los niveles de contaminación orgánica e inorgánica se mantengan bajos (Silva-Benavides, 1996). Excluyendo a *Stigeoclonium* (presente en 5 de los 8 puntos de muestreo), los taxones mencionados fueron abundantes en todos los puntos de muestreo y en ambos meses de

estudio, lo que coincide con los reportes de las instituciones EPMAPS y FONAG que otorgan al embalse La Mica la calificación de oligotrófico.

En este estudio, también se registraron géneros indicadores de enriquecimiento del ecosistema como *Closterium*, que demuestra enriquecimiento en materia orgánica (Wehr, Sheath y Kociolek, 2015); *Navícula*, que indica un proceso de eutrofización general (Coesel, 1979); *Melosira*, indicadora de ambientes mesosaprobios (Komárek, 1989); *Ankyra*, que detecta el incremento de nitrato y amonio (Almanza et al., 2016); y *Pediastrum*, característico de aguas con alto contenido de nitrógeno y fósforo, pH ácido y presencia de materia orgánica (Meyen, 1829). Adicionalmente, se encontraron géneros tolerantes a altos niveles de contaminantes orgánica e inorgánica como *Fragilaria*, que se adapta a ambientes en que nitratos, fosfatos y carbonatos se hallan en gran cantidad (Gómez, 2007). Otros indicadores de alta carga de carbonatos son *Epithemia* (Spaulding, 2010) y *Frustulia* (Guamán y González, 2016). Por otra parte, en La Mica se registraron, también, taxones característicos de ambientes eutróficos como *Cosmarium* (Komárek, 1989), *Euglena* (Coesel, 1979), *Gomphonema acuminatum* (Bere y Tundisi, 2011); *Nitzschia* (Whitton et al., 1991; Whitton y Rott, 1996); *Pandorina* (Dembowska, 2013); *Staurastrum* (Sarmiento, 2018) y *Ulnaria* (Williams, 2011). Finalmente, *Spirogyra* (Anagnostidis y Komárek, 1988) y *Trachelomonas* (Huber-Pestalozzi, 1955), encontrados en abundancia en este ecosistema, son característicos no solo de eutrofia alóctona, sino de gran cantidad de sedimentos y alta conductividad.

En el análisis taxonómico del embalse también se encontraron géneros que, bajo diferentes condiciones de temperatura y pH, pueden ser causantes de diferentes olores según su concentración poblacional y afectar directamente las propiedades organolépticas del agua (Lin, Watson y Suffet, 2018), como *Fragilaria*, *Ulnaria*, *Tabellaria*, *Iconella*, *Cymbella* (AWWA, 2011), *Cosmarium* (Gerardi, 2015), *Closterium* (Silvey, Henley y Wyatt, 1972), *Pediastrum* (Funk y Gauvin, 1965), *Pandorina* (Lynch, Bowersox y Grimm, 1996), *Gomphonema* (Baylón et al., 2018) y *Spirogyra* (Sherwood, Neumann, Dittbern-Wang y Conklin, 2018), que se hallaron en gran cantidad en todos los puntos de muestreo,

Por su parte, las algas mesófilas (cuya temperatura de crecimiento óptima está entre los 20 y 45°C) poseen una capacidad limitada para habitar ambientes con pH muy ácido o básico, como el embalse La Mica, con un promedio de 3,44 en el mes de octubre 2019. Se puede considerar que la adaptación genética ante tales condiciones es un proceso gradual (Amaral-Zettler et al., 2002). Por tanto, los taxones con mayor probabilidad de proliferar son aquellos que han desarrollado tolerancia a amplios rangos de temperatura y pH como: *Phacus*, que tiene alta tolerancia a las condiciones ambientales, en general, y puede reproducirse durante todas las estaciones y en muchos microhábitats, con potencial para causar floraciones en cuerpos de agua ricas en nutrientes (Heckman, 2013); *Limnorphis*, con amplio rango de tolerancia al pH (Shruthi y Rajashekhar, 2014); *Pithophora*, que es tolerante a temperaturas bajas y baja radiación solar (Boedeker, O'Kelly, Star y Leliaert, 2012); o *Mallomonas*, que agrupa a microalgas que toleran variaciones de temperatura entre 2 y 25°C y un pH entre 4 y 8 (Romero, 2010). Además, algunas cepas de *Limnorphis* y *Pithophora* son susceptibles de producir toxinas (Carmichael et al., 1997) y controlar su crecimiento puede resultar muy difícil (Boyd y Tucker, 2012). Se deben tener en cuenta posibles floraciones algales bajo sus condiciones óptimas de crecimiento, en caso de que logran alcanzarse en el embalse, y desarrollar con anticipación planes para su control sistemático preventivo. Por otro lado, dinoflagelados como *Peridinium*, visualizado en abundancia considerable en tres de los cuatro ríos aportantes y en el muestreo de islotes, debería ser monitoreado también porque,

debido a los cambios climáticos, puede ser susceptible de generar floraciones algales masivas y producir toxinas que causen la muerte de la fauna acuática (Almanza et al. 2016).

Otro aspecto que puede destacarse en cuanto a la diversidad de microorganismos fotosintéticos en el embalse La Mica es la observación de cianoprocariotas Nostocales en forma de tricomas como *Anabaena*, *Nodularia* y *Nostoc*, éste último observado sólo en el muestreo de octubre 2019. Estas cianobacterias fijan nitrógeno atmosférico. Sin embargo, en términos de abundancia, su presencia fue minoritaria. Esto podría atribuirse a que, en sistemas de suelo, estas especies no son oportunistas y necesitan tiempo para establecerse (Giraldo-Silva, 2011).

Con respecto al crecimiento observado en condiciones de laboratorio, fue posible detectar el desarrollo de cinco microalgas (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Trachelomonas*, una diatomea naviculácea y una microalga filamentosa, morfotipo 9, las primeras cuatro en cultivos monoalgales) y una cianobacteria, *Leptolyngbya*, transcurridos 14 días tras la siembra (Figura 3). Por lo tanto, surge la hipótesis de que, al alcanzarse sus condiciones óptimas de crecimiento en el embalse (temperatura y disponibilidad de nutrientes), estas microalgas y cianobacteria pudieran proliferar en el embalse. El crecimiento de una microalga filamentosa no caracterizada (morfotipo 9), que no se observó en la revisión de muestras frescas, podría corresponder a la manipulación de las condiciones ambientales y a la supresión de posibles competidores en el laboratorio. No obstante, se asume que este género podría desarrollarse en caso de acceder a los requerimientos ambientales necesarios, por lo que se considera que debería ser monitoreada.

