

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBIOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

Realizado por:

PAUL ALEXANDER CASTRO ERAZO

Director del proyecto:

JENNIFER PAOLA MOYÓN DAVILA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Quito, 24 de Marzo de 2024

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

DECLARATORIA JURAMENTADA

Yo, PAUL ALEXANDER CASTRO ERAZO, con cédula de identidad # 172348208-7, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo.



FIRMA

1723482087

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBIOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

Realizado por:

PAUL ALEXANDER CASTRO ERAZO

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

ha sido dirigido por el profesor

JENNIFER PAOLA MOYÓN DAVILA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JOSÉ RUBÉN RAMÍREZ IGLESIAS

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

FIRMA

FIRMA

Quito, 24 de Marzo de 2024

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

Energías, Ambiente y Biotecnología

Perteneciente a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

DEDICATORIA

A mis padres Alexander y Silvia, por todo el amor y apoyo incondicional que me han entregado en cada etapa de mi vida, nada de esto sería posible sin ustedes.

A mi hermana Samantha, por ser la mejor hermana del mundo y mi fuente de energía, fuerza y motivación.

A mis abuelitos Enmi, Bolivar, Estela y Silvio, por sus infinitas enseñanzas e inspiración, siempre estarán presentes en cada uno de mis logros.

A mi increíble compañera, amiga y pareja Lesly, tu aliento y tu amor han hecho que este sueño se haga realidad, que esto sea el comienzo de más objetivos y logros juntos.

A todos mis tíos, primas y primo, que son un pilar fundamental de cariño, perseverancia y humildad.

A mis amigos y amigas que han estado conmigo desde el inicio de este viaje, y a los que se han ido sumando en el camino.

A mis perritas, Pelusa y Wanda que son mi motor de energía y risas.

Infinitas gracias a todos

Con mucho amor, Paul.

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

AGRADECIMIENTOS

A la UISEK por los conocimientos adquiridos y su apoyo continuo a lo largo de mi
trayectoria académica.

Al personal docente por su invaluable orientación, sabiduría y estímulo que han
enriquecido mi aprendizaje y desarrollo personal y profesional.

A mis profes Susana y Johanna, por todas sus enseñanzas, apoyo y anécdotas a lo
largo de esta carrera.

A mi tutora de tesis Jennifer por su ayuda y colaboración para poder culminar este
trabajo con éxito.

A todo el personal de la Estación Científica Limoncocha por su predisposición,
ayuda y gentileza en cada visita académica.

A todas las personas que formaron parte del proyecto desde sus inicios, cuya
colaboración y contribuciones fueron esenciales para el éxito de esta investigación.

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

Para someter a:

To be submitted:

Paul Alexander Castro Erazo, Jennifer Paola Moyón Dávila; José Rubén Ramírez

Iglesias; José Gabriel Salazar Loor

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBIOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador. 24 de Marzo de 2024

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Jennifer Paola Moyón Davila,

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador.

Teléfono: 0979291030 ; email: jennifer.moyon@uisek.edu.ec

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

RESUMEN

El estudio se enfoca en la evaluación de la calidad del agua en la Laguna Limoncocha, utilizando diatomeas como bioindicadores. Estos microorganismos unicelulares son ampliamente reconocidos por su capacidad para indicar la salud de los ecosistemas acuáticos. Los géneros de diatomeas con mayor presencia en la Laguna Limoncocha son *Gomphonema*, *Encyonema*, *Rossithidium* y *Nitzschia*. El análisis de la calidad del agua se llevó a cabo mediante la medición de parámetros físicoquímicos en cumplimiento con la normativa TULSMA. Además, se empleó el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) para determinar la calidad ecológica de la laguna. Se realizó diversos análisis estadísticos, entre ellos un análisis de correspondencia canónica, uno de diversidad con índices de Shannon, Simpson y Pielou y un análisis de clúster que permitió visualizar la estructura de las comunidades de diatomeas en diferentes puntos de muestreo en la laguna.

Palabras clave: Diatomeas, Bioindicadores, Calidad del agua, Índice de Poluosensibilidad, Específica (IPS), Análisis de clúster.

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

ABSTRACT

The study focuses on assessing water quality in Laguna Limoncocha using diatoms as bioindicators. These single-celled microorganisms are widely recognized for their ability to indicate the health of aquatic ecosystems. The most prevalent diatom genera in Laguna Limoncocha are *Gomphonema*, *Encyonema*, *Rossithidium*, and *Nitzschia*. Water quality analysis was conducted by measuring physicochemical parameters in compliance with TULSMA regulations. Additionally, the Specific Pollutant Sensitivity Index (IPS) was employed to determine the ecological quality of the lagoon. Various statistical analyzes were carried out, including a canonical correspondence analysis, a diversity analysis with Shannon, Simpson and Pielou indices and a cluster analysis that allowed visualizing the structure of the diatom communities at different sampling points in the lagoon.

Keywords: Diatoms, Bioindicators, Water quality, Specific Pollutant Sensitivity Index (IPS), Cluster analysis.

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

INTRODUCCIÓN

Las diatomeas son microorganismos, unicelulares, eucariontes, fotosintéticos cuya función en la fijación de carbono y otros elementos durante los procesos biogeoquímicos es muy importante para los ecosistemas acuáticos (Fu et al., 2022). En cuanto a su modo de vida, se encuentran las diatomeas bentónicas, que se caracterizan por permanecer adheridas a sustratos naturales o artificiales y responden rápidamente a los cambios en la química del agua (Jin et al., 2024). Dentro de este grupo, se encuentran las diatomeas epífitas las cuales se adhieren a macrófitas o, en algunos casos, en las mismas diatomeas (Wiltshire & Aberle-Malzahn, 2017). La forma en que se fijan al tejido vegetal es mediante el mucílago, un polímero extracelular secretado a través del rafe. No obstante, algunas diatomeas, como las arrafídeas, carecen de rafe y no pueden producir dicha sustancia, por lo que suelen ser adnatas (Geitler, 1968).

La identificación de especies de diatomeas se basa en las características morfológicas de su pared celular de sílice, conocida como frústulo. Este consta de dos valvas cuyo tamaño y morfología pueden ser iguales (epivalva) o distintas (hipovalva) (Harwood & Nikolaev, 1995). Estas valvas se encuentran unidas por el cingulo (Hernández-Alomia et al., 2022). Además, la forma de la valva, ápices, la disposición y número de estrías, areólas, fíbulas o costillas, así como las terminaciones proximales y distales del rafe, son claves en la taxonomía de las diatomeas (Bueno et al., 2017; Harwood & Nikolaev, 1995).

Con relación a su importancia ecológica, las diatomeas han sido comúnmente empleadas en varios países para detectar alteraciones en la pureza del agua en cursos fluviales. Son especialmente sensibles a diversos factores ambientales como la adaptabilidad a la salinidad y temperatura, la tolerancia al pH, y los patrones de hábitat y profundidad (Lobo et al., 2016).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

Al ser utilizadas como bioindicadores proporcionan una herramienta extra al momento de tomar mediciones sobre la calidad de agua. En ocasiones, la simple toma de datos esporádicos puede no representar adecuadamente los cambios que ocurren a lo largo del tiempo en el punto de muestreo; es aquí donde las diatomeas ofrecen un valor añadido debido a su susceptibilidad a diversas condiciones y rápida respuesta ante los cambios ambientales, como la eutrofización y contaminación (Desrosiers et al., 2013).

En Ecuador, el uso de diatomeas como bioindicadores no es muy común en programas ambientales. La mayoría de los datos obtenidos se han recopilado principalmente como parte de investigaciones, a diferencia de otros países, como Brasil, donde el estado posee normas para el control de la calidad del agua utilizando estos y otros microorganismos como bioindicadores. De igual manera La Directiva Marco del Agua incluida en la Unión Europea en el año 2000 sugiere a las diatomeas como organismos idóneos para la detección de variaciones en la calidad ambiental de los cursos de agua en ríos y lagunas (Lobo et al., 2016).

La Reserva Biológica Limoncocha (RBL) se encuentra en la Amazonía ecuatoriana, se encuentra conformada por dos lagunas, Yanacocha y Limoncocha. Esta última es un recurso vital para las actividades agrícolas, ecoturísticas y de pesca en la región. En esta zona habita la comunidad Kichwa, quienes dependen del estado ecológico de la laguna (Ministerio del Ambiente, 2015). Por otro lado, la parroquia de Limoncocha está experimentando un crecimiento notable en los últimos años pasando de 3398 habitantes en 2001, a 5957 en el año 2010 y 6857 personas en 2022 (INEC, 2022). Con este aumento de población, las actividades mencionadas se intensifican, lo que conlleva un incremento en la generación de desechos, el mal manejo y tratamiento de estos, ya que el manejo de excretas se realiza mayormente a través de letrinas al aire libre (Carrillo et al., 2021). Esto se debe a que en la

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

parroquia únicamente existe un 6,3% de alcantarillado y sumado a ello, la recolección de desechos abarca sólo al 50,1% (INEC, 2022) por este motivo gran parte de estos desechos pueden terminar en la laguna o en sus orillas.

De igual forma otro de los factores que pueden afectar el estado del agua de la laguna a largo plazo es el clima de la región. Esta área se caracteriza por una temporada de lluvias intensas desde el mes de septiembre al mes de mayo y una temporada más seca que abarca de junio a agosto (Valdiviezo-Rivera et al., 2018)

Por las razones antes descritas, la aplicación de las diatomeas epífitas como bioindicadores en esta laguna ofrece una oportunidad excepcional para comprender la calidad del agua y los posibles impactos antropogénicos en este ecosistema y los resultados taxonómicos que se puedan obtener de las especies presentes.

HIPÓTESIS

Debido a ello se ha planteado como hipótesis que la evaluación de la calidad de agua usando diatomeas epífitas arrojará índices de mayor contaminación en comparación con resultados obtenidos en años anteriores en esta laguna.

OBJETIVOS

General

- Evaluar la calidad del agua mediante el uso de diatomeas epífitas de la laguna Limoncocha.

Específicos

- Identificar taxonómicamente las especies encontradas en cada una de las muestras tomadas en los distintos puntos dentro de la laguna.

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

- Determinar la diversidad de especies y variedades intraespecíficas de las diferentes estaciones de muestreo.
- Comparar la similitud entre las estaciones de muestreo y la presencia de diatomeas.
- Correlacionar los parámetros fisicoquímicos del agua, como pH, conductividad, oxígeno disuelto, nutrientes con la abundancia de diatomeas epífitas.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva Biológica Limoncocha (RBL) se encuentra ubicada en la parte nororiental de la Amazonía ecuatoriana, en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, parroquia Limoncocha (Figura 1). Sus límites provinciales se encuentran al norte con los departamentos de Nariño y Putumayo, en Colombia, al sur con las provincias de Napo y Orellana, al este con el departamento de Loreto, en Perú y al oeste con las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha (Salazar Alulema, 2023). La RBL tiene una extensión de 4613ha, en las cuales vive una amplia variedad de peces, aves, mamíferos, reptiles y anfibios, esta zona se ubica a unos 220 metros sobre el nivel del mar y registra una temperatura media de 28°C (Ministerio del Ambiente, 2015). Experimenta temporadas muy lluviosas de septiembre a mayo, con precipitaciones mensuales superiores a los 120 mm. Durante la temporada más seca, que comprende únicamente tres meses (junio, julio y agosto), las tasas de precipitación mensual disminuyen a alrededor de 70 mm. Además, se destaca por su rica biodiversidad, que abarca diversos ecosistemas como humedales permanentes, bosques inundados, bosques secos y hábitats acuáticos (Carrillo et al., 2021).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

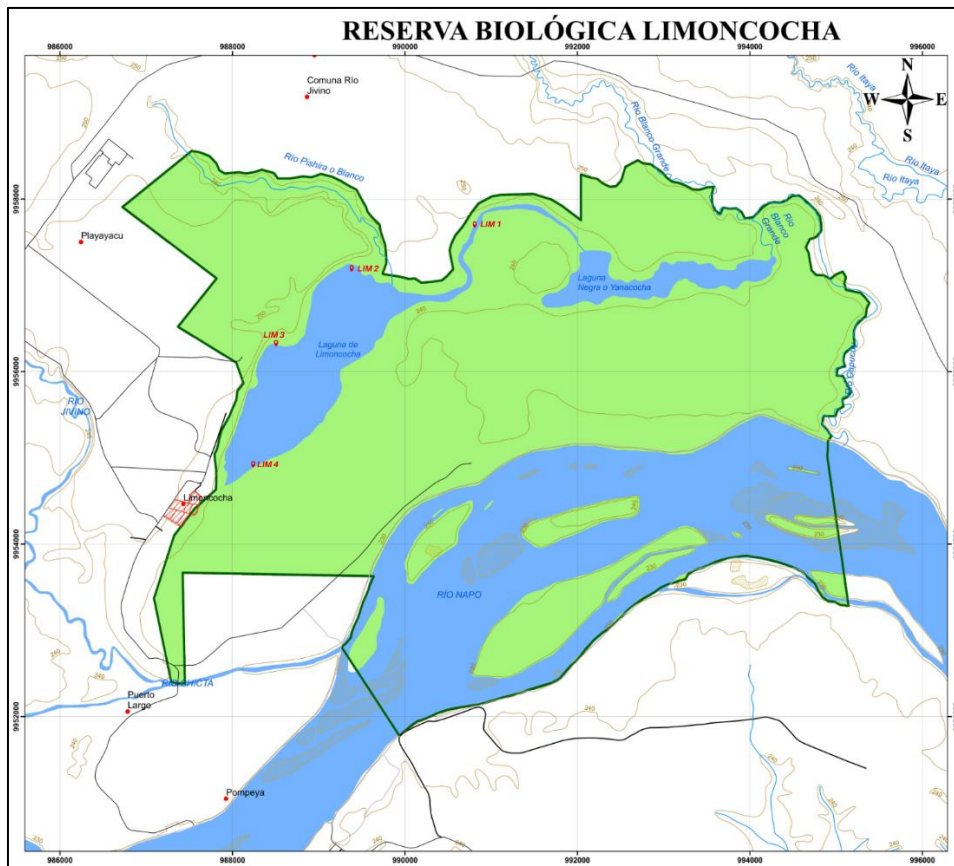


Figura 1: Mapa de la Reserva Biológica Limoncocha (RBL) con los puntos de muestreo. El Caño (LIM1), Pishira (LIM2), Playayacu (LIM3), Frente el Muelle (LIM4).

