PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CARRERA DE MICROBIOLOGÍA

Caracterización fenotípica de microalgas y cianobacterias del perifiton de los ríos aportantes del embalse altoandino Mogotes (Parque Nacional Cayambe-Coca), Ecuador.

EMILIO RAFAEL JARRE SALTOS

Quito, 2022

Certifico que la Disertación de grado en Microbiología del Sr. Emilio Rafael Jarre Saltos ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

PhD. Diana Astorga García

Directora de la Disertación

Quito, 22 de abril de 2022

DEDICATORIA

A mis padres y abuelos, por su amor y apoyo incondicional, por darme fuerzas para continuar y seguir siempre adelante para lograr las metas propuestas. Y a todas las personas que han aportado de alguna manera en la realización de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer profundamente a mis padres y abuelos, por todo lo que me han dado a lo largo de mi vida, por su infinito amor y apoyo incondicional en todo momento. Por darme fuerzas para continuar y seguir siempre adelante para lograr este triunfo glorioso.

Agradezco a mis amigos, dentro y fuera de la Universidad, tanto por hacer mis días más amenos y llevaderos como por su apoyo en todo momento. Doy gracias, también, a mi novia, por su cariño, apoyo y amor a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradezco a mi directora de tesis, la PhD. Diana Astorga, por su enorme paciencia, guía y apoyo a lo largo de mi carrera y en este arduo trabajo, que se ha logrado gracias a sus consejos y enseñanzas. Mi agradecimiento se dirige también a todos los profesores que me han dado los conocimientos que me serán de utilidad a futuro para ser un profesional de bien.

Finalmente, agradezco a la Empresa Pública de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS-Q), por permitirme usar sus instalaciones y por los cursos impartidos, que han sido de fundamental apoyo en esta investigación. Dentro de esta empresa, agradezco especialmente a la MSc. Diana Ontaneda y al Lcdo. Andrés Arévalo, por su ayuda durante la fase de análisis y muestreos en campo.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS……..…..…….VII
LISTA DE TABLAS……..……..…….....VIII
1. RESUMEN……..……..……..... 1
2. ABSTRACT……..…..…….…..….....2
3. INTRODUCCIÓN…….……..…….……...….....3
3.1 OBJETIVOS……..…..……....……..…..…....7
3.1.1 OBJETIVO GENERAL……..……...…..…...…..….....7
3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS…...…….…….....….....7
4. MATERIALES Y MÉTODOS…….…….....7
4.1. ÁREA DE ESTUDIO……...……7
4.2. METODOLOGÍA……..9
4.2.1 FASE DE CAMPO……9
4.2.2 FASE DE LABORATORIO……10
5. RESULTADOS…… ……..…….....12
5.1 TAXONES DEL PERIFITON DEL EMBALSE MOGOTES…….…..……...12
6. DISCUSIÓN…….……...….....39
6.1 ANÁLISIS DEL ESTADO TRÓFICO Y DE LA PREFERENCIA DE HÁBITAT DE ACUERDO CON LA DIVERSIDAD DE TAXONES PRESENTES EN EL PERIFITON DEL TRIBUTARIO DE MOGOTES.…….…….....39
6.2 MOGOTES FRENTE A ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SIMILARES Y CUERPOS DE AGUA QUE HAN SUFRIDO ALGÚN TIPO DE INTERVENCIÓN HUMANA EN EL CONTINENTE……..….....57
7. CONCLUSIONES……...……..…….....61
8. RECOMENDACIONES……...……..62
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……...……...…….....63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del embalse Mogotes, sus afluentes y coordenadas geográficas…..……..8

Figura 2. Vista posterior del dique del embalse Mogotes…….…..8

Figura 3. Observación de crecimiento cianobacteriano en cultivo mixto…….……11

Figura 4. Cultivos mixtos y monoalgales de microalgas y cianobacterias obtenidos a partir de muestras de perifiton del embalse Mogotes……..……..…12

Figura 5. *Cymbella* observada al microscopio óptico en 40x a partir de un cultivo mixto desarrollado en medio $BG11_o$……...13

Figura 6. Observación del cultivo monoalgal de *Nostoc commune* al microscopio bajo el lente de 40x……...……..……..13

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxones del perifiton encontrados en el tributario del embalse altoandino Mogotes en función de los sustratos analizados.……14-33
Tabla 2. Taxones del perifiton de Mogotes con potencial bioindicador..35-38
Tabla 3. Taxones del perifiton de Mogotes y su hábitat característico…42-54

1 RESUMEN

Mogotes es un cuerpo de agua altoandino natural ubicado en el Parque Nacional Cayambe-Coca. Sus aguas se aprovechan para el abastecimiento agua de consumo humano para el Distrito Metropolitano de Quito. Por tanto, conocer la diversidad taxonómica de microorganismos perifíticos resultaba de gran utilidad no solo para determinar la composición de las comunidades de microalgas y cianobacterias, sino para establecer biológicamente la calidad de sus aguas. La investigación conducida incluyó dos muestreos en el río aportante más importante, uno en febrero y otro en abril de 2021. Se obtuvieron muestras por duplicado de raspado de rocas, biopelículas de plantas semisumergidas y sedimentos. La mitad fue fijada en campo para la visualización microscópica directa y la otra fue utilizada para la siembra de biomasa en medio BG11 sin nitrógeno para el aislamiento y caracterización de cianobacterias. Se caracterizaron 31 géneros y 39 especies, distribuidas en siete filos, entre los que sobresalieron Bacillariophyta, Charophyta y Chlorophyta, distribuidos diferencialmente entre sustratos. Veinte taxones proporcionaron indicios sobre la calidad del ecosistema e incluyeron bioindicadores de diferentes estados tróficos simultáneamente. Sin embargo, la persistencia taxones intolerantes a contaminantes como nitratos, amonio o fósforo, demostraron que el sistema aún conserva atributos oligotróficos como aguas limpias y bien oxigenadas, de alta calidad potable, que se ven alteradas por efecto de las lluvias. Para futuros estudios y una toma de decisiones mejor sustentada, se recomienda el monitoreo periódico y sistemático de las comunidades de microalgas y cianobacterias perifíticas y fitoplanctónicas, simultáneamente, su composición, la abundancia relativa de sus taxones y las posibles fluctuaciones a lo largo del año y entre años.

Palabras clave: cianobacterias, diversidad taxonómica, embalse altoandino, microalgas, perifiton.

2 ABSTRACT

Mogotes is a high Andean reservoir located in Cayambe-Coca National Park. It supplies water for human consumption to the Metropolitan District of Quito. Therefore, the knowledge of taxonomic diversity of periphytic microorganisms was needed not only for the determination of the composition of microalgae and cyanobacteria communities, but also for the water quality establishment. This study included two samplings in the most important contributing river, one in February and the other in April 2021. Duplicates of samples were obtained from rock and plant biofilms and sediment. Half of them were preserved for the direct microscopic observation and the other half was used for isolation and characterization of cyanobacteria in BG11-without-nitrogen medium. Differentially distributed among the substrates, 31 genera y 39 species, belonging to seven phyla were characterized, with Bacillariophyta, Charophyta y Chlorophyta as the most diverse. Twenty taxa gave clues about the water quality of the ecosystem and included bioindicators of different trophic conditions simultaneously. The persistence of intolerant taxa to nitrates, ammonia and phosphorus contaminants demonstrated that the system preserves oligotrophic attributes like clean waters, well oxygenated and of high drinkable quality, that are altered by the effect of rains. For future studies and a better substantiated decision-making, it is recommended a simultaneous systematic monitoring of microalgae and cyanobacteria communities from periphyton and phytoplankton, their composition, relative abundance of their taxa and possible fluctuations along the year and between years.

Keywords: cyanobacteria, high Andean reservoir, microalgae, periphyton, taxonomic diversity.

3 INTRODUCCIÓN

Las comunidades de microalgas están conformadas por microorganismos eucariotas de varias formas y tamaños, que habitan ambientes mayormente acuáticos, y cianobacterias u organismos procariontes fotosintéticos oxigénicos que habitan, generalmente, lagos y lagunas. Las microalgas están presentes en varios sistemas acuáticos, con diferente hidrodinámica, y han sido sujetas a estudio desde inicios del siglo pasado en las Américas y, más específicamente, en la región altoandina (Moreno y Aguirre, 2013; Rodrigues y Bicudo, 2001).

Tanto microalgas como cianobacterias que conforman el perifiton constituyen parte fundamental de los sistemas acuáticos. Estos se encuentran adheridos a sustratos duros de la orilla y plantas. Inclusive, se los puede encontrar en rocas al fondo de cuerpos de agua y representan eslabones fundamentales de la cadena trófica (Giorgi y Feijoó, 2010). No obstante, lo que resulta primordial es que su presencia, junto con la del fitoplancton, puede ser indicio de la acumulación o el exceso de nutrientes que tienden a conducir a una eutrofización en situaciones ambientales adversas (Santana y Ferragut, 2016). Además, la convivencia de microalgas y cianobacterias del perifiton con microorganismos fitoplanctónicos mantiene al ecosistema acuático en equilibrio y forma pequeñas y características biopelículas sobre sustratos sumergidos que se asocian en comunidades microbianas fotosintéticas sobre plantas acuáticas y rocas en orillas y zonas someras (Zanon, Simões y Rodrigues, 2013).

Existen revisiones sobre los organismos del perifiton, tanto de aguas que siguen un curso como los ríos, conocidos también como sistemas lóticos, como de aguas permanentemente estancadas como lagos y lagunas, que conforman sistemas lénticos. En Colombia, por ejemplo, destaca la investigación de Moreno y Aguirre (2013). El trabajo de Moreno, Caro, Pinilla y Osorio (2017) rescata estudios de perifiton o de las comunidades de microalgas bentónicas en lagunas altoandinas de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. En países como Brasil, se presentan varios estudios comparativos de las comunidades microalgales existentes en diferentes sistemas acuáticos (Rodrigues y Bicudo, 2001; Santana y Ferragut, 2016). Estas investigaciones incluyen aspectos taxonómicos de ciertas especies de microalgas y cianobacterias, es decir, la clasificación de los organismos y su morfometría.

Estos estudios permiten entender mejor los ecosistemas acuáticos y la relación que existe entre las especies que los habitan.

En general, para el análisis de perifiton, se toman en cuenta variables fisicoquímicas como la profundidad, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, la conductividad, el pH, la turbidez, la alcalinidad y las concentraciones de amonio, ortofosfato, nitrógeno y fósforo (Bichoff, Osório, Dunck y Rodrigues, 2016). De igual manera, resultan importantes la turbidez del agua o el impacto de la luz en todo el cuerpo de agua, pues afectan tanto la composición como la biodiversidad del perifiton (Dunck et al., 2018). Adicionalmente, debe considerarse el momento más idóneo para el estudio, en función de sus objetivos: si se lleva a cabo en el periodo de lluvias, en el de sequía o a lo largo de todo el año y/o por varios años, porque esto aporta información útil en cuanto a qué especies predominan bajo qué factores ambientales (Bichoff et al., 2016) y puede ser determinante para la accesibilidad al sitio de colecta y la factibilidad de proyectar estudios de largo plazo.

Para la realización de un monitoreo sistemático de una comunidad de este tipo, debe establecerse un riguroso cronograma con un número determinado de muestras, para no sesgar los resultados (Carapunarla, Baumgartner y Rodrigues, 2014). Por ejemplo, en ciertas investigaciones, se presta especial atención a la vegetación que crece alrededor de las zonas de muestreo (Lozano, Vásquez, Rivera, Zapata y Ortiz, 2019). En cualquier caso, los análisis taxonómicos publicados dan cuenta de la diversidad y la taxonomía de los grupos microalgales y cianobacterianos presentes en el perifiton, y cómo se ven afectadas por el clima o, incluso, por el ser humano.

En la región altoandina, se puede encontrar gran diversidad de especies perifíticas, pertenecientes a varios grupos y, en algunos casos, se ha podido llegar a determinar los pigmentos producidos para facilitar el proceso de clasificación (Moreno, Medina y Albarracín, 2012). Así, la presencia o ausencia de una especie, un grupo de especies o una comunidad de microalgas y/o cianobacterias, puede revelar si el ecosistema acuático ha sufrido cambios con un impacto significativo en la diversidad (Rodrigues y Bicudo, 2001). En algunos casos, se estima que los cambios evidenciados pueden ser producto de la actividad humana (Zanon, Simões y Rodrigues, 2013). Además, la diversidad perifítica se

atribuye al tipo del cuerpo de agua y a sus características fisicoquímicas más que a su profundidad (Adame, Dunck y Rodrigues, 2018).

Uno de los aspectos fundamentales que destacan en los estudios de la diversidad de organismos del perifiton es la importancia que se concede a ciertos géneros o taxones de microalgas por constituir bioindicadores. Se trata de organismos y/o comunidades de organismos que se emplean para descifrar cualquier fenómeno relacionado con el ambiente donde proliferan (Morales et al., 2017; Moreno y Aguirre, 2013; Moreno, Caro, Pinilla y Osorio, 2017). Por otra parte, la presencia o la ausencia de ciertos grupos algales actúa como bioindicador de contaminación del cuerpo de agua (Osório et al., 2018). Finalmente, existen investigaciones que sugieren que conocer el ecosistema acuático completo puede ayudar a que futuros estudios limnológicos y de biodiversidad de ecosistemas sean más eficaces y fáciles de realizar (Morales et al., 2017; Rodrigues y Bicudo, 2001). En ese sentido, estudios de más profundidad y detalle de los sistemas acuáticos ayudarán a tener un mayor conocimiento sobre su estado, lo que permitirá, a su vez, realizar un biomonitoreo completo de las especies que habitan un lago o el curso de agua que abastece a un lago, conocido como tributario, y examinar el porqué de su ausencia o presencia (Osório et al., 2018).

En el caso específico de lagunas altoandinas, se tiene muy poca o nula información de la comunidad existente en Ecuador, a comparación de países como Chile (Alvial, Cruces, Araneda, Grosjean y Urrutia, 2008) o Perú (Laura, Montoya, Castellanos y Quiroz, 2018), que priorizan el conocimiento limnológico en estos cuerpos de agua. Debe recalcarse, además, que mucha de la información recabada no ha sido publicada o es de publicación restringida. Existen unos pocos estudios realizados en áreas protegidas de Ecuador que describen y determinan los atributos peculiares que presentan los microorganismos del perifiton, en una caracterización pormenorizada que conlleva a determinar la taxonomía existente y las potencialidades de los ecosistemas involucrados (Guamán y González, 2016; Morales et al., 2017).

Independientemente, parecería que Ecuador no hubiera concebido importancia suficiente a este tipo de investigaciones: no se hallan estudios previos a 2016 – 2017 y se detallan muy poco las comunidades microalgales y cianobacterianas acuáticas del país (Morales et al., 2017). Esto contrasta con la necesidad de conocimiento de la diversidad de microalgas de los sistemas lacustres de la sierra andina ecuatoriana. De hecho, es indispensable tanto para la población como para empresas de gestión del agua como la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS-Q), por incluir posibles bioindicadores de calidad de agua para consumo humano (Andramunio-Acero, Caraballo-Gracia, Duque-Escobar y Solari, 2018; Morales et al., 2013), que contribuirían a rentabilizar tiempo y recursos. Por ello, se pretendió acortar esta brecha de conocimiento.