Debe resaltarse una observación que corrobora el potencial sesgo que existe de limitar un estudio taxonómico a la identificación de especies basada en métodos dependientes de cultivo. Las cepas aisladas en el laboratorio representan un subconjunto minoritario del total de microalgas identificadas en las poblaciones naturales. Se evidenció que, en este conjunto más pequeño, pueden desarrollarse cepas que no fueron observadas macroscópicamente en las muestras naturales. El aislamiento de cepas de microalgas y cianobacterias no observadas en la población natural puede atribuirse al enriquecimiento con nutrientes y condiciones específicas en diferentes medios de cultivo y a la técnica que se utiliza para su aislamiento (Andersen, 2005). De esta manera, puede establecerse una ventaja competitiva de unas especies frente a otras, que no reflejan la realidad del medio natural. Probablemente, los microorganismos que no se observaron inicialmente pudieron encontrarse en latencia y, al alterar artificialmente las interacciones microbianas en condiciones de laboratorio, pudieron encontrar las condiciones adecuadas para crecer. Es posible que los componentes del medio de cultivo empleado, su consistencia y el lugar de siembra hayan contribuido al crecimiento de bacterias y hongos con el potencial de provocar cambios adicionales en las condiciones de cultivo, que pudieran haberlo hecho tóxico para las microalgas, con lo que su desarrollo pudo no haber sido óptimo (Andersen, 2005), proporcionando la oportunidad a que se desarrollasen microalgas y/o cianobacterias menos competitivas o de crecimiento más lento bajo condiciones naturales.

La elevada frecuencia de diatomeas naviculáceas, *Scenedesmus* y *Chlorella*, en condiciones de laboratorio después de un mes de cultivo, confirma su alta adaptabilidad fisiocológica frente a otras microalgas que se encontraron conformando el perifiton (Morales et al., 2013). Además, fue posible mantener cultivos monoalgales en muestras cultivadas, que demostraron la facilidad y rapidez de su aislamiento. *Chlorella*, de hecho, tiene la capacidad de proliferar a manera de un organismo aislado a partir de un grupo microbiano, por su capacidad de producir sustancias inhibitorias, dando lugar a la competencia ecológica que le caracteriza (Amavizca, 2014).

CONCLUSIONES

Se lograron identificar a nivel de género 63 de los 72 microorganismos registrados en el embalse La Mica y cuatro a nivel de especie. Los géneros pertenecientes al filo Ochrophyta fueron los más abundantes y diversos en los ríos aportantes y estuvieron presentes en todos los puntos de muestreo.

Las diatomeas fueron los constituyentes primordiales del perifiton en los puntos de muestreo estudiados en el ecosistema de La Mica, en su conjunto, seguidas por las carofitas con géneros como *Spirogyra*, *Closterium* y *Cosmarium*, también muy abundantes. Del filo Euglenozoa, destacaron dos especies de *Euglena*, principalmente en Alambrado y Sarpache. Dos especies de *Trachelomonas* se encontraron en todos los puntos de muestreo, tanto en septiembre como en octubre 2019, y proliferaron bien en condiciones de laboratorio.

Se lograron cultivos monoalgales a partir de las muestras de perifiton, identificándose géneros como *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Leptolyngbya* y *Trachelomonas*, diatomeas naviculáceas y una microalga filamentosa (morfotipo 9) que se observaron únicamente en el aislamiento en laboratorio. Además, fue posible la caracterización morfológica de estas microalgas y cianobacteria mediante observación y claves taxonómicas.

Cada punto de muestreo tuvo diferente diversidad de acuerdo con el sustrato de origen de las muestras (plantas, ramas, tierra, etc.). Sin embargo, en el perifiton hubo gran diversidad de microorganismos bioindicadores de calidad de agua, especialmente aquellos definitorios para materia orgánica e inorgánica. El hallazgo de géneros como *Cymbella*, *Cocconeis*, *Stigeoclonium* e *Iconella*, que no toleran la contaminación y cuya presencia fue significativa, define al embalse como oligotrófico-mesotrófico, determina que los niveles de material orgánico e inorgánico se mantienen relativamente bajos, estableciendo así el estado trófico del embalse de acuerdo con la presencia de microalgas y cianobacterias encontradas y su abundancia.

A futuro, sería útil un estudio comparativo de mediano y largo plazo de la evolución de la presencia-ausencia de taxones en los diferentes puntos de muestreo de La Mica y entre ríos aportantes para analizar la sucesión de especies desde un ambiente oligotrófico hacia uno eutrófico, como es la tendencia natural de los cuerpos de agua.

Perspectivas

Se sugiere que los géneros caracterizados microscópicamente se corroboren con biología molecular.

AGRADECIMIENTOS

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por haber facilitado la presente investigación en convenio con las empresas EPMAPS y FONAG, además de facilitar las instalaciones y material para la parte práctica del proyecto. Se agradece a la EPMAPS por facilitar los procesos de muestreo y poner a disposición las instalaciones de la institución para realizar la inspección microscópica e identificación de las muestras de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agardh CA. 1824. Systema Algarum.(Lund.). *Litteris Berlingianis*, 38, 1-312.
- Agardh CA. 1830. Conspectus criticus diatomacearum. *Litteris Berlingianis*.
- Agrocalidad 2015. Instructivo para toma de muestras de agua. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-aguas-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Albéndiz LG, Villalobos JA. 1996. Control biológico de la contaminación del agua. *Encuentros en la Biología*, (32), 3.
- Amaral-Zettler LA, Zettler ER, Theroux SM, Palacios C, Aguilera A, Amilos R. 2011. Microbial community structure across the tree of life in the extreme Rio Tinto. *The ISME journal*, 5(1), 42-50.
- Amavizca-Valdez EA. 2014. Evaluación del efecto remoto por bacterias promotoras de crecimiento en plantas (BPCP) sobre la microalga *Chlorella vulgaris*.
- American Water Works Association. 2011. Algae: source to treatment (Vol. 57). American Water Works Association.
- Anagnostidis K, Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes 3-Oscillatoriales. *Arch Hydrobiol.* pp. 80
- Andersen RA. 2005. Algal Culturing Techniques. Phycological society of America. 578 p
- Anton A, Duthie H. 1981. Use of cluster analysis in the systematics of the algal genus *Cryptomonas*. *Can. J. Bot.* 59: 992- 1002.
- Arcos M, Ávila S, Estupiñan S, Gómez A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova- Publicación Científica, 3(4).
- Bakes AF, Bold HC. 1970. Phycological studies. X taxonomic studies in the oscillatoriaceae. University of Texas, Austin. 104 p.
- Balech E. 1974. El genero 'Protoperidinium' Bergh, 1881 ('Peridinium' Ehrenberg, 1831, partim). *Rev. Mus. Argent. Cienc. Nat. Bernardino Rivadavia Inst. Nac. Invest. Cienc. Nat.*, 4, 1-79.
- Baylón M, Roa K, Libio T, Tapia L, Jara E, Macedo D, Dextre A. 2018. Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología aplicada*, 17(1), 119-132.
- Bellinger E, Sigeo D. 2010. Freshwater Algae: Identification and use as Bioindicators. Wiley-Blackwell.
- Bennett L. 2017. Algae, Cyanobacteria Blooms, and Climate Change. The Climate Institute.
- Bere T, Tundisi JG. 2011. Diatom-based water quality assessment in streams influence by urban pollution: effects of natural and two selected artificial substrates, São Carlos-sp, Brazil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 15(1), 54-63.
- Bourelly P. 1990. Les algues d'eau douce. Initiation á la systématique. Tome I. Les algues vertes. Paris – France. *Bulletin de Société Zoologie France* 120:191–208.