FASE DE CAMPO

El muestreo se efectuó en el mes de mayo del 2023 en 4 puntos de muestreo (Tabla 1). La toma de la muestra se basó en los protocolos propuestos por la Confederación Hidrográfica del Ebro, (2007) y Blanco et al., (2014), los cuales consistieron en raspar con la ayuda de cepillo de dientes tres troncos que estuvieran sumergidos a una profundidad de 30 cm en el agua. Posteriormente, se vertió el contenido en tubos Falcon de 50 ml, añadiendo dos gotas de formaldehído para detener la proliferación celular, y se sellaron completamente con *parafilm*. Finalmente, las muestras se guardaron en un cooler o hielera portátil a 4 °C para trasladarlas al laboratorio de la Universidad Internacional SEK (UISEK).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

Tabla 1: Coordenadas de muestreo de la Laguna Limoncocha.

PUNTO	CÓDIGO	COORDENADAS	ALTITUD	SUSTRATO
EL CAÑO	LIM1	0°22'56"S 76°35'37"W	236m	TRONCO <i>Acacia</i> sp
PISHIRA	LIM2	0°23'10"S 76°36'26"W	241m	TRONCO <i>Acacia</i> sp
PLAYAYAKU	LIM3	0°23'39"S 76°36'52"W	240m	TRONCO <i>Acacia</i> sp
FRENTE AL MUELLE	LIM4	0°24'24"S 76°36'58"W	232m	TRONCO <i>Acacia</i> sp

Toma de parámetros fisicoquímicos

Se midieron parámetros in situ como pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) y conductividad (uS/cm), utilizando un equipo multiparámetro HANNA® instruments y los parámetros de dureza y alcalinidad mediante un kit para pruebas de campo Tetra Easy Strips. Los parámetros que fueron tomados *ex situ* se realizaron mediante reactivos Hatch. Para todos los casos se siguió las instrucciones del fabricante. En el caso de los fosfatos se usó el reactivo phosphorus reactive, para nitritos se utilizó NitriVer 3 y para nitratos NitriVer 6 and 3.

FASE DE LABORATORIO

Tratamiento y preparación de láminas permanentes de diatomeas

El tratamiento de la muestra se basó en la oxidación de la materia orgánica con la ayuda de peróxido de hidrógeno (H₂O₂ al 30%) a una temperatura constante de 90 °C hasta conseguir un pellet con coloración amarillenta. Posteriormente, se añadieron dos gotas de ácido clorhídrico (HCl al 37%) para eliminar el carbonato de calcio, dejando reposar durante. 24

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

horas. Luego de cada proceso, se realizaron tres lavados con agua destilada para la eliminación de los residuos de los reactivos (ECS, 2003).



Figura 2: Proceso de digestión y sedimentación de muestras de Limoncocha.

Una vez finalizada la etapa de tratamiento de muestras, se procedió con la preparación de láminas permanentes. Para ello, se utilizó un cubreobjetos redondo de 18 mm de diámetro, sobre el cual se depositó una alícuota de muestra y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas. Luego, como medio de montaje se utilizó Naphrax, el cual cuenta con un índice de refracción de 1,74. Finalmente, las placas láminas permanentes fueron etiquetadas con el punto de muestreo y la fecha de realización.

Recuento e identificación taxonómica de diatomeas epífitas

Para el recuento de valvas se empleó un microscopio óptico BioBlue.Lab PC/DIC con una cámara adaptada CMEX-PRO, utilizando un aumento de 1000x. En este estudio, se contabilizaron 400 individuos por punto de muestreo. Para llevar a cabo este procedimiento,

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

se utilizó el generador de números aleatorios propuesto por Blanco Lanza, (2010), el cual consiste en obtener las coordenadas en el eje “x” y “y” según la escala de Vernier.

El registro fotográfico se realizó mediante el programa ImageFocus Alpha de Euromex ®. Las fotografías de las valvas se redujeron a una escala de 10 µm con el propósito de contar el número de estrías, areólas, fíbulas y/o costillas presentes en las diatomeas, así como para la identificación de las poblaciones según las células de mayor y menor tamaño. Este procesamiento fue desarrollado en el software CorelDraw Graphics Suite 2019.

La identificación taxonómica de las diferentes especies y variedades de diatomeas se basó, en el análisis del material tipo y bibliografía especializada tal como Ehrenberg (1838); Krammer (1997b), (1997a), (2002); Krammer & Lange-Bertalot (1986), (1987), (1989), (1991b), (1991a), (1985); Lange-Bertalot (1993), (1996), (2001); Lange-Bertalot et al. (2003); Metzeltin (2007); Metzeltin et al. (2005); Metzeltin & Lange-Bertalot (1998); Reichardt (1984); Rumrich et al. (2000) y páginas web como Academy of Natural Sciences Philadelphia: ANSP (<http://symbiont.ansp.org/dntf/>), AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>), Diatoms of North America (<https://diatoms.org/>) y DiatomBase (<https://www.diatombase.org/>).

Análisis de Datos

Se realizó la recopilación de datos en una matriz realizada en Excel usando el paquete de Microsoft Office 365. Gracias a esta matriz de datos se pudo calcular la abundancia absoluta (A_i) y también la abundancia relativa ($A_i\%$) de cada una de las especies por punto de muestreo, según la fórmula: $A_i\% = (A_i \cdot 100) / A_t$ acotando que (A_t) es la abundancia total.

Los datos de la abundancia relativa ($A_i\%$) de las especies y subcategorías obtenidas en las cuatro estaciones de muestreo se analizaron mediante el software PAST versión 4.04 con el

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

fin de evaluar su diversidad. Este análisis incluyó la determinación de la riqueza (S), el índice de Shannon (H'), la dominancia de Simpson (1-D) y la equidad de Pielou (J').

- La riqueza (S): Se determina contando el número total de especies diferentes presentes en un área o comunidad, lo que proporciona una medida básica de la diversidad biológica en ese lugar.
- El Índice de Shannon-Wiener (H'): Es un índice que evalúa la diversidad en una comunidad biológica, centrándose en la equidad de la distribución de las especies presentes.
- El Índice de Simpson (λ): Se trata de un índice que evalúa la diversidad considerando principalmente la dominancia de las especies más abundantes en una comunidad, sin tener en cuenta la contribución proporcional de otras especies.
- La Equitatividad de Pielou (J'): Es una medida que evalúa la uniformidad en la distribución de individuos entre las diferentes especies dentro de una comunidad, proporcionando información sobre la equidad en la abundancia de especies.

Por último, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento (Cluster) utilizando un índice de Bray Curtis para visualizar la similitud entre las especies y los puntos de muestreo de manera gráfica.

Calidad de agua de la laguna Limoncocha

Para evaluar la calidad de agua se calculó el Índice de Polusensibilidad Específica (IPS), el cual se calcula utilizando la abundancia relativa (A_j), los valores de sensibilidad a la contaminación (S_j) y valores de tolerancia a la contaminación (V_j) y coeficientes determinados en la siguiente fórmula:

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

$$IPS = 4,75 * \frac{\sum A_j * S_j * V_j}{\sum A_j * V_j} - 3,75$$

Una vez obtenido el IPS, que es un valor numérico entre 1 y 20, se clasificó en cinco categorías de calidad ecológica (Tabla 2) (Blanco et al., 2007).

Tabla 2: Categorías de calidad ecológica del agua.

Estado de calidad ecológica	
Muy mala calidad	1- 5
Mala calidad	5 – 9
Calidad moderada	9 – 13
Buena calidad	13 – 17
Muy buena calidad	17 - 20

Los datos obtenidos de parámetros fisicoquímicos fueron ingresados en una tabla mediante el programa Excel del paquete Microsoft 365. Se comparó estos parámetros con la Norma vigente TULSMA (Texto Unificado de Legislación de Medio Ambiente) Edición Especial N° 387 acuerdo No. 083-B según la Tabla 2: Criterios De Calidad Admisibles Para La Preservación De La Vida Acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Relación entre variables bióticas y abióticas

El análisis de correspondencia canónica, según (Legendre & Legendre, 1998) implica examinar una matriz que representa sitios y especies, donde cada sitio está asociado con valores para uno o más factores ambientales, como temperatura, pH, profundidad, etc. Este método genera ejes que son combinaciones lineales de los factores ambientales, lo que lo convierte en un análisis de gradiente directo. Para llevar a cabo este análisis, cada sitio se debe representar en una fila de la hoja de cálculo, con las variables ambientales ingresadas en las primeras columnas, seguidas de los datos de abundancia y al iniciar el análisis del programa se debe especificar cuantos datos ambientales existen (Oyvind Hammer, 2024).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

RESULTADOS

- Calidad de agua de la Laguna Limoncocha

Según la clasificación de las categorías del IPS, la laguna de Limoncocha presenta un valor IPS de 6,08, por lo cual se ubica en la categoría de Mala Calidad (Figura 3).

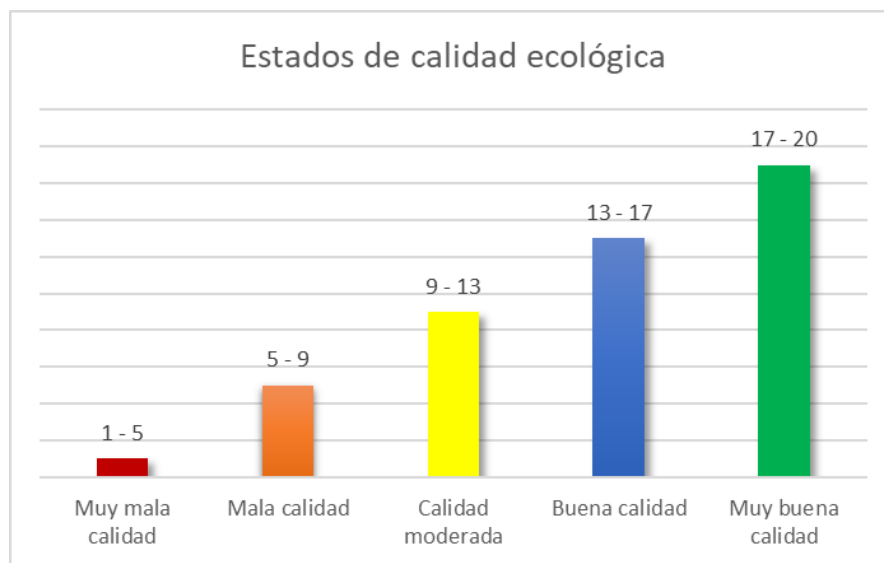


Figura 3: Clasificación de estados de calidad ecológica mínimos y máximos teóricos.

Parámetros fisicoquímicos

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos de cada punto de muestreo para verificar el cumplimiento de la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), que es la normativa aplicable en Ecuador.

- Potencial de Hidrógeno (pH)

La medición del pH se llevó a cabo utilizando un equipo multiparámetro. Como se puede observar en los valores obtenidos, se aprecia un rango variable entre las muestras, siendo Pishira el punto con el valor más bajo de pH, registrando 6.8, mientras que Frente al Muelle mostró el valor más alto con un pH de 9.4 (Figura 4).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

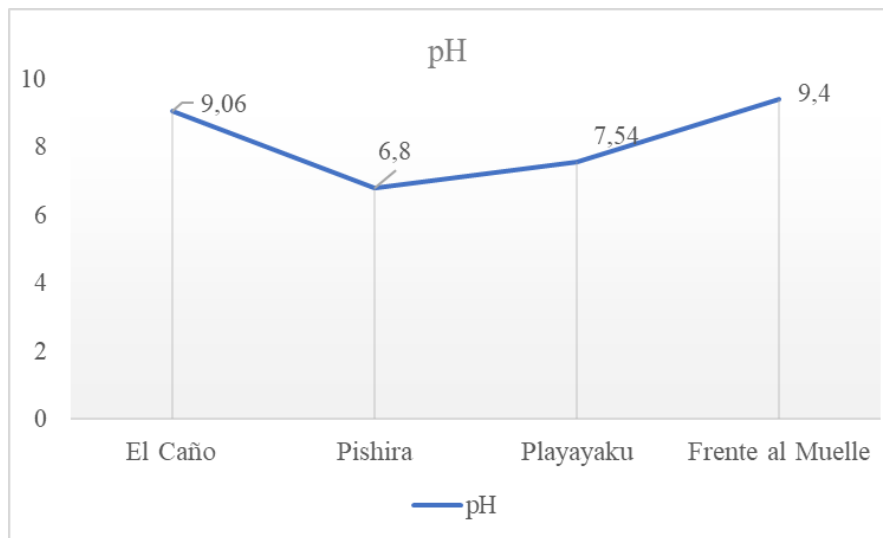


Figura 4: Datos de pH obtenidos en los diferentes puntos de muestreo en la Laguna Limoncocha

- Oxígeno Disuelto

El Oxígeno disuelto en la laguna tuvo un valor promedio de 11,04 siendo el valor más bajo en El caño, pero dentro de los parámetros establecidos en la norma TULSMA que es mayor al 80% (Figura 5).

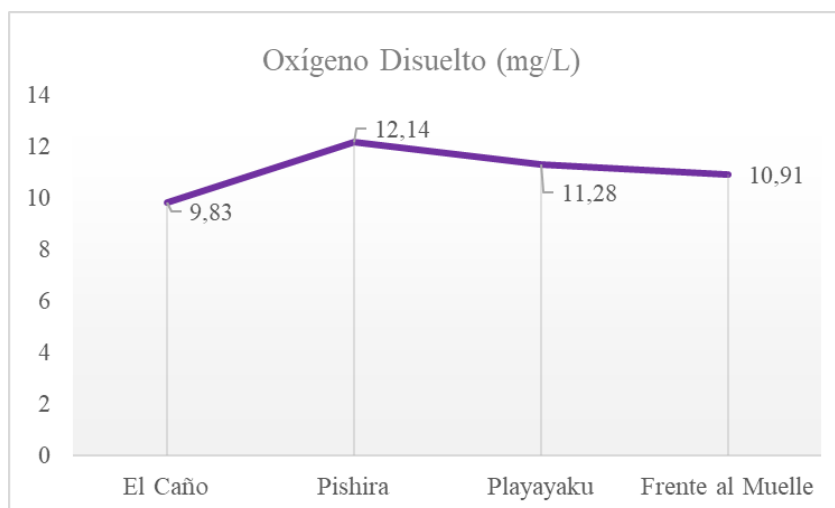


Figura 5: Datos de Oxígeno Disuelto obtenidos en los diferentes puntos de muestreo en la Laguna Limoncocha.

- Temperatura

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

La temperatura del agua se encuentra en valores muy cercanos entre sí y no hay una diferencia considerable como se puede observar en la Figura 6. Estos valores se encuentran muy cercanos a la temperatura promedio de esta región, la cual es de 28 °C.

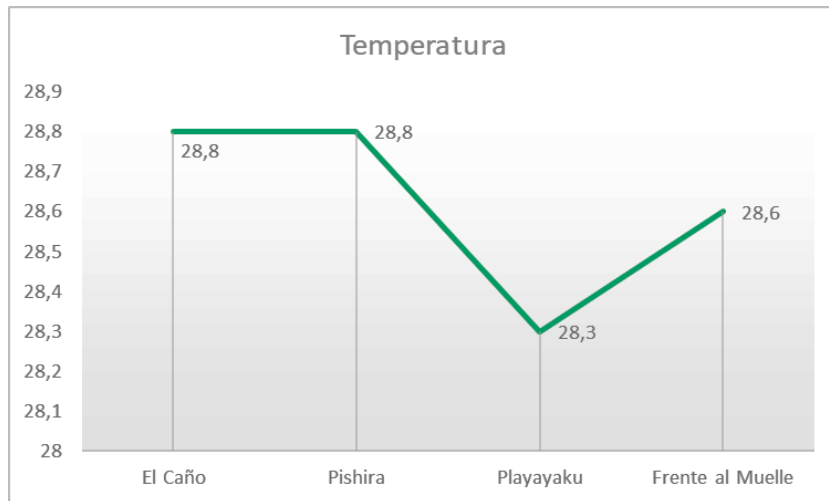


Figura 6: Datos de Temperatura obtenidos en los diferentes puntos de muestreo en la Laguna Limoncocha.

- Conductividad

En cuanto a conductividad, los datos se encuentran en un rango de 82,8 y 88,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo cual es bueno, puesto que indica una baja concentración de iones disueltos en el cuerpo de agua (Figura 7).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

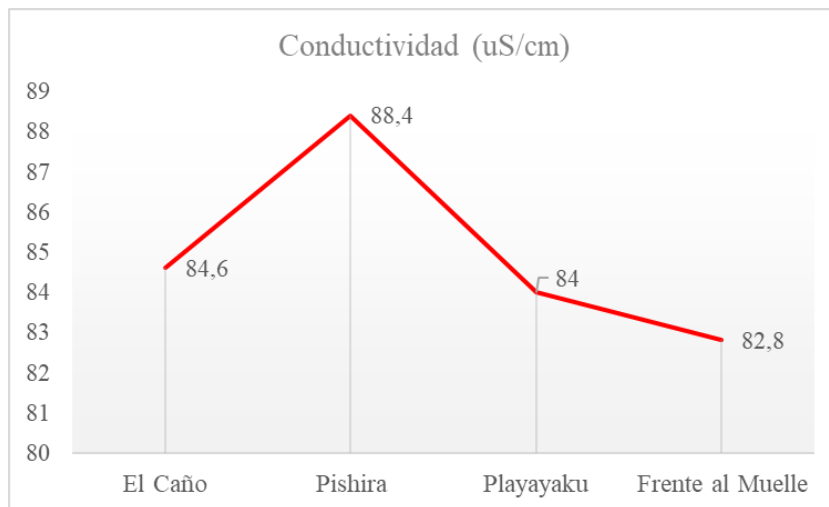


Figura 7: Datos de Conductividad obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna Limoncocha.

- Fosfatos

Los valores de fosfatos son similares en tres puntos, pero muestra una variación considerable en Playayaku (Figura 8).

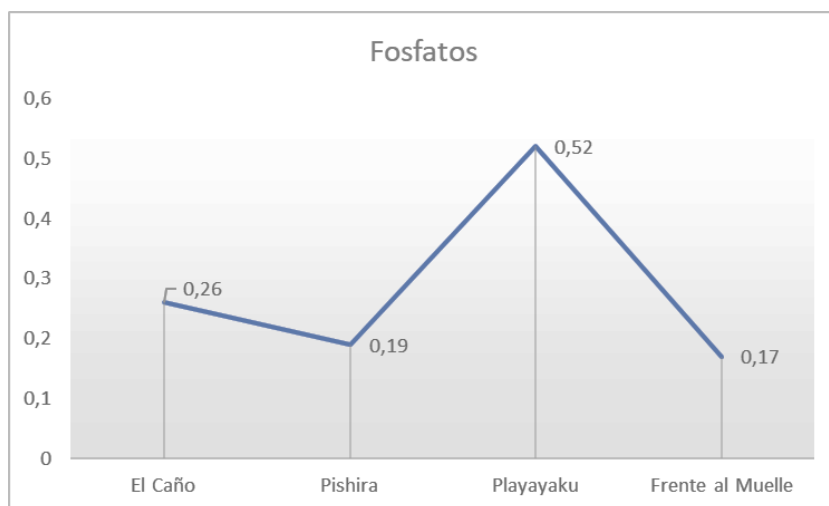


Figura 8: Datos de Fosfatos obtenidos de la Laguna de Limoncocha.

- Nitritos

Los valores de nitritos obtenidos son inferiores a 0,2 mg/L en todos los puntos de muestreo (Figura 9).

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

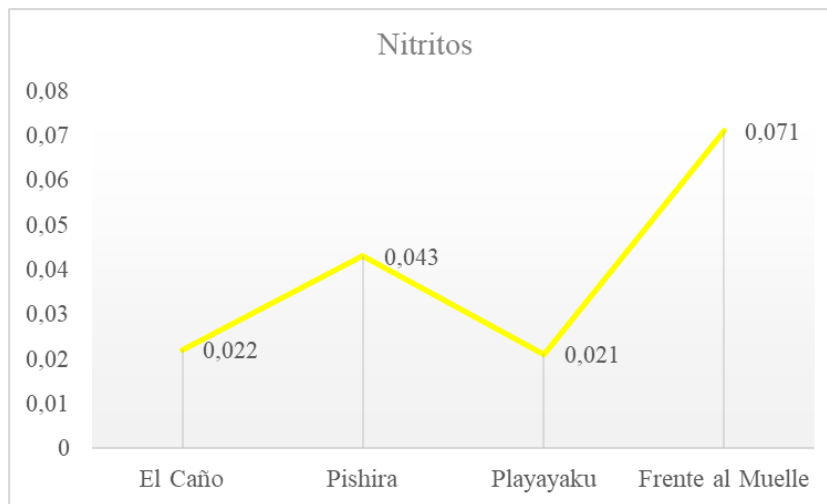


Figura 9: Datos de Nitritos obtenidos de la Laguna Limoncocha.

- Nitratos

Presenta valores sumamente bajos que pueden ayudar a determinar el estado del agua (Figura 10).

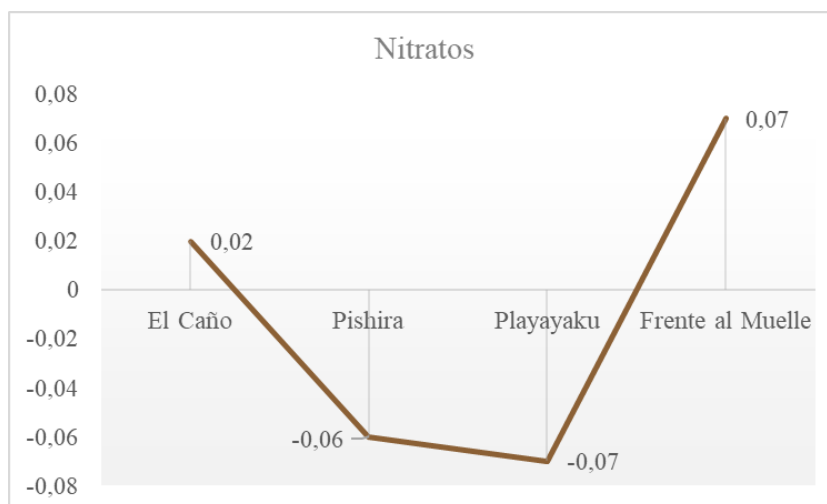


Figura 10: Datos de Nitratos obtenidos de la Laguna Limoncocha.

- Parámetros TULSMA

Se elaboró una tabla general (Tabla 3) que agrupa los parámetros establecidos por la normativa vigente TULSMA, con el fin de verificar si las condiciones obtenidas en cada

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

punto de muestreo cumplen con los límites permitidos para los Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios. En caso de no cumplir con la normativa, se destacó el valor correspondiente en color rojo como el caso del pH, donde los valores obtenidos en los puntos El Caño y Frente al muelle sobrepasan el límite permisible de la norma.

Tabla 3: Parámetros evaluados según parámetros de Normativa TULSMA

	pH (multiparámetro)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Nitritos	Nitratos
LIMITE TULSMA	6,5 – 9	> 8 mg/L	0,2	13
El Caño	9,06	9,83	0,022	0,02
Pishira	6,8	12,14	0,043	-0,06
Playayaku	7,54	11,28	0,021	-0,07
Frente al Muelle	9,4	10,91	0,071	0,07

Abundancia de Especies

En los resultados obtenidos de los 4 puntos de muestreo se hallaron un total de 49 especies de diatomeas, obteniendo las siguientes abundancias relativas: *Gomphonema parvulum* (11,88), *Gomphonema duplipunctatum* (11,15), *Gomphonema* sp1 (10,02), *Gomphonema lagenula* (9,88), *Rossithidium petersenii* (8,56), *Gomphonema pumilum* var *rigidum* (8,43), *Gomphonema daphnoides* (5,70), *Gomphonema angustatum* (4,77), *Gomphonema gracile* (4,51), *Pinnularia acrosphaeria* (4,24), *Nitzschia palea* (3,98), *Encyonema silesiacum* (3,52), *Gomphonema minutum* (3,18), *Sellaphora atomoides* (2,32), *Melosira varians* (1,19), *Achnanthidium rivulare* (0,93), *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (0,66), *Aulacoseira granulata* var. *granulata* (0,59), *Gomphonema guaranianum* (0,59), *Aulacoseira* sp1 (0,26), *Cyclotella meneghiniana* (0,26), *Pinnularia* sp3 (0,26), *Eunotia minor* (0,19), *Gomphonema insignaffine* (0,19), *Gomphonema* sp4 (0,19), *Nitzschia paleaeformis* (0,19), *Pinnularia*

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

sterrenburgii (0,19), *Diadsmis confervacea* (0,13), *Fragilaria* sp1 (0,13), *Fragilaria tenera* (0,13), *Gomphonema parvulum* f. *saprophilum* (0,13), *Lemnicola hungarica* (0,13), *Navicula cryptocephala* (0,13), *Nitzschia amphibia* (0,13), *Pinnularia* sp1 (0,13), *Sellaphora saugerresii* (0,13), *Achnanthidium minutissimum* (0,066), *Craticula subminuscula* (0,066), *Gomphonema* sp2 (0,066), *Gomphonema* sp3 (0,066), *Gomphonema subangustatum* (0,066), *Luticola arctica* (0,066), *Luticola hamiltonii* (0,066), *Navicula* sp1 (0,066), *Navicula tripunctata* (0,066), *Nitzschia hadriaca* (0,066), *Pinnularia* sp2 (0,066), *Pinnularia* sp4 (0,066) y *Placoneis anglophila* (0,066) . De las cuales se obtuvo un total del 100%.