Surgió, entonces, la necesidad de generar información comprobable, veraz y que siembre las bases para investigaciones de mediano y largo plazo sobre la evolución de embalses altoandinos y su calidad de agua. Este estudio en particular se centró en Mogotes, pues previo a la conclusión de esta iniciativa, no se encontraban disponibles investigaciones acerca de comunidades de microalgas y cianobacterias de este ecosistema (Guamán y González, 2016). Su priorización radica en que sus aguas son aprovechadas para el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, y abastece al norte de la ciudad y a los valles de Tumbaco y Cumbayá (Andramunio-Acero et al., 2018). Se desconocía qué microorganismos estaban presentes en esta laguna y sus ríos aportantes (Abuhatab-Aragón y Donato-Rondón, 2012). Por tanto, la presente investigación estableció una línea de base taxonómica de microorganismos fotosintéticos del perifiton de Mogotes.

En ese sentido, las preguntas de investigación que guiaron el trabajo emprendido fueron: ¿Cuál es la diversidad de microalgas y cianobacterias del perifiton del embalse Mogotes? ¿La presencia o ausencia de determinadas microalgas y cianobacterias es indicio de contaminación en el cuerpo de agua? ¿Cuál es el estado trófico del embalse?

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar fenotípicamente la diversidad morfológica de microalgas y cianobacterias del perifiton de un río aportante del embalse Mogotes.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Caracterizar fenotípicamente las microalgas y las cianobacterias perifíticas de los tributarios del sistema lacustre Mogotes mediante observación microscópica, detección de aspectos morfológicos determinantes y claves taxonómicas específicas.

b. Determinar a las microalgas y cianobacterias perifíticas con potencial bioindicador de los ríos aportantes y sus consecuencias para el estado trófico del embalse Mogotes.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El embalse Mogotes (Figura 1) pertenece al sistema de abastecimiento de agua potable Papallacta, ubicado en el Parque Nacional Cayambe-Coca. Se encuentra ubicado a una altitud aproximada de 3982 msnm, donde un dique de hormigón de 10 m (Figura 2) permite el represamiento de agua desde 1998 (Flores, 2014). Este represamiento en la laguna natural de Mogotes ha generado un aumento de su área que, a su vez, ha provocado inundaciones que han llevado a la descomposición del material vegetal circundante en varias ocasiones a lo largo de los años (Terneus y Buñay, 2013).

La altitud a la que se ubica el embalse, lo localiza en el ambiente de páramo o zona montano alta superior, con temperaturas del aire que oscilan entre los -7,8 hasta 14,3ºC (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAEE], 2020). En cuanto a la temperatura del agua, esta oscila entre los 1,5 y 7,5 ºC. La pluviosidad característica de la zona es alta, con rangos desde los 800 a los 1487 mm^3 anuales (MAEE, 2020). Además, no

presenta una estacionalidad muy marcada, observándose lluvias intensas a lo largo del año. No obstante, se identifican una época de lluvias, que va de mayo a septiembre, y una época seca que va, generalmente, de agosto a abril, pero que no descarta que se produzcan lluvias frecuentes (MAEE, 2020).

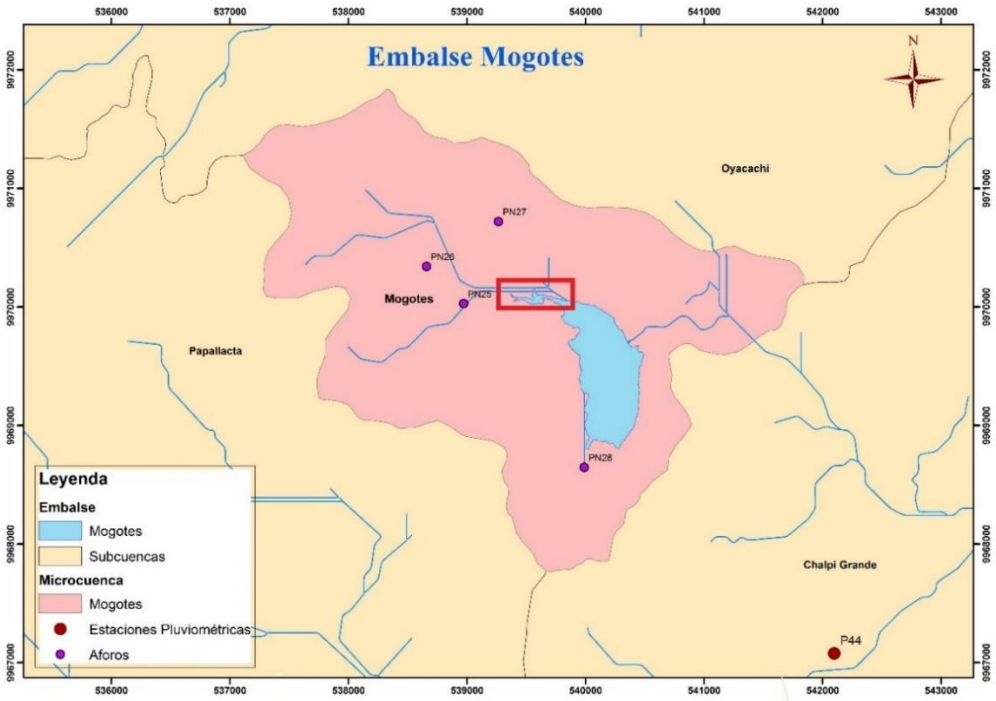


Figura 1. Mapa del embalse Mogotes, sus afluentes y coordenadas geográficas. La zona resaltada en rojo corresponde al tributario estudiado (Fuente: EPMAPS-Q, 2020).



Figura 2. Vista posterior del dique del embalse Mogotes.

4.2. METODOLOGÍA

La investigación conducida fue descriptiva transversal, debido al periodo destinado a la recolección de muestras, limitado a un muestreo en cada uno de dos meses de la época seca (Vale, 2011), febrero y abril de 2021, con el fin de identificar el mayor número de especies posible (Zanon et al., 2013). La metodología empleada fue la definida por el Laboratorio de Control de Calidad de la EPMAPS (EPMAPS-Q, 2020) y fue conducida bajo la capacitación, la logística y la supervisión de funcionarios de esta entidad.

4.2.1. FASE DE CAMPO

Para la caracterización fenotípica de las microalgas y las cianobacterias perifíticas, se consideró únicamente al tributario 1 del embalse Mogotes (Figura 1). Para cada muestreo, en áreas cercanas a la orilla, se recolectaron muestras de raspado de rocas, para el que se tomaron como referencia tres rocas de alrededor de 3 m de circunferencia, con un alto total de 5 m de los que sólo los 2 m superiores emergían sobre el fango. Para el raspado, se utilizó un cepillo de dientes y se guardó el material biológico en fundas plásticas herméticas con agua destilada para su conservación y transporte a una temperatura de entre 4 y 8 ºC, de acuerdo con el protocolo (EPMAPS-Q, 2020). También, en cada muestreo, se recolectaron en bolsas herméticas pretratadas duplicados de muestras de sedimentos (250 ml de fango en cada una) cada 10 metros en un tramo de 30 metros a lo largo de la orilla del cauce del tributario. Adicionalmente, por muestreo, se tomaron tres muestras de plantas de la orilla con evidente biopelícula perifítica, y se las guardó en fundas plásticas herméticas pretratadas (Lozano-Peña et al., 2019). En total, en cada muestreo, se obtuvieron seis muestras por duplicado, tres de raspados de rocas y tres de sedimentos, además de tres plantas, que se mantuvieron en cadena de frío hasta su procesamiento en el laboratorio, máximo 24 horas después (EPMAPS-Q, 2020).

Las fundas que contuvieron las muestras fueron etiquetadas, para evitar confusiones de procedencia y fecha al momento de observar e identificar microorganismos en el laboratorio. En la etiqueta, se consignaron datos básicos como el nombre del embalse, el tributario, el tipo de sustrato de procedencia, las condiciones climáticas al momento de la toma de muestra (temperatura y pH del

agua) y el tipo de muestra (EPMAPS-Q, 2020). Se utilizaron los mismos puntos de muestreo en ambas campañas de recolección de muestras, a través del cauce del tributario 1, georeferenciándolos en cada ocasión.

Una réplica de cada dupla de raspado de rocas y sedimentos fue fijada en campo en proporción 1:1 con *Transeau* (se requiere de 600 ml de agua destilada, 300 ml de alcohol al 70% y 100 ml de formol al 40% por cada litro de solución [EPMAPS-Q, 2020]). Se prefirió al *Transeau* frente al formaldehido al 40% porque éste último tiende a degradar parte del material biológico y puede alterar estructuras y la coloración de las microalgas y cianobacterias que pueden resultar decisivas a la hora de la identificación taxonómica (López, com. pers., 31 de enero 2020). La otra réplica se mantuvo como muestra viva.

4.2.2. FASE DE LABORATORIO

La réplica preservada de cada dupla fue sujeta a examinación bajo un microscopio invertido marca Carl Zeiss AXIOVERT 4.0, con un aumento de 63X, directamente en el Laboratorio de Control de Calidad de la EPMAPS-Q. Para ello, se recurrió a cámaras de sedimentación Utermöhl en las que se colocaron 25 ml de muestra, analizándose un total de tres alícuotas por muestra. Para la observación de los diferentes morfotipos y su fotografía, se procedió con un barrido horizontal hasta cubrir toda la superficie de las cámaras. Las fotografías de microorganismos fotosintéticos obtenidas, observadas con alta magnificación en un monitor acoplado al microscopio, se utilizaron para la identificación de características morfológicas clave de filos, géneros y, en algunos casos, especies, con la ayuda de claves taxonómicas (Aubriot et al. 2009; Bellinger y Sigee, 2010; Biggs y Kilroy, 2000; Mattos y Meneses, 2017; Núñez-Avellaneda, 2008; Sant´Anna et al., 2012; Soler, Pérez, Aguilar y Villareal, 2012).

La réplica viva, a su llegada al laboratorio o máximo 24 horas después para evitar que la acumulación de materia orgánica cause su descomposición (EPMAPS-Q, 2020), fue sujeta a filtración a través de membranas de 0,45 micras de poro, para la siembra de éstas últimas con la biomasa concentrada en medio de cultivo BG11 sin nitrógeno ($BG11_0$), específico para cianobacterias (Uriel, 2016). Tras tres o cuatro

semanas de incubación bajo iluminación de baja intensidad proporcionada por lámparas fluorescentes de 10-75 µmol m^{-2} s^{-1}, temperatura entre 20-25°C y un fotoperíodo de 12:12 horas (Beamud, León, Kruk, Pedrozo y Diaz, 2015), se evidenció el crecimiento verde-azul característico de las cianobacterias en cultivos mixtos (Figura 3) y se procedió a su aislamiento hasta conseguir cultivos monoalgales.

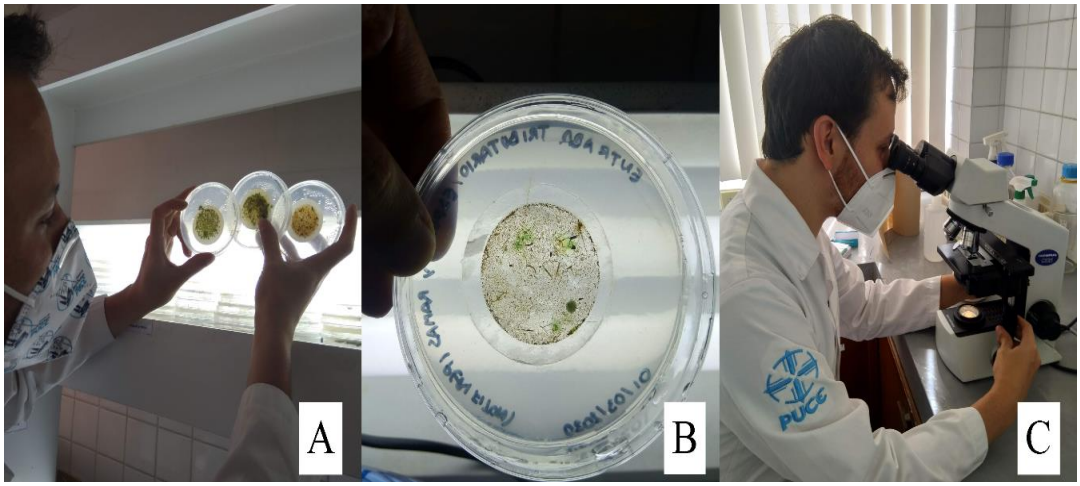


Figura 3. Observación de crecimiento cianobacteriano en cultivo mixto. A, Control del desarrollo de filamentos o colonias verde-azuladas en medio $BG11_0$ para proceder a su aislamiento; B, Cultivo mixto de microalgas y cianobacterias desarrollado sobre el filtro de 0,45 micras de poro en que se concentró la biomasa perifítica; C, Control microscópico de la pureza de los cultivos tras el aislamiento paulatino de las colonias distintivas.

A partir de la caracterización de estructuras y su correspondencia con los taxones identificados tanto por visualización directa de las muestras preservadas como a través de los cultivos monoalgales obtenidos de las muestras frescas, se obtuvo una clasificación taxonómica preliminar. Se procedió, entonces, a la corroboración o a la rectificación de los taxones microalgales y cianobacterianos hallados mediante consulta a los expertos MSc. Diana Ontaneda y Lcdo. Andrés Arévalo, funcionarios de la EPMAPS. Finalmente, se dio paso a la corroboración de los hallazgos mediante consulta directa a ficólogos internacionales, el PhD. Ricardo Echenique de la Universidad de la Plata, Argentina, y la PhD. Miriam Steinitz-Kannan, Profesora del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Kentucky del Norte, Estados Unidos.

5 RESULTADOS

5.1 TAXONES DEL PERIFITON DEL EMBALSE MOGOTES

La Tabla 1 contiene la información resultante de la identificación por visualización directa al microscopio invertido de los diferentes morfotipos fotosintéticos hallados en el perifiton del tributario 1 del embalse Mogotes. En ella, se detalla su clasificación taxonómica y se incluye una fotografía de cada taxón con su respectiva referencia de tamaño, para mayor detalle. De igual manera, se ha marcado el sustrato donde fue hallado el microorganismo y, además, se añade una pequeña descripción de sus características morfológicas determinantes para su clasificación.



Figura 4. Cultivos mixtos y monoalgales de microalgas y cianobacterias obtenidos a partir de muestras de perifiton del embalse Mogotes.

El cultivo de las muestras frescas en medio de cultivo $BG11_0$ (Figura 4) no aportó taxones adicionales a los ya identificados mediante visualización directa de las muestras preservadas (Figura 5). Sin embargo, debe señalarse que el único microorganismo fotosintético del que pudo obtenerse un cultivo monoalgal en $BG11_0$ fue *Nostoc commune* (Figura 6), que se logró a partir de una muestra de raspado de rocas.