- Bornet E, Flahault C. 1888. Revision des Nostocacées hétérocystées contenues dans les principaux herbiers de France.
- Bornet E, Flahault C. 1886. Revision des Nostocacées hétérocystées contenues dans les principaux herbiers de France.
- Bory de Saint-Vincent, Bornet, Flahault. 1886. Dictionnaire classique d'histoire naturelle. Baudoïn Frères, Paris.
- Bory de Saint-Vincent JB. 1822. Dictionnaire classique d'histoire naturelle. Baudoïn Frères, Paris.
- Bory JBG. 1826. Essai d'une classification des animaux microscopiques. Mme Vve Agasse.
- Boyd CE, Tucker CS. 2012. Pond aquaculture water quality management. *Springer Science & Business Media*.
- Campbell S, Kazmierczak JO, Golubic ST. 1979. Palaeoconchocelis starmachii gen. n., sp. n., an endolithic rhodophyte (Bangiaceae) from the Silurian of Poland. *Acta Palaeontologica Polonica* 24(3).
- Carmichael WW, Evans QQ, Yin P, Bell E, Moczydlowski. 1997. Evidence for paralytic shellfish poisons in the freshwater cyanobacterium *Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) comb. nov. *Applied and Environmental Microbiology* 63(8):3104-3110.
- Carter J. 1981. A taxonomic study of diatoms from standing freshwaters in Shetland. *Nova Hedwigia*. *Nova Hedwigia*, pp 33
- Chodat R. 1897. Algues pélagiques nouvelles. *Bull. Herb. Boissier*, 5, 119-120.
- Cleve PT. 1899. Plankton collected by the Swedish Expedition to Spitzbergen in 1898 (Vol. 32, No. 3). PA Norstedt & söner.
- Coesel P. 1979. Desmids of the broads area of N.W. Overijssel (The Netherlands) I. *Acta-Bot. Neerl.*
- Compère P. 2001. Ulnaria (Kutzing) Compere, a new genus name for Fragilaria subgen. Altersynedra Lange-Bertalot with comments on the typification of Synedra Ehrenberg. Lange-Bertalot-Festschrift.
- Cujiño MF, Ruiz LC, Agudelo GA, Muñoz LM. 2016. Inmovilización de las microalgas "Scenedesmus ovalternus (Scenedesmaceae) y Chlorella vulgaris (Chlorellaceae)" en esferas de alginato de calcio. +21(2), 437-442.
- Da Silveira SB, Wasielesky W, Andreote APD, Fiore MF, Odebrecht C. 2017. Morphology, phylogeny, growth rate and nodularin production of Nodularia spumigena from Brazil. *Marine Biology Research* 13(10), 1095-1107.
- DeColibus D. 2013. *Tabellaria fenestrata*. Diatoms of the United States. Fecha de acceso: enero,3.
- Dembowska EA. 2013. New and rare species of Volvocaceae (Chlorophyta) in the Polish phycoflora. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 82(4).]
- Doughty R. 1994. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates [Revisión] por D. Rosenberg and V. Resh (Eds.). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 4(1), 92-96

Dujardin F. 1841. Histories naturelle des zoophytes. Infusoires: comprenant la physiologie et la classification de ces animaux et la manière de les étudier à l'aide du microscope. Roret.

EPMAPS .2018. La Mica Quito Sur - Bienvenido a EPMAPS. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/la-mica-quito-sur/>

Ehrenberg CG. 1844. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

Ehrenberg CG. 1843. Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika. Königlichen Akademie der Wissenschaften.

Ehrenberg CG. 1839. Bemerkungen über feste mikroskopische, anorganische Formen in den erdigen und derben Mineralien. Bericht über die Verhandlungen der Koniglich Preussichen Akademie der Wissenschaften, Berlin, 84-85.

Ehrenberg CG. 1836. Zusätze zur Erkenntniss grosser organischer Ausbildung in den kleinsten thierischen Organismen. Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlín 1835: 150-181.

Ehrenberg C. 1834. Dritter Beitrag zur Erkenntniss grosser Organisation in der Richtung des kleinsten Raumes. Berlin: *Konigl. Akad. d. Wiss.*, 1833, 145-336.

Ehrenberg CG. 1832. Über die Entwicklung und Lebensdauer der Infusionsthier; nebst fernerer Beiträgen zu einer Vergleichung ihrer organischen Systeme. Abhandlungen der Königlichen Akademie Wissenschaften zu Berlin, *Physikalische Klasse* 1831: 1-154

Ehrenberg CG. 1830. Neue Beobachtungen über blutartige Erscheinungen in Aegypten, Arabien und Sibirien, nebst einer Uebersicht und Kritik der früher bekannten. *Annalen der Physik und Chemie*, Ser. 2 8: 477-514.

Eriksson JE, Meriluoto JA, Kujari HP, Skulberg OM. 1988. A comparison of toxins isolated from the cyanobacteria *Oscillatoria agardhii* and *Microcystis aeruginosa*. *Comparative Pharmacology and Toxicology*, 89(2), 207-210.

Friedl T, Hegewald E. 1999. Phylogenetic relationships of *Scenedesmus* and *Scenedesmus*-like coccoid green algae as inferred from IT-2 rDNA sequence comparisons. *Plant Biology* 1: 418-428, 23 figs, 1 table.

Fott B. 1957. Taxonomie der mikroskopischen Flora einheimischer Gewässer. *Preslia*, 29, 278-319.

Funk WH, Gaufin AR. 1965. Control of Taste- and Odor-Producing Algae in Deer Creek Reservoir. *Transactions of the American Microscopical Society*, 84(2), 263. doi:10.2307/3224295

Gaiser E. 2009. Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. *Ecological Indicators*, 9(6), 37-45. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.08.004

Gallo N, Apolo B. 2012. Fundamentos de Ficología. Quito: Gráficas Ortega.