- Análisis de Correspondencia Canónica.

El análisis se realizó utilizando los parámetros fisicoquímicos in situ y ex situ con los valores de abundancia las diatomeas aplicando un criterio de exclusión a las especies menores al 0,30% para tratar de mejorar la relación entre los datos (Figura 11). En el eje positivo X se encuentra ubicado el punto Playayaku cercano a las especies de *encyonema silesiacum* y *nitzschia palea* y cercano a ellas también se localiza al parámetro de fosfatos, lo que puede indicar que estas especies pueden tolerar valores iguales o más altos de fosfatos como el presente en este punto que es de 0,52.

Por otro lado, en el eje negativo X se puede apreciar un gran número de especies del género *Gomphonema* y la especie de *Achnanthidium rivulare* que están correlacionadas con valores de Nitritos de 0,043 y 0,071 y valores de Oxígeno Disuelto de 12,14 y 10,91 (mg/L) presentes en Pishira y Frente al Muelle respectivamente. Lo que puede indicar que estos valores pueden ser óptimos para el crecimiento de dichas especies

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

El único punto que no muestra una correlación con ningún parámetro fisicoquímico es El caño, sin embargo, se puede apreciar que la especie *pinnularia* sp3 se ubica en el mismo sitio, lo que puede indicar que es posible que esta especie sea exclusiva de esta área.

Los parámetros de pH y Nitratos se correlacionan con las especies *Gomphonema* sp1 y *Gomphonema duplipunctatum* pero no se encuentran cercanos a ningún punto, por lo que se podría discernir que estas especies pueden crecer o tolerar mejor los ambientes con valores promedio de 0,01 en nitritos y pH mayores a 8.

La suma de los dos primeros ejes de la varianza total explicada es de 83,37% lo que puede indicar que la confiabilidad del gráfico es muy alta.

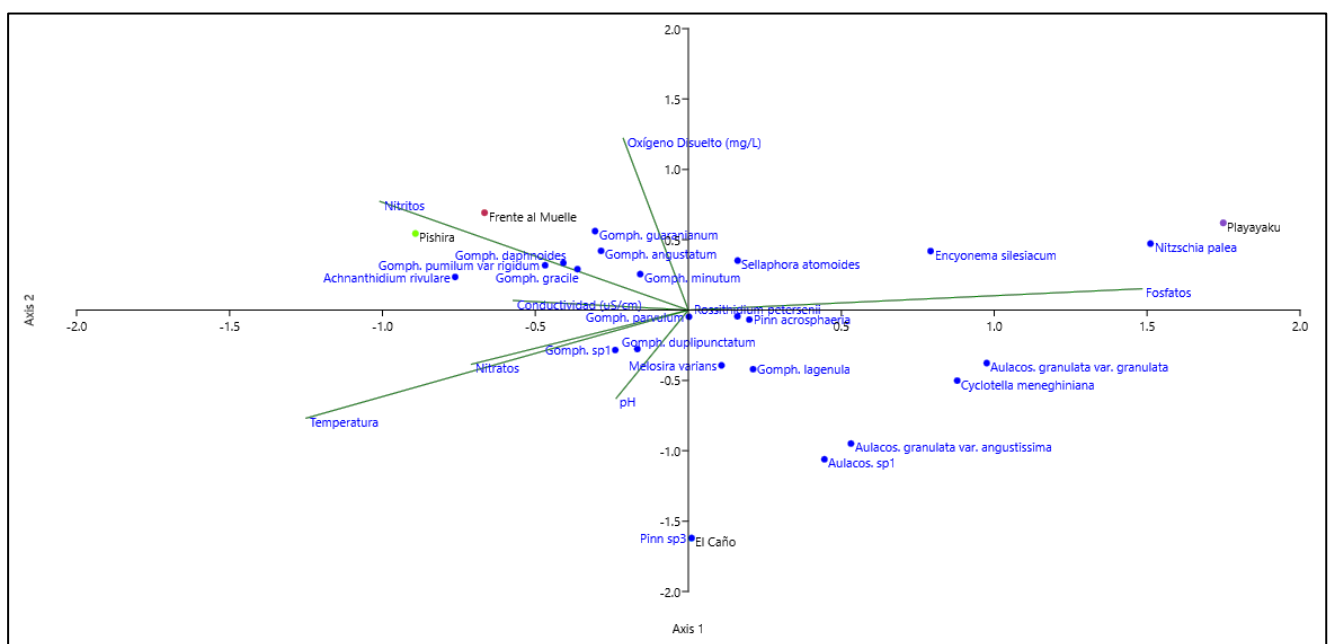


Figura 11: Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) de la Laguna Limoncocha.

- Índice de Diversidad

Se realizó un análisis de diversidad con los índices de diversidad de Shannon, dominancia de Simpson y de Equitatividad (Tabla 4). Gracias a estos índices, se ha determinado que hay

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

una diversidad media, ya que, en el caso del Índice de Shannon, los valores están dentro de un rango de [2-3] donde la diversidad se considera Normal en la comunidad.

Por su parte, en el índice de dominancia de Simpson, los valores se acercan a 1, lo que significa que existe una alta dominancia, sin embargo, denota baja diversidad en la comunidad.

En el índice de Equitatividad, los valores de J lejanos a 1 indican una distribución menos equitativa de las abundancias entre las especies, por este motivo, la comunidad es heterogénea.

Tabla 4: Análisis de Diversidad.

Diversidad				
	El Caño	Pishira	Playayaku	Frente al Muelle
Riqueza S	30	29	29	18
Individuals	417	405	339	346
Simpson_1-D	0,8943	0,9118	0,9155	0,9109
Shannon_H	2,609	2,677	2,748	2,531
Equitability_J	0,767	0,7949	0,8161	0,8756

- Análisis Clúster para comparación de especies por punto de muestreo.

Se realizó un gráfico donde se utilizó Bray Curtis puesto que este considera la abundancia de manera ponderada y de esta manera se puede apreciar de mejor manera los puntos que tienen una mayor similitud, en este caso, el porcentaje de similitud que se utilizó es del 0,65% donde se recogen la mayor cantidad de datos entre todos los puntos. Se puede mencionar que se unen en dos grupos, el primero conformado por Playayaku y El Caño, compartiendo las siguientes especies: *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, *Aulacoseira* sp1, *Cyclotella meneghiniana*, *Gomphonema angustatum*, *Gomphonema daphnoides*, *Gomphonema duplipunctatum*, *Gomphonema*

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

gracile, *Gomphonema lagenula*, *Gomphonema minutum*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum* var *rigidum*, *Gomphonema* sp1, *Melosira varians*, *Nitzschia palea*, *Pinnularia acrosphaeria*, *Pinnularia* sp1, *Rossithidium petersenii* y *Sellaphora atomoides*.

El segundo grupo se encuentran los puntos Pishira y Frente al Muelle, con un porcentaje de similitud del 0,75%, que, de igual manera, comparten algunas especies: *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema angustatum*, *Gomphonema daphnoides*, *Gomphonema duplipunctatum*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema lagenula*, *Gomphonema minutum*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum* var *rigidum*, *Gomphonema* sp1, *Melosira varians*, *Pinnularia acrosphaeria*, *Rossithidium petersenii* y *Sellaphora atomoides*

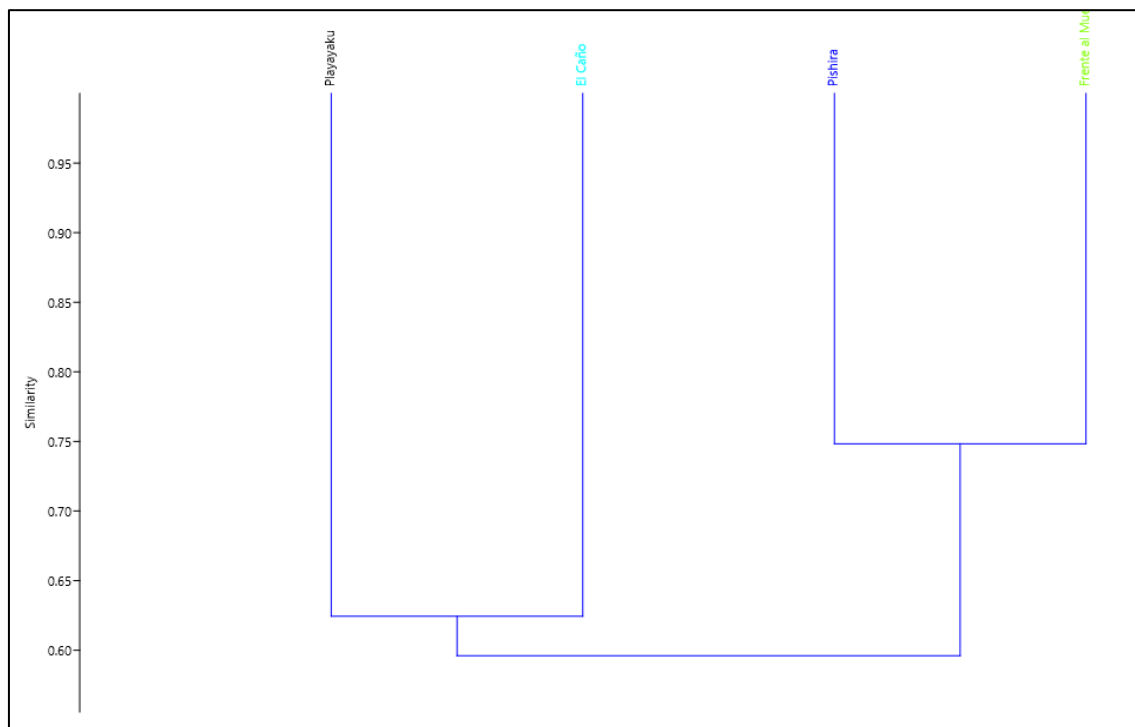


Figura 12: Comparación de especies en sus puntos de muestreo utilizando el índice de similitud de Bray Curtis.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

Entre las especies con mayor abundancia se encuentran: *Gomphonema duplipunctatum* con 168, *Gomphonema lagenula* con 149, *Gomphonema parvulum* con 179, *Gomphonema pumilum var rigidum* con 127, *Gomphonema sp1* con 151 y *Rosithidium petersenii* con 129 en total (Anexo 1). Es importante mencionar que durante el muestreo hubo factores que pudieron afectar la calidad de la muestra y es que desde el tercer punto (Playayaku) hubo lluvia abundante, debido a esto, en el conteo de diatomeas no se llegó a las 400 una vez cumplidos todos los campos visuales generados.

Ecológicamente hablando, *Gomphonema duplipunctatum* se caracteriza como una especie holártica oligotrófica-mesotrófica que ha sido descrita en Finlandia y se conoce en varios países de Europa y Estados Unidos (Kulikovskiy et al., 2023) esto puede indicar que es una diatomea muy adaptativa al medio. *Gomphonema lagenula* y *Gomphonema parvulum* han sido estudiadas y discutidas si existen diferencias significantes entre ellas, pero son muy sutiles y no se las puede clasificar como dos especies diferentes, únicamente diferenciarlas como taxones a nivel intraespecífico (Abarca et al., 2014). *G. parvulum* ha sido reportada en todo el mundo como una especie bentónica abundante que se presenta en una amplia gama de condiciones ambientales de agua dulce y algunos lagos de agua salada. Su valor de resistencia a la contaminación Vj es 1 (Anexo 1), por lo tanto, es posible que esta zona no se encuentre muy contaminada ya que sus células parecen responder con sensibilidad a los cambios en la calidad del agua, es por ello también que algunos taxones han sido identificados como indicadores de las condiciones ambientales en estudios tanto ecológicos como paleoecológicos (Abarca et al., 2014). *Gomphonema pumilum var rigidum* según menciona (Koen, 2023) se encuentra en condiciones meso a eutróficas con un contenido moderado de electrolitos y no puede tolerar más que cantidades moderadas de contaminación. En el caso de *Gomphonema sp* no se puede dar un análisis específico, pero

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

como se ha mencionado anteriormente, la mayoría de gomphonemas por lo general se encuentran en ambientes entre oligotróficos y mesotróficos. Por otro lado, *Rossithidium petersenii* se encuentra en grandes estanques o lagos de preferencia antiguos, poco profundos rodeados de musgos y entornos lóticos (Pinseel et al., 2017), por lo cual, la laguna Limoncocha es el hábitat adecuado para esta especie.

El Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) mostró una mala calidad del agua de la laguna según los valores de abundancia A_j , sensibilidad S_j y tolerancia V_j de cada especie (Anexo 1). Las especies que tuvieron los valores más altos de tolerancia fueron *Diadessmis confervacea*, *Lemnicola hungarica*, *Nitzschia palea* con un valor de 3. Por otro lado, las especies con mayor sensibilidad fueron *Achnanthes minutissimum*, *Eunotia minor*, *Gomphonema gracile*, *Navicula tripunctata*, *Pinnularia sp3*, *Pinnularia sp4*, *Sellaphora atomoides*, *Sellaphora saugerresii*, curiosamente estas especies tienen una abundancia relativa, menor al 1% a excepción de *Gomphonema gracile* y *Sellaphora atomoides* con un porcentaje de 4,5 y 2,32 respectivamente. Con esto se podría discernir que hay una muy baja abundancia de especies por su sensibilidad a ambientes contaminados, lo que podría complementar y reafirmar el resultado obtenido a través del IPS.

También se quiso comprobar si existe correlación entre los vectores y las especies de diatomeas, para lo cual se realizó un análisis de correspondencia canónica. Este método permite verificar una relación entre estas dos variables a través de su varianza, la cual en los dos primeros ejes es mayor al 80%, lo que indica que efectivamente hay concordancia.

La evaluación de la diversidad se llevó a cabo considerando tres indicadores principales: Shannon, Simpson y un índice análogo de Equitatividad. Shannon es especialmente sensible a los cambios en la importancia de las especies menos comunes, mientras que el índice de

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

Simpson responde más elocuentemente a los cambios en la abundancia proporcional de las especies más comunes. Ambos índices combinan mediciones de riqueza y uniformidad, aumentando en situaciones donde hay un incremento en el número de tipos de cobertura o una mayor Equitatividad en la distribución entre los distintos tipos de cobertura, o incluso en ambas condiciones (Nagendra, 2002). Con base en lo anterior, podemos afirmar que los puntos de muestreo presentan una tendencia hacia una menor diversidad en términos de la dominancia de especies. Sin embargo, se observan algunas variaciones en la equitatividad y en la cantidad de información promedio obtenida al seleccionar especies al azar.

Para comparar la presencia de especies de diatomeas en los puntos de muestreo se realizó un análisis clúster con índice de Bray-Curtis, ya que esta medida de similitud toma un valor entre 0 y 1, se utiliza sin estandarización de datos y es muy sensible a valores atípicos (Lee et al., 2021). Esto se respalda con un valor de correlación cofenética de 0,9148, que indica qué tan bien se reflejan las distancias en el dendrograma frente a las distancias originales entre los elementos. En conjunto, estos resultados proporcionan una comprensión más profunda de la estructura de similitud de especies entre los puntos de muestreo.

CONCLUSIONES

Pese a que en el momento del muestreo hubo lluvia abundante esto no ha sido determinante puesto que en los resultados obtenidos no se han visto afectados y se ha cumplido adecuadamente con los objetivos planteados.

Los parámetros fisicoquímicos analizados con la normativa TULSMA indican, a excepción del pH, que se cumple con la ley de Criterios De Calidad Admisibles Para La Preservación De La Vida Acuática Y Silvestre En Aguas Dulces, Marinas Y De Estuarios.

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

La Laguna de la Reserva Biológica Limoncocha se encuentra en un estado de mala calidad ecológica debido a que índice IPS es de 6,08, esto podría deberse a diversos factores antropogénicos.

Los análisis de correlación, diversidad y clúster otorgaron mejor comprensión sobre la relación entre los parámetros fisicoquímicos, la abundancia de diatomeas y la estructura de la comunidad en los puntos de muestreo estudiados, destacando patrones significativos y ofreciendo información valiosa sobre la diversidad biológica y la distribución de especies en el área de estudio.

REFERENCIAS

- Abarca, N., Jahn, R., Zimmermann, J., & Enke, N. (2014). Does the Cosmopolitan Diatom *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing Have a Biogeography? *PLoS ONE*, 9(1), e86885. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086885>
- Blanco Lanza, S. (2010). *Generador de números aleatorios para recuentos en microscopía óptica*. <http://hdl.handle.net/10612/6995>
- Blanco, S., Bécares, E., Hernández, N., & Ector, L. (2007). *Evaluación de la calidad del agua en los ríos de la cuenca del Duero mediante índices diatomológicos*.
- Blanco, S., Cejudo-Figueiras, C., Álvarez-Blanco, I., van Donk, E., Gross, E. M., Hansson, L., Irvine, K., Jeppesen, E., Kairesalo, T., Moss, B., Nöges, T., & Bécares, E. (2014). Epiphytic Diatoms along Environmental Gradients in Western European Shallow Lakes. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 42(3), 229–235. <https://doi.org/10.1002/clen.201200630>
- Bueno, G., Deniz, O., Pedraza, A., Ruiz-Santaquiteria, J., Salido, J., Cristóbal, G., Borrego-Ramos, M., & Blanco, S. (2017). Automated Diatom Classification (Part A): Handcrafted Feature Approaches. *Applied Sciences*, 7(8), 753. <https://doi.org/10.3390/app7080753>
- Carrillo, K. C., Drouet, J. C., Rodríguez-Romero, A., Tovar-Sánchez, A., Ruiz-Gutiérrez, G., & Viguri Fuente, J. R. (2021). Spatial distribution and level of contamination of potentially toxic elements in sediments and soils of a biological reserve wetland, northern Amazon region of Ecuador. *Journal of Environmental Management*, 289, 112495. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112495>
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2007). Protocolos de muestreo y análisis para fitobentos (microalgas bentónicas). In Ministerio de Medio Ambiente (Ed.),

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva del Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro (pp. 73–82). https://www.miteco.gob.es/content/dam/mites/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

- Desrosiers, C., Leflaive, J., Eulin, A., & Ten-Hage, L. (2013). Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems. *Ecological Indicators*, 32, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.021>
- ECS. (2003). *Water quality - Gyidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*.
- Fu, W., Shu, Y., Yi, Z., Su, Y., Pan, Y., Zhang, F., & Brynjolfsson, S. (2022). Diatom morphology and adaptation: Current progress and potentials for sustainable development. *Sustainable Horizons*, 2, 100015. <https://doi.org/10.1016/J.HORIZ.2022.100015>
- Geitler, L. (1968). Kleinsippen bei Diatomeen. *sterreichische Botanische Zeitschrift*, 115(3), 354–362. <https://doi.org/10.1007/BF01373313>
- Harwood, D. M., & Nikolaev, V. A. (1995). Cretaceous Diatoms: Morphology, Taxonomy, Biostratigraphy. *Short Courses in Paleontology*, 8, 81–106. <https://doi.org/10.1017/S2475263000001434>
- Hernández-Alomia, F., Ballesteros, I., & Castillejo, P. (2022). Bioremediation potential of glyphosate-degrading microorganisms in eutrophicated Ecuadorian water bodies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1550–1558. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.11.013>
- INEC. (2022). *CENSO ECUADOR*.
- Jin, X., Lan, X., Sun, H., Hu, B., & Wang, B. (2024). Assessment of water quality using benthic diatom and macroinvertebrate assemblages: A case study in an East China canal. *Water Biology and Security*, 3(1), 100231. <https://doi.org/10.1016/J.WATBS.2023.100231>
- Koen, R. C. J. (2023). *Diatoms as indicators of water quality change from drought to flood conditions in the Kruger National Park*. North-West University , South Africa: Potchefstroom, North West, ZA.
- Kulikovskiy, M. S., Kocielek, J. P., Solak, C. N., Kuznetsova, I. V., & Glushchenko, A. M. (2023). New and Interesting Taxa from the Diatom Genus Gomphonema Ehrenberg in Shallow, Nearshore Sites on the Eastern Coast of Lake Baikal. *Plants*, 12(9), 1835. <https://doi.org/10.3390/plants12091835>
- Lee, N., Yoo, H., & Yang, H. (2021). Cluster Analysis of Medicinal Plants and Targets Based on Multipartite Network. *Biomolecules*, 11(4), 546. <https://doi.org/10.3390/biom11040546>

“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”

- Legendre, L., & Legendre, P. (1998). *Numerical Ecology* (English ed., Vol. 2).
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Wetzel, C. E., & Ector, L. (2016). Diatoms as Bioindicators in Rivers. In *River Algae* (pp. 245–271). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1_11
- Ministerio del Ambiente. (2015). *SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL ECUADOR*. Reserva Biológica Limoncocha.
- Oyvind Hammer. (2024). *Past*. Natural History Museum University of Oslo.
- Pinseel, E., Van de Vijver, B., Kavan, J., Verleyen, E., & Kopalová, K. (2017). Diversity, ecology and community structure of the freshwater littoral diatom flora from Petuniabukta (Spitsbergen). *Polar Biology*, 40(3), 533–551. <https://doi.org/10.1007/s00300-016-1976-0>
- Salazar Alulema, A. J. (2023). *Elaboración de un sistema de manejo integral de los residuos sólidos urbanos para el cantón Cascales, Provincia de Sucumbíos*. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Valdiviezo-Rivera, J., Carrillo-Moreno, C., & Gea-Izquierdo, E. (2018). Annotated list of freshwater fishes of the Limoncocha Lagoon, Napo river basin, northern Amazon region of Ecuador. *Check List*, 14(1), 55–75. <https://doi.org/10.15560/14.1.55>
- Wiltshire, K. H., & Aberle-Malzahn, N. (2017). Mikroalgen in der Grenzschicht zwischen Sediment und Wasser. In *Faszination Meeresforschung* (pp. 273–280). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49714-2_26

ANEXOS

ANEXO 1

NOMBRE ESPECIE	El Caño	Pishira	Playayaku	Frente al Muelle	A. Abs	A. Rel	S	V
	LIM1	LIM2	LIM3	LIM4				
Achnanthidium minutissimum	1				1	0,066	5	1
Achnanthidium rivulare	2	12			14	0,929	4	1
Aulacoseira granulata var. angustissima	7		3		10	0,664	2,8	1

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

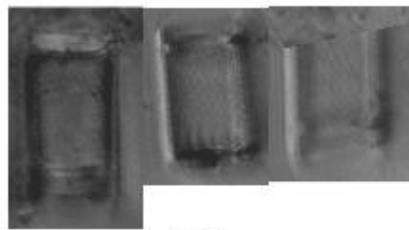
Aulacoseira granulata var. granulata	4		5		9	0,597	2,9	1
Aulacoseira sp1	3		1		4	0,265	3,8	1
Craticula subminuscula				1	1	0,066	2,6	1
Cyclotella meneghiniana	2		2		4	0,265	2	1
Diadesmis confervacea	1	1			2	0,133	1	3
Encyonema silesiacum	5	4	31	13	53	3,517	5	2
Eunotia minor	3				3	0,199	4,6	1
Fragilaria sp1		1	1		2	0,133	4	1
Fragilaria tenera	2				2	0,133	4	2
Gomphonema angustatum	7	17	11	37	72	4,778	3	1
Gomphonema daphnoides	11	31	9	35	86	5,707	0	0
Gomphonema duplipunctatum	67	43	20	38	168	11,148	4	2
Gomphonema gracile	10	24	8	26	68	4,512	4,2	1
Gomphonema guaranianum		7	2		9	0,597	2	2
Gomphonema insignaffine	2	1			3	0,199	4	2
Gomphonema lagenula	69	23	37	20	149	9,887	2	3
Gomphonema minutum	8	12	9	19	48	3,185	4	1
Gomphonema parvulum	53	46	39	41	179	11,878	2	1
Gomphonema parvulum f. saprophilum	2				2	0,133	2	1
Gomphonema pumilum var rigidum	16	65	12	34	127	8,427	3,5	1
Gomphonema sp1	61	36	13	41	151	10,020	3,6	2
Gomphonema sp2		1			1	0,066	3,6	2
Gomphonema sp3		1			1	0,066	3,6	2
Gomphonema sp4		3			3	0,199	3,6	2
Gomphonema subangustatum			1		1	0,066	0	0
Lemnicola hungarica	2				2	0,133	2	3
Luticola arctica			1		1	0,066	2,9	2
Luticola hamiltonii				1	1	0,066	2,9	2
Melosira varians	8	5	4	1	18	1,194	4	1
Navicula cryptocephala		1	1		2	0,133	3,5	2
Navicula sp1		1			1	0,066	3,4	2
Navicula tripunctata				1	1	0,066	4,4	2
Nitzschia amphibia			2		2	0,133	2	2
Nitzschia hadriaca			1		1	0,066	0	0
Nitzschia palea	4		53	3	60	3,981	1	3
Nitzschia paleaeformis			3		3	0,199	3	2
Pinnularia acrosphaeria	20	7	18	19	64	4,247	0	0
Pinnularia sp1	1		1		2	0,133	0	0
Pinnularia sp2		1			1	0,066	0	0
Pinnularia sp3	4				4	0,265	4,7	2