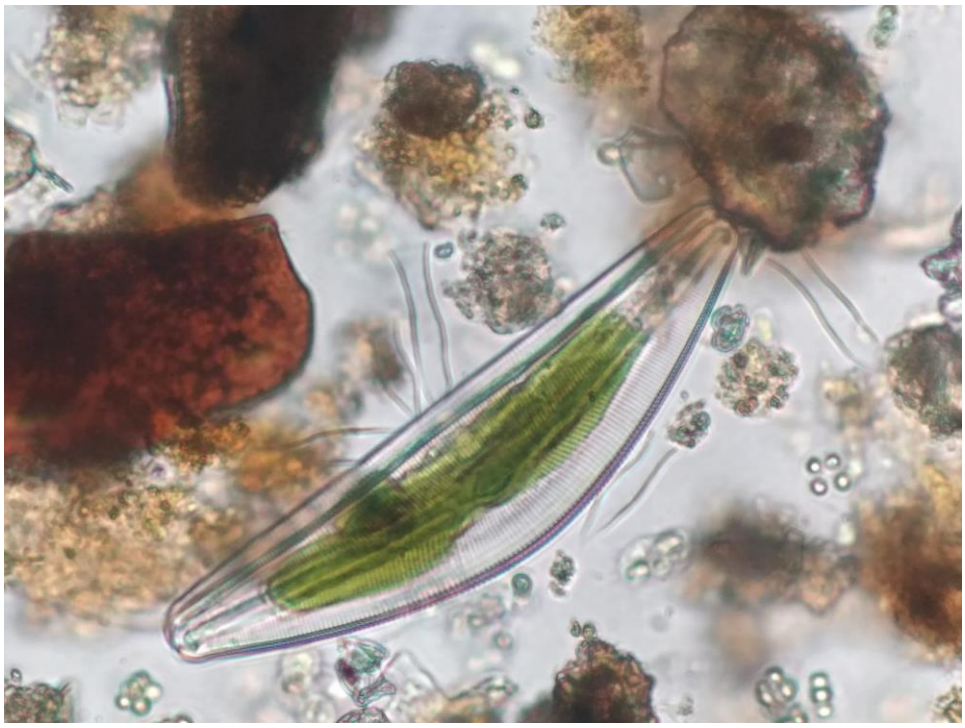


Figura 5. *Cymbella* observada al microscopio óptico en 40x a partir de un cultivo mixto desarrollado en medio BG11$_0$.

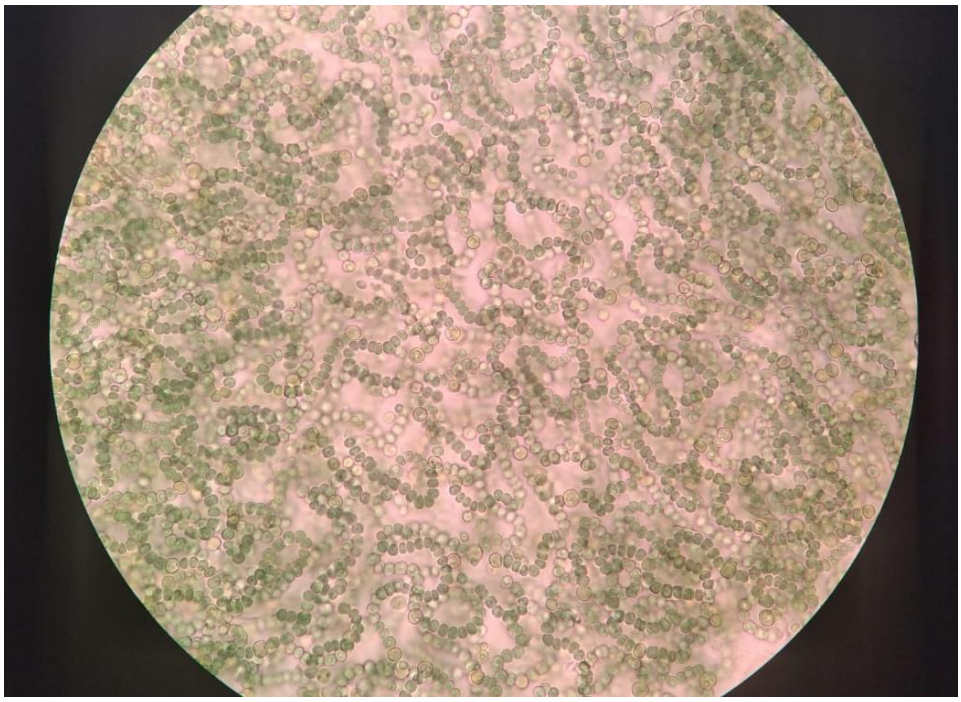
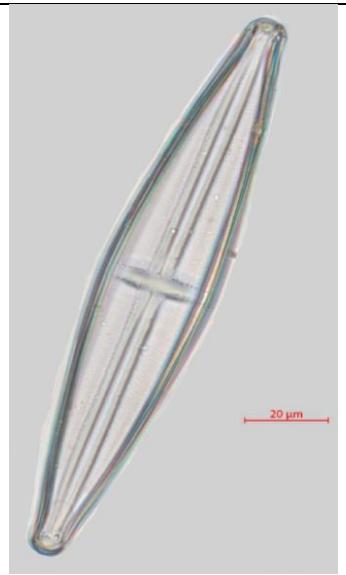
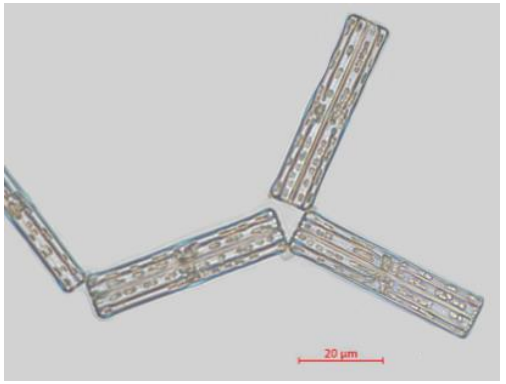


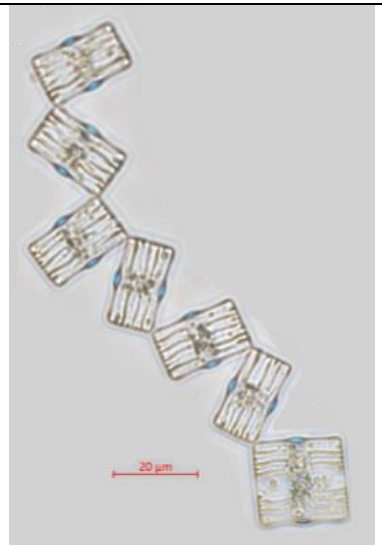
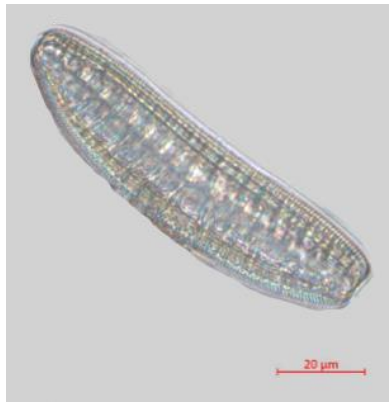
Figura 6. Observación del cultivo monoalgal de *Nostoc commune* al microscopio óptico bajo el lente de 40x.

Tabla 1. Taxones del perifiton encontrados en el tributario del embalse altoandino Mogotes en función de los sustratos analizados.

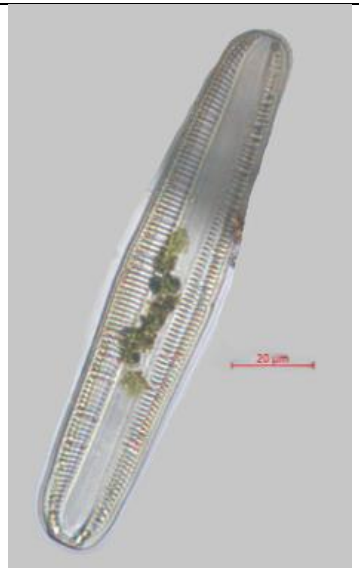
TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella*	sp.	X				Las valvas de *Cymbella* son asimétricas al eje apical y simétricas al eje transapical. Las fisuras del rafe se desvían hacia el lado dorsal. Poros apicales presentes en ambos polos. Crecen en hábitats bentónicos y pueden producir tallos mucilaginosos.
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	sp.	X	X			Microalga unicelular, cosmopolita, que se puede encontrar en agua dulce. Su pared celular es de sílice y es bastante dura. Esta especie se caracteriza por ser de forma ovalada o rectangular.

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Stauroneidaceae	*Stauroneis*	sp.	X				*Stauroneis* es de forma naviculoide. Las valvas son lineales hasta elípticas lanceoladas. La zona central es también conocida como ¨stauros¨. Para determinar una especie, se debe de tomar en cuenta: tamaño y forma de la valva, anchura, tamaño y forma de la zona central, número de aréolas y estructura del rafe. Cosmopolita, presente en agua dulce.
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	sp. 1	X	X			Esta diatomea se agrupa en colonias largas, sus células son de forma rectangular. Están unidas entre sí por mucílago. Dentro del frústulo, hay cuatro bandas abiertas con septos y una banda que atraviesa horizontalmente la célula. Se encuentra en lagos. Sus dimensiones celulares son: 40 a 75 µm de largo y 16 a 20 µm de ancho.

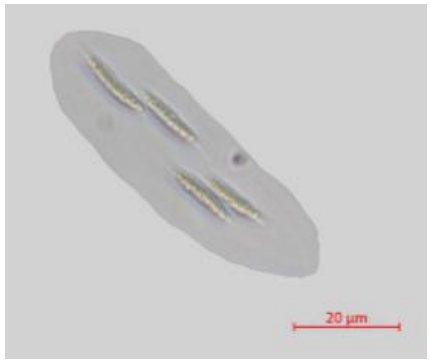
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	sp. 2	X	X			Esta diatomea se agrupa en zigzag y forma cadenas. A su vez, estas cadenas forman colonias que están unidas entre sí por mucílago. Se encuentra en lagos y es cosmopolita. Sus dimensiones características son: 15 a 20 µm largo de la célula y 20 a 30 µm de ancho.
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia*	sp.	X	X			En *Epithemia*, el rafe se sitúa a lo largo del margen ventral. Cada rama del rafe está arqueada hacia el margen dorsal. Las aréolas son complejas. Además, las células de *Epithemia* suelen incluir cianobacterias que son endosimbióticas que fijan nitrógeno atmosférico.

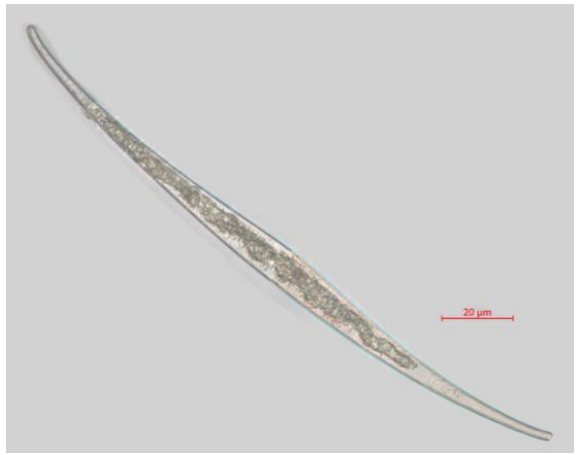
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	sp.	X				En *Rhopalodia*, las frústulas tienen simetría dorsiventral. El rafe está en el lado dorsal de la valva y las caras de las valvas son casi planas. Además, las células de *Rhopalodia* suelen en ciertos casos, incluir cianobacterias que son endosimbióticas que pueden fijar nitrógeno atmosférico.
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	sp.	X	X			Las células de *Surirella* crecen aisladas y solas. Las frústulas pueden ser isopolares o heteropolares. El rafe está a lo largo del margen de la valva y se encuentra dentro de un canal. La pared celular es de sílice. Pueden ser de tamaño pequeño hasta muy grandes.

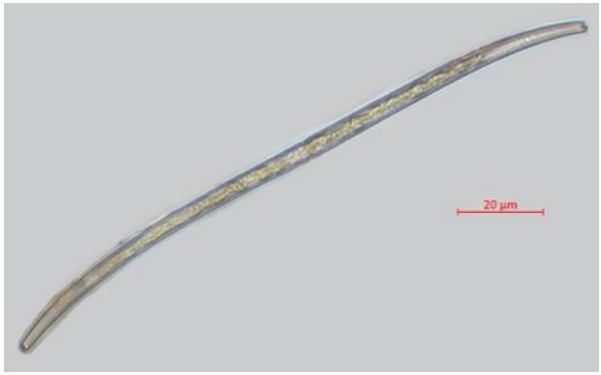
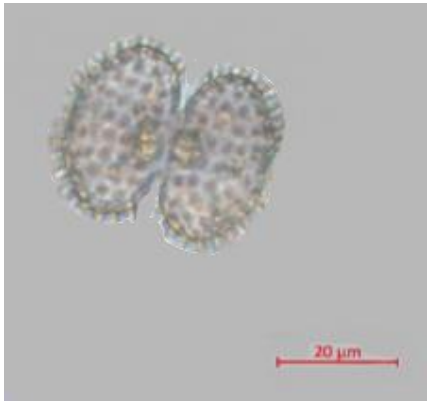
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Klebsormidiophyceae	Klebsormidiales	Elakatotrichaceae	*Elakatothrix*	*gelatinosa*	X	X			*Elakatothrix* gelatinosa se caracteriza por tener células fusiformes u ovaladas, alargadas. Los extremos pueden ser en punta o redondos y, generalmente, poseen una membrana celular fina. Puede ser una microalga solitaria o colonial y suele estar cubierta por mucílago. Cosmopolita, se encuentra en aguas dulces.
	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	sp. 1		X			Aquí el núcleo ocupa el espacio semivacío en el centro de la célula. Esta célula es robusta y tiene forma de medialuna, no tiene espinas. Los extremos de la célula son redondeados. Se encuentra a este género en lagos, es cosmopolita.

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	sp. 2		X			En este caso el núcleo se encuentra en el centro de la célula, aquí no se observa de manera muy clara. Esta célula es fina, ligeramente recurvada y no tiene espinas. Los extremos de la célula son redondeados. Se encuentra a este género en lagos, es cosmopolita.
					acerosum		X			*Closterium acerosum*, su núcleo ocupa el centro de la célula, aquí no se observa de manera muy clara. Esta célula es robusta, recta y no tiene espinas. Los extremos de la célula son redondeados. Su pared celular es lisa y puede ser transparente o marrón. Cosmopolita, se lo encuentra en lagos.