Garcés MV, Medina J, Revelo ZLC. 2017. Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de las Ciencias*, 3(3), 628-646. doi: 10.23857/dom.cien.pocaip.2017.

García JCG, Reyes ARP, Quiguiri NS. 2017. Evaluación de *Spirogyra* spp. como potencial bioindicador de plaguicidas organofosforados. *Revista Perspectiva*, 18(4), 365-373.

- Geitler L. 1933. Cyanophyceae. En Rabenhorsts Kryptogamenflora. Akadem. Verlagsgesellschaft, Leipzig, Alemania 14:1-1196.
- Gerardi MH. 2015. The Biology and Troubleshooting of Facultative Lagoons. John Wiley & Sons.
- Gerwick WH, Proteau DG, Nagle E, Hamel A, Bookchin, Slate DL. 1994. Structure of Curacin A, a novel antimitotic, antiproliferative, and brine shrimp toxic natural product from the marine cyanobacterium *L. majuscula* *Journal of Organic Chemistry* 59:1243-1245.
- Giraldo-Silva AM. 2011. Aislamiento y caracterización de microalgas formadoras de tapetes microbianos asociados a un cultivo hidropónico de plantas halófitas.
- Gomont M. 1892. Monographie des Oscillariées (Nostocacées Homocystées). Deuxième partie.-Lyngbyées. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique, Série 7* 16: 91-264, pls 1-7.
- Grunow A. 1860. Ueber neue oder ungenugend gekannte Algen. *Verh. k. k. zool.-bot. Ges. Wien*, 10, 503-582.
- Guamán M, González N. 2016. Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Corporación para la Investigación Energética. Laboratorio de Biotecnología Energética, Quito, Ecuador.
- Guillén A. 2013. *Spirogyra*. Recuperado el 24 de enero del 2020, del sitio web: <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Spirogyra-img1017.html>
- Hall JD, McCourt RM. 2015. Conjugating green algae including desmids. *In Freshwater Algae of North America* pp. 429-457. Academic Press.
- Hassall AH. 1845. A History of the British Freshwater Algae, Including Descriptions of the Desmidiaceae and Diatomaceae: With Upwards of One Hundred Plates, *Illustrating the Various Species* Vol. 1. Highley.
- Heckman CW. 2013. The Pantanal of Poconé: Biota and ecology in the northern section of the world's largest pristine wetland *Springer Science & Business Media* Vol. 77.
- Hill BA, Herlhy P, Kaufmann R, Stevenson F, McCormick, C Johnson. 2000. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of North American Benthological Society* 19: 50-67
- Huber G, Komárek J, Fott B. 1983. Das phytoplankton des Süßwassers. E. Schweizerbart sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 445 p.
- Huber-Pestalozzi G. 1955. Euglenophyceen. In Huber-Pestalozzi, G. (ed): Das Phytoplankton des Subwassers. *Systematik und Biologie*. 96: 85. 82.
- Jacobsen D, Marín R. 2007. "Bolivian Altiplano streams with low richness of Macroinvertebrates and large diel fluctuations in temperature and dissolved oxygen", Bolivia.
- Johansen JR. 1993. Cryptogamy crusts of semiarid and arid lands of North America. *J. Phycol.* 29:140-147.
- Jurilj A. 1949. Nove dijatomeje-surirellaceae-iz Ohridskog jezera i njihovo filogenetsko značenje. *Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti*.

- Knudson BM. 1953. The diatom genus *Tabellaria*. II. Taxonomy and morphology of the plankton varieties. *Annals of Botany* 17 (65): 131-155.
- Komárek J. 1984. Sobre las cianofíceas de Cuba: *Aphanizomenon volzii*; (2) especies de Forticea. *Acta Botánica Cubana* 18 :1-29.
- Komárek J, Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota. 2.Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 19/2. *Spektrum Akademischer Verlag* 759 p.
- Komárek J, Anagnostidis K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes 4-Nostocales. *Arch Hydrobiol. Suppl.* 82.
- Komárek J, Anagnostidis K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes (Croococcales). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 43: 157-226
- Komárek J, Zapomělová E, Šmarda J, Kopecký J, Rejmánková E, Woodhouse J, Komarkova J. 2013. Polyphasic evaluation of *Limnoraphis robusta*, a water-bloom forming cyanobacterium from Lake Atitlán, Guatemala, with a description of *Limnoraphis* gen. nov. *Forteau*, 13(1), 39-52.
- Krammer K. 1991. The genus *Pinnularia*. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable. *Hábitats*, 3, 1-584.
- Kuiper-Goodman T, Falconer I, Fitzgerald J. 1999. Cyanobacterial toxins. Toxic Cyanobacteria in Water, E and FN Spon, London, 113-153.
- Kurmayer R. 2011. The toxic cyanobacterium *Nostoc* sp. strain 152 produces highest amounts of microcystin and nostophycin under stress conditions 1. *Journal of phycology* 47(1), 200-207.
- Kützing FT. 1849. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen:(Mit 30 vom Verfasser gravirten Tafeln). W. Köhne.
- Kützing FT. 1845. Phycologia germanica, di Deutschlands Algen in bündigen Beschreibungen. Nebst einer Anleitung zum Untersuchen und Bestimmen dieser Gewächse für Anfänger.
- Kützing FT. 1844. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen:(Mit 30 vom Verfasser gravirten Tafeln). W. Köhne.
- Kützing FT. 1843. Phycologia generalis: oder Anatomie, Physiologie und Systemkunde der Tange. Brockhaus.
- Kützing FT. 1834. Synopsis diatomearum oder Versuch einer systematischen Zusammenstellung der Diatomeen. *Linnaea* 8: 529-620
- Lara A. 2014. Aspectos ecológicos, cultivo, contenido de lípidos totales y proteínas del fitoplancton nativo de un lago polimíctico tropical (Lago de Chapala). (Tesis de grado) Universidad de Guadalajara, México.
- Lin TF, Watson S, Suffet IM. 2018. Taste and odor in source and drinking water: Causes, controls, and consequences. IWA Publishing.
- Link HK. 1820. Epistola de algis aquaticis in genera disponendis. *Horae physicae berlinenses*, 1, pl-1.