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

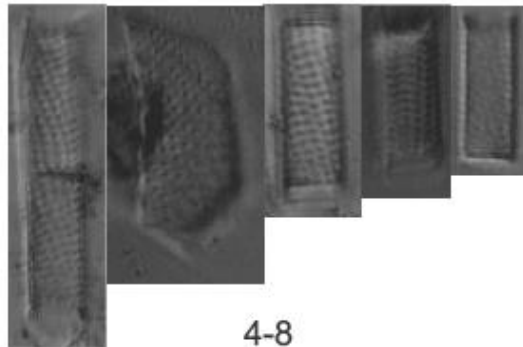
Pinnularia sp4		1			1	0,066	4,7	2
Pinnularia sterrenburgii		2	1		3	0,199	5	2
Placoneis anglophila		1			1	0,066	3	2
Rossithidium petersenii	37	45	38	9	129	8,560	5	2
Sellaphora atomoides	4	12	12	7	35	2,322	4,5	2
Sellaphora saugerresii	1	1			2	0,133	4,5	2
TOTAL	417	405	339	346	1507	100,00	IPS	
							6,07356	

ANEXO 2

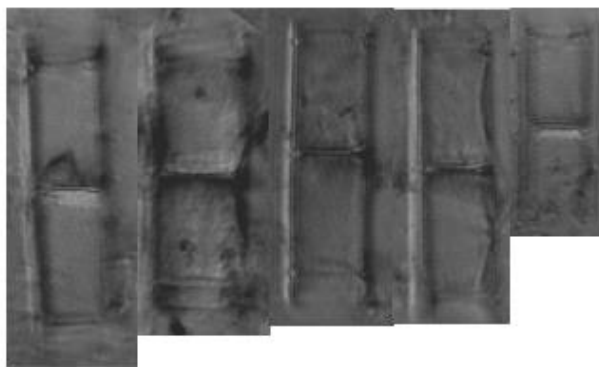
**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



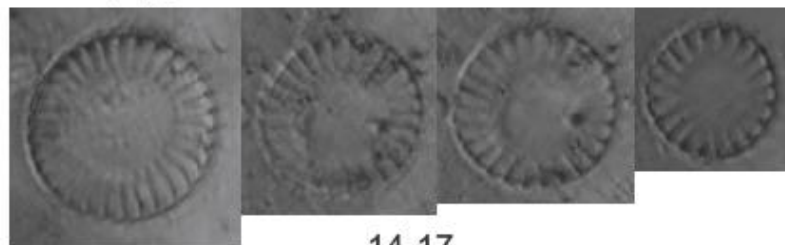
1-3



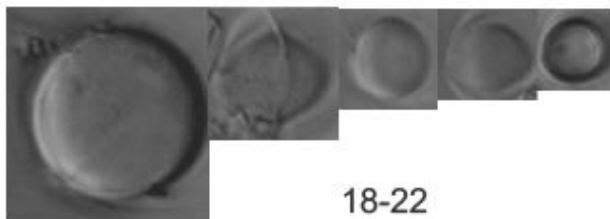
4-8



9-13



14-17

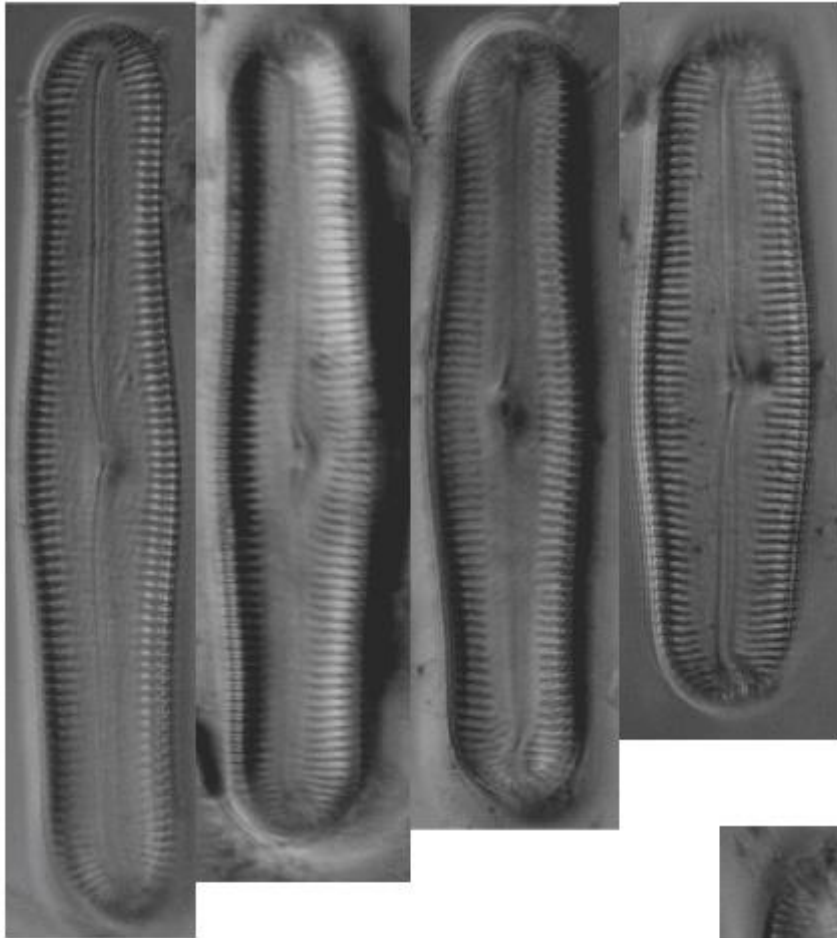


18-22

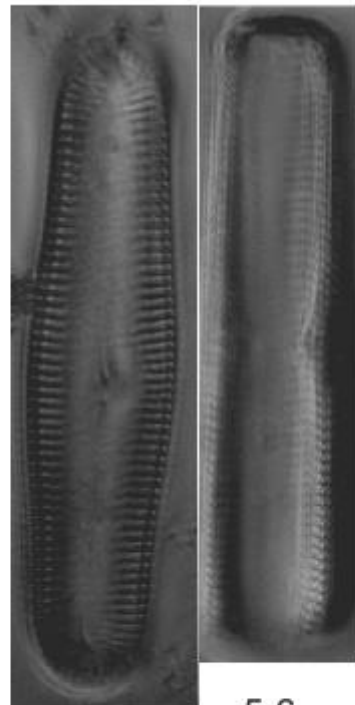
1-3 *Aulacoseira* sp1; 4-8 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*;
9-13 *Aulacoseira granulata* var. *granulata*; 14-17 *Cyclotella meneghiniana*;
18-22 *Melosira* varians

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

PAG2



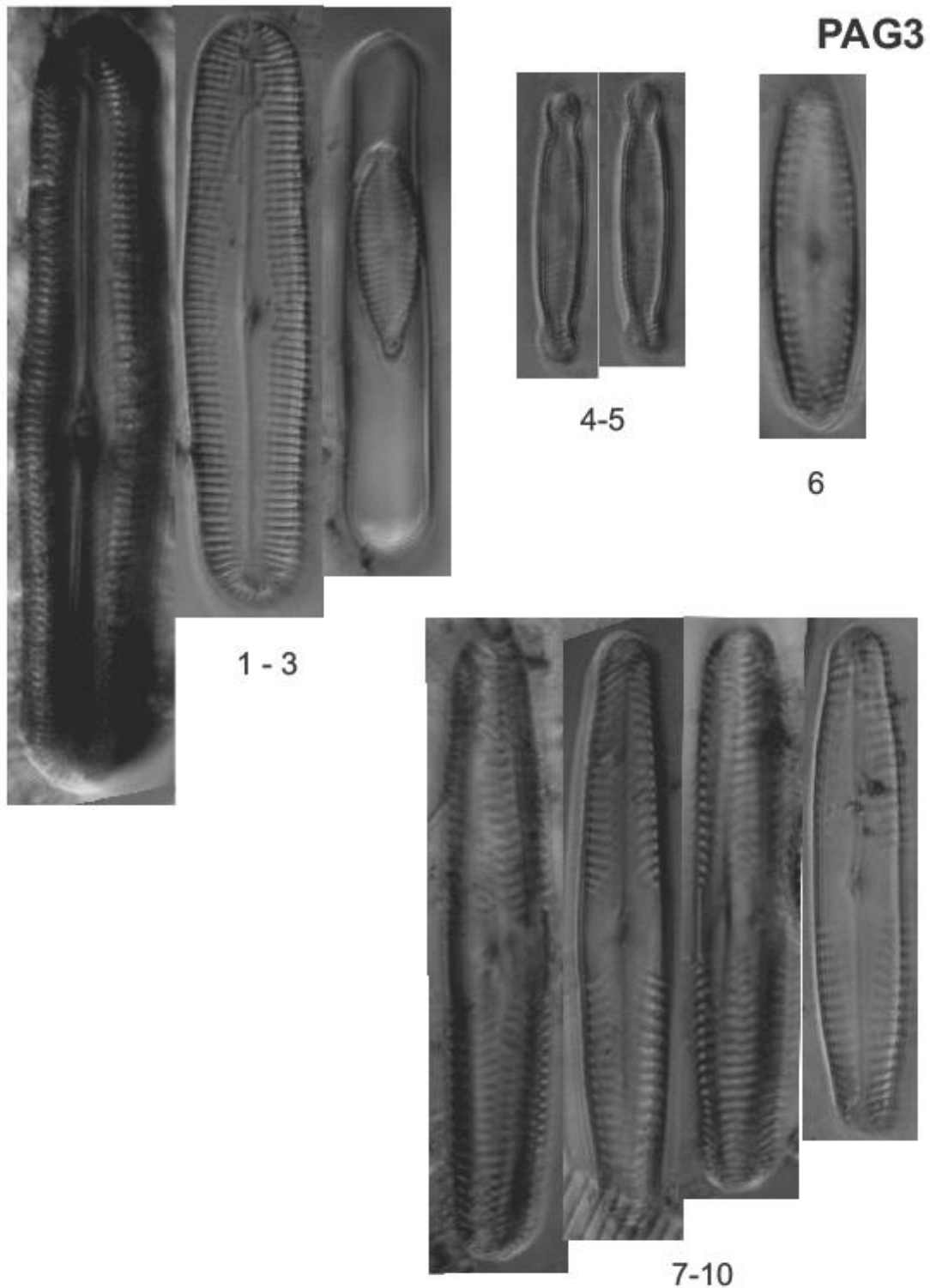
1-4



5-6

1-6 Pinnularia acrosphaeria

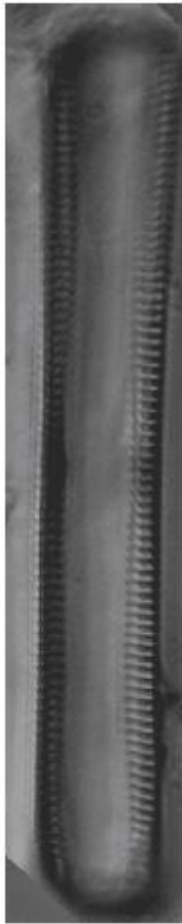
**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



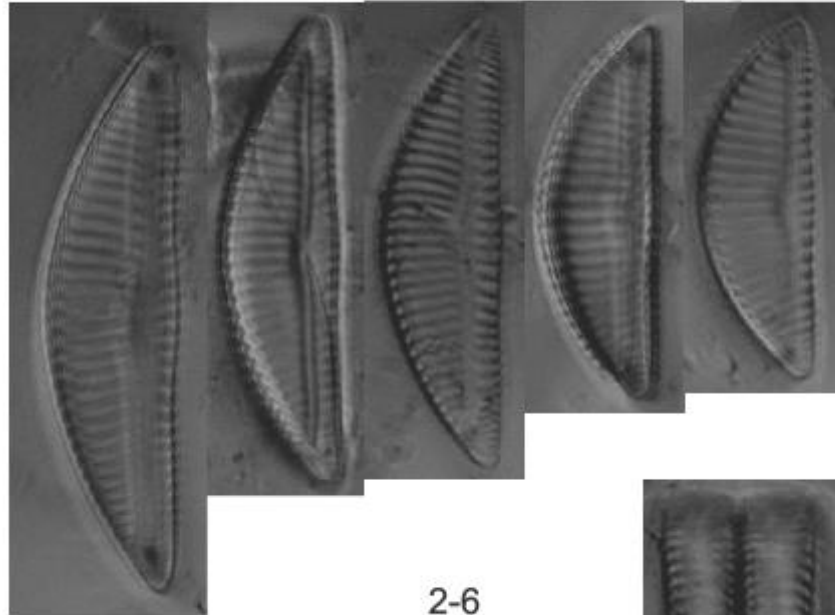
1-3 *Pinnulaaria sterrenburgii*; 4-5 *Pinnularia* sp1; 6 *Pinnularia* sp2;
7-10 *Pinnularia* sp3.

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

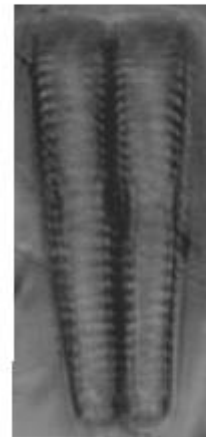
PAG4



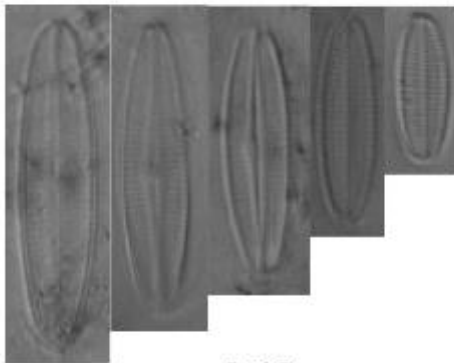
1



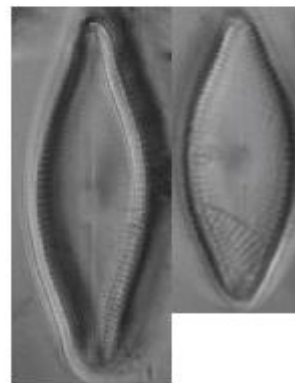
2-6



7



8-12

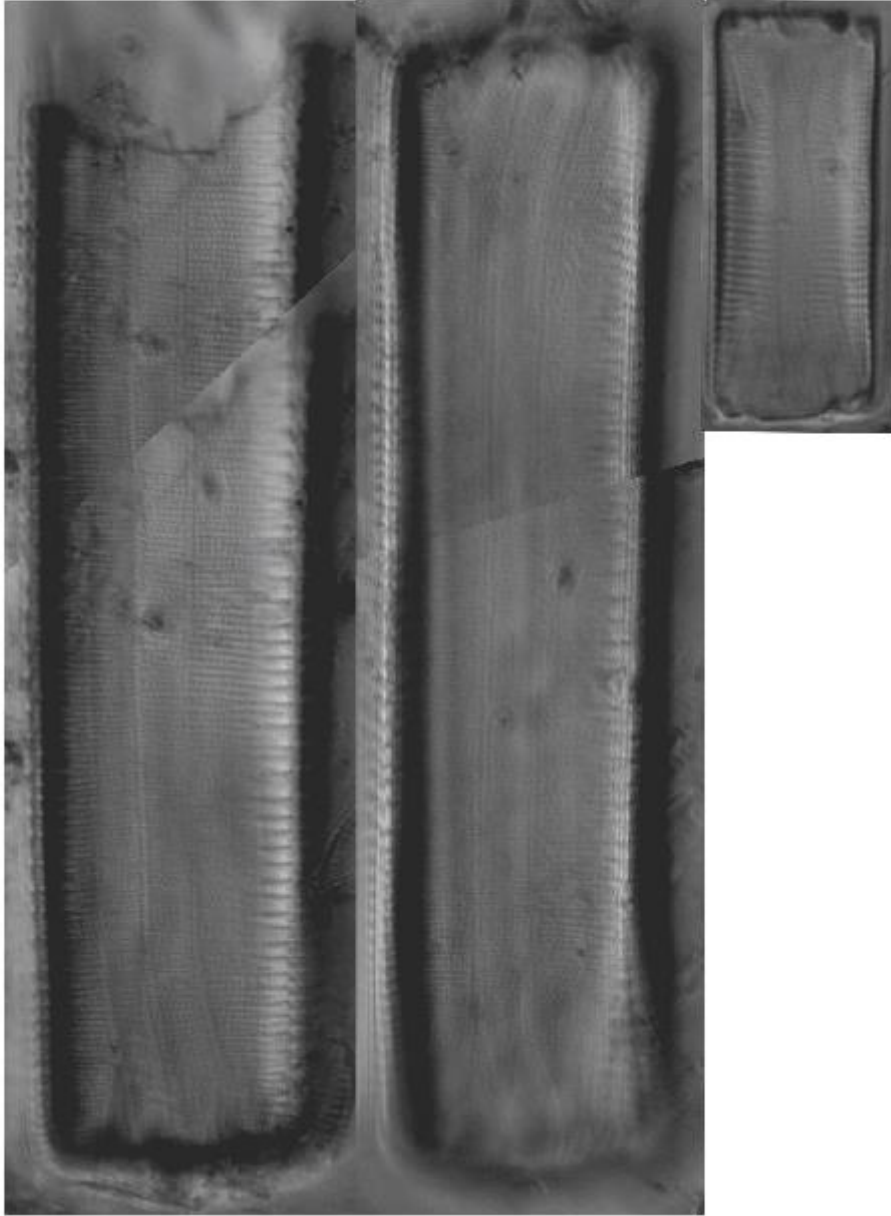


13-14

1 *Pinnularia* sp4; 2-7 *Encyonema silesiacum*; 8-12 *Rossithidium petersenii*;
13-14 *Diadesmis confervacea*

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

PAG5

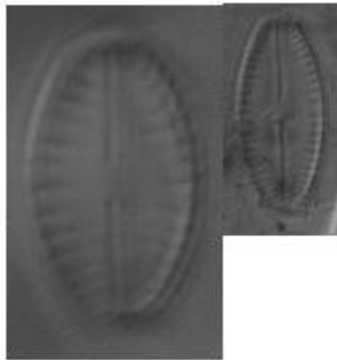


1-3

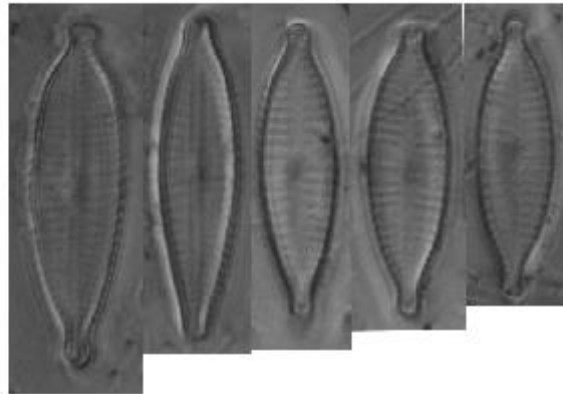
1-3 *Eunotia minor*

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

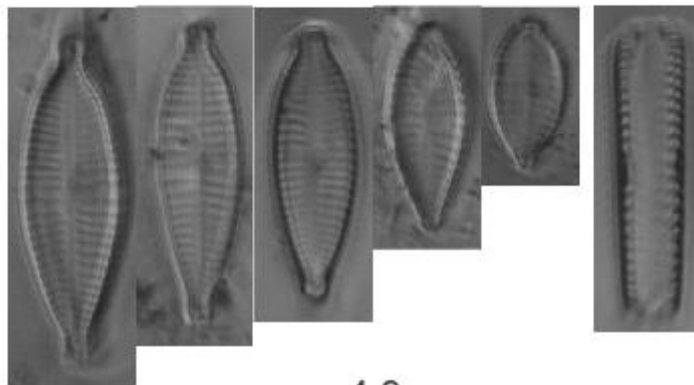
PAG6



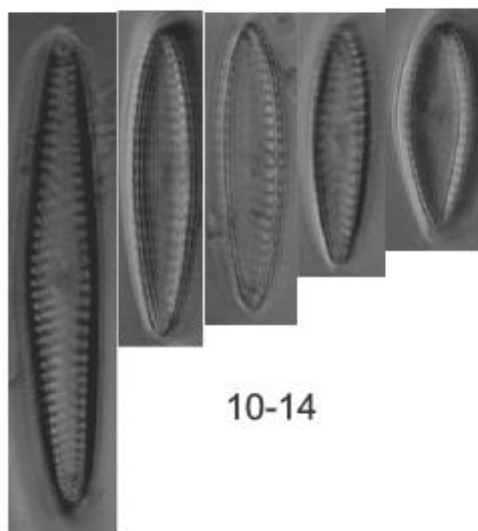
1 - 2



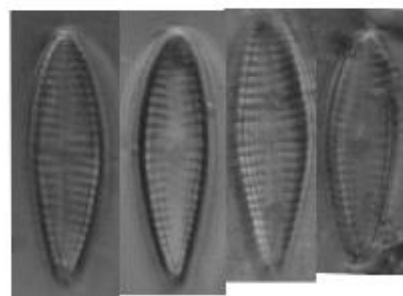
3-7



4-9



10-14

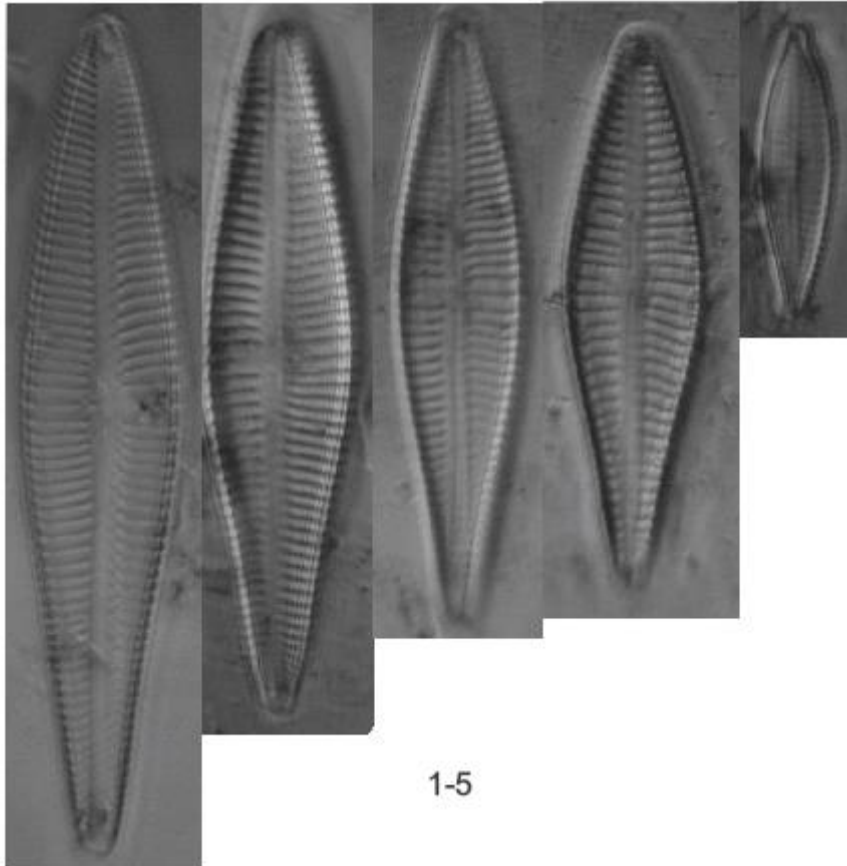


15-17

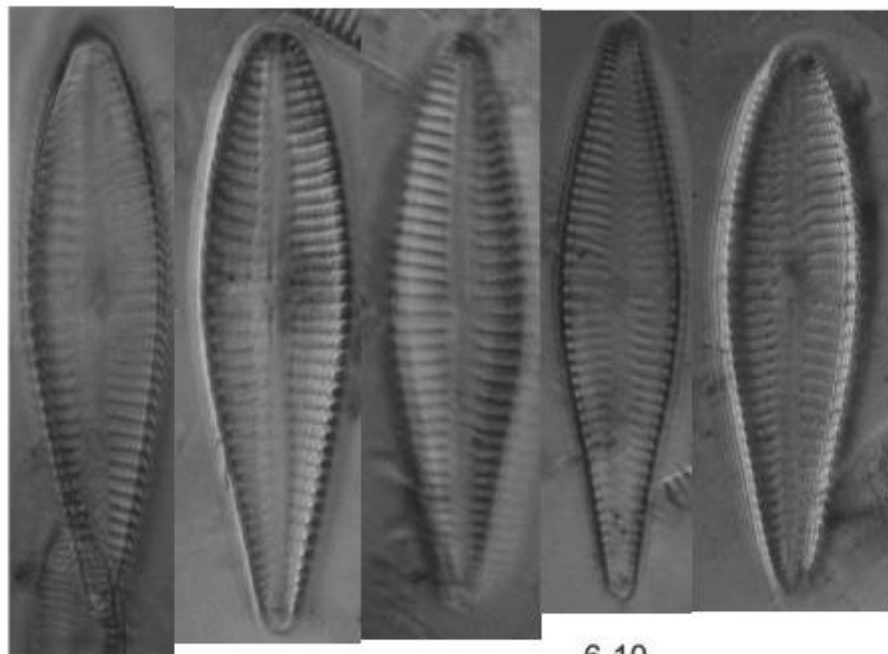
1-2 Gomphonema parvulum f. saprophilum; 3-7 Gomphonema lagenula;
4-9 Gomphonema parvulum; 10-14 Gomphonema pumilum var rigidum;
15-17 Gomphonema minutum

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

PAG7



1-5

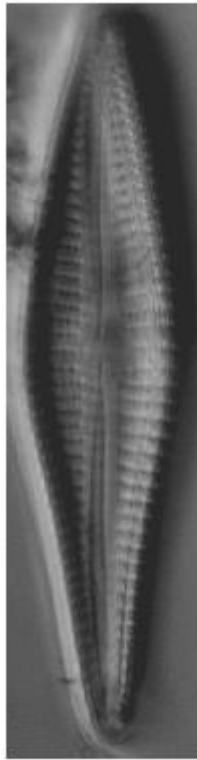


6-10

1-5 Gomphonema duplipunctatum; 6-10 Gomphonema sp1

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

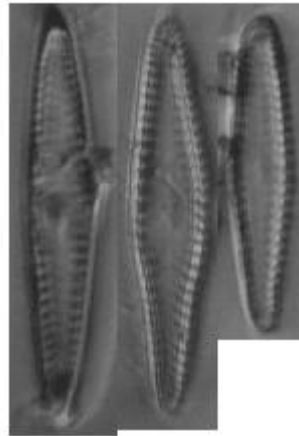
PAG8



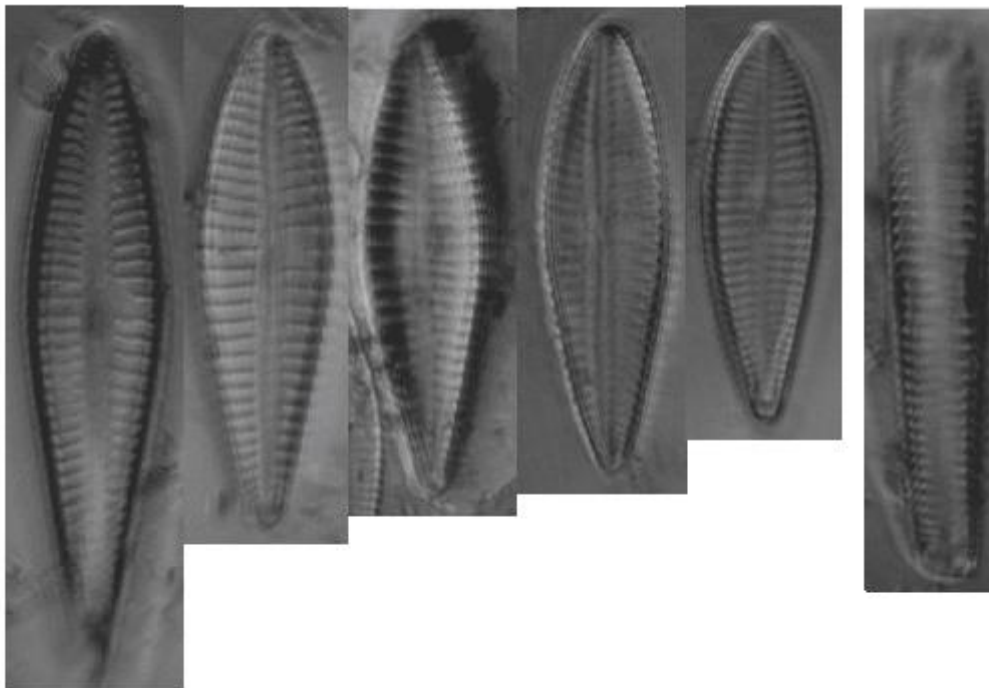
1



2

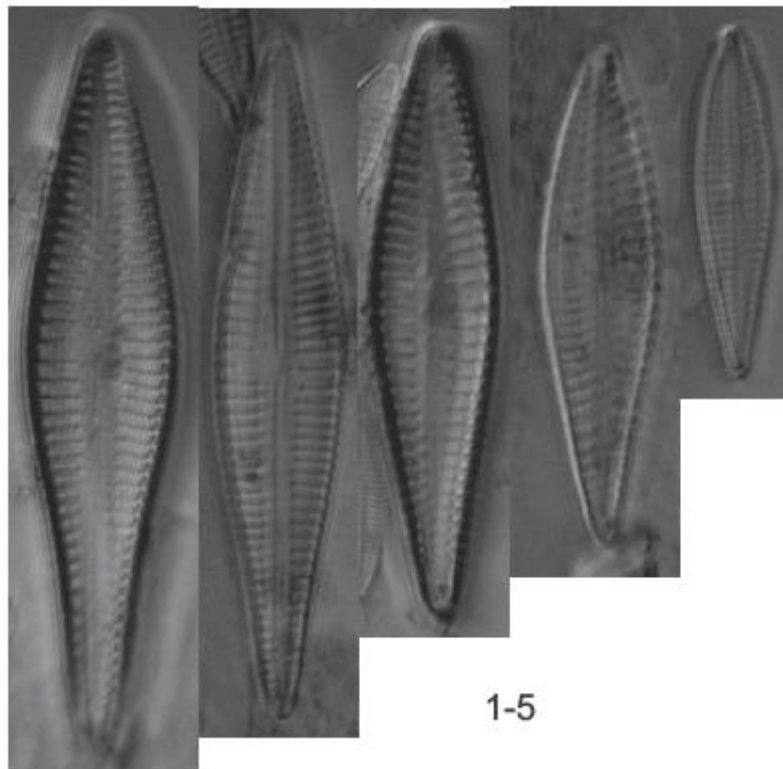


3-5



1 Gomphonema sp2; 2 Gomphonema sp3; 3-5 Gomphonema sp4;
6-11 Gomphonema daphnoides

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**

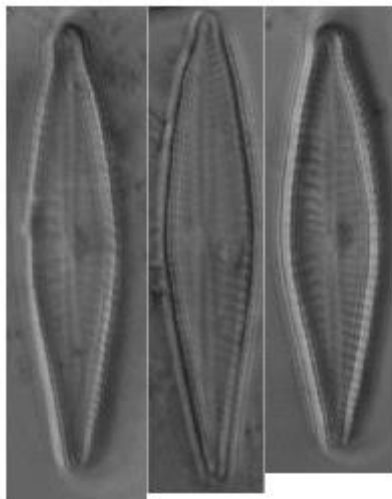


PAG9

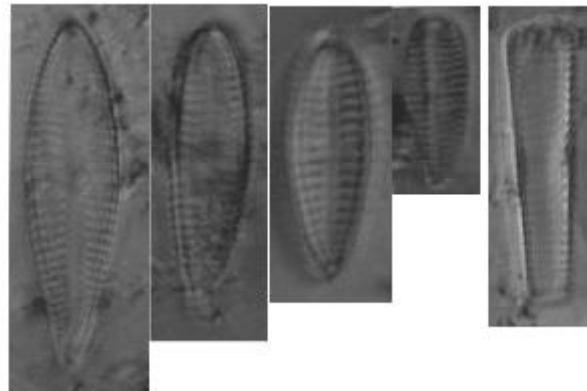


6

1-5



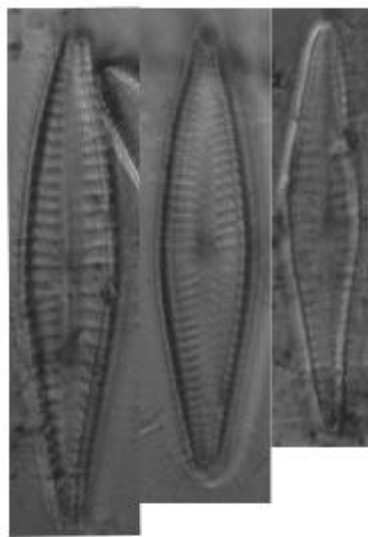
7-9



10-14

1-5 Gomphonema gracile; 6 Gomphonema subangustatum;
7-9 Gomphonema guaranianum; 10-14 Gomphonema angustatum

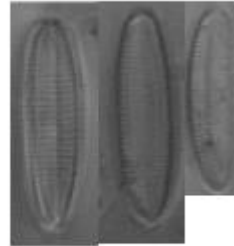
**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



1-3



4



5-7

PAG10



8



9-10



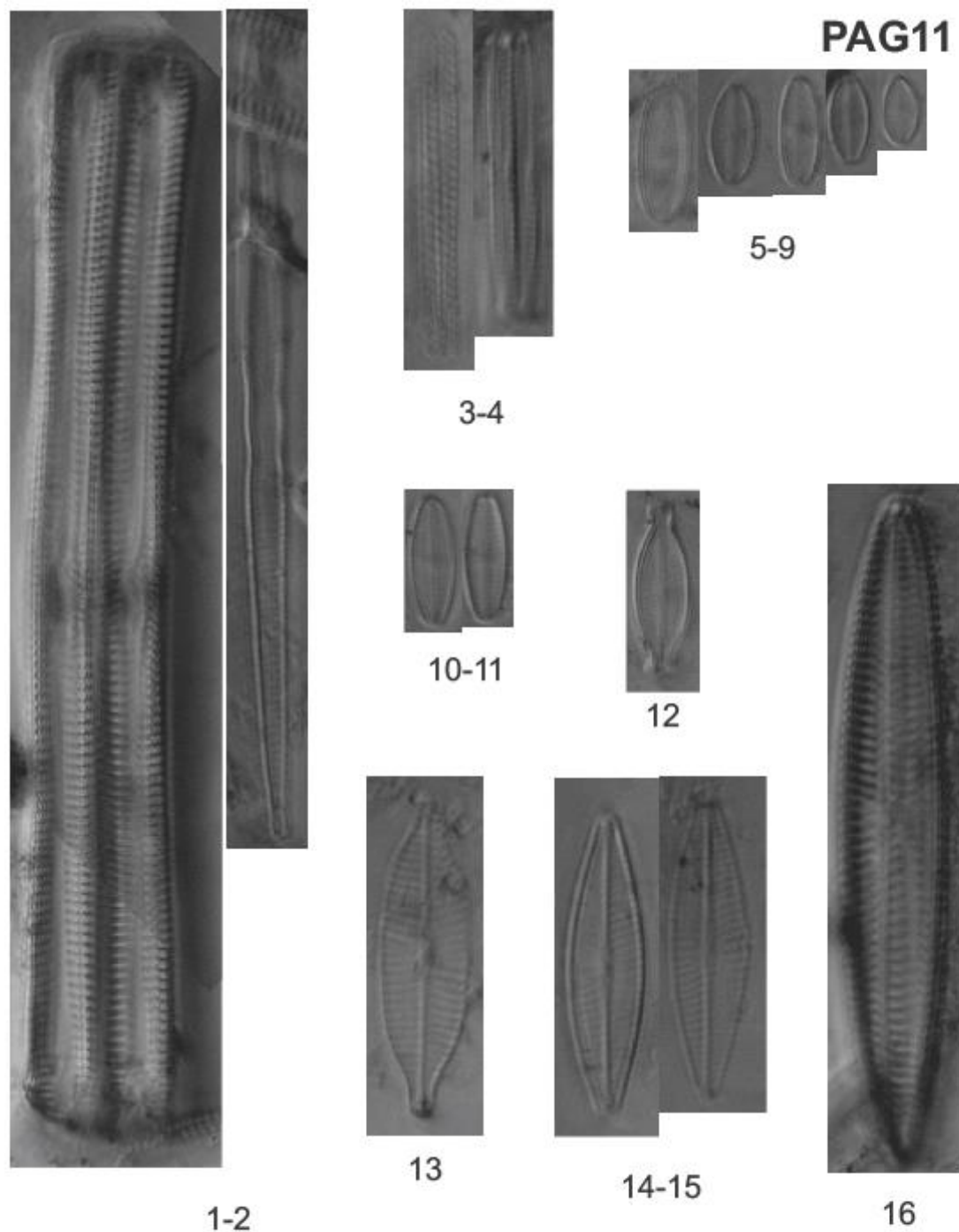
11



12

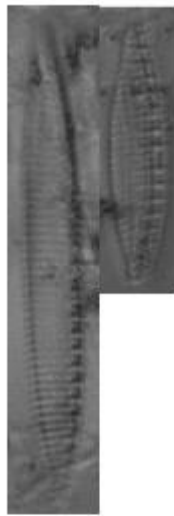
1-3 *Gomphonema insignaffine*; 4 *Achnantheidium minutissimum*;
5-7 *Achnantheidium rivulare*; 8 *Craticula subminuscula*;
9-10 *Lemnicola hungarica*; 11 *Luticola arctica*; 12 *Luticola hamiltonii*

**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



1-2 *Fragilaria tenera*; 3-4 *Fragilaria* sp1; 5-9 *Sellaphora atomoides*;
10-11 *Sellaphora saugerresii*; 12 *Placoneis anglophila*;
13 *Navicula* sp1; 14-15 *Navicula cryptocephala*;
16 *Navícula tripunctata*

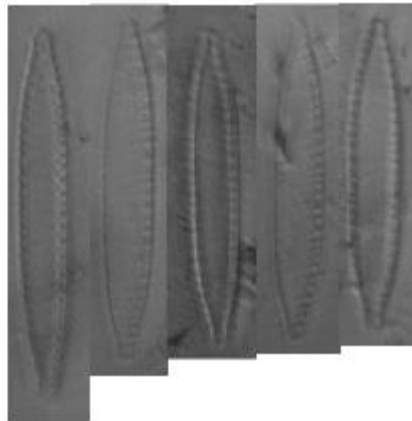
**“USO DE DIATOMEAS EPÍFITAS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA”**



1-2



3



4-8



9-11

PAG12

1-2 *Nitzschia amphibia*; 3 *Nitzschia hadriaca*; 4-8 *Nitzschia palea*;
9-11 *Nitzschia paleaeformis*