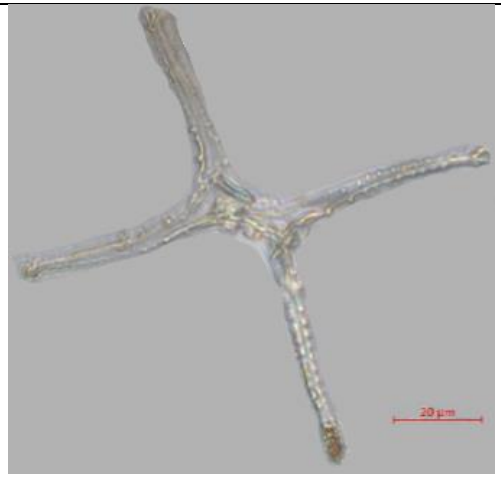
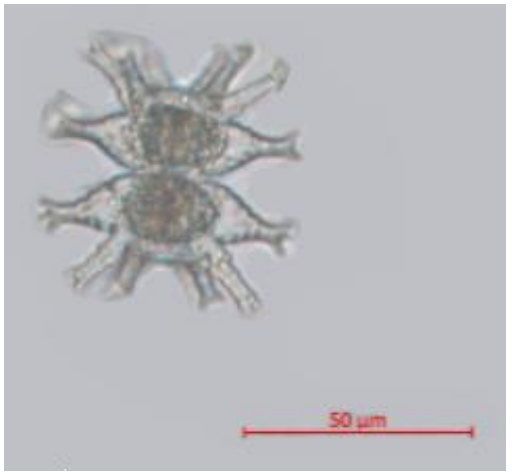
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	*gracile*		X			*Closterium gracile*, su núcleo ocupa el centro de la célula, aquí no se observa de manera muy clara. Esta célula es recta, algo curva únicamente en los extremos. Es fina y no tiene espinas. Los extremos de la célula son rectos y sus ápices tienen poro terminal. Se encuentra en cuerpos de agua dulce. Es cosmopolita.
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	sp. 1		X			Género unicelular, sus semicélulas están unidas por un istmo. Para determinar una especie es necesario distinguir la forma celular en vista frontal, lateral y vertical, y la ornamentación de la pared celular. Puede encontrarse en lagos, generalmente en el perifiton de ríos aportantes.

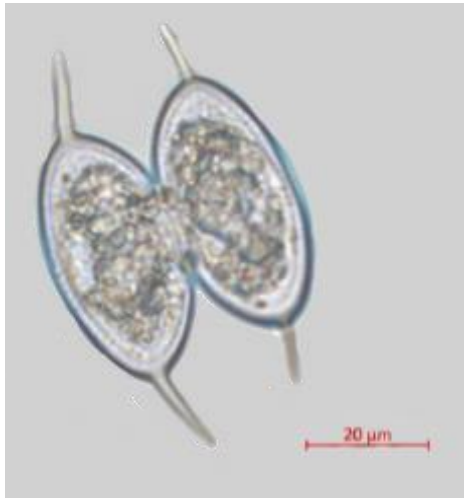
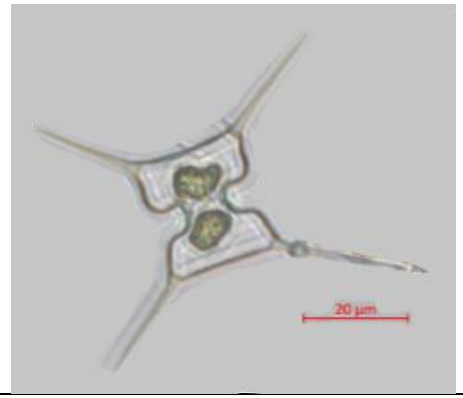
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	sp. 2		X			Género unicelular, sus semicélulas están unidas por un istmo. Para determinar una especie es necesario distinguir la forma celular en vista frontal, lateral y vertical, y la ornamentación de la pared celular. *Cosmarium* puede encontrarse en lagos, generalmente en el perifiton de ríos aportantes.
				Hyalotheca	*dissiliens*	X	X			Las características para identificar a esta especie son: un cuerpo celular de 14 a 22 µm de largo y de 23 a 32 µm de ancho. Sus semicélulas suelen ser rectangulares, si son vistas transversalmente. Y son circulares, si son vistas verticalmente. Además, estas colonias suelen estar cubiertas por una gruesa capa de mucílago.

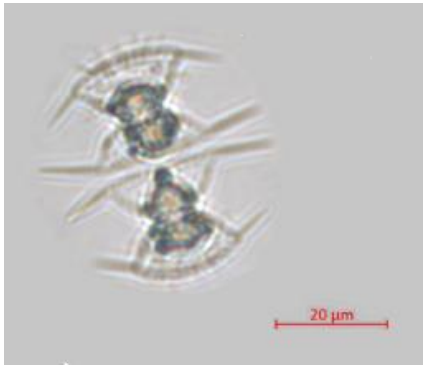
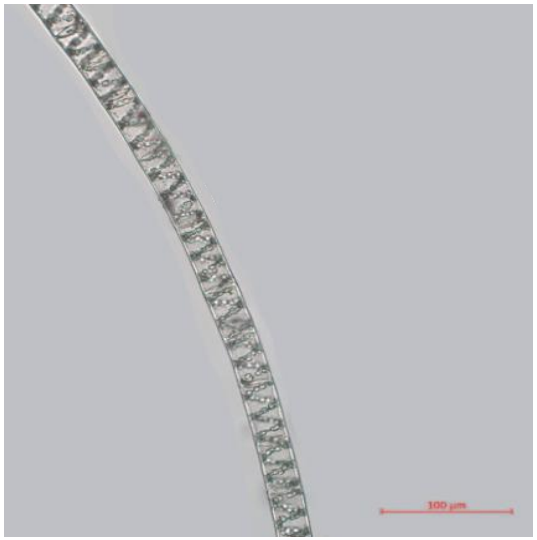
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Staurastrum*	*chaetoceras*		X			Especie común en aguas dulces. El tamaño de los brazos puede variar en función de la profundidad a la que se hayan tomado las muestras, se sabe que mientras mayor sea la profundidad de la muestra, suelen presentar brazos más largos y, a menor profundidad, sus brazos son más cortos.
					tohopekaligense		X			Semicélulas ovaladas y lisas, con brazos lisos del mismo tamaño y simétricos. Estos se abren en los ápices, generalmente, en tres pequeñas espinas. Se encuentra en lagos. Las dimensiones de la célula son: 45 a 60 µm de largo y 50 a 60 µm de ancho si se incluyen los brazos, los brazos pueden medir de 20 a 30 µm y la cintura central puede medir 20 a 30 µm.

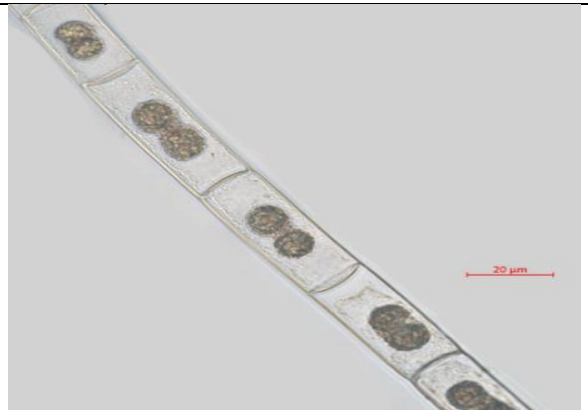
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Staurodesmus*	*convergens*		X			*Staurodesmus convergens* es cosmopolita. Esta se caracteriza por sus semicélulas elipsoides y puede poseer o no espinas. En los casos que no sean observables las espinas, se puede confundir con *Cosmarium*. Por eso es necesario conocer que *S. convergens* es más grande que *Cosmarium* para así no incurrir en errores en su identificación. Su dimensión característica es: 40 a 50 µm de largo de la célula y 54 a 62 µm de ancho de la célula si se incluyen las espinas, de haberlas, pueden variar de 12 a 16 µm.
					extensus		X			*Staurodesmus extensus* se caracteriza por un istmo alargado, con semicélulas trapeziformes y espinas de longitud variable. Su dimensión característica es: 25 a 30 µm de largo, 42 a 50 µm de ancho si se incluyen las espinas y las espinas pueden variar de 10 a 27 µm.

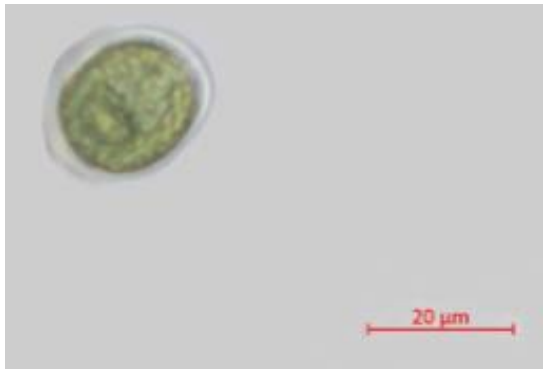
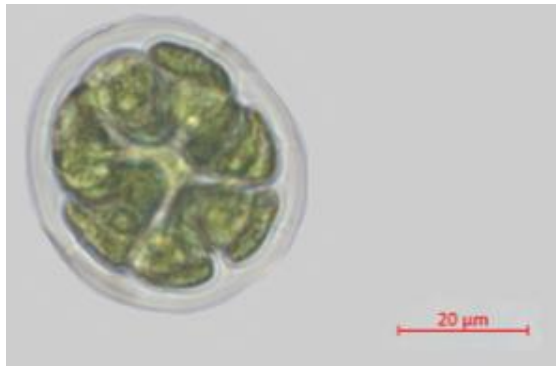
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Staurodesmus*	*glaber*		X			*Staurodesmus glaber* se caracteriza por sus semicélulas triangulares y por las espinas convergentes que surgen desde sus ángulos. Su dimensión característica es: 20 a 25 µm de largo, 34 a 42 µm de ancho si se incluyen las espinas y las espinas pueden variar de 8 a 16 µm.
		Zygnematales	Zygnemataceae	*Spirogyra*	sp.		X	X		Se la puede encontrar libre, suspendido en un cuerpo de agua, o bien adherida a sedimentos. Su nombre se debe a la disposición en espiral de sus cloroplastos. Se encuentra en aguas bastante limpias, al crecer en grandes cantidades, produce oxígeno, lo que genera burbujas. Su forma es cilíndrica y alargada, de pared celular lisa de celulosa y posee un recubrimiento externo de mucílago. Suele tener de uno a 16 cloroplastos por célula, dispuestos helicoidalmente. Para determinar especie, se debe de conocer la morfología y ornamentación de las zigosporas, el número de cloroplastos y la dimensión de sus células.

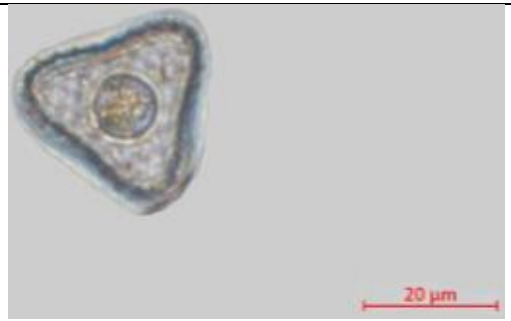
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Zygnema*	sp.		**X**	**X**		Alga filamentosa de agua dulce, cosmopolita. Posee dos cloroplastos por célula. Para determinar la especie, se deben tomar en cuenta: forma, tamaño y características de las zigosporas producidas.
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium*	sp.		**X**	**X**		Género común en aguas dulces, tanto lóticas como lénticas, cosmopolita. Se encuentra de manera libre, suspendido en el cuerpo de agua, pero, generalmente, estas microalgas se encuentran unidas a plantas o a algún sedimento. Los filamentos de *Stigeoclonium* suelen ser ramificados y tienen ramas cortas. Las ramas cortas laterales terminan en un ápice en punta. Cada célula posee un solo cloroplasto.

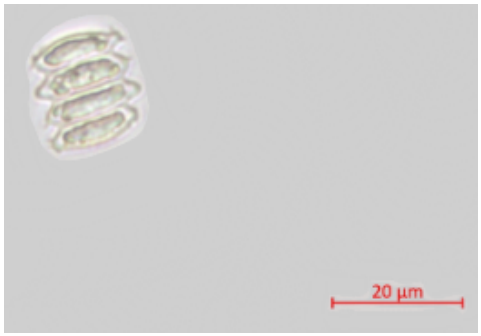
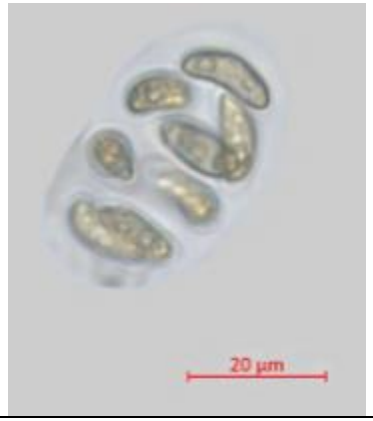
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	*Chlamydomonas*	sp.	X	X			Este género se caracteriza por ser unicelular y biflagelado. Se encuentra en el suelo y en cuerpos de agua. Cosmopolita. La célula tiende a ser ovalada, tiene una membrana no celulósica y un cloroplasto claramente visible.
			Volvocaceae	*Pandorina*	*morum*	X	X			*Pandorina morum* se observa generalmente en colonias esféricas biflageladas, formadas por 16 a 32 células. Cada colonia está recubierta por una capa de mucílago y se encuentra comúnmente en cuerpos de agua dulce como lagunas. Cada colonia puede tener de 20 a 40 µm de diámetro y cada célula, entre 5 y 15 µm.

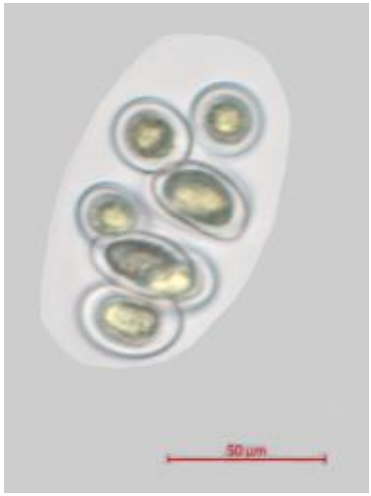
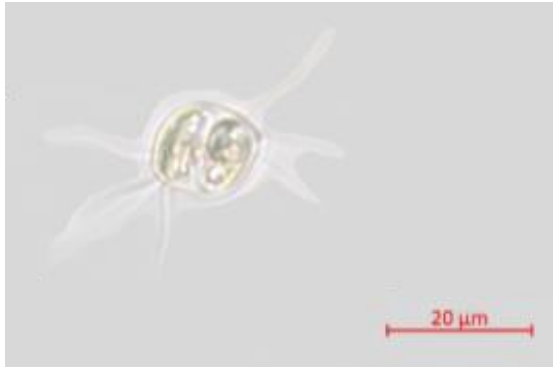
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Tetraëdron*	sp.		X			Este género suele tener forma celular triangular, elipsoide o poligonal. Se lo puede encontrar en todo el mundo: es cosmopolita.
			Microsporaceae	*Microspora*	sp.		X	X		Alga verde filamentosa no ramificada. Cada célula que la conforma posee un cloroplasto denso con forma de red, que puede rellenar por completo a la célula y no tiene pirenoide. Las células suelen tener forma de barril, las secciones de pared celular tienen forma de H y constituyen la característica determinante. La pared celular es gruesa y gelatinosa. Una característica para determinar a la especie es el diámetro de la célula. En cuanto a su forma de vida, se encuentra a esta microalga adherida al sustrato, al musgo o a la vegetación cercana a los cuerpos de agua. Está presente tanto en aguas lóticas como en lénticas.