- López-Fuerte FO, Siqueiros-Beltrones DA. 2006. Distribución y estructura de comunidades de diatomeas en sedimentos de un sistema de manglar. *Hidrobiológica*, 16(1), 23-33.
- Lynch JA, Bowersox VC, Grimm JW. 1996. Trends in precipitation chemistry in the United States, 1983-94: an analysis of the effects in 1995 of Phase I of the Clean Air Act Amendments of 1990, Title IV. US Department of the Interior.
- Lyngbye HC. 1819. Tentamen hydrophytologiae Danicae continens omnia hydrophyta cryptogama Daniae, Holsatiae, Faeroae, Islandiae, Groenlandiae hucusque cognita, systematice disposita, descripta et iconibus illustrata, adjectis simul speciebus Norvegicis... Auctore Hans Christiano Lyngbye... Cum tabulis aeneis 70. typis Schultzianis.
- Malam-Issa O, Trichet J, Défarge C, Couté A, Valentin C. 1999. Morphology and microstructure of microbiotic soil crust on a tiger bush sequence (Niger, Sahel). *Catena*. 37: 175-196.
- Maldonado E. 2015. Propuesta de educación ambiental y turística para visitantes del embalse la mica, provincia del Napo. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4525/1/T-UCE-0004-006.pdf>
- McCormick P, Stevenson R. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.
- Meneghini G. 1843. Monographia Nostochinearum italicarum addito specimine de Rivulariis. Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino
- Meyen FJF. 1829. Beobachtungen über einige niedere Algenformen. Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae *Naturae* 14: 768-778, pl. XLIII.
- Morales E, Pérez RM, Rodríguez GS. 2014. Aislamiento, cultivo, viabilidad y evaluación de un consorcio cianobacteria-microalga como acondicionador de suelos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35(1-2), 51-71.
- Morales E, Luna V, Navarro L, Santana V, Gordillo A, Arévalo A. 2013. Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 34(1-2), 129-149.
- Moreno JR, Medina CD, Albarracín VH. 2013. Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. *REDUCA (Biología)*, 5(5).
- Müller O. 1895. *Rhopalodia*, ein neues Genus der Bacillariaceen. Engler's botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie, 22, 54-71.
- Nitzsch, Ralfs J. 1848. The British Desmidiaceae: The Drawings by Edw. Jenner. *Reeve*.
- Núñez M. 2008. Microalgas acuáticas: la otra escala de la biodiversidad en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, *SINCHI*. Bogotá, Colombia.
- Oliva MG, Ramírez JG, Garduño G, Cañetas J, Ortega M. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica*, 15(1), 01-26.

- Oliveros AM. 2016. El Fitoperifiton como Bioindicador de Calidad de Agua, una Herramienta y Estrategia en la Gestión Ambiental del Caño Quename. (Tesis de posgrado). Universidad de Los Llanos, Colombia.
- Osborne NJT, Webb PM, Shaw GR. 2001. The toxins of *Lyngbya majuscula* and their human and ecological health effects. *Environment International* 27:381-392.
- Pan YR, Stevenson P, Vaithiyanathan J, Slate, Richardson C. 2000. Changes in algal assemblages along observed and experimental phosphorus gradients in a subtropical wetland, USA. *Freshwater Biology* 44: 339-353.
- Perty M. 1852. Zur Kenntniss kleinster Lebensformen: nach Bau, Funktionen, Systematik, mit Specialverzeichniss der in der Schweiz beobachteten. pp. 1-228, pls I-XVII. Bern: Verla von Jent & Reinert.
- Pinilla G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Prescott GW. 1970. The freshwater algae. W.M.C. Brown Company Publisher, Washington, D. C. 282 p.
- Rabenhorst L. 1853. Die Süßwasser-Diatomaceen:(Bacillarien): für Freunde der Mikroskopie; mit zehn lithographierten Tafeln. Kummer.
- Ralfs J. 1848. The British Desmidiaceae: The Drawings by Edw. Jenner. Reeve.
- Rengefors K, Legrand C. 2001. Toxicity in *Peridinium aciculiferum* an adaptive strategy to outcompete other winter phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 46(8), 1990-1997.
- Reynolds C. 2006. Ecology of Phytoplankton. Cambridge: Ecology, Biodiversity and Conservation.
- Richert L, Golubic S, Guédés R, Hervé A, Payri C. 2006. Cyanobacteria populations that build “Kapora” microbial mats in Rangiroa, Tuamotu Archipelago, French Polynesia. *Eur. J. Phycol*, 42(3): 259-279.
- Rippka R, Deruelles J, Waterbury J, Herdman M, Stainer R. 1979. Generic assignments, strain histories properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111:1-61
- Romero M. 2010. Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía. Recuperado el 24 de enero del 2020, del sitio web: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/Atlas_Org_Planctonicos_1.pdf
- Rosero D. 2018. Estudio de los efectos del cambio climático en las capacidades del embalse La Mica. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15381/1/T-UCE-0011-IC357-2018.pdf>
- Roset J, Aguayo S, Muñoz MJ. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Revista de Toxicología*, 18(2), 65-71.
- Round FE, Crawford RM, Mann DG. 2007. Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge university press.
- Round FE, Crawford RM, Mann DG. 1990. The diatoms: biology and morphology of the genera (No. 582.26 ROU).

- Santos K, Sant'anna CL. 2010. Cianobactérias de diferentes tipos de lagos ("salina", "salitrada" e "baía") representativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. *Brazilian journal of botany*, 33(1), 61-83.
- Segura-García V, Cantoral-Uriza EA, Israde I, Maidana N. 2012. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica*, 22(1), 16-27.
- Sherwood AR, Neumann JM, Dittbern-Wang M, Conklin KY. 2018. Diversity of the green algal genus *Spirogyra* (Conjugatophyceae) in the Hawaiian Islands. *Phycologia*, 57(3), 331-344.
- Shruthi MS, Rajashekhar M. 2014. Effect of salinity and pH on the growth and biomass production in the four species of estuarine cyanobacteria. *Journal of Algal Biomass Utilization* 5(4):29-36.
- Silva-Benavides M. 1996. The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America. *Diatom. Research*, 11, 105-142.
- Spaulding S. 2010. Epithemia. In *Diatoms of North America*. Retrieved February 03, 2020, from <https://diatoms.org/genera/epithemia>
- Silvey JK, Henley DE, Wyatt JT. 1972. PLANKTONIC BLUE-GREEN ALGAE: Growth and Odor-Production Studies. *Journal-American Water Works Association*, 64(1), 35-39.
- Stevenson RJ, Stoermer EF. 1982. Luxury consumption of phosphorus by five *Cladophora* epiphytes in Lake Huron. *Transactions of the American Microscopical Society* 101:151–161.
- Tavera R, Novelo E. 2011. The periphyton of the wetlands of Yucatan and Mayan agricultura. *Ciencia Ergo Sum*, 9(3), pp.260-272.
- Teiling E. 1948. *Staurodesmus*, genus novum. *Botaniska Notiser*, 1948, 49-83.
- Thomas EW, Kociolek JP, Lowe RL, Johansen JR. 2009 Taxonomy, ultrastructure, and distribution of Gomphonemoid diatoms (Bacillariophyceae) from Great Smoky Mountains National Park (U.S.A.). *Nova Hedwigia, Beiheft* 135: 201–237. <http://dx.doi.org/1438-9134/09/0135-20>
- Velázquez E, Vega, M. 2004. Los bioindicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO. Biodiversitas*, 57(1), 12-15
- Vicente WF, Vincent CL, Downes MT, Richerson PJ. 2005. Nitrate cycling in Lake Titicaca (Peru-Bolivia): the effects of high-altitude and tropicality. *Freshwater Biology*, 15(1), 31-42.
- Waterbury JB. 2006. The cyanobacteria—isolation, purification, and identification. *The Prokaryotes: Volume 4: Bacteria: Firmicutes, Cyanobacteria*, 1053-1073.
- Wehr JD, Sheath RG, Kociolek JP. (Eds.). (2015). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. *Elsevier*.
- Whitton BA, Rott E. 1996. Use of algae for monitoring rivers, II. Institut für Botanik, AG Hydrobotanik, Universität Innsbruck, Austria, 196 p.
- Whitton BA, Rott E, Friedrich G. 1991. Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik, AG Hydrobotanik, Universität Innsbruck, Austria, 193 p.

