Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EN CRIOCONITAS DEL VOLCÁN CAYAMBE, ECUADOR”

Realizado por:

LESLY KATHERINE MORENO ORNA

Director del proyecto:

JENNIFER PAOLA MOYÓN DÁVILA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Quito, 24 de febrero de 2024

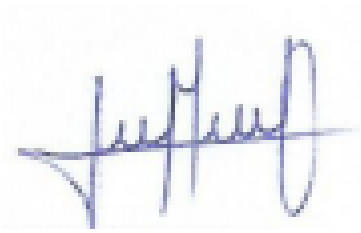
Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

DECLARATORIA JURAMENTADA

Yo, LESLY KATHERINE MORENO ORNA, con cédula de identidad # 172521095-7, 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

172521095-7

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EN CRIOCONITAS DEL VOLCÁN CAYAMBE, ECUADOR.”

Realizado por:

LESLY KATHERINE MORENO ORNA

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

ha sido dirigido por el profesor

JENNIFER PAOLA MOYÓN DÁVILA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Firmado electrónicamente por:
JENNIFER PAOLA
MOYON DAVILA

_____

FIRMA

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JUAN CARLOS NAVARRO CASTRO

JOSE GABRIEL SALAZAR LOOR

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador

Firmado electrónicamente por:
JUAN CARLOS NAVARRO CASTRO

FIRMA

JOSE GABRIEL SALAZAR LOOR
Firmado digitalmente por JOSE GABRIEL SALAZAR LOOR
Fecha: 2024.04.12 11:19:58 -05'00'

FIRMA

Quito, 24 de febrero de 2024

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

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

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

DEDICATORIA

A mis amados padres, Susana y Mario, cuya constante demostración de que la perseverancia es la clave del éxito ha sido mi guía inquebrantable, les dedico con gratitud todos mis logros.

A mis hermanos, por siempre inspirarme a ser mejor, vencer los retos que se me presentaron y llenarme de tanto amor.

A mis hermosos perros, por existir en mi vida son el impulso de mis días.

A mi eterno compañero de aventuras Paul, por estar siempre a mi lado durante este proyecto y brindarme apoyo cuando más lo necesitaba, espero cumplir muchos más sueños de tu mano.

A mis amigos y a toda mi familia por ser parte de mi continuo crecimiento. Este logro no se sentiría igual sin su amor incondicional y sus palabras de aliento.

Con amor infinito, Less.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que participaron en este proyecto de investigación, cuyas contribuciones fueron fundamentales para su desarrollo.

A la UISEK, por proporcionar los recursos e infraestructura para llevar a cabo esta investigación.

A mis docentes en la UISEK, en especial a Johanna y Susana por su orientación educativa, experiencia, paciencia y dedicación en mi desarrollo educativo y profesional.

A mi directora de tesis Jennifer, por su la guía para culminar con este proyecto.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

Para someter a:

To be submitted:

Lesly Katherine Moreno Orna, Jennifer Paola Moyón Dávila; Juan Carlos Navarro Castro, José Gabriel Salazar Loor

"ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EN CRIOCONITAS DEL VOLCÁN CAYAMBE, ECUADOR."

[1]Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador. 24 de febrero de 2024

*AUTOR DE CORRESPONTENCIA: Jennifer Paola Moyón Dávila,

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador.

Teléfono: ; email:

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

RESUMEN

Las zonas de ablación en las áreas de los glaciares andinos son importantes para los sistemas hídricos, por lo cual necesitan un monitoreo e identificación de las especies que los habitan. De esta manera, se entenderá cómo funciona dicho ecosistema y la importancia de su conservación. Este proyecto pretende determinar la diversidad taxonómica de diatomeas presentes a diferentes alturas, recolectadas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

En el año 2023, durante el mes de mayo, se llevó a cabo el muestreo dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca en crioconitas situadas a alturas entre 4869 y 4936 m.s.n.m. Las muestras fueron almacenadas en recipientes estériles para recolección de muestras, de aproximadamente 50 ml, para lograr su preservación fueron almacenadas con una solución transeau. Una vez finalizado su transporte en cadena de frío y total oscuridad, se procedió a realizar el tratamiento adecuado para el retiro de materia orgánica. Finalmente, se llevó a cabo la fijación de las muestras en portaobjetos y su debida identificación bajo microscopía óptica.