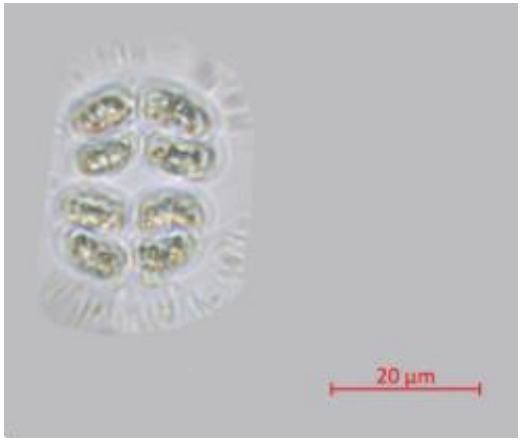
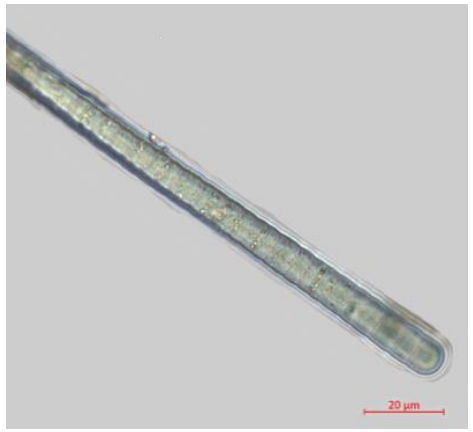
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*	sp.		X			De forma celular elipsoide u ovoide, pueden existir semejanzas o diferencias entre las células a los extremos y al interior del cenobio. Se los puede encontrar en vida libre, de manera unicelular, o pueden formar cenobios de dos, cuatro, ocho o 16 células dispuestas lado a lado, unidas en sus ejes más largos. Su pared celular puede estar ornamentada con verrugas o crestas. Pueden presentar espinas o proyecciones en las células del extremo del cenobio o en las intermedias. Esta característica permite diferenciar a las especies de *Desmodesmus*. Suelen tener un cloroplasto por célula y un pirenoide central en cada célula.
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Nephrocytiaceae	*Nephrocytium*	*agardhianum*		X			Colonias con cuatro, ocho o 16 células de tamaño variable, en forma de medialuna, de extremos redondeados. Estas células están rodeadas por la pared celular de la célula madre. Las dimensiones de las células internas son de 6 a 38 µm de largo y 2 a 14 µm de ancho.

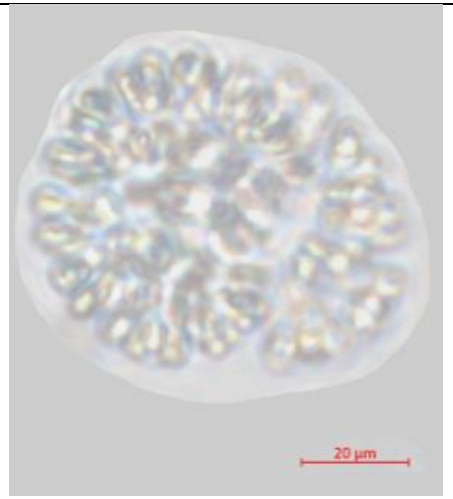
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	*Oocystis*	sp.		X			Colonias con dos a ocho células de tamaño variable, rodeadas por la pared celular de la célula madre. Las células tienen forma elipsoidal, con paredes celulares gruesas y presencia de uno o más cloroplastos, igualmente de tamaño variable.
				Lagerheimia	*ciliata*		X			Su forma celular puede ser esférica, elipsoide, ovoide u con forma de limón conocida como citriforme. Posee una pared celular lisa, con cuatro a seis espinas en cada polo. Las espinas suelen ser largas, rectas o curvas. Tiene cuatro cloroplastos por célula y un pirenoide.

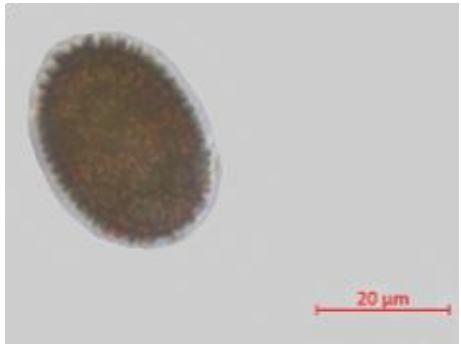
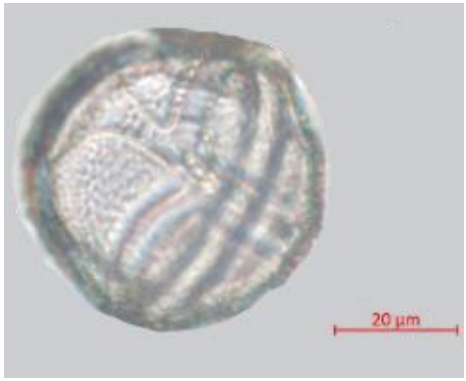
(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	*Willea*	*rectangularis*	X	X			Para determinar la especie, se debe de tomar en cuenta la disposición y la orientación de las células hijas dentro del cenobio madre. La presencia o ausencia de un pirenoide puede ayudar en su identificación. Además, una característica de esta especie es que presenta varias espinas marginales distintivas. Las dimensiones características de las células internas del cenobio son de 6 a 15 µm de largo y de 4 a 6 µm de ancho.
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*	sp.		X	X		Cianobacteria filamentosa, cosmopolita. De acumularse en masa, puede formar capas densas. No posee heterocistos, acinetos ni aerótopos. Las células son isodiamétricas, suelen ser más largas y cortas que anchas. Los tricomas son rectos, curvos, espiralados u ovalados. En ciertos casos se puede observar mucílago alrededor de la célula.

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Coelosphaeriaceae	*Snowella*	*lacustris*	X	X	X		Se trata de pequeñas colonias esféricas, incrustadas en una matriz mucilaginosa. Estas células están unidas todas a la matriz por un tallo, y pueden variar entre un color azul cian hasta un amarillo. Suelen separarse y formar racimos de células, o incluso pequeñas colonias. Se la encuentra generalmente en cuerpos de agua dulce.
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	*Euglena*	sp.		X	X		Microorganismo unicelular flagelado, cosmopolita. Célula alargada, se puede observar con relativa facilidad un núcleo, tiene muchos cloroplastos y un flagelo. Tiene una pared celular flexible que le permite cambiar de forma y, en casos de adversidad ambiental, puede desarrollar quistes para sobrevivir.

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	*Trachelomonas*	*hispida*		X	X		Lóriga ovalada u elipsoide que posee muchas espinas. Generalmente, es de color marrón, pero puede encontrarse incluso en tonalidades amarillentas. El tamaño puede variar entre los 28 a 32 µm de longitud y puede tener un diámetro entre los 20 a 22 µm, estas son las medidas a tomar para identificar a esta especie cosmopolita de *Trachelomonas*.
Miozoa	Dinophyceae	Peridiniales	Peridiniaceae	*Peridinium*	sp.		X			Dinoflagelado de distribución cosmopolita. Se lo encuentra generalmente en lagunas de agua dulce, aunque suele estar presente en cuerpos de agua salobres también. Los dinoflagelados se dividen en hipoteca y epiteca separadas por el cíngulo, aquí visibles.

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS		
Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales	Dinobryaceae	*Dinobryon*	sp.		X	X		Las células poseen uno o dos cloroplastos dentro de una lóriga cilíndrica en forma de embudo de celulosa, y una o más vacuolas contráctiles y un estigma. Para determinar la especie, es necesario conocer la morfología de la lóriga y de la colonia. A *Dinobryon* se lo puede encontrar de manera solitaria o en colonias ramificadas, en cuerpos lóticos de agua dulce. Este género es fagotrópico (depreda bacterias), por lo que desempeña un papel importante en la cadena alimenticia limnética.

(Continuación.)

Se lograron identificar 31 géneros y 39 especies pertenecientes a siete filos: Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa y Ochrophyta. La mayor diversidad de géneros se registró en el filo Chlorophyta con diez, seguido por Charophyta con ocho. A continuación, se ubicaron Bacillariophyta con siete géneros, Cyanobacteria y Euglenozoa con dos géneros cada uno y la menor diversidad se registró en los filos Miozoa y Ochrophyta, con un género cada uno.

De los 31 géneros identificados *Cymbella*, *Pinnularia*, *Stauroneis*, *Tabellaria*, *Epithemia*, *Rhopalodia* y *Surirella* representaron al filo Bacillariophyta; *Elakatothrix*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Hyalotheca*, *Staurastrum*, *Staurodesmus*, *Spirogyra* y *Zygnema* conformaron los géneros característicos del filo Charophyta dentro del embalse; *Stigeoclonium*, *Chlamydomonas*, *Pandorina*, *Tetraëdron*, *Microspora*, *Desmodesmus*, *Nephrocytium*, *Oocystis*, *Lagerheimia* y *Willea* caracterizaron a los morfotipos del filo Chlorophyta; y dos géneros tanto de Cyanobacteria como de Euglenozoa fueron detectados: *Phormidium* y *Snowella*, y *Euglena* y *Trachelomonas*, respectivamente. Finalmente, con un género cada uno, se presentaron Miozoa y Ochrophyta con *Peridinium* y *Dinobryon*, respectivamente. De todos los géneros anteriormente mencionados, se consiguió alcanzar el nivel de especie en 11. Destacaron especialmente *Tabellaria*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Staurastrum* y *Staurodesmus* como los más diversos, al registrar dos o más especies.

Algunas de las microalgas y las cianobacterias perifíticas encontradas en Mogotes demostraron cierto potencial bioindicador, que podría contribuir a determinar biológicamente el estado trófico del embalse y sus características principales en función de su presencia o ausencia. Algunos de los géneros con potencial bioindicador fueron: *Chlamydomonas*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Cymbella*, *Dinobryon*, *Elakatothrix*, *Epithemia*, *Euglena*, *Hyalotheca*, *Microspora*, *Nephrocytium*, *Oocystis*, *Pandorina*, *Peridinium*, *Pinnularia*, *Rhopalodia*, *Snowella*, *Spirogyra*, *Stigeoclonium*, *Surirella*, *Tabellaria*, *Trachelomonas* y *Zygnema* (Tabla 2).

Tabla 2. Taxones del perifiton de Mogotes con potencial bioindicador.

FILO	CLASE	ORDEN	GÉNERO	POTENCIAL BIOINDICADOR	ESTADO TRÓFICO		
					O	M	E
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	*Cymbella*	*Cymbella* es bioindicador de aguas limpias y bien oxigenadas. Bajas concentraciones de sílice y aguas de flujo lento favorecen su crecimiento (Stanford, Hauer, Gregory y Snyder, 2005).	X		
		Rhopalodiales	*Epithemia*	*Epithemia* está presente en medios alcalinos y aguas carbonatadas y son muy tolerantes a una alta conductividad (Guamán y González, 2016).		X	
		Naviculales	*Pinnularia*	*Pinnularia* se registra en cuerpos de agua con baja cantidad de materia orgánica y pH ácido. Suele crecer en aguas con corriente o estancadas y tolera la desecación (Escobar, Terneus y Yánez, 2013).		X	
		Rhopalodiales	*Rhopalodia*	*Rhopalodia* crece en hábitats pobres en nitrógeno (De Meo et al., 2014).	X		
		Surirellales	*Surirella*	*Surirella* es identificada en ambientes de agua dulce, usualmente mesotróficos y con una conductividad relativamente alta (Sala, Ramírez, Vouilloud y Plata, 2013).		X	
		Rhabdonematales	*Tabellaria*	*Tabellaria* se registra en aguas ligeramente ácidas, aunque posee amplia tolerancia al cambio de pH, además de crecer en condiciones oligotróficas (Medina-Tombé, Sala, Vouilloud y Ramírez Restrepo, 2017). Es de especial importancia en ambientes acuáticos por su capacidad bioindicadora de sensibilidad a la contaminación por exceso de nitratos (Graham y Wilcox, 2019).	X		

O, Oligotrofía; M, Mesotrofía; E, Eutrofía.

FILO	CLASE	ORDEN	GÉNERO	POTENCIAL BIOINDICADOR	ESTADO TRÓFICO		
					O	M	E
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	*Cosmarium*	De registrarse en ambientes lénticos, *Cosmarium* señalaría que este cuerpo de agua posee sustancias húmicas y orgánicas disueltas, comúnmente presentes en lagos oligotróficos. Esto, a su vez, indicaría que el agua tiende a ser clara y de alta calidad potable (Biggs y Kilroy, 2000).	X		
			Closterium	*Closterium* puede ser considerado como bioindicador debido a que su abundancia implica eutrofización. Un aumento en su número provocaría un enriquecimiento excesivo de nutrientes y, por tanto, un crecimiento descontrolado y desigual de los microorganismos fotosintéticos existentes y alteraciones severas en la dinámica de las poblaciones y el funcionamiento del ecosistema. Su sola presencia en el cuerpo de agua es indicio de alta cantidad de nutrientes y baja cantidad de minerales (Burgos-Romero, 2010).			X
		Zygnematales	*Spirogyra*	*Spirogyra* crece en lagos mayormente eutróficos y, de producirse un exceso poblacional, puede darse una floración algal con repercusiones para la vida animal, vegetal y otras comunidades de microorganismos por falta de oxígeno (Comas, Moreira, León, Uriza y García, 2009). Por tanto, tiene un enorme potencial como bioindicador (González-García, Silva-Quiguiri, Lindao-Córdova, Godoy-Ponce y Medina-Serrano, 2019).			X
			Zygnema	*Zygnema* es un género de algas filamentosas de agua dulce, cosmopolita, con alto potencial bioindicador. La presencia de capas gruesas de *Zygnema* implicarían que el agua tiene muchos nitratos y fosfatos, que afectan su calidad. Esta alteración puede afectar a poblaciones de otros géneros de microalgas y cianobacterias (Nikon Instruments Inc. 2021).			X

O, Oligotrofía; M, Mesotrofía; E, Eutrofía.