Williams DM. 2011. Synedra, Ulnaria: definitions and descriptions—a partial resolution. *Diatom Research*, 26(2), 149-153.

Wittrock VB. 1877. On the development and systematic arrangement of the Pithophoraceae, a new order of algae. Ed. Berling

FIGURAS



Figura 1: Especies de los géneros encontrados en el embalse La Mica: **a.** *Closterium* sp.1 **b.** *Closterium* sp. 2; **c.** *Closterium* sp. 3; **d.** *Closterium* sp. 4; **e.** *Cosmarium* sp. 1; **f.** *Cosmarium* sp. 2; **g.** *Cosmarium* sp. 3; **h.** *Cosmarium* sp.4; **i.** *Euglena* sp.1; **j.** *Euglena* sp.2; **k.** *Trachelomonas* sp.; **l.** *Trachelomonas volvocina*; **m.** *Gomphonema acuminatum*; **n.** *Gomphonema constrictum*; **o.** *Gomphonema* sp. en pedúnculo; Barra: 20 μ m; Lente: 100X

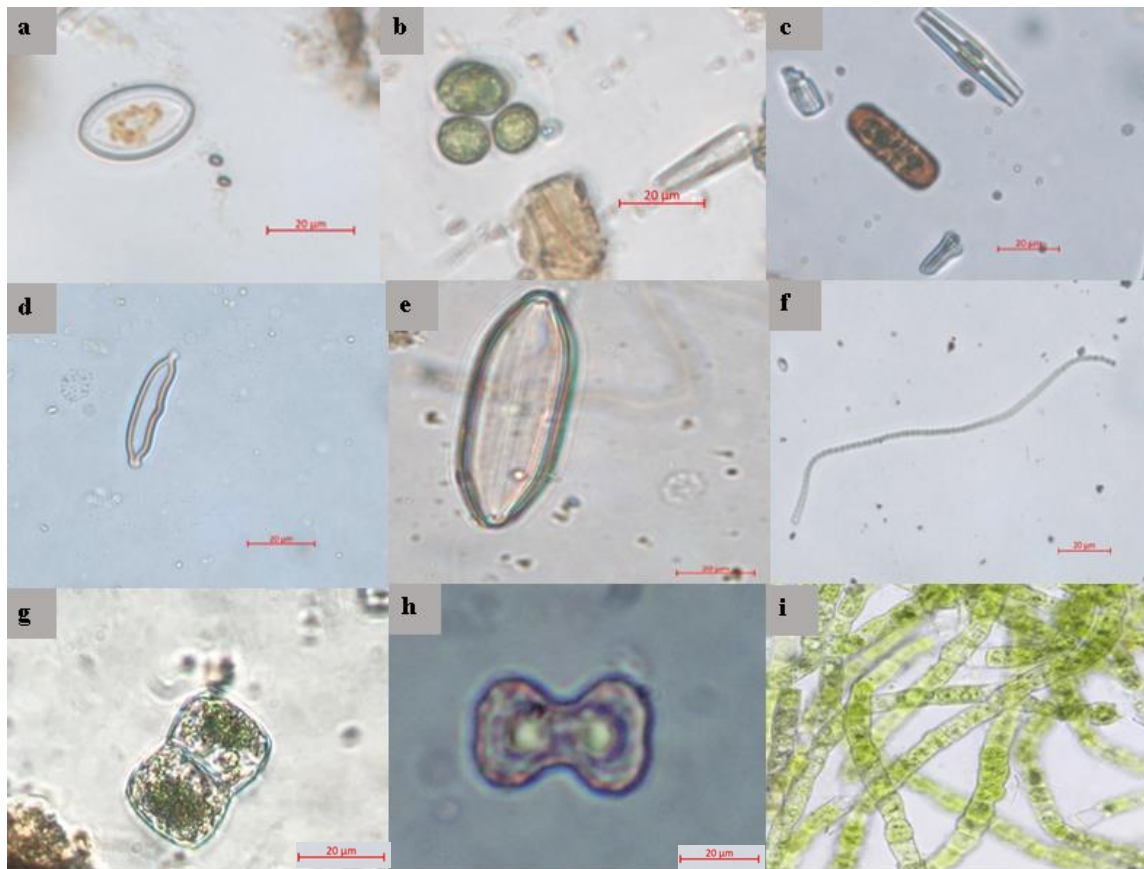


Figura 2. Morfotipos del embalse: **a.** Morfotipo 1; **b.** Morfotipo 2; **c.** Morfotipo 3; **d.** Morfotipo 4; **e.** Morfotipo 5; **f.** Morfotipo 6; **g.** Morfotipo 7; **h.** Morfotipo 8; **i.** Morfotipo 9 en 40X; Barra: 20 μm .

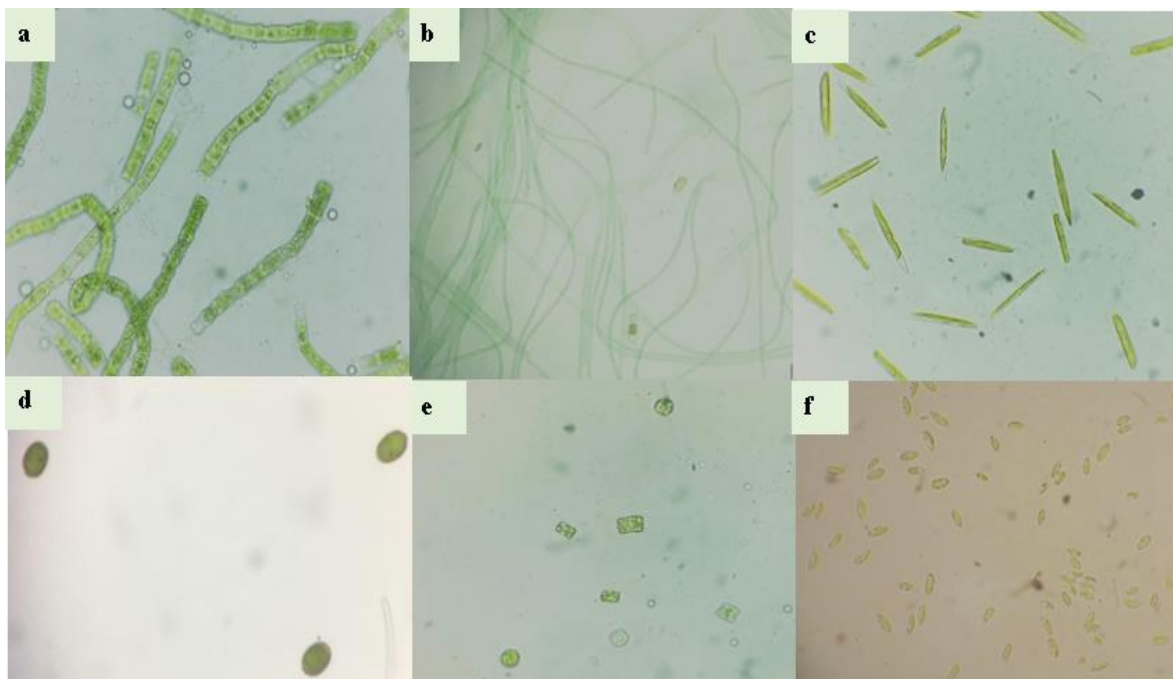


Figura 3. Cultivos obtenidos en el laboratorio a partir de muestras de perifiton: **a.** Morfotipo 9 /filamentosa; **b.** *Leptolyngbya* sp.; **c.** Diatomeas-naviculáceas; **d.** *Trachelomonas*; **e.** *Chlorella* sp.; **f.** *Scenedesmus* sp; Lente: 40X.

1844									
<i>Rhopalodia</i> Müller, 1895, nom. cons	x	x	x	x		x			
Bacillariales									
Bacillariaceae									
<i>Nitzschia</i> Hassall, 1845	x	x	x	x	x	x			x
Cocconeidales									
Cocconeidaceae									
<i>Cocconeis</i> Ehrenberg, 1836		x				x		x	
Melosirales									
Melosiraceae									
<i>Melosira</i> Agardh, 1824	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Surirellales									
Surirellaceae									
<i>Iconella</i> Jurilj, 1949	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tabellariales									
Tabellariaceae									
<i>Tabellaria</i> Ehrenbeg ex Kützing, 1844	x	x	x	x				x	x
Thalassiophysales									
Catenulaceae									
<i>Amphora</i> Kützing, 1844	x	x							x
CHLOROPHYTA									
Sphaeropleales									
Characiaceae									
<i>Ankyra</i> Fott, 1957	x								x
Hydrodictyaceae									
<i>Pediastrum</i> Meyen, 1829	x	x				x		x	
<i>Tetraëdron</i> Kützing, 1845	x								
Scenedesmaceae									
<i>Scenedesmus</i> Meyen, 1829				x	x	x		x	
Chlamydomonadales									
Chlorococcaceae									
<i>Chlorococcum</i> Meneghini, 1842 nom. cons.		x	x			x			
Sphaerocystidaceae									
<i>Sphaerocystis</i> Chodat, 1897	x		x			x		x	x
Volvocaceae									
<i>Pandorina</i> Bory, 1826	x	x	x			x			x
Chaetophorales									
Chaetophoraceae									
<i>Stigeoclonium</i> Kützing, 1843, nom. cons		x				x	x	x	x
Chlorellales									
Chlorellaceae									
<i>Chlorella</i> sp. Beijerinck, 1890	x	x	x	x				x	
Cladophorales									
Pithophoraceae									
<i>Pithophora</i> Wittcock,	x					x			

1877

Trebouxiales**Botryococcaceae***Botryococcus braunii*

x

x

Kützing, 1849

CHAROPHYTA**Desmidiiales****Desmidiaceae***Cosmarium* sp. 1 Corda
ex Ralfs, 1848

x

x

Cosmarium sp. 2 Corda
ex Ralfs, 1848

x

x

x

Cosmarium sp. 3 Corda
ex Ralfs, 1848

x

x

x

Cosmarium sp. 4 Corda
ex Ralfs, 1848

x

x

x

x

x

Euastrum Ehrenberg ex
Ralfs, 1848

x

Hyalotheca Ehrenberg
ex Ralfs, 1848

x

x

x

Staurastrum Meyen
ex Ralfs, 1848

x

x

x

x

x

Stauroidesmus Teiling,
1948

x

x

Closteriaceae*Closterium* sp. 1
Nitzsch ex Ralfs, 1848

x

x

Closterium sp. 2
Nitzsch ex Ralfs, 1848

x

x

x

x

x

Closterium sp. 3
Nitzsch ex Ralfs, 1848

x

x

Closterium sp. 4
Nitzsch ex Ralfs, 1848

x

x

x

Sphaeropleales**Scenedesmaceae***Desmodesmus* Friedl y
Hegewald, 1999

x

x

x

Zygnematales**Zygnemataceae***Mougeotia* Agardh,
1824

x

x

x

x

x

x

x

x

Spirogyra Link, 1820,
nom. cons

x

x

x

x

x

x

x

x

CYANOBACTERIA**Nostocales****Nostocaceae***Anabaena* Bory ex
Bornet y Flahault, 1886

x

x

x

Nostoc Vaucher ex
Bornet & Flahault, 1886

x

x

Microchaetaceae*Nodularia* Mertens ex
Bornet y Flahault, 1888

x

x

x

Nostocales**Oscillatoriaceae***Lyngbya* Agardh ex
Gomont, 1892

x

x

x

x

Oscillatoria Vaucher ex
Gomont, 1892

x

x

x

x

<i>Phormidium</i> Kützing ex Gomont, 1892		x		x				x	
Oscillatoriales									
Oscillatoriaceae									
<i>Linnoraphis</i> Komárek, 2013						x		x	
EUGLENOZOA									
Euglenida									
Euglenidae									
<i>Euglena</i> sp. 1 Ehrenberg, 1830		x		x		x			
<i>Euglena</i> sp. 2 Ehrenberg, 1830		x						x	
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg, 1834		x		x		x		x	
<i>Trachelomonas</i> sp. 1 Ehrenberg, 1834		x		x		x		x	
Phacidae									
<i>Phacus</i> Dujardin, 1841, nom. et typ. cons.				x				x	
CHRYSOPHYTA									
Ochromonadales									
Synuraceae									
<i>Mallomonas</i> Perty, 1852						x		x	
MIOZOA									
Peridinales									
Peridiniaceae									
<i>Peridinium</i> Ehrenberg, 1831 (Balech, 1974).		x		x		x			x
MORFOTIPOS									
Morfotipo 1		x		x		x		x	
Morfotipo 2								x	
Morfotipo 3		x		x		x		x	
Morfotipo 4						x			
Morfotipo 5						x			
Morfotipo 6						x			x
Morfotipo 7						x			
Morfotipo 8						x		x	
Morfotipo 9									x
Total		49		42		51		36	35
								34	21
									31

Tabla 2. Microalgas y cianobacterias con potencial bioindicador de calidad de agua

TAXÓN	CONDICIÓN DE BIOINDICACIÓN
<i>Amphora</i>	Es sensible a la contaminación por hidrocarburos y agua con cierto grado de salinidad (Anagnostidis, 1988).
<i>Anabaena</i>	Tolera la toxicidad por metales pesados (Coesel, 1979).
<i>Ankyra</i>	Permite identificar ecosistemas acuáticos mesotróficos con incremento de nutrientes, principalmente nitrato y amonio (Almanza et al., 2016).
<i>Closterium</i>	Indica enriquecimiento en materia orgánica (Wehr et al., 2015). Característico de lagos ácidos y estanques oligotróficos, rara vez presente en aguas alcalinas (Anton, 1981).
<i>Cocconeis</i>	Habita mejor en zonas en las que existe poca cantidad materia orgánica. No tolera un elevado nivel de contaminación (Stevenson y Stoermer, 1982).

<i>Cosmarium</i>	Indica aguas eutróficas. Tiene valor diagnóstico en aguas alcalinas de circulación lenta (Komárek, 1989).
<i>Cymbella</i>	Tolera aguas levemente contaminadas con compuestos tanto orgánicos como inorgánicos (Bourelly, 1990).
<i>Epithemia</i>	Está presente comúnmente en aguas ricas en carbonatos y pueden tolerar una conductividad alta (Spaulding, 2010). Es un género bentónico de aguas duras donde el fósforo está disponible (Wehr et al., 2015).
<i>Euglena</i>	Es característica de estanques y lagos ácidos (Coesel, 1979). Predomina en ambientes con alta concentración de materia orgánica.
<i>Fragilaria</i>	Tolera la presencia de ciertos nutrientes en gran cantidad como carbonatos, nitratos y fosfatos (Gómez, 2007). Las válvulas anormales de <i>Fragilaria</i> y la concentración de Cd, Cu, Fe y Zn disueltos sugiere que la abundancia de células deformadas son indicador de concentración elevada de metales en corrientes (MacFarland et al., 1997)
<i>Frustulia</i>	Es indicador de alto contenido de carbono orgánico disuelto (Guamán y González, 2016).
<i>Gomphonema acuminatum</i>	Es resistente a contaminación por metales orgánicos y pesados. Es frecuente en cuerpos de agua ricos en nutrientes y poco oxigenados (Bere y Tundisi, 2011).
<i>Limnographis</i>	Es característico de cuerpos de agua no muy contaminados, con numerosas plantas acuáticas (Anagnostidis, 1988).
<i>Melosira</i>	Está presente en ambientes mesosaprobios (Komárek, 1989). Responde rápidamente a procesos de contaminación orgánica y eutrofización, desarrollándose profusamente y apareciendo en masa (Albéndiz y Villalobos, 1996).
<i>Navicula</i>	Habita en aguas limpias, pero también en las ligeramente contaminadas (Coesel, 1979) e indica procesos de eutrofización.
<i>Nitzschia</i>	Es tolerante a la contaminación. Se ha utilizado como indicador del deterioro de la calidad del agua (Whitton et al., 1991; Whitton y Rott, 1996), pues es abundante en aguas con alta contaminación orgánica.
<i>Oscillatoria</i>	Es característica de hábitats bentónicos dulces, salobres o marinos y suelos húmedos poco contaminados (Carter, 1981).
<i>Pandorina</i>	Es indicador de aguas orgánicamente contaminadas (Dembowska, 2013).
<i>Pediastrum</i>	Es un género característico de aguas mesoeutróficas y eutróficas con un alto contenido de nitrógeno y fósforo, pH ácido y presencia de materia orgánica (Meyen, 1829).
<i>Pinnularia</i>	Se encuentra en estanques y en suelos poco contaminados (Krammer, 1991).
<i>Rhoicosphenia</i>	Indica condiciones ligeramente mejores de oxigenación en hábitat acuáticos (Segura-García, Cantoral-Uriza, Israde y Maidana, 2012). Se desarrolla tanto en el bentos como en el plancton.
<i>Spirogyra</i>	Es característico de eutrofia alóctona, gran cantidad de sedimentos y alta conductividad (Anagnostidis y Komárek, 1988). Tiene alto potencial bioindicador por su sensibilidad frente a plaguicidas organofosforados, evidenciado por degradaciones del color y crecimiento limitado (García, Reyes y Quiquiri, 2017).
<i>Staurastrum</i>	Es indicador de aguas contaminadas con materia orgánica (Sarmiento, 2018).
<i>Iconella</i>	Es sensible a la contaminación, por lo que figura como bioindicador de aguas limpias. Es reportado en cuerpos de agua con baja cantidad de materia orgánica y pocos nutrientes (Oliva et al., 2005).
<i>Tabellaria</i>	Es indicador de aguas ligeramente ácidas, aunque presenta amplia tolerancia a diferentes rangos de pH (Round et al., 1990). Es sensible a la contaminación (Knudson, 1953).
<i>Trachelomonas</i>	Es indicador de eutrofia alóctona, gran cantidad de sedimentos y alta conductividad (Huber-Pestalozzi, 1955). Caracteriza cuerpos de agua meso y eutróficos, con presencia de hierro y manganeso (Pinilla, 2000).
<i>Ulnaria</i>	Puede tolerar altos niveles de contaminación, por ello su potencial bioindicador de calidad (Williams, 2011).

ANEXOS.

Anexo 1. Diversidad de taxones en relación con los puntos de muestreo en el embalse La Mica.