Se registró una abundancia absoluta de 2483 individuos, entre los cuales se identificaron taxonómicamente 69 especies. Las especies más representativas fueron *Psammothidium germainii*, *Sellaphora atomoides*, *Pinnularia* sp3 y *Hannaea arcus*, las cuales son poco comunes en este tipo de ambientes. No obstante, la relación entre la altitud y la presencia de estas especies en los puntos estudiados muestra una baja diversidad. Por otro lado, la distribución de los individuos es homogénea en términos de diversidad considerada desequilibrada. A partir de estos resultados, se puede concluir que, a mayor altitud, menor será la diversidad de estos microorganismos.

Palabras clave: Diatomeas, Diversidad, Ambientes extremófilos, Crioconitas, Cayambe.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

ABSTRACT

The ablation zones in the Andean glacier areas are important for the hydrological systems, thus requiring monitoring and identification of the species inhabiting them. This way, understanding of how this ecosystem functions and the importance of its conservation can be achieved. This project aims to determine the taxonomic diversity of diatoms present at different altitudes, collected in cryoconites from Cayambe Volcano, Ecuador.

In 2023, during May, sampling was conducted within Cayambe-Coca National Park in cryoconites located at altitudes between 4869 and 4936 meters above sea level. Samples were stored in sterile containers for sample collection, approximately 50 ml each, to ensure preservation They were stored with a Transeau solution. Once transportation was completed under cold chain and total darkness, the appropriate treatment for organic matter removal was carried out. Finally, the samples were fixed on slides and properly identified under optical microscopy.

An absolute abundance of 2483 individuals were recorded, among which 69 species were taxonomically identified. The most representative species were *Psammothidium germainii*, *Sellaphora atomoides*, *Pinnularia* sp3, and *Hannaea arcus*, which are uncommon in this type of environment. However, the relationship between altitude and the presence of these species at the studied points shows low diversity. On the other hand, the distribution of individuals is homogeneous in terms of the considered unbalanced diversity. From these results, it can be concluded that, at higher altitudes, the diversity of these microorganisms will be lower.

Keywords: Diatoms, Diversity, Extreme Environments, Cryoconites, Cayambe.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Las diatomeas (*Bacillariophyceae*) desempeñan un papel crucial en una variedad de ecosistemas acuáticos, abarcando desde ambientes cálidos hasta extremadamente fríos. Su distribución está estrechamente ligada a factores fisicoquímicos del agua, condiciones climáticas y características geológicas del entorno (Taboada et al., 2018).

Estos microorganismos son algas unicelulares fotosintéticas que se caracterizan por presentar una pared celular compuesta de sílice polimerizado, conocida como "frústulo" (Raven & Curtis, 1975). El frústulo está conformado por dos valvas que se encajan entre sí, pero que difieren en tamaño y edad; la hipovalva e epivalva (Blanco Lanza et al., 2011). Las cuales en su interior se observan aspectos morfológicos importantes para la identificación taxonómica, entre ellos se encuentran la disposición de las estrías, rafe, forma del área central y axial (área entre el rafe y estrías), forma valvar, entre otros (Blanco Lanza et al., 2011).

En términos de diversidad se estima que existen probablemente más de 100,000 especies, según (D.G. Mann & S. J. M. Droop, (1996), asociadas a 250 géneros. A pesar de ello, la variedad de diatomeas en ecosistemas como los glaciares continúa siendo desconocida debido a la enorme complejidad taxonómica como mencionan Pandey et al., (2017) y Díaz Altamirano, (2023), puesto que las diatomeas en ecosistemas extremófilos presentan características únicas, lo que dificulta su identificación. Sin embargo, para el Ecuador se tiene en cuenta el trabajo realizado por Chamorro et al., (2021), quienes reportaron 370 especies y variedades de diatomeas halladas en crioconitas del volcán Antisana.

En lo que corresponde a su importancia ecológica, las diatomeas son consideradas como productores primarios por contribuir con el 45% y cerca del 35% del oxígeno que

respiramos (Soler Onis, 2016). Tal como sugiere Acevedo Acosta & Martínez López, (2015); estos organismos aportan con un 60% en la fijación de carbono y en ambientes costeros puede aumentar al 80%. La utilización de diatomeas también permite evidenciar la eficiencia de estos como indicadores biológicos para monitorear la calidad de agua en distintos puntos geográficos como océanos, lagunas o a su vez en nevados al momento del deshielo y su trayecto hacia las cuencas hidrográficas conectadas con el mismo (Fermani et al., 2007). De esta manera, permite otorgar a los investigadores otra alternativa para determinar la pérdida de los glaciares debido a la alteración de los factores abióticos y abordar la problemática desde otra perspectiva o a su vez, reforzar los datos obtenidos a través de satélites (Cabrera Montenegro et al., 2023)

Con lo antes expuesto, a lo largo de los años, se han observado cambios sustanciales en el clima de la cordillera de los Andes ya que los registros meteorológicos indican un incremento de temperatura que casi duplica la media mundial, evidenciando un calentamiento acelerado en las últimas tres décadas (Vuille & Bradley, 2000). Como consecuencia de estos fenómenos habría la probabilidad de que la biodiversidad de organismos multicelulares identificados en estos lugares se pueda perder (Bax & Francesconi, 2019).

Este estudio adquiere importancia debido a que el glaciar en cuestión representa una fuente hídrica significativa para comunidades situadas en las áreas de descarga, incluyendo el suministro hídrico a la ciudad de Quito, en donde existe la posibilidad de una correspondencia de especies de diatomeas entre el agua proveniente del deshielo y la encontrada en estas comunidades, lo que podría revelar patrones fenotípicos compartidos que reflejen adaptaciones evolutivas cruciales para investigaciones científicas posteriores.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

Este proyecto se muestra como innovador para el país y con ello se considera aportar información de relevancia taxonómica para futuras investigaciones y así dar paso a un campo de estudio no muy explorado, que englobe la identificación de diversidad de diatomeas en los volcanes del país, además de su aplicación del monitoreo de la calidad del agua y la motivación del presente estudio para posteriormente se pueda caracterizar la presencia, forma química y distribución de sustancias orgánicas e inorgánicas, a su vez la composición y bienestar de la biota, tomando en consideración las fluctuaciones temporales y espaciales que resultan de diversos factores tanto internos como externos (Licursi, 2005).

La presente tesis plantea como hipótesis, La identificación y conteo mediante microscopia óptica de las diatomeas proporcionará información valiosa sobre la diversidad taxonómica en crioconitas del volcán Cayambe. Por consiguiente, se planteó un objetivo general el mismo que es determinar la diversidad de diatomeas presentes en las muestras recolectadas en crioconitas de volcán Cayambe. Los objetivos específicos son: (1) identificar taxonómicamente las especies y variedades de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe; y (2) evaluar la variabilidad en la composición de diatomeas en relación con los gradientes altitudinales en los sitios de muestreo del volcán Cayambe.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El volcán Cayambe se encuentra dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca, que está ubicado al nororiente del país y es parte de la Cordillera de los Andes del Ecuador ocupando como extensión cuatro provincias: Imbabura, Pichincha, Sucumbíos y Napo (Ministerio del Ambiente, 2013) . Ver (Figura 1).

El volcán alcanza una altitud máxima de 5790 metros sobre el nivel del mar, considerado la tercera montaña más alta del país, se encuentra en actividad potencial y destacándose como el único nevado en el mundo que atraviesa la línea ecuatorial.

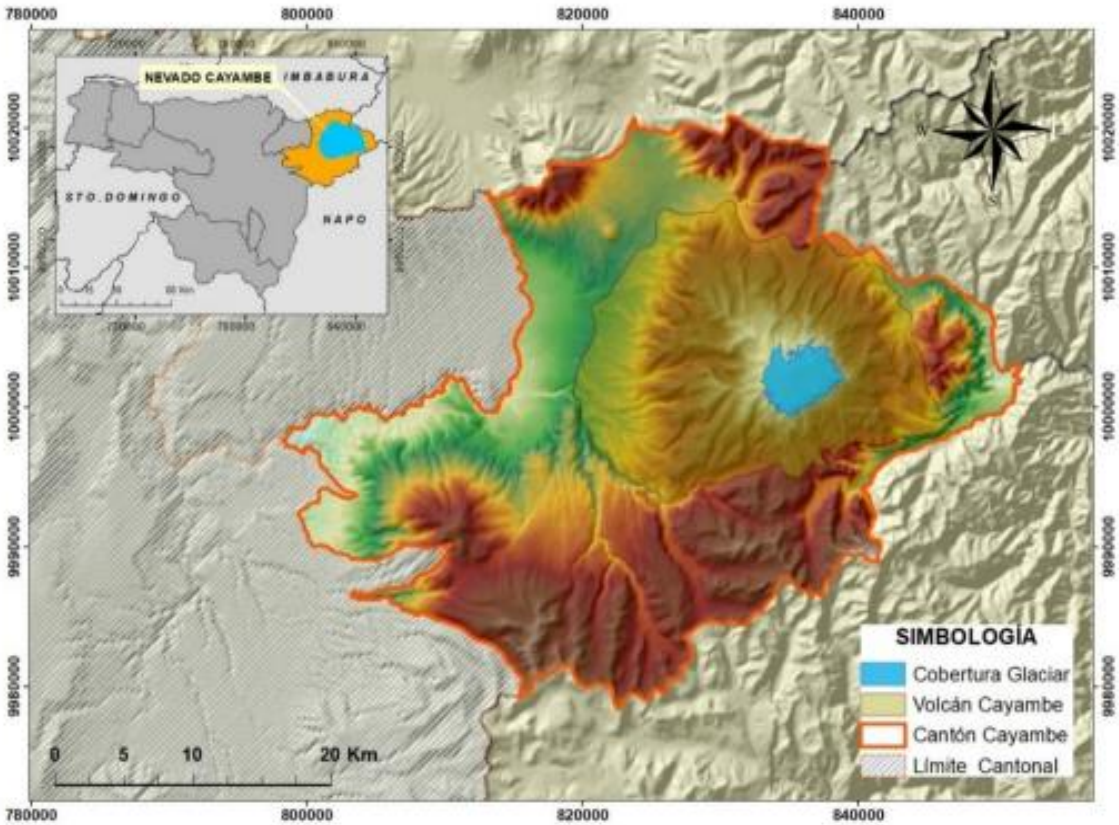


Figura 1. Mapa del área de estudio dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca, imagen recuperada de **(Cabrera Montenegro et al., 2023)**

Según Samaniego et al., (2004), se reportó que, a una altitud de aproximadamente 4800 metros, el volcán estaba envuelto por una importante capa glaciar que abarcaba un área alrededor de 22 km^2. Sin embargo, en una publicación reciente de Cabrera, E., Vega, J. & Jácome, G. (2023) indican que el glaciar actualmente cubre una superficie de 15 km^2, con un espesor que se estima entre 30-50m en la cumbre.

En este sitio existen dos zonas climáticas: la zona de clima tropical cálido y húmedo que se sitúa a una altitud inferior a los 3000 msnm, y la zona de clima ecuatorial montañosa que se localiza por encima de los 3100 msnm (Jácome et al., 2020). El Cayambe presenta condiciones climáticas con temperaturas que dependen de la temporada ya siendo en el refugio con una temperatura que oscila ente los 0° a 7°C con una sensación térmica de -2°C, o bien en la cumbre con temperatura media de -3°C que puede tener una sensación térmica entre -8° a -10°C, las precipitaciones anuales varían considerablemente, oscilando entre 800 y 2000 mm (litro de agua por metro cuadrado), dependiendo de la altitud y la orientación de la pendiente y una humedad relativa que habitualmente excede el 80 % (Montero Ismael, 2010).

La flora y fauna de este lugar son propias del bosque de neblina, con una vegetación que consiste en árboles bajos o matorrales, perpetuamente húmedos debido a la llovizna típica del área, conocida coloquialmente como "papacara". En cuanto a su fauna, se pueden encontrar especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Montero Ismael, 2010).

Etapa de campo

Recolección de muestras

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

Este trabajo se realizó con el financiamiento del proyecto “Índice Biótico de Calidad de Agua para el Ecuador” con código P041516-3 de acuerdo a quienes gestionan los permisos de recolección de muestras dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca y el Ministerio del Ambiente. El proyecto se realizó durante el mes de mayo del 2023.

Las áreas de muestreo (n=46) se situaron en las proximidades de la cumbre, con altitudes monitoreadas según GPS en formato DMS donde el punto más alto se encuentra en los 4936m (0°00´55.23" N, 78°00´17.21" O) y el más bajo a 4869m (0°00´57.10" N, 78°00´13.91" O) ver (Figura 2) y (**ANEXO 3**). Esta decisión se basó en los criterios establecidos por Montero (2010), quien documentó las variaciones en los caudales de las zonas montañosas debido a los períodos de deshielo glacial recurrentes.

Figura 2. Mapa del Volcán Cayambe y los puntos de muestreo en crioconitas.

La recolección de muestras de diatomeas, especialmente en crioconitas, se basó en la metodología descrita por Chamorro et al., (2021) donde se explicaba la dificultad al momento de la recolección debido a la presencia de una capa superficial congelada, la cual se rompía mediante un piolet. Posterior a eso, se recolectó la muestra que contenía

sedimento y agua con la ayuda de una jeringa estéril de 50 ml, para luego almacenarla en un recipiente estéril de aproximadamente 100 ml, que contenía una solución transeau (agua desionizada, etanol y formalina en una proporción de 6:3:1).

Se midió de cada agujero de crioconita los datos referenciales de profundidad, área y volumen de cada punto de muestreo obtenido (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones de los puntos de muestreo en crioconitas del volcán Cayambe: Profundidad, Área y Volumen.

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

# muestra	***Profundidad (cm)***	***Área (cm2)***	***Volumen (cm3)***
P1	5	6	30
P2	10	6	60
P3	9	10	90
P4	23	18	414
P5	15	10	150
P6	20	18	360
P7	11	20	220
P8	8	9	72
P9	3	9	27
P10	4	2	8
P11	8	4	32
P12	5	4	20
P13	7	5	35
P14	10	8	80
P15	5	4	20
P16	9	6	54
P17	12	12	144
P18	16	16	256
P19	7	6	42
P20	3	12	36
P21	4	3	12
P22	8	6	48
P23	10	9	90
P24	14	10	140
P25	16	12	192

P26	10	4	40
P27	4	3	12
P28	8	4	32
P29	6	8	48
P30	12	12	144
P31	5	6	30
P32	14	12	168
P33	18	10	180
P34	6	6	36
P35	8	8	64
P36	12	6	72
P37	5	16	80
P38	9	9	81
P39	35	18	630
P40	7	4	28
P41	12	13	156
P42	6	4	24
P43	4	6	24
P44	6	4	24
P45	4	2	8
P46	2	1	2

El transporte debe ser adecuado dentro de una hielera a -4°C a completa oscuridad, hasta los laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Internacional SEK (Chamorro et al., 2021).

Etapa de laboratorio

Tratamiento y preparación de láminas permanentes de diatomeas

Las 46 muestras de diatomeas correspondientes a identificación mediante microscopia óptica fueron procesadas en el laboratorio de la UISEK, se realizó un proceso de cocinado en tubos de ensayo para lograr la eliminación de material orgánico e inorgánico con la finalidad de obtener una mejor visibilidad del frústulo de cada diatomea en el proceso de microscopia.

Se tuvo en cuenta que por cada parte de muestra dos partes de peróxido aproximadamente se añadió 30% de peróxido de hidrógeno y posteriormente 37% ácido clorhídrico 1N esos tubos de ensayo estaban colocados dentro de una olla, rodeados de arena, sometida a calentamiento en una estufa a 90°C durante 24 horas (ECS, 2003). Se recomendó cubrir los tubos de ensayo con tundas de algodón para prevenir una posible fuga rápida de gases (Figura 3) y (Figura 4).

Figura 3. Digestión de muestras del volcán Cayambe con peróxido de hidrógeno.

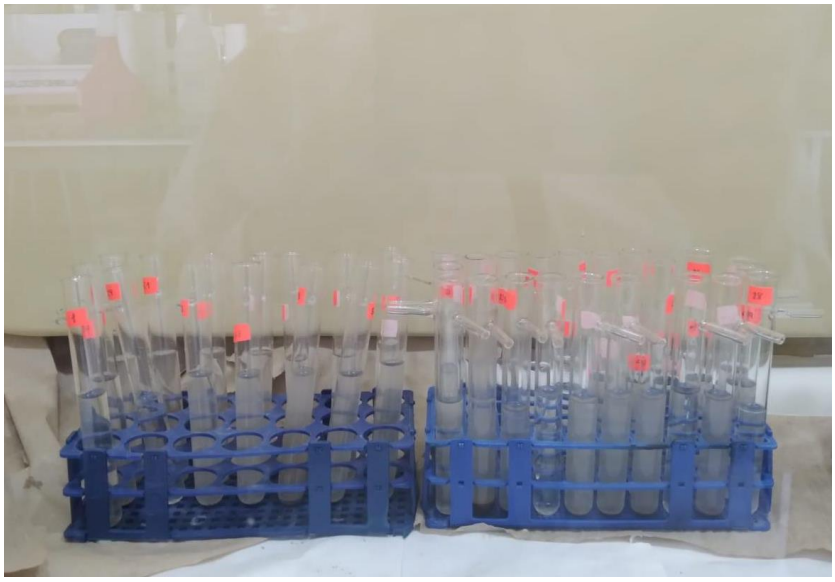


Figura 4. Adición de ácido clorhídrico dentro de la campana de flujo laminar.

Después de haber transcurrido las 24 horas de la digestión, una vez que la sustancia se volvió transparente, se retiró el exceso de sustancias añadidas utilizando un gotero estéril.

Posteriormente, se realizó una serie de tres lavados con agua destilada por cada muestra procesada, luego con ayuda de centrifugación a 4000 RPM por 5 minutos para conseguir la sedimentación, a continuación se decanta el sobrenadante contemplando de que la perdida de sedimento que contiene a las diatomeas sea mínima por cada proceso; de ser necesario las muestras una vez procesadas en su totalidad podrán ser almacenadas en etanol 96% bajo oscuridad para su adecuada conservación y uso revisiones adicionales (Csilla, 2007).

En primer lugar, para el procedimiento de microscopía, se colocaron una o dos gotas del sedimento procesado de cada muestra en un cubreobjetos redondo de 18mm de diámetro sobre el portaobjetos tradicional, dejándolo secar rápidamente con la ayuda de una estufa eléctrica a 90°C. Una vez ocurrida la evaporación de las gotas de muestra, las valvas permanecen en el cubreobjetos.

Se observó la presencia de valvas con un microscopio óptico bajo un aumento de 400x, se procedió a fijarlas permanentemente con ayuda de una resina sintética llamada Naphrax con índice de refracción 1.74 de la distribuidora PhycoTech, Inc. sobre la estufa eléctrica, calentar hasta que se formen burbujas en el cubreobjetos luego aplastar contra el portaobjeto con sutileza y ayuda de un objeto de punta redonda, alejar del calor y dejar secar; colocar debidamente la identificación de cada placa (Blanco et al., 2008).

Figura 5. Muestra (CAYA61) fijada.

Identificación taxonómica de diatomeas en crioconitas del glaciar Cayambe

Se analizaron un total de 46 placas de doble cubreobjeto por cada portaobjeto como se demostró en la (Figura 5). Para la observación microscópica se utilizó un microscopio óptico BioBlue.Lab PC/DIC, adaptado con una cámara CMEX-PRO 18 a 1000x de Euromex ® bajo un aumento de 1000x.

Se llevó a cabo un procedimiento para el conteo denominado barrido de placa. Este método se utiliza en taxonomía para obtener una muestra representativa de la diversidad de organismos en un área. Es especialmente útil para especies dispersas o en bajas densidades poblacionales. Acorde a Alverson et al., (2003), se demuestra que la concentración de células suele ser mayor en la región central de los cubreobjetos, ya que en ese lugar donde se coloca inicialmente la gota, los demás se encuentran dispersos sobre

la placa por efectos de la tensión superficial ocurrida al momento de la exposición de la muestra al calor en su proceso de fijación.

Una vez completado el conteo en placas, se procedió a cortar las imágenes obtenidas en el programa CorelDRAW 2022® con ayuda de las herramientas de edición. Se logró recortar todas las sitúelas de valvas de diatomeas para su posterior identificación. Se mantuvo la proporción original de ancho y alto de la imagen para preservar las proporciones y garantizar la nitidez. Esto se logró utilizando datos dimensionales del micrómetro entre dos líneas y el ancho original de la fotografía, calculando un factor de corrección específico para todas las ilustraciones. En este proyecto, se emplearon dos factores de corrección: 10,3 y 38,5.

La identificación taxonómica y de diversidad de estos microorganismos se realizó con ayuda de bibliografía especializada en diatomeas tal como: Blanco Lanza et al., (2011); Spaulding et al., (2021); Ehrenberg (1838); Krammer, (1997a, 1997b, 2002); Krammer & Lange-Bertalot, (1985, 1986, 1987, 1989, 1991a, 1991b); Lange-Bertalot, (2001); Lange-Bertalot et al., (2003); Metzeltin, (2007); Metzeltin & Lange-Bertalot, (1998); Rumrich et al., 2000); al igual que se usaron páginas web especializadas como: Diatoms of North America (https://diatoms.org/); AlgaeBase (https://www.algaebase.org/); y DiatomBase (https://www.diatombase.org/).

Análisis de datos

Se realizó un documento Excel usando el paquete de Microsoft Office Profesional Plus 2019, que contiene una matriz de las especies identificadas por cada punto, luego se

realizó los cálculos estadísticos básicos respectivos para determinar la diversidad en crioconitas del volcán Cayambe con los siguientes parámetros:

- Riqueza: se refiere a la variedad de especies presentes en un ecosistema.
- Abundancia absoluta (*Ai*): es el número de individuos total de una especie en los puntos de muestreo.
- Abundancia relativa (*Ai%*): es la relación porcentual del número de individuos de la especie con respecto al total de individuos de los puntos de muestreo.

$$Ai\% = \frac{Ai * 100}{At}$$

- Frecuencia absoluta (*Fi*): es la relación entre el número de puntos de muestreo en los que aparece una especie.
- Frecuencia relativa (*Fi%*): es el porcentaje entre la frecuencia de la especie y la suma de frecuencia de total de especies.

$$Fi\% = \frac{Fi * 100}{Ft}$$

La Ai% de las especies y categorías infraespecíficas obtenidas para cada estación de muestreo fueron llevados al estimador PAST versión 4.04 para determinar la diversidad que consistió en calcular la riqueza (S), Shannon (H'), dominancia de Simpson (1-D) y Equitatividad de Pielou (J'). Finalmente, para conocer la similitud entre estaciones de muestreo y la presencia de diatomeas se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis con datos de abundancia y para observar gráficamente dicha similitud se realizó el análisis de agrupamiento (Cluster).

- Índice de Shannon-Wiener (H'), se refiere a un índice sobre diversidad que se fundamenta principalmente bajo el principio de equidad.
- Índice de Simpson (λ), es un índice basado en la dominancia, