

# Variación de diatomeas (Bacillariophyta) en un gradiente del estado de conservación de ribera del río Malacatos, Loja- Ecuador

## *Variation of diatoms (Bacillariophyta) in a gradient of the riverbank conservation status of the Malacatos river, Loja- Ecuador*

Roberth Iván Yaguana<sup>1</sup> y Victor Alonso Cartuche<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Ambientales y de Desarrollo Sostenible (CIADES), Ecuador

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad (CITIAB), carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: victor.cartuche@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 12/10/2022    Fecha de aceptación del manuscrito: 15/12/2022    Fecha de publicación: 29/12/2022

**Resumen**—Las condiciones ecológicas de ríos Andinos son factores determinantes de la salud de estos ecosistemas y consecuentemente de la calidad de agua. En el río Malacatos del cantón Loja se llevó a cabo un estudio cuyo propósito fue determinar la influencia del estado de conservación de zonas riparias del río sobre la diversidad, riqueza y productividad de comunidades de diatomeas, organismos fitoplanctónicos bioindicadores de las condiciones ambientales. Se definieron tres zonas de estudio: un tramo con vegetación ribereña nativa, una zona con bosque de ribera intervenida (zona semiconservada) y un tramo sin vegetación riparia (zona urbana). En cada zona de estudio, se definieron transectos en donde se tomaron muestras de perifiton. Los resultados reportaron la presencia de 21 géneros de diatomeas epilíticas. Se determinó una diversidad moderada y una alta equitatividad de las comunidades de diatomeas en la zona ribereña con vegetación nativa y semiconservada, a diferencia del tramo urbano que presentó una diversidad y equitatividad baja y un ambiente acuático con una dominancia de pocos géneros (*Navicula* y *Nitzschia*). El registro de varios géneros de diatomeas en diferentes gradientes ambientales de las zonas estudiadas determinó que el estado de conservación de vegetación ribereña adyacente al curso de agua del río Malacatos podría influir sobre la riqueza, composición, diversidad y biovolumen de las comunidades de diatomeas. En general, los resultados sugieren que el estado de conservación de la vegetación ribereña y la presencia de actividades antrópicas alrededor del río influyeron en la ecología de diatomeas y en consecuencia podrían afectar la calidad de agua. En este contexto, la comunidad científica coincide en la importancia de evaluación de la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos, a partir de rasgos biológicos de organismos bioindicadores.

**Palabras clave**—Zona riparia, Perifiton, Diatomeas epilíticas, Diversidad, Equitatividad.

**Abstract**—The ecological conditions of Andean rivers determine the health of these ecosystems and, consequently, water quality. A study was carried out in the Malacatos River in Loja canton to determine the influence of the conservation state of the river's riparian zones on the diversity, richness and productivity of diatom communities, phytoplankton organisms that are used as bioindicators of environmental conditions. Three study zones were defined: a stretch with native riparian vegetation, a zone with disturbed riparian forest (semi-conserved zone) and a stretch without riparian vegetation (urban zone). For each zone, transects were determined in the river, and periphyton samples were taken. The results reported the presence of 21 genera of epilithic diatoms. A moderate diversity and a high evenness of diatom communities was determined in the riparian zone with native and semi-conserved vegetation, in contrast to the urban section that showed a low diversity and evenness with a dominance of few genera (*Navicula* and *Nitzschia*). The record of several diatom genera in different environmental gradients determined that the conservation state of riparian vegetation adjacent to the Malacatos River watercourse may influence the richness, composition, diversity and biovolume of diatom communities. Overview, the results showed the state of conservation of riparian vegetation and the anthropogenic activities around the river influenced on diatom ecology and consequently they may affect water quality. In this context, the scientific community agrees on the importance of assessing the ecological integrity of aquatic ecosystems, focusing on biological traits of bioindicator organisms.

**Keywords**—Riparian zone, Periphyton, Epilithic diatoms, Diversity, Equitability.

## INTRODUCCIÓN

La conservación de la diversidad de comunidades biológicas en ecosistemas acuáticos implica comprender los procesos que la generan y la mantienen a un nivel local,

lo cual puede ser explicada como el resultado de la conservación de la vegetación ribereña, la disponibilidad de nutrientes y la luz (Donato, 2019). El perifiton es una comunidad compleja de microbiota, constituida por microalgas, bacte-

rias, hongos, detritos orgánicos e inorgánicos adheridos a un sustrato vivo o inerte (Wetzel, 1983). Las microalgas, como las diatomeas, juegan un papel importante en el proceso de transferencia de la energía por medio de las cadenas tróficas y bajo una perspectiva ecológica, su composición y estructura constituyen variables que permiten determinar la calidad del agua y evaluar los procesos de contaminación que afectan a ecosistemas acuáticos (Montoya-Moreno y Aguirre, 2013).