(Continuación…)

FILO	CLASE	ORDEN	GÉNERO	POTENCIAL BIOINDICADOR	ESTADO TRÓFICO		
					O	M	E
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	*Chlamydomonas*	Género cosmopolita que crece en cuerpos de agua ricos en sal de amonio. Si esta sal abunda en el ecosistema, se reproduce de manera descontrolada y provoca eutrofización: vuelve verde al agua, impide el paso de la luz solar y entorpece el crecimiento de otras microalgas y cianobacterias (Enciclopaedia Britannica, 2017).			X
		Sphaeropleales	*Microspora*	*Microspora*, fue encontrada en Mogotes adherida al sustrato, musgo o vegetación cercana al cuerpo de agua. De presentarse en abundancia, sería indicadora de que el agua es pobre en nutrientes y, a su vez, que el ecosistema es oligotrófico (Kinross, 2019).	X		
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	*Oocystis*	*Oocystis* es indicador de un agua con baja cantidad de nutrientes y con baja contaminación. Tiende a desarrollarse en aguas mesotróficas, con niveles intermedios de nutrientes y producción de materia orgánica, con salinidad moderada o baja (Burgos-Romero, 2010).		X	
	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	*Pandorina*	*Pandorina morum* es un indicador de aguas con exceso de materia orgánica (MicroBus, 2020).			X
	Chlorophyceae	Chaetophorales	*Stigeoclonium*	*Stigeoclonium* es cosmopolita y común en aguas dulces. Se lo encuentra de manera libre por el cuerpo de agua, pero, generalmente, se adhiere plantas o sedimento. Este género puede crecer de manera acelerada en aguas contaminadas por metales pesados o con abundante materia orgánica. Por otra parte, si el agua es rica en nutrientes, puede producirse su crecimiento controlado (John, Whitton y Brook, 2002).			X

O, Oligotrofía; M, Mesotrofía; E, Eutrofía.

(Continuación…)

FILO	CLASE	ORDEN	GÉNERO	POTENCIAL BIOINDICADOR	ESTADO TRÓFICO		
					O	M	E
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	*Snowella*	*Snowella lacustris* es común en lagos mesotróficos, es decir, que poseen niveles intermedios de nutrientes y de producción de materia orgánica (Almanza et al., 2016).		X	
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	*Euglena*	*Euglena* se desarrolla, comúnmente, en ambientes eutróficos, con un alto contenido de materia orgánica, especialmente rica en nitrógeno (Triemer y Zakrys, 2015).			X
			Trachelomonas	*Trachelomonas hispida* habita comúnmente en aguas eutróficas, ricas en materia orgánica y con conductividad alta (Escobar, Terneus y Yánez, 2013). También, se ha descrito en ambientes ricos en hierro y manganeso, por ello su capacidad bioindicadora. De existir estos metales pesados en abundancia en el cuerpo de agua, esta especie se reportaría en grandes cantidades (Guamán y González, 2016).			X
Miozoa	Dinophyceae	Peridiniales	*Peridinium*	*Peridinium* es un dinoflagelado de distribución cosmopolita, presente generalmente en agua dulce y, a veces, en salobre. De generarse un aumento repentino en su población, podría formarse una floración algal, con serias repercusiones para las interacciones dentro y entre comunidades del ecosistema (Rogers, 2013).		X	
Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales	*Dinobryon*	*Dinobryon* crece y se desarrolla en lagos de agua dulce de pH ácido y requieren de fósforo para su crecimiento (Zanon, Simões y Rodrigues, 2013). Es fagotrópica y, al depredar bacterias, desempeña un papel importante en la cadena alimenticia acuática. Así, suple su requerimiento de fósforo en aguas con escasez del nutriente en el medio (Patil, Patil y Sathe, 2019).		X	

O, Oligotrofía; M, Mesotrofía; E, Eutrofía.

(Continuación.)

6 DISCUSIÓN

6.1 ANÁLISIS DEL ESTADO TRÓFICO Y DE LA PREFERENCIA DE HÁBITAT DE ACUERDO CON LA DIVERSIDAD DE TAXONES PRESENTES EN EL PERIFITON DEL TRIBUTARIO DE MOGOTES

De acuerdo con la diversidad perifítica reportada en Mogotes, el embalse aparenta encontrarse en un estado de transición trófica. Por un lado, la presencia de taxones como como *Epithemia* sp., *Pinnularia* sp., *Surirella* sp., *Oocystis* sp., *Peridinium* sp., *Snowella lacustris* y *Dinobryon* sp. en el perifiton (Tabla 2) proporciona indicios de mesotrofía. Esta se resume en características como niveles intermedios de nutrientes y producción de materia orgánica, conductividad relativamente alta y, generalmente, pH ácido (Sheila, 2022). Sin embargo, a pesar de que esta condición se vea reflejada por siete de 20 taxones bioindicadores identificados en el embalse, no se podría hablar de predominancia mesotrófica. En efecto, entre aquellos taxones considerados como bioindicadores, resaltan cinco que revelan que las aguas todavía presentan ciertas características de oligotrofia y ocho cuyas características denotan enriquecimiento de nutrientes más allá de la mesotrofía propiamente dicha.

Así, microorganismos como *Cymbella* sp., *Rhopalodia* sp., *Tabellaria* sp. 1 y sp. 2, *Cosmarium* sp. 1 y sp. 2 y *Microspora* sp. implican que el ecosistema aún conserva ciertos atributos oligotróficos como aguas limpias y bien oxigenadas de alta calidad potable y pobres en nitrógeno, pues se trata de géneros sensibles a la contaminación por exceso de nitratos (Sheila, 2022). Mientras tanto, *Closterium acerosum, gracile*, sp.1 y sp. 2, *Spirogyra* sp., *Zygnema* sp., *Chlamydomonas* sp., *Pandorina morum*, *Stigeoclonium* sp., *Euglena* sp. y *Trachelomonas hispida* auguran enriquecimiento de nutrientes en el cuerpo de agua, derivado de un exceso de materia orgánica. También, su presencia destaca otras características de un ambiente eutrófico como exceso de amonio en el agua por descomposición vegetal (aporte de nitrógeno al medio), alta conductividad y altas cantidades de hierro y manganeso disueltos (Burgos-Romero, 2010; Sheila, 2022).

No es de extrañarse que Mogotes, a pesar de mantenerse apto para la supervivencia de taxones típicos de oligotrofia, pueda llegar a poseer una cantidad intermedia de nutrientes.

Inclusive, podría verse altamente contaminado por material en descomposición, debido a las altas precipitaciones anuales que aumentan el volumen de agua en el embalse e inundan la vegetación riparia, como ha sucedido con relativa frecuencia desde la construcción del dique en 1998 (Terneus y Buñay, 2013; Flores, 2014). Así, el pico de descomposición de la vegetación que ha sido anegada podría considerarse como una fase eutrófica.

Precisamente, el muestreo de abril de 2021 se realizó durante un temporal de lluvias considerables, pero el de febrero del mismo año también coincidió con lluvia, aunque menos copiosa. Así, salvo contadas excepciones a las que se hará mención posteriormente, los taxones reportados en la Tabla 1 se encontraron tanto en el muestreo de febrero como en el de abril 2021. No obstante, en temporada seca y en ausencia de lluvias, Mogotes poseería mayor probabilidad de tener características oligotróficas, con entre un 50% y un 43% de probabilidades de mesotrofía (Fuertes, 2013). Con el aumento en la precipitación registrada durante los muestreos, se acrecentó la tendencia mesotrófica del embalse y se alcanzaron puntualmente características eutróficas, dejando de lado la oligotrofia que suele definirlo.

En general, la contaminación de las aguas, que da paso a un estado trófico especifico, suele ser por contaminación de materia orgánica (Terneus y Buñay, 2013; Sheila, 2022). Si el agua es pobre en nutrientes, no hay materia orgánica suficiente ni otros contaminantes como nitratos o fosfatos, como para causar un incremento poblacional de uno o varios taxones específicos. En ese sentido, la descomposición del material vegetal por inundación aportaría varios nutrientes en exceso que, con el tiempo, daría paso a un crecimiento inequitativo de ciertas microalgas y cianobacterias, de acuerdo con su tolerancia ambiental. Algunos taxones estarían en capacidad de aprovechar mejor estos aportes de nutrientes, mientras que aquellos demasiado sensibles menguarían sus poblaciones hasta desaparecer (Burgos-Romero, 2010; Medina-Tombé, Sala, Vouilloud y Ramírez Restrepo, 2017). Este hecho desplaza a las especies en la cadena limnética y da paso a nuevas características del cuerpo de agua. Por lo visto, la estacionalidad juega un papel importante, porque las lluvias son el factor que impulsa estos cambios tróficos a corto, mediano y largo plazo (Terneus y Buñay, 2013).

Desde otra perspectiva, existieron taxones que se reportaron una sola vez y en uno solo de los sustratos analizados como, por ejemplo, las tres especies de *Staurodesmus*, *S. convergens*, *S. extensus* y *S. glaber*, en el fango de la orilla del tributario de Mogotes en el

muestreo de febrero. Los representantes del filo Bacillariophyta, por otra parte, se registraron mayormente en muestras epilíticas (Soler, Pérez, Aguilar y Villareal, 2012). Otras diatomeas se presentaron tanto en las rocas como en el fango, seguramente debido a las lluvias que, por su magnitud y larga duración, permitieron que especies de géneros como *Pinnularia*, *Tabellaria*, *Epithemia* y/o *Surirella* estén presentes en ambos sustratos (Zanon, Simões y Rodrigues, 2013). *Nephrocytium agardhianum*, por su parte, fue hallada una única vez durante el estudio y únicamente en fango (en el muestreo de abril). Esto podría explicarse por el limitado número de muestras obtenidas en cada una de las dos colectas. Sin embargo, sí resalta el hecho de que la mayor parte de taxones fueran encontrados en las rocas.

Las precipitaciones podrían ser el factor que las desprende y arrastra. No obstante, su preferencia de hábitat podría arrojar luces sobre el porqué de la diferencia de la presencia de taxones entre los sustratos analizados (Tabla 3). Por ejemplo, la mayor parte de microalgas del filo Bacillariophyta ha sido reportada adherida en rocas y, también, en el fango. La adherencia es una de las características de este filo, pero por efecto de las lluvias, la marea y las corrientes de un cuerpo de agua, su presencia en los diferentes tipos de sustrato es posible, y pueden encontrarse, inclusive, en el fitoplancton (Moreno y Aguirre, 2013; Zanon, Simões y Rodrigues, 2013).

Por otra parte, a los taxones pertenecientes al filo Charophyta se los encontró mayormente en el fango. Esto se debe a que un número considerable de ellos no pertenece solamente al perifiton, sino que incluyen especies fitoplanctónicas. Comúnmente para este filo, las corrientes empujan a las microalgas al fango donde se quedan adheridas, pero pueden prosperar y desarrollarse normalmente tanto en el fango como en suspensión (Laura, Montoya, Castellanos y Quiroz, 2018).

Tabla 3. Taxones del perifiton de Mogotes y su hábitat característico.

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella*	sp.	X			X	X
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	sp.	X	X		X	X
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	sp.	X			X	X

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	sp. 1	X	X		X	
					sp. 2	X	X		X	X
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia*	sp.	X	X		X	

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	sp.	X			X	X
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	sp.	X	X		X	X
Charophyta	Klebsormidiophyceae	Klebsormidiales	Elakatotrichaceae	*Elakatothrix*	*gelatinosa*	X	X		X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT	CARACTERÍSTICO
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	sp. 1		X		X	X
					sp. 2		X		X	
					acerosum		X		X	

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	*gracile*		X		X	
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	sp. 1		X		X	
					sp. 2		X		X	

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Hyalotheca*	*dissiliens*	X	X		X	X
				Staurastrum	*chaetoceras*		X		X	
					tohopekaligense		X		X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Staurodesmus*	*convergens*		X		X	X
					extensus		X		X	X
					glaber		X		X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Spirogyra*	sp.		X	X	X	
				Zygnema	sp.		X	X	X	
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium*	sp.		X	X	X	

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT	CARACTERÍSTICO
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	*Chlamydomonas*	sp.	X	X		X	
			Volvocaceae	*Pandorina*	*morum*	X	X		X	X
		Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Tetraëdron*	sp.		X		X	

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT	CARACTERÍSTICO
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Microsporaceae	*Microspora*	sp.		X	X	X	
			Scenedesmaceae	*Desmodesmus*	sp.		X		X	
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Nephrocytiaceae	*Nephrocytium*	*agardhianum*		X		X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	*Oocystis*	sp.		X		X	X
				Lagerheimia	*ciliata*		X		X	X
				Willea	*rectangularis*	X	X		X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT	CARACTERÍSTICO
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*	sp.		X	X	X	
		Synechococcales	Coelosphaeriaceae	*Snowella*	*lacustris*	X	X	X	X	X
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	*Euglena*	sp.		X	X	X	X

(Continuación…)

TAXONOMÍA						SUSTRATO			HÁBITAT CARACTERÍSTICO	
FILO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ROCA	FANGO	BIOPELÍCULA DE PLANTAS	PERIFITON	FITOPLANCTON
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	*Trachelomonas*	*hispida*		X	X	X	
Miozoa	Dinophyceae	Peridiniales	Peridiniaceae	*Peridinium*	sp.		X		X	X
Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales	Dinobryaceae	*Dinobryon*	sp.		X	X	X	X

(Continuación.)

Las clorofitas, en cambio, se distribuyeron en los tres sustratos analizados, aunque su presencia fue especialmente importante en el fango. De hecho, suelen predominar en el perifiton, de ahí que se las haya reportado en la roca y en biopelículas de plantas. Al igual que con las carofitas, son desplazadas y/o desprendidas por las lluvias y las corrientes de los tributarios (Casartelli y Ferragut, 2015).

En lo que respecta a los taxones de Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa y Ochrophyta, no se registró tanta diversidad como para determinar su preferencia de hábitat. Muchos de ellos pueden encontrarse tanto en el perifiton como en el fitoplancton y en los tres tipos de sustratos analizados. De hecho, gracias a un estudio realizado en Brasil, en las riberas del río Paraná y zonas de inundación, al nivel del mar y con abundante vegetación, se tiene registrado que estos filos se encuentran dispersos mayormente en un hábitat fitoplanctónico, por la fuerza de la corriente. Aquellos que fueron descritos adheridos al fango o a la vegetación circundante y en mayor cantidad fueron los filos Euglenozoa y Ochrophyta, caracterizándolos como mayormente perifíticos (Dunck et al., 2018).

Cuatro de los cinco bioindicadores de mesotrofía, *Epithemia* sp., *Surirella* sp., *Oocystis* sp. y *Snowella lacustris* tuvieron una aparición esporádica. Fueron reportados en contadas ocasiones en el total de muestras analizadas. *Snowella lacustris*, por ejemplo, se halló en los tres sustratos estudiados, pero dentro de las muestras mixtas observadas al microscopio, resultó poco frecuente. El caso de los otros tres taxones mencionados fue parecido, porque se hallaron en muy pocas ocasiones, lo que hace alusión a su baja abundancia. Además, estos tres géneros no fueron reportados en todos los sustratos estudiados y la frecuencia de su visualización fue baja en relación con la cantidad de muestras obtenidas. Esto pudo deberse a ligeros cambios estacionales que no permitieron su correcto desarrollo y/o su permanencia en el cuerpo de agua. Entre los factores que pudieron haber incidido están: los nutrientes para su crecimiento, la disponibilidad de un sustrato especifico en el tiempo, la disponibilidad de luz, las corrientes y las mareas del cuerpo de agua (Fuertes, 2013). Esto se ve traducido por una densidad poblacional baja, reportada en el total de muestras estudiadas, debido a mayores cambios tróficos extremos por posibles inundaciones causadas por lluvias copiosas, propias de la zona altitudinal a la que pertenece la laguna (Terneus y Buñay, 2013). De hecho, *Spirogyra* sp., *Zygnema* sp. y *Stigeoclonium* sp., característicos de aguas eutróficas que suelen crecer adheridos a las plantas o al material

vegetal, estuvieron presentes en la orilla del tributario de Mogotes tanto en el sedimento como en biopelículas desarrolladas sobre plantas, porque el caudal de agua, que había aumentado su cota por las lluvias, anegó a la vegetación adyacente.

Por lo menos hasta 2013, se consideraba que los tributarios de la laguna Mogotes y su embalse poseían agua de alta calidad y permanecían como un cuerpo de agua mayormente oligotrófico con tendencias mesotróficas (Fuertes, 2013). Para evitar inundaciones por lluvias de las zonas aledañas, la edificación en los alrededores y/o el crecimiento de áreas destinadas al cultivo, se han tomado precauciones al limitar la presencia humana en los alrededores del reservorio. Se decidió retirar asentamientos y haciendas, se restringió la entrada al público y se controlan fauna y flora con estudios periódicos, con el fin de limitar la influencia antrópica y enmarcar el forzamiento ambiental a los fenómenos físicos. Así, se facilita la comprensión de la dinámica poblacional, se pueden anticipar posibles alteraciones a futuro y tomar medidas preventivas y correctivas oportunamente, que siembren precedente para actuaciones en otros embalses de características similares (Flores, 2014).

No obstante, se considera pertinente que el monitoreo de microalgas y cianobacterias complemente los estudios de dinámica poblacional emprendidos con otros grupos taxonómicos. En efecto, de este análisis se desprende la importancia que debe otorgarse no solo a la presencia/ausencia de taxones fotosintéticos determinados, sino también a su abundancia. Con ello, la toma de decisiones se ampara, también, en la composición y las fluctuaciones de la comunidad acuática microbiana como indicador de la calidad del ecosistema. De hecho, de la abundancia depende la relevancia que puedan tener ciertos bioindicadores a la hora de evaluar el estado trófico de un sistema acuático. Es el caso de *Cosmarium* sp., *Spirogyra* sp., *Zygnema* sp., *Microspora* sp., *Trachelomonas hispida* y *Peridinium* sp. (Tabla 2), es decir, la tercera parte de los indicadores biológicos del perifiton que pueden utilizarse para Mogotes.

6.2 MOGOTES FRENTE A ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SIMILARES Y CUERPOS DE AGUA QUE HAN SUFRIDO ALGÚN TIPO DE INTERVENCIÓN HUMANA EN EL CONTINENTE

Los 31 géneros y 39 especies de microorganismos fotosintéticos identificados en los muestreos de perifiton de febrero y abril de 2021 en la laguna de Mogotes demostraron diversidad e incluyeron bioindicadores de estados tróficos diferentes simultáneamente. Se han estudiado los taxones presentes en varios cuerpos de agua de la región y el mundo, con el fin determinar las causas de este fenómeno, las posibles consecuencias y los métodos de remediación que puedan ser utilizados para solucionar los problemas derivados de la contaminación de agua por exceso de nutrientes, por causas naturales o antrópicas.

Por ejemplo, en la región andina de Colombia, existen cuerpos de agua oligotróficos con cierto grado de probabilidad de pasar a un estado mesotrófico, como son las lagunas del Meta (Moreno, Caro, Pinilla, Osorio, 2017). No obstante, su altitud no supera los 600 msnm. En estos casos, la diversidad encontrada da paso a interacciones similares a las registradas en Mogotes por la vegetación circundante, donde las comunidades microalgales viven en extrema dependencia de otras especies y de los nutrientes que se encuentran en la laguna. En julio, agosto y septiembre, las lluvias en las lagunas del Meta inundan a la vegetación riparia. Precisamente en esos meses, se han descrito taxones similares a los encontrados en Mogotes. Por tanto, las lluvias constituyen un factor importante que permite el desarrollo o bien la desaparición de microalgas y cianobacterias en el cuerpo de agua (Andramunio-Acero et al., 2018). Sin embargo, en Colombia, a la eutrofización se suma la contaminación humana derivada del uso de fertilizantes.

Un caso específico que puede ilustrar este fenómenos de contaminación y su relación con cambios en la composición de especies fotosintéticas, es el de *Cosmarium*. Es un género indicador de agua clara y de alta calidad, comúnmente presente en ambientes oligotróficos. Este taxón formaba parte de la microbiota de la laguna del Yahuarcaca, una de las lagunas amazónicas colombianas, caracterizadas por sus aguas quietas y con poca intervención humana (Andramunio-Acero et al., 2018). No obstante, la presencia de vegetación en sus inmediaciones afectó la composición del agua y contaminantes provenientes mayoritariamente desechos animales y, en menor magnitud, de desechos humanos,

influenciaron su calidad directa o indirectamente. Esto provocó un exceso de nutrientes que se tradujo en la desaparición de la población de *Cosmarium* tanto de la orilla como del centro del cuerpo de agua.

Por el contrario, proliferaron grupos de especies mesotróficas como *Oocystis* o, inclusive, eutróficas como *Closterium, Trachelomonas hispida* y *Pandorina morum*. La ausencia de *Cosmarium* sp. se atribuyó también a bajas temperaturas. Esto es una clara muestra de que elementos externos derivados de la incidencia antrópica, como el cambio en el uso de suelo, la utilización de equipamiento o insumos agrícolas o la muerte vegetal provocada, puede afectar la composición de elementos en el agua y provocar alteraciones en la composición de las comunidades que lo habitan, comenzado por la microbiota fotosintética. En Mogotes, *Cosmarium* sp. está todavía presente. No obstante, la descomposición vegetal causada por la anegación de nuevas áreas de la laguna por lluvias enriquece lo suficiente la laguna como para dar cabida a *Oocystis* sp., *Closterium* sp., *Trachelomonas hispida* y *Pandorina morum*.

En Chile, el sistema lacustre andino de Gran Concepción, donde la zona estudiada con mayor similitud fue la laguna de La Laja, ubicada a 2080 msnm, rodeada por montañas y glaciares, constituye otro ejemplo de un cuerpo de agua originalmente oligotrófico que se tornó mesotrófico por alteraciones humanas. En este caso, los antiguos terrenos deshabitados y baldíos fueron reemplazados por granjas y sembríos a gran escala (Almanza et al., 2016). El cambio producido en la composición de especies de las comunidades fotosintéticas se justificó por el aumento de nutrientes y la contaminación por nitratos provenientes de desechos y pastizales. No obstante, se menciona que el problema puede revertirse si se identifican las causas de base y se procede a remediar el agua oportunamente. Por tanto, se podrían aprovechar los métodos de remediación propuestos por Almanza et al. (2016) para evitar cambios en la microbiota que repercutan en la calidad de agua del embalse Mogotes. La eliminación de vegetación circundante para evitar pudrición masiva por potenciales inundaciones, revisiones periódicas de la calidad del agua y el control estricto de las actividades humanas en los alrededores inmediatos están entre las estrategias propuestas.

Otro ejemplo en la región andina colombiana del Meta constituye un cuerpo de agua con características mesotróficas, que suele pasar a un estado eutrófico por las altas precipitaciones (Moreno et al., 2017). Se percataron que, en un mismo cuerpo de agua, podían cohabitar especies características de varios estados tróficos. Entre los géneros fotosintéticos colombianos descritos, resaltan algunos también presentes en Mogotes como: *Pinnularia* sp. y *Surirella* sp. del filo Bacillariophyta; *Closterium acerosum*, *Cosmarium* sp., *Hyalotheca dissiliens*, *Staurastrum chaetoceras* y *S. tohopekaligense*, *Staurodesmus convergens*, *Spirogyra* sp. y *Zygnema* sp. dentro de Charophyta; *Desmodesmus* sp., *Pandorina morum*, *Stigeoclonium* sp. y *Oocystis* sp. de Chlorophyta; las cianobacterias *Phormidium* sp. y *Nostoc commune*; *Euglena* sp. como representante de Euglenozoa; y *Dinobryon* sp., de Ochrophyta.

En algunos casos, las alteraciones en la composición y abundancia de las poblaciones existentes en el cuerpo de agua colombiano en cuestión pueden dar paso a floraciones algales de ciertos géneros como *Peridinium* sp. y *Trachelomonas hispida*. Éstas, a su vez, provocan que aguas mesotróficas pasen a un estado eutrófico. En este nuevo equilibrio, pasarían a predominar taxones de Chlorophyta y Euglenozoa, lo que generaría alteraciones en las poblaciones presentes en todo el cuerpo de agua. Las repercusiones de estos cambios en la composición de las comunidades microalgales son considerables, pues desaparecerían grupos completos de microalgas y cianobacterias incapaces de hacer frente a competidores mejor adaptados. Entre las poblaciones de organismos más sensibles dentro del filo Bacillariophyta estarían, por ejemplo, microalgas de los géneros *Cymbella*, *Rhopalodia* y *Tabellaria* y, dentro de Charophyta, *Cosmarium*. Todos ellos son indicadores de aguas oligotróficas, también presentes en Mogotes. Su desaparición tendría implicaciones para el ecosistema acuático como la menor disponibilidad de oxígeno (Aubriot et al. 2009; Bellinger y Sigee, 2010; Biggs y Kilroy, 2000; Casartelli y Ferragut, 2015; Zanon, Simões y Rodrigues, 2013).

Un estudio realizado en Mogotes sobre la construcción del dique (Terneus y Buñay, 2013) demostró que la inundación artificial de la vegetación circundante fomentó su descomposición y el aporte de exceso de nutrientes al agua. La eutrofización provocada fue revertida mediante el tratamiento del agua y la posterior eliminación de vegetación riparia. Un ejemplo muy parecido fue registrado en un reservorio amazónico en Brasil. A pesar de

ser de un piso altitudinal diferente, con condiciones ambientales, pluviométricas y vegetales distintas, el efecto que provocó la construcción de un dique en cuanto a la cantidad de agua, su aumento y posterior inundación de áreas circundantes fue similar. El estudio, llevado a cabo por Casartelli y Ferragut (2015), dio a conocer que, por no eliminar la abundante vegetación circundante en un estuario cerca del Amazonas, todo el material en descomposición afectó enormemente la calidad del agua del sistema, lo cambió de mesotrófico a eutrófico, muy contaminado con material vegetal y fósforo. El tiempo requerido para remediar el problema fue muy largo. Sin embargo, permitió la comprensión de la ecología perifítica en afluentes y lagos de agua dulce y sembró las bases para solucionar problemas semejantes en Sudamérica.

Las poblaciones oligotróficas halladas en Mogotes, por su parte, indican que el embalse goza aún de alta calidad potable. Diatomeas como *Cymbella* sp., *Rhopalodia* sp. y *Tabellaria* sp. 1 y sp. 2 lo sugieren, al igual que las carofitas *Cosmarium* sp. 1 y sp. 2. Estos microorganismos perifíticos, en general, no toleran contaminantes como nitratos, amonio o fósforo. No obstante, las diatomeas pueden perseverar y crecer de manera descontrolada, debido a cambios en la temperatura del agua, su flujo, el pH, la turbidez o el aumento de material suspendido que impide el paso de luz (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades [CDC], 2021). Esto puede provocar que el silicio de sus paredes genere variaciones en la concentración de los nutrientes del ecosistema, alteraciones en la diversidad y/o fluctuaciones poblacionales en otras especies.

Un ejemplo se plasma por Alvial et al. (2018) en lagunas de Chile. Se demostró que, si las comunidades de diatomeas no perciben alteraciones ajenas a las que sufre naturalmente su ambiente, el cuerpo de agua eventualmente sufrirá una o dos variaciones en un año, debido a precipitaciones anormales. Sin embargo, las comunidades presentes solucionarán el problema de manera natural, revirtiéndose al estado trófico anterior. No obstante, una muerte acelerada de diatomeas por factores externos puede alterar el estado trófico del agua por un tiempo mayor y con consecuencias más graves, porque pueden perderse comunidades enteras y la diversidad se verá afectada de manera grave y permanente. Esto se debe a que su composición y su diversidad han sido modificadas a largo plazo y no se obtiene el efecto de regresión al estado trófico original. Por tanto, de conocerse el potencial problema que puede generarse por la proliferación exacerbada de diatomeas, debe actuarse de inmediato. Un estudio así puede aplicarse en los cuerpos lacustres andinos de Ecuador, pero para eso

debe conocerse, mediante estudios periódicos, las comunidades de microalgas y cianobacterias existentes en los mismos, su composición, abundancia relativa y las posibles fluctuaciones a lo largo del año (Fuertes, 2013; MAEE, 2020; Morales et al, 2017; Moreno Montoya y Aguirre, 2013; Soler, Pérez, Aguilar y Villareal, 2012) y, de ser posible, entre años.

7 CONCLUSIONES

La diversidad taxonómica de microorganismos fotosintéticos del embalse Mogotes fue significativa: se identificaron 31 géneros y 39 especies entre febrero y abril de 2021 e incluyeron bioindicadores de estados tróficos diferentes simultáneamente. Los filos más diversos fueron Bacillariophyta, Charophyta y Chlorophyta.

Entre los taxones perifíticos del tributario de Mogotes analizados, se detectaron ciertas preferencias de hábitat. Así, la mayor parte de bacilariofitas se halló adherida a rocas, aunque también muchas se reportaron en el sedimento. A las carofitas, se las encontró mayoritariamente en el sedimento. Las clorofitas estuvieron presentes tanto en rocas, como en plantas y en sedimentos, pero, en estos últimos, su presencia fue especialmente importante. No se detectó mayor diversidad en Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa ni Ochrophyta, pero tanto euglenas como ocrofitas se hallaron adheridas al fango o a la vegetación.

Mogotes no es el único embalse en presentar indicadores biológicos de diferentes estados tróficos a la vez. De entre los taxones identificados, destacaron 20 con potencial bioindicador. Cinco de ellos revelaron que las aguas del embalse aún conservan características de oligotróficas, siete dieron muestras de enriquecimiento moderado y ocho apuntaron directamente a la eutrofia. No obstante, la detección de cuatro de los cinco bioindicadores de mesotrofía fue esporádica y al menos tres de los ocho indicadores de eutrofización pueden responder a enriquecimientos puntuales de materia orgánica causados por la anegación de la vegetación riparia derivada del aumento de lluvias.

Independientemente de la coexistencia de bioindicadores de diferentes estados tróficos, la sola presencia de diatomeas como *Cymbella* sp., *Rhopalodia* sp. y *Tabellaria* sp.

1 y sp. 2 y de carofitas como *Cosmarium* sp. 1 y sp. 2 demuestran que el ecosistema aún conserva ciertos atributos oligotróficos como aguas limpias y bien oxigenadas, de alta calidad potable, pues se trata de taxones que no toleran contaminantes como nitratos, amonio o fósforo.

8 RECOMENDACIONES

En vista del comprobado efecto de las lluvias en el desprendimiento de taxones perifíticos y su presencia en diferentes sustratos, se considera prudente mantener los monitoreos de rocas, plantas acuáticas y sedimentos para evitar sesgos en la diversidad perifítica, pero también realizar muestreos de fitoplancton simultáneamente, pues varios de los taxones pueden encontrarse, inclusive, en el fitoplancton.

Para que la toma de decisiones de los gestores de agua pueda basarse no solo en la composición, sino también en las fluctuaciones de la comunidad microbiana fotosintética como indicadores de la calidad de agua del ecosistema, debe otorgarse importancia no solo a la presencia/ausencia de taxones fotosintéticos determinados, sino también a su abundancia. En efecto, más que la presencia en sí de la tercera parte de los indicadores biológicos detectados en el perifiton del tributario de Succus, se requiere conocer su abundancia específica para poder evaluar el estado del agua del embalse.

Es importante, también, que no se descuide la eliminación continua de vegetación de la orilla de Mogotes, debido al efecto comprobado de lluvias excesivas y su relación con inundaciones que derivan en la eutrofización de la laguna, que conllevarían a la proliferación exacerbada de determinados taxones que podrían afectar severamente la calidad de sus aguas y acelerar su transición trófica.

Por otra parte, se detectaron algunos taxones susceptibles generar proliferaciones masivas bajo circunstancia particulares. Por tanto, resulta imprescindible el monitoreo periódico de las comunidades de microalgas y cianobacterias perifíticas, pero también fitoplanctónicas, su composición, la abundancia relativa de sus taxones y las posibles fluctuaciones a lo largo del año y, de ser posible, entre años, para estudios ecológicos más completos y una toma de decisiones mejor cimentada.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abuhatab-Aragón, Y. A. y Donato-Rondón, J. C. (2012). *Cocconeis placentula* and *Achnanthidium minutissimum*, indicator species of oligotrophic Andean streams. *Caldasia*, *34*(1), 205–212

Adame, K. L., Dunck, B. y Rodrigues, L. (2018). Periphytic algal community in lentic environments of the upper paraná river floodplain: Seasonal and spatial variation. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *30*. https://doi.org/10.1590/s2179-975X5017

Almanza, V., Parra, O., Bicudo, C., Sant´Anna, C., Figueroa, R., Urrutia, R., et al. (2016). "Guía para el estudio de Cianobacterias en el sistema lacustre del Gran Concepción, Chile". Aspectos taxonómicos, ecológicos, toxicológicos y de control-vigilancia.

Alvial, I. E., Cruces, F. J., Araneda, A. E., Grosjean, M. y Urrutia, R. E. (2008). Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, *81*(1), 83–94. https://doi.org/http://dx.doi. org/10.4067/S0716-078X2008000100007

Andramunio-Acero, C. P., Caraballo-Gracia, P. R., Duque-Escobar, S. R. y Solari, L. C. (2018). Structural changes of the periphytic community in the Yahuarcaca lake system, Colombian Amazon. *Actualidades Biológicas*, *40*(109). https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n109a03

Aubriot, L., Bonilla, S., Brena, B., Britos, A., Conde, D., Chalar, G., De Léon, L., Fabre, A., Gabito, L., Gravier, A., Hein, V., Kruk, C., Pérez, M., Piccini, C., Rodríguez-Gallego, L., y Vidal, L. (2009). Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Documento Técnico N. 16.

Bellinger, E., y Sigee, D. (2010). Freshwater Algae. Identification and Use as Bioindicators. 1ra Ed. ISBN 978-0-470-05814-5

Bichoff, A., Osório, N. C., Dunck, B. y Rodrigues, L. (2016). Algas perifíticas em lago e rio de planície de inundação sob condições de águas baixas. *Biota Neotropica*, *16*(3), 1–13. https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0159

Biggs, B., y Kilroy, C. (2000). Stream Periphyton Monitoring Manual. New Zealand Ministry for the Environment. NIWA. ISBN 0-478-09099-4. Recuperado de: peri_complete.pdf (niwa.co.nz)

Burgos-Romero, M. (2010). Atlas de microorganismos planctónicos presentes en los humedales Andaluces. 1ra Ed. Andalucía, España: Junta de Andalucía. Recuperado de: https://www.coursehero.com/file/85984021/Atlas-Org-Planctonicos-1pdf/

Carapunarla, L., Baumgartner, D. y Rodrigues, L. (2014). Estrutura da comunidade de algas perifíticas em ambiente lêntico de planície de inundação: Um estudo de longa duração. *Acta Scientiarum - Biological Sciences*, *36*(2), 147–154. https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v36i2.19560

Casartelli, M. R. y Ferragut, C. (2015). Seasonal variation in the periphytic algal community structure on Panicum repens in a shallow reservoir. *Rodriguesia*, *66*(3), 745–757. https://doi.org/10.1590/2175-7860201566306

Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC). (2021). La proliferación de algas nocivas. Causas y efectos en el ecosistema. Recuperado de. Causas y efectos en el ecosistema | La proliferación de algas nocivas | CDC

Comas, A., Moreira, A., León, A., Uriza, S., García, O. (2009). Algas y sus relaciones con características ecológicas del río Damují. Cienfuegos. UNIVERSO SUR.

De Meo, S., Grassi, F., Marcheggiani, S., Puccinelli, C., Vendetti, C., Mancini, L., et al.

(2014). Atlante on line delle diatomee bentoniche dei corsi d´acqua italiani. Roma; ISPRA.

Dunck, B., Junqueira, M. G., Bichoff, A., Silva, M. V. da, Pineda, A., Paula, A. C. M. de, Zanco, B. F., Moresco, G. A., Iatskiu, P., Bortolini, J. C., Souza, Y. R. de, Train, S., Rodrigues, L. C., Jati, S., Rodrigues, L., Dunck, B., Junqueira, M. G., Bichoff, A., Silva, M. V., Rodrigues, L. (2018). Periphytic and planktonic algae records from the upper Paraná river floodplain, Brazil: an update. *Hoehnea*, *45*(4), 560–590. https://doi.org/10.1590/2236-8906-03/2018

Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). (2020). Departamento de Gestión de Recursos Hídricos de la EPMAPS.

Enciclopaedia Britannica. (2017). Chlamydomonas genus of green algae. Recuperado de: Chlamydomonas | Facts, Structure, Life Cycle, & Classification | Britannica

Escobar, M., Terneus, E., Yánez, P. (2013). El plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas, análisis de caso. Qualitas. Recuperado de: (PDF) Plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas: análisis de caso. (researchgate.net)

Flores, A. (2014). Indicadores de la gestión ambiental en las microcuencas aportantes a los sistemas de agua potable administrados por la EPMAPS. Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Ambientales. Tesis. Recuperado de: https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1053/1/Tesis%20versi%C3%B3n%20final.pdf

Fuertes, E. (2013). Caracteristicas limnologicas de los embalses Alto Andinos. *Revista Cubana de Química. Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamineto, Quito, Ecuador. Vol. 25* (1). 26-31. Recuperado de: Características limnológicas de los embalses Alto Andinos (redalyc.org)

Giorgi, A.y Feijoó, C. (2010). Variación temporal de la biomasa del perifiton de Egeria densa Planch. En un arroyo pampeano. *Limnetica*, *29*(2), 269–278.

Gontcharov, A. (2008). Patterns of cell division in the filamentous Desmidiaceae, close green algal relatives of land plants. Recuperado de: Patterns of cell division in the filamentous Desmidiaceae, close green algal relatives of land plants on JSTOR

González-García, J. C., Silva-Quiguiri, N. A., Lindao-Córdova, V. A., Godoy-Ponce S. C, y Medina-Serrano C. A. (2019). Degradación de la Clorofila Presente en (Spirogyra spp.) como Indicator Socio Ambiental de la Presencia de Plaguicidas organofosforados. European Scientific Journal ESJ, 15(21), 398. doi: 10.19044/esj.2019.v15n21p395

Graham, E., Wilcox, W. (2017). DIATOMEAS Género TABELLARIA - AELS. Aula de Estudio del Lago Sanabria. Recuperado de: DIATOMEAS Género TABELLARIA – AELS Aula de Estudio del Lago de Sanabria (aulaestudiolagosanabria.info)

Guamán Burneo, M. C. y González Romero, N. P. (2016). Catálogo de Microalgas y Cianobacterias del Ecuador | Hugo Rodriguez - Academia.edu. https://www.academia.edu/36570470/Catlogo_de_Microalgas_y_Cianobacterias_del_Ecuador

John, D., Whitton, B., Brook, A. (2002). The freshwater algal flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge. Recuperado de: *Stigeoclonium* (images of British biodiversity) (lastdragon.org)

Kinross, J. (2019). The genus *Microspora*. Recuperado de: The Genus *Microspora* (algalweb.net)

Laura Huanaco, J., Montoya Terreros, H., Castellanos Sánchez, P. L. y Quiroz Barraza, R. A. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima,

Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa*, *25*(3), 1027–1040. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314

Liu, X., Zhu, H., Liu, B., Liu, G., Hu, Z. (2017). Phylogeny and morphology of genus *Nephrocytium* (Sphaeropleales, Chlorophyceae, Chlorophyta). From China. August. Recuperado de: https://n9.cl/0x4za

Lozano-Peña, S., Vásquez-Moscoso, C. A., Rivera-Rondon, C. A., Zapata, A. M. y Ortiz-Moreno, M. L. (2019). Effect of the riparian vegetation on the phytoperiphyton of wetlands in the Colombian Orinoquía. *Acta Biologica Colombiana*, *24*(1), 67–85. https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69086

Mattos, C., Menezes, M. (2017). Géneros de algas de aguas continentales del Brasil. 3ra Ed. 552 pg. ISBN: 978-85-7656-353-2

Medina-Tombé, M., Sala, S., Vouilloud, A. y Ramírez-Restrepo, J. (2017). Comparación morfológica y distribución geográfica de las especies *Tabellaria fenestrata* y *Tabellaria flocculosa* (Bacillariophyceae) en sistemas lóticos e indios de Colombia. *Actualidad Biológicas, 39*(107), 43-50. doi: 10.17533/udea.acbi.v39n107a05

MicroBus. (2020). Pandorina. Mastigophora: Flagellates that Move with a Whip. Recuperado de: Pandorina | Microbus Microscope Educational Website (microscope-microscope.org)

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAEE). (2020). Plan de Manejo del Parque Nacional Cayambe Coca (PNCC). CONDESAN, 1-144. Recuperado de: Plan de Manejo del Parque Nacional Cayambe Coca 2020 - 2030 - Condesan Plan de Manejo del Parque Nacional Cayambe Coca 2020 - 2030 - Condesan

Morales, E., Luna, V., Navarro, L., Santana, V., Gordillo, A. y Arévalo, A. (2017). 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. https://doi.org/10.26807/remcb.v34i1-2.240

Moreno, J., Medina, C. y Albarracín, V. (2012). Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. *REDUCA (Biología)*, *5*(5), 110–125. http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/964

Moreno Montoya, Y. y Aguirre, R, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia State of the art on periphyton knowledge in Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, *16*(3), 91–117. http://www.bdigital.unal.edu.co/31076/1/30155-186772-1-PB.pdf

Moreno Rodriguez, F., Caro Caro, I., Pinilla A., G., y Osorio P., D. (2017). ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE MICROALGAS DEL PERIFITON Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META, COLOMBIA Current Knowledge Status on Periphyton Algae and Benthic Macroinvertebrates of The Meta Region, Colombia. Acta Biológica Colombiana, 22(3), 33. https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.60619

Nikon Instruments Inc. (2021). Zygnema Filamentous Algae. Recuperado de: *Zygnema* Filamentous Algae | Nikon's MicroscopyU

Núñez-Avellaneda, M. (2008). Microalgas acuáticas: la otra escala de la biodiversidad en la Amazonia Colombiana. Bogotá, Colombia. instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -Sinchi-. 1ra Ed. 240 p. ISBN 978-958-8317-42-7

Osório, N. C., Polinario, A. M., Dunck, B., Adame, K. L., Carapunarla, L., Junqueira, M. G., Fernandes, U. L. y Rodrigues, L. (2018). Periphytic cosmarium (Zygnematophyceae, desmidiaceae) in lentic environments of the upper paraná river floodplain: Taxonomy and ecological aspects. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *30*. https://doi.org/10.1590/s2179-975X4717

Patil, A., Patil, S., Sathe, S. (2019). Diversity of microphytes from reservoirs of Kolhapur

district. Plant Science Today. Recuperado de: https://n9.cl/x770o

Rodrigues, L. y Bicudo, D. de C. (2001). Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, *24*(3). https://doi.org/10.1590/s0100-84042001000300001

Rogers, K. (2013). Peridinium. Recuperado de: Peridinium | Characteristics, Classification, & Facts | Britannica

Sala, S., Ramírez, J., Vouilloud, A., Plata, Y. (2013). *Surirella antioquiensis* sp. nov. y *S. rafaelii* sp. nov. (Bacillariophyta) de Colombia. Recuperado de: https://n9.cl/v1mhz

Sant´Anna, C., Tucci, A., Azevedo, M., Melcher, S., Werner, V., Malone, C., Rossini, E., Jacinavicius, F., Hentschke, G., Osti, J., Santos, K., Gama-Júnior, W., Rosal, C. y Adame, G. (2012) Atlas de cianobacterias e microalgas de águas continentais brasileiras. Publicación electrónica. Instituto de Botánica. Núcleo de Pesquisa em Ficologia. Recuperado de: www.ibot.sp.gov.br

Santana, L. M. y Ferragut, C. (2016). Structural changes of the phytoplankton and epiphyton in an urban hypereutrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *28*. https://doi.org/10.1590/s2179-975x5716

Sheila, D. (2022). ¿Que son los lagos Oligotróficos, Mesotróficos y Eutróficos?. Recuperado de https://es.ripleybelieves.com/what-are-oligotrophic-mesotrophic-and-eutrophic-lakes-588

Soler, A., Pérez, M., Aguilar, E., Villareal I. (2012). Diatomeas del canal de Panamá: Bioindicadores y otros estudios pioneros. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Departamento de Botánica y Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Departamento de Ambiente, Agua y Energía. División de Agua. Unidad de Calidad de Agua. Panamá.

Stanford, A., Hauer, R., Gregory, V., Snyder, B. (2005). Columbia River Basin. Rivers of North America. Recuperado de: https://n9.cl/uy5qd

Terneus, E., y Buñay, D. (2013). Efectos del embalsamiento de las lagunas de Mogotes y Loreto sobre las poblaicones de Truchas y las comunidades macrófitas en el sector de Papallacta, Ecuador. Recuperado de: https://www.unibe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/08/6.3_EfectosEmbalsamiento.pdf

Triemer, R., Zakrys, B. (2015). Photosyntethic Euglenoids. Freshwater algae of North America. Ecology and Classification. New York. USA, Academic Press.

Uriel, Y. (2016). Cultivo de cianobacterias. Recuperado de: https://www.clubensayos.com/Ciencia/Cultivo-de-cianobacterias/3743646.html

Vale, P. (2011). Biotoxinas emergentes em águas europeias e novos riscos para a saúde pública. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, *29*(1), 77–87.

Zanon, J. E., Simões, N. R. y Rodrigues, L. (2013). Effects of recurrent disturbances on the periphyton community downstream of a dammed watercourse. *Brazilian Journal of Biology*, *73*(2), 253–258. https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000200005