Las diatomeas se han destacado como bioindicadores a nivel de población y comunidades en ecosistemas acuáticos (Loza et al., 2018). Se ha evidenciado que cambios en la calidad de agua, así como índices de diversidad, riqueza y de uniformidad de especies de diatomeas, se debieron al cambio del curso de un río al pasar de zonas rurales a urbanas (Chen et al., 2016a). Por su parte, Nihwatiwa y sus colaboradores (2017) demostraron que la mayoría de las variables físico-químicas de un río subtropical estuvieron fuertemente relacionadas con comunidades de diatomeas e índices de diversidad. Diversos estudios a lo largo de los últimos años han demostrado variaciones dentro de las comunidades de diatomeas en relación a las características morfométricas (por ejemplo la profundidad de ríos), físicas y químicas de los cuerpos de agua (Segura et al., 2016). Para Lozano y sus colaboradores (2019), el tipo de cobertura vegetal afecta la composición y diversidad de comunidades de diatomeas, por lo que estas comunidades pueden utilizarse para el monitoreo del impacto de las actividades antrópicas sobre una vegetación riparia muy alterada.

Existen escasos estudios relacionados con el uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores de calidad de agua en ríos del Ecuador. Podemos destacar trabajos de investigaciones realizadas en Latacunga en el río Cutuchi, donde se determinó el índice trófico de calidad de agua partir de la presencia de diatomeas epilíticas (Chasiquiza y Cola, 2017). En la provincia de Cotopaxi se identificaron comunidades de diatomeas epilíticas asociadas a la calidad del agua del río Yanayacu (Maiquiza y Tonato, 2020), mientras que en el río Carihuayco provincia de Pichincha se caracterizaron las comunidades de diatomeas epilíticas para la identificación de especies bioindicadoras de eutrofización (Molina, 2019). En este contexto, el proyecto se fundamentó en el estudio de comunidades de diatomeas epilíticas del río Malacatos como indicadoras de cambios debido a su capacidad de responder velozmente a las modificaciones en las condiciones físico-químicas en los cursos de agua (Vélez et al., 2016), de manera que este trabajo servirá de base informativa para desarrollar futuras investigaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

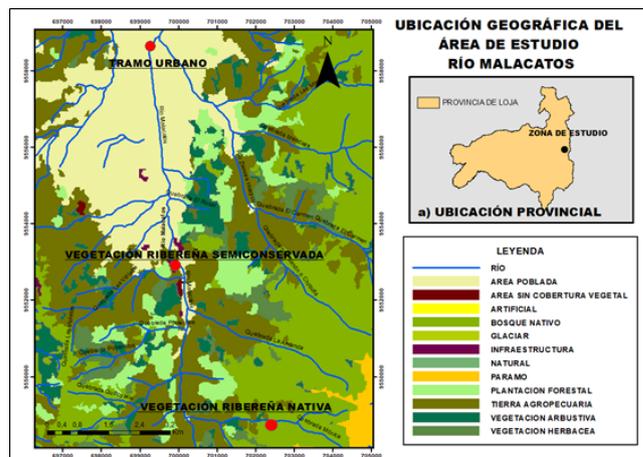
El presente estudio se llevó a cabo en el cantón Loja, provincia de Loja, en el río Malacatos, el mismo que se origina en el Parque Nacional Podocarpus. La microcuenca Malacatos se encuentra ubicada al Suroeste de la ciudad de Loja, a una altitud de 2400 m.s.n.m. que baja hasta los 1200 m.s.n.m. Al norte y al este limita con la microcuenca Zamora, al sur con la microcuenca del río Vilcabamba y del río Solanda y al oeste con la microcuenca El Tambo. Esta microcuenca forma parte de la cuenca binacional Catamayo Chira, que a la vez

forma parte de la vertiente del Pacífico (Medina et al., 2009).

### Diseño de muestreo

Considerando que el estado de conservación de zonas de vegetación ribereña del río Malacatos podría influir sobre la ecología de las comunidades de diatomeas (Lozano et al., 2019), la decisión de la ubicación de los puntos de muestreo se fundamentó en información cartográfica, herramienta que brindó datos concretos de la cobertura vegetal alrededor del río Malacatos (Figura 1). En este contexto, se definieron tres zonas de estudio: un tramo con vegetación ribereña nativa, una zona con bosque de ribera intervenida (zona semiconservada) y un tramo sin vegetación riparia (zona urbana).

Dadas las condiciones de cobertura vegetal en las riberas del río, el tramo con vegetación ribereña nativa se estableció en uno de los principales tributarios, la quebrada Mónica, la cual presentó una cobertura vegetal de bosque nativo, sin alteraciones. Por otro lado, el tramo con vegetación ribereña semiconservada, denominada así por la presencia de pequeñas franjas de vegetación ribereña que separa las tierras agropecuarias y las áreas pobladas del cauce del río, se situó en el sector La Argelia, a 200 metros del estadio de la Universidad Nacional de Loja (UNL). La zona urbana se ubicó en el sector del monumento “Puerta de la Ciudad de Loja”, debido a que no presentó vegetación ribereña, además de evidenciar descargas de aguas residuales urbanas.



**Fig. 1:** Mapa de ubicación de las zonas de estudio del río Malacatos de la ciudad de Loja; a) ubicación provincial del sitio de estudio.

Una vez definidas las zonas de estudio, se establecieron los puntos de muestreo. Por cada una de las zonas definidas se determinó un transecto longitudinal de 200 metros en el río, y por cada 50 metros un punto de muestreo, en total se obtuvieron 5 submuestras en cada una de las zonas. El muestreo se realizó una sola vez: en la zona con vegetación ribereña nativa se realizó el día 1 de julio, en la zona semiconservada el día 2 de julio y en el tramo urbano el 3 de julio, todos durante el año 2021.

### Obtención de muestras biológicas in situ

En cada punto de muestreo se recolectaron 5 sustratos naturales (piedras pequeñas) a lo largo del eje transversal del río. El criterio de recolección de los sustratos fue que presentaran una biopelícula de coloración café oscura o verde,

condición que refleja la actividad fotosintética.

El muestreo biológico tuvo lugar mediante el uso de un tubo de neumático, al cual se le realizó un agujero de un área de  $3,79 \text{ cm}^2$  que se reforzó con una arandela. Luego cada sustrato se marcó con el delimitador en la superficie expuesta al agua y se procedió a raspar suavemente esta área con un cepillo de dientes. Se lavó el sustrato con 20 ml de agua destilada, sobre una fuente de plástico. El proceso se repitió hasta completar los 100 ml; estas muestras se depositaron en un cooler con hielo (Fetscher et al., 2009).

### Análisis de muestras biológicas en el laboratorio

Se adaptó la metodología de Guzman y Leiva (2017) para el tratamiento de las muestras de diatomeas. Esta consistió en obtener 10 ml del homogenato de cada frasco. Estas submuestras se dejaron decantar durante 24 horas en un tubo de ensayo. Pasado ese tiempo, se retiraron cuidadosamente los 9 ml superiores y se analizó el precipitado con diatomeas. En las placas preparadas, se definieron 10 transectos en donde se observaron los especímenes de diatomeas usando el microscopio óptico Motic BA300, con un aumento de 40X.

Se identificaron las diatomeas a nivel de género por medio de claves morfométricas de Steinitz-Kannan y Cooper (2007) y estudios taxonómicos de Céspedes (2014). Estas identificaciones se corroboraron con el apoyo de la Profesora Kalina Manoylov de Georgia College and State University, del departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales.

### Determinación de la riqueza, diversidad y biovolumen de comunidades de diatomeas

El recuento de células fue llevado a cabo de manera estandarizada para cada una de las muestras. Por cada zona de estudio, se contaron al menos 300 valvas. La abundancia de los taxones se expresó mediante recuentos relativos y se calculó la abundancia relativa de los géneros de diatomeas (Chen et al., 2016a).

La diversidad de comunidades de diatomeas se determinó según la zona de estudio del río Malacatos, para ello se utilizaron los índices de diversidad Alfa de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y de equitatividad ( $E$ ) (Pandey et al., 2018).

Para obtener el biovolumen celular aproximado, se establecieron las dimensiones de ancho, largo y espesor de los especímenes encontrados. Posteriormente, para obtener el volumen celular, aplicamos las ecuaciones geométricas propuestas por Guzman y Leiva (2017).

## RESULTADOS

En las tres zonas de estudio se registraron 21 géneros de diatomeas epilíticas, con un total de 4765 individuos. Los géneros registrados en esta investigación fueron los siguientes: *Ulnaria*, *Navicula*, *Psammothidium*, *Fragilaria*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Sellaphora*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Brachysira*, *Hannaea*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Achnantheidium*, *Cratricula*, *Synedra*, *Cymbella*, *Amphora*, *Frustulia*, *Gyrosigma* y un género de diatomea céntrica no identificada. La cantidad total de especímenes por zona estudiada surgió a partir de un promedio de las submuestras implementadas. La mayor cantidad de individuos se registraron en el tramo urbano con 3732 especímenes, seguido por el tramo de vegetación

riberaña semiconservada con 669 especímenes, mientras que la menor cantidad fue en el tramo con vegetación ribereña nativa con 364 individuos.

Con respecto a los índices (Figura 2), la riqueza alcanzó un valor alto en el tramo urbano (17 géneros), y la menor se dio en los tramos con vegetación ribereña nativa (15 géneros) y semiconservada (11 géneros). Por otro lado, la diversidad obtuvo un valor moderado en los tramos de vegetación ribereña nativa ( $H' = 2,21$ ) y semiconservada ( $H' = 2,04$ ), mientras que el tramo urbano alcanzó una diversidad baja ( $H = 1,67$ ). La mayor equitatividad se obtuvo en los tramos con vegetación ribereña semiconservada ( $E=0,85$ ) y nativa ( $E=0,82$ ), mientras que la menor se registró en el tramo urbano ( $E=0,59$ ).

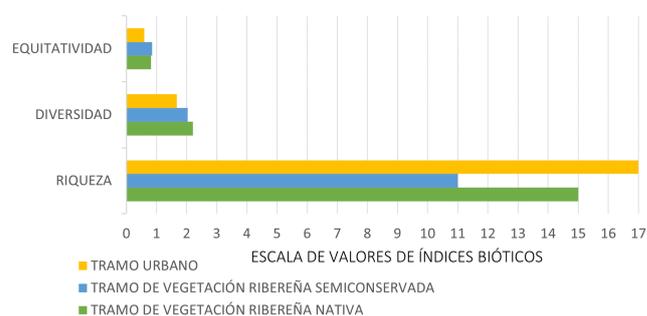


Fig. 2: Valores de los índices de equitatividad, diversidad y riqueza de diatomeas epilíticas en tres niveles de conservación del río Malacatos, Loja (Ecuador).

En cuanto al biovolumen celular total (Figura 3), parámetro que permite estimar el aporte de biomasa algal, el valor más alto se obtuvo del tramo de vegetación ribereña nativa ( $1,32 \times 10^{10} \mu\text{m}^3/\text{ml}$ ), seguida por el tramo urbano ( $1,66 \times 10^9 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ ), mientras que la menor se registró en el tramo de vegetación ribereña semiconservada ( $4,05 \times 10^8 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ ).

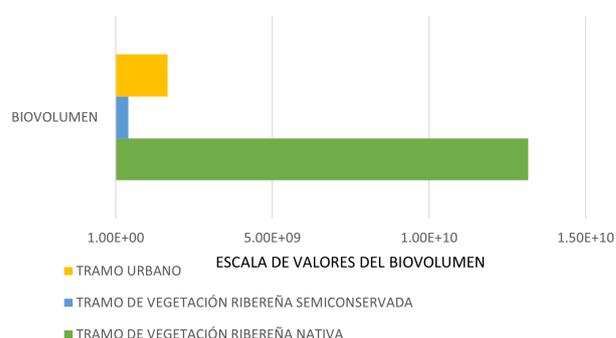
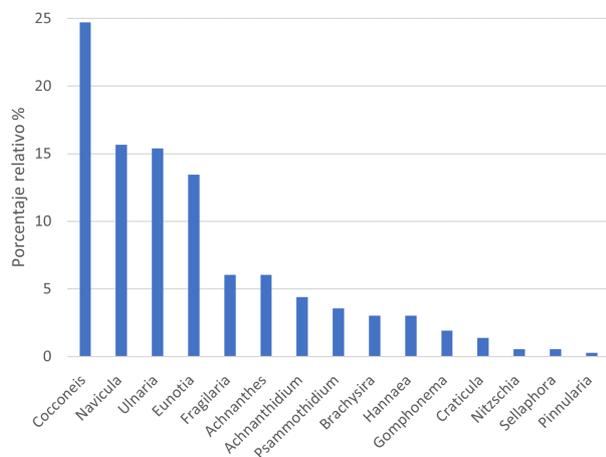


Fig. 3: Valores de biovolumen de diatomeas epilíticas en tres niveles de conservación del río Malacatos, Loja (Ecuador).

### Tramo de vegetación ribereña nativa

El género que presentó la mayor cantidad de individuos (Figura 4) fue *Cocconeis* (90 individuos), seguido por *Navicula* (57 individuos), *Ulnaria* (56 Individuos) y *Eunotia* (49 individuos), mientras que la menor cantidad fue para *Nitzschia* (2 individuos), *Sellaphora* (2 individuos) y *Pinnularia* (1 individuo). Con respecto al biovolumen (Tabla 1), en el tramo de vegetación ribereña nativa, el género que aporta la

mayor cantidad de biomasa es *Eunotia* (35% del biovolumen), seguido por *Cocconeis* (23% del biovolumen) y *Navicula* (14,29% del biovolumen), mientras la menor cantidad es para *Nitzschia* (0,06% del biovolumen).



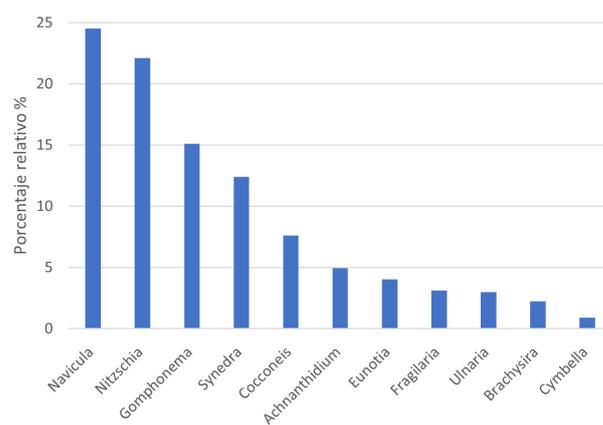
**Fig. 4:** Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo de vegetación ribereña nativa del río Malacatos, Loja (Ecuador).

**Tabla 1:** Valores de la biomasa a partir del biovolumen en el tramo con vegetación ribereña nativa del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género de diatomeas epilíticas tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo.

Género	Número de Individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Eunotia</i>	49	4652098899,48	35,33
<i>Cocconeis</i>	90	3030578696,47	23,02
<i>Navicula</i>	57	1881810301,43	14,29
<i>Hannaea</i>	11	798830091,25	6,07
<i>Fragilaria</i>	22	746165230,97	5,67
<i>Achmanthes</i>	22	526030458,85	4
<i>Ulnaria</i>	56	401173066,65	3,05
<i>Psammothidium</i>	13	326435962,47	2,48
<i>Achmanthidium</i>	16	274925630,46	2,09
<i>Craticula</i>	5	213464026,83	1,62
<i>Gomphonema</i>	7	127964484,68	0,97
<i>Brachysira</i>	11	125702421,92	0,95
<i>Pinnularia</i>	1	35028647,85	0,27
<i>Sellaphora</i>	2	18240137,36	0,14
<i>Nitzschia</i>	2	8393114,05	0,06
<b>Total de biovolumen (um3/ml)</b>		<b>1,32 × 10<sup>10</sup></b>	

**Tramo de vegetación ribereña semiconservada**

El género que presentó mayor número de individuos (Figura 5) fue *Navicula* (164 individuos), seguido por *Nitzschia* (148 individuos) y *Gomphonema* (101 individuos), mientras que la menor cantidad fue para *Cymbella* (6 individuos). Con respecto al biovolumen (Tabla 2) el género *Fragilaria* aportó con más de la mitad de la biomasa (68,72% del biovolumen), seguido por *Gomphonema* (8,03% del biovolumen) y *Navicula* (6,46% del biovolumen), mientras que la menor cantidad es para *Ulnaria* (0,32% del biovolumen).



**Fig. 5:** Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo de vegetación ribereña semiconservada del río Malacatos, Loja.

**Tabla 2:** Valores de la biomasa a partir del biovolumen de diatomeas epilíticas en el tramo con vegetación ribereña semiconservada del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo.

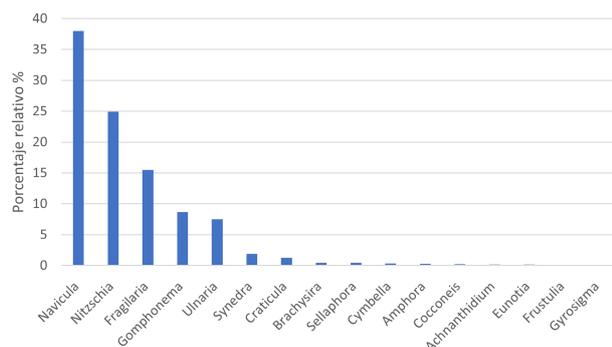
Género	Número de individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Fragilaria</i>	21	278638523,19	68,72
<i>Gomphonema</i>	101	32576221,42	8,03
<i>Navicula</i>	164	26208560,89	6,46
<i>Eunotia</i>	27	20636786,07	5,09
<i>Cocconeis</i>	51	17115731,33	4,22
<i>Nitzschia</i>	148	12317574,34	3,04
<i>Synedra</i>	83	7994184,02	1,97
<i>Achmanthidium</i>	33	4029591,08	0,99
<i>Brachysira</i>	15	2365574,99	0,58
<i>Cymbella</i>	6	2304268,08	0,57
<i>Ulnaria</i>	20	1288505,17	0,32
<b>Total de biovolumen (um3/ml)</b>		<b>4,05 × 10<sup>8</sup></b>	

**Tramo urbano**

El género que presentó mayor cantidad de individuos (Figura 6) fue *Navicula* (1418 individuos), seguido por *Nitzschia* (930 individuos), *Fragilaria* (579 individuos) y *Gomphonema* (324 individuos), mientras que la menor cantidad fue para un género de diatomea céntrica no identificada. Por otra parte, en este tramo, un solo género aportó más de la mitad de biomasa (Tabla 3), este es el género *Navicula* (72,49% del biovolumen), seguido por *Gomphonema* (7,90% del biovolumen) y *Fragilaria* (6,52% del biovolumen), mientras que la menor cantidad de biomasa es para *Gyrosigma* (0,01% del biovolumen).

**DISCUSIÓN**

Este trabajo se fundamentó en el estudio sobre la presencia de comunidades de diatomeas en varios gradientes de cobertura vegetal. El estudio taxonómico de los organismos fitoplanctónicos se realizó a nivel de género, una metodología que se ajusta a la implementada por otros autores (Juggins et al 2016; Heino y Soyninen, 2007; Chen et al 2016b). En general, los resultados reportaron vínculos entre varios generos de diatomeas y diferentes niveles de alteración de zonas de ribera, concordando con los resultados establecidos por Ortiz



**Fig. 6:** Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo urbano del río Malacatos, Loja

**Tabla 3:** Valores de la biomasa a partir del biovolumen de diatomeas epilíticas en el tramo urbano del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo

Género	Número de Individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Navicula</i>	1418	1200350913,62	72,49
<i>Gomphonema</i>	324	130751275,03	7,90
<i>Fragilaria</i>	579	108026116,64	6,52
<i>Nitzschia</i>	930	103732553,09	6,26
<i>Ulnaria</i>	281	44772498,22	2,70
<i>Craticula</i>	47	33770038,88	2,04
<i>Synedra</i>	70	11153291,37	0,67
<i>Cocconeis</i>	9	7135099,58	0,43
<i>Sellaphora</i>	16	5580076,24	0,34
<i>Amphora</i>	10	2724706,82	0,16
<i>Brachysira</i>	17	2419121,77	0,15
<i>Cymbella</i>	12	1651830,38	0,10
<i>Frustulia</i>	4	1299397,09	0,08
<i>Diatomea céntrica no identificada</i>	1	1015462,24	0,06
<i>Eunotia</i>	5	834084,15	0,05
<i>Achnanthyidium</i>	6	460953,52	0,03
<i>Gyrosigma</i>	3	222939,72	0,01
<b>Total de biovolumen (um3/ml)</b>		<b>1,66 × 10<sup>9</sup></b>	

(2015), quien señala que la presencia de comunidades de diatomeas está estrechamente vinculada con las perturbaciones antrópicas presentando, además, rangos y tolerancias específicas para variables ambientales como el régimen fluvial y elevación, entre otros.

En términos ecológicos, varios géneros de diatomeas se registraron en diferentes gradientes ambientales de las zonas estudiadas. En tal sentido, el estado de conservación de la vegetación ribereña adyacente al curso de agua del río Malacatos influyó sobre la riqueza, composición, diversidad y biovolumen de las comunidades de diatomeas, siendo evidente que los factores antrópicos afectaron a las relaciones entre el perifiton y el estado de conservación de la vegetación ribereña (Lozano et al., 2019). En consecuencia, el mantenimiento y la rehabilitación de la vegetación ribereña son factores claves del estado ecológico de los ríos, debido a su función en la retención de sedimentos y contaminantes arrastrados por la escorrentía que proviene de zonas agrícolas, urbanas y rurales (Mendoza et al., 2014).

Por otro lado, Chessman y sus colaboradores (1999) señalan que los métodos de evaluación de calidad de agua se pueden basar en la identificación de géneros de diatomeas, de-

bido a que muchas de sus especies comparten características ecológicas semejantes, aunque Ponader y Potapova (2007) destacan la importancia de la identificación a un nivel de especie para mejorar las evaluaciones biológicas.

Sabater y sus colaboradores (1987) en un estudio realizado en España en ríos sujetos a marcadas influencias humanas como actividades agrícolas, grado de urbanización y zonas boscosas de baja densidad poblacional, encontraron que cuanto mayor era la diversidad de diatomeas en un ecosistema acuático, el agua era de mejor calidad, afirmación que contrastaría con los resultados obtenidos en las zonas con vegetación ribereña nativa y semiconservada, donde los valores de diversidad fueron moderados con una alta equitatividad en la distribución de sus individuos, por lo tanto, podría ir asociado a una mejor calidad de agua. Caso contrario sucedió en el tramo urbano, donde se obtuvo una baja diversidad y equitatividad, con una dominancia de géneros como *Nitzschia* y *Navicula*, lo cual reflejaría una baja calidad de agua. Higgins y sus colaboradores (2005) indican que la diversidad de diatomeas en los sistemas fluviales andinos puede ser la base para la elaboración de planes regionales para identificar áreas críticas de conservación de vegetación ribereña.

Además, según Calizaya y sus colaboradores (2013), en los ríos que atraviesan las zonas urbanas, la diversidad tiende a disminuir, aumentando el número de especies tolerantes a la contaminación del agua. Por otra parte, Mengo (2017) manifiesta que la urbanización es un factor determinante de la riqueza de diatomeas, debido a que ejerce una relación inversa a la intensidad de urbanización y la modificación de las riberas del río. Sin embargo, en el río Malacatos la mayor riqueza se obtuvo en el tramo urbano, esto puede ser el resultado de las fuertes lluvias registradas en la ciudad de Loja antes del muestreo, las mismas que podrían haber modificado las condiciones físico-químicas del río, proporcionando condiciones favorables para el desarrollo de otro tipo de géneros de diatomeas (Flores-Stulzer et al., 2017).

En la zona de vegetación ribereña nativa, el elevado biovolumen celular puede ser el resultado de la capacidad de ciertos géneros de diatomeas, como *Cocconeis* y *Eunotia*, de asimilar, inmovilizar y reciclar el fósforo y nitrógeno del agua, con el objetivo de reducir sus concentraciones (Mendes-Santos y Ferragut, 2021), además estos géneros fueron los responsables de aportar respectivamente con el 35,33% y 23,02% del biovolumen total en la zona nativa. En cambio, en el tramo urbano la productividad (biovolumen) fue definida por *Navicula*, un género dominante que aportó con el 72,49% del biovolumen total.

De acuerdo a la información establecida, sería importante llevar a cabo un análisis de la integridad ecológica de la microcuenca, debido a que varias de las características biológicas tales como la diversidad, riqueza y equitatividad, pueden ser complementadas con una descripción del tamaño y la morfología de la frústula de las diatomeas, lo que posibilitaría evidenciar de forma clara deformaciones y reducciones en su tamaño, como una respuesta a la contaminación que presenta su hábitat (Tinoco-Pérez y sus colaboradores, 2019).

## CONCLUSIONES

Se determinó una diversidad moderada y una alta equitatividad de las comunidades de diatomeas en las zonas ribereña

nativa y semiconservada, a diferencia del tramo urbano, que presentó una diversidad y equitatividad baja y un ambiente acuático con una dominancia de pocos géneros (*Navicula* y *Nitzschia*). En total se registraron 21 géneros de diatomeas epilíticas en el río Malacatos, pero se sugiere precisar las evaluaciones biológicas mediante una identificación a nivel de especies.

A efectos de profundizar el análisis sobre la presencia de comunidades de diatomeas en gradientes de niveles de alteración de zonas de ribera en ríos andinos, es pertinente destacar la necesidad de estudiar las variables biológicas a nivel de especie, debido a que permitiría determinar con claridad características específicas de tolerancia y/o sensibilidad de los organismos acuáticos, relacionadas con el estado de conservación de la vegetación riparia.

El estudio sugiere que el estado de conservación de la vegetación ribereña y las actividades antrópicas alrededor del río Malacatos influyen en la calidad del agua y en la ecología de las comunidades de diatomeas, por tal razón es importante trabajar en la generación de políticas ambientales que permitan implementar prácticas colectivas de biomonitoreos periódicos como una estrategia que tendría como propósito la protección y restauración de la cobertura vegetal ribereña por su marcado interés e influencia sobre la salud de los ecosistemas acuáticos.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento especial para la Dra. Kalina Manoylov de la Universidad de Georgia College and State University, por su apoyo brindado en la verificación de la identificación de géneros de diatomeas; al Dr. Jorge Celi de la Universidad Regional Amazónica “Ikiam” por su apoyo en la definición de criterios y diseño de muestreo.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: VAC y RIY; metodología: RIY y VAC; análisis formal: RIY y VAC; investigación: RIY; curación de datos: VCA; redacción —preparación del borrador original: RIY y VAC; redacción —revisión y edición: RIY y VAC; visualización: VAC; supervisión: VAC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Robert Iván Yaguana: RIY. Víctor Alonso Cartuche: VAC.

## FINANCIAMIENTO

Este trabajo no contó con ninguna fuente de financiamiento formal, fue financiada por los autores.

## REFERENCIAS

- Calizaya, J., Avendaño, M., y Delgado, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 58–63.
- Céspedes, E. (2014). Análisis taxonómico de las principales especies de diatomeas (Bacillariophyceae) en seis sitios en la cuenca del río Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. En *Escuela De Historia: Vol. I*.
- Chasiquiza, M., y Cola, G. (2017). Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi sector Parque Nacional Cotopaxi, cantón Latacunga. En *Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad (Vol. 1)*.
- Chen, X., Bu, Z., Stevenson, M. A., Cao, Y., Zeng, L., y Qin, B. (2016b). Variations in diatom communities at genus and species levels in peatlands (central China) linked to microhabitats and environmental factors. *Science of The Total Environment*, 568, 137–146.
- Chen, X., Zhou, W., Pickett, S., Li, W., Han, L., y Ren, Y. (2016a). Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 60, 265–274.
- Chessman, B., Growns, I., Currey, J., y Plunkett-cole, N. (1999). Predicting diatom communities at the genus level for the rapid biological assessment of rivers. *Freshwater Biology*, 41(1999), 317–331.
- Donato, J. (2019). Diversidad de diatomeas en un sistema fluvial andino: los nutrientes y la conductividad como factores de explicación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 728–736.
- Fetscher, A., Busse, L., Fetscher, A., y Ode, P. (2009). Standard Operating Procedures for Collecting Stream Algae Samples and Associated Physical Habitat and Chemical Data for Ambient Bioassessments in California. En *In California State Water Resources Control Board Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP) Bioassessment SOP*, 2.
- Flores-Stulzer, E., Villalobos-Sandi-, N., Piedra-Castro, L., y Scholz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 1–11.
- Guzman, B., y Leiva, D. (2017). Diatomeas como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas - Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 16.
- Heino, J., y Soininen, J. (2007). Are higher taxa adequate surrogates for species-level assemblage patterns and species richness in stream organisms? *Biological Conservation*, 137(1), 78–89.
- Higgins, J., Bryer, M., Houry, M., y Fitzhugh, T. (2005). A Freshwater Classification Approach for Biodiversity Conservation Planning. *Conservation Biology*, 19(2), 432–445.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Pollinger, U., y Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2), 403–424.
- Juggins, S., Kelly, M., Allott, T., Kelly-Quinn, M., y Monteith, D. (2016). A Water Framework Directive-compatible metric for assessing acidification in UK and Irish rivers using diatoms. *Science of the Total Environment*, 568, 671–678.
- Loza, S., Benavides, R., Brenes, C., y Ballesteros, D. (2018). Estructura del fitoplancton en las épocas seca y lluviosa

- en el golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 10(2), 9.
- Lozano, S., Vasquez, C., Rivera Rondón, C., Zapata, A., y Ortiz, M. L. (2019). Efecto de la vegetación riparia sobre el fitoperifiton de humedales en la Orinoquía colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 67–85.
- Maiquiza, K., y Tonato, G. (2020). Identificación de diatomeas epilíticas asociadas a la calidad del agua en el río Yanayacu, sector San Juan, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, 2020. En *Universidad Técnica de Cotopaxi* (Vol. 1).
- Medina, M., Andrade, M., y Poma, M. (2009). Determinación de la calidad del agua del Río Malacatos mediante Fauna Bentónica como bioindicadora y alternativas de mitigación de la contaminación. [Universidad Nacional de Loja].
- Mendes-Santos, S., y Ferragut, C. (2021). Evaluating the periphyton as a bioreactor for removal of nutrients in a shallow hypereutrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 33.
- Mendoza, M., Quevedo, A., Bravo, A., Flores, H., De La Isla De Bauer, M., Gavi, F., y Zamora, B. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 11–16.
- Mengo, L. (2017). Composición taxonómica y riqueza de diatomeas en el Río Suquía, Córdoba (Argentina). 4(2), 55–62.
- Molina, J. (2019). Caracterización de comunidades diatomeas epilíticas del río Carihuaycu para la identificación de especies bioindicadoras de eutrofización. En *Universidad Internacional SEK* (Vol. 6, Número 1).
- MGA Rio Carihuaycu.pdf Montoya-Moreno, Y., y Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y ambiente*, 16(3), 91–117.
- Nhiwatiwa, T., Dalu, T., y Sithole, T. (2017). Assessment of river quality in a subtropical Austral river system: a combined approach using benthic diatoms and macroinvertebrates. *Applied Water Science*, 7(8), 4785–4792.
- Ortiz, M. (2015). Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone. En *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. (Vol. 13, Número 3).
- Pandey, L. K., Lavoie, I., Morin, S., Park, J., Lyu, J., Choi, S., Lee, H., y Han, T. (2018). River water quality assessment based on a multi-descriptor approach including chemistry, diatom assemblage structure, and non-taxonomical diatom metrics. *Ecological Indicators*, 84(March 2017), 140–151.
- Ponader, K. C., y Potapova, M. G. (2007). Diatoms from the genus *Achnanthes* in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. *Limnologica*, 37(3), 227–241.
- Sabater, S., Sabater, F., y Tomas, X. (1987). Water quality and diatom communities in two catalan rivers (N.E. Spain). *Water Research*, 21(8), 901–911.
- Segura, V., Almanza, J., y Ponce, J. (2016). Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica*, 26(2), 187–202.
- Steinitz-Kannan, M., y Cooper, J. (2007). The diatoms (Bacillariophyta). *New Survey of Clare Island*, 6, 115–139,200,217–232.
- Tinoco-Pérez, L., Salvat, K., Hernández, I., Hernández, M., Mejía, G., y Castro, J. (2019). Water quality study of the Actopan river in the localities of Santa Rosa and La Linda, Veracruz using macroinvertebrates and diatoms as bioindicators. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(1), 146–150.
- Vélez, A., Lozano, S., y Cáceres, K. (2016). Diversidad De Fitoplancton Como Indicador De Calidad De Agua En La Cuenca Baja Del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1–12.
- Wetzel, R. G. (1983). Attached algal-substrata interactions: fact or myth, and when and how? *Periphyton of Freshwater Ecosystems*, 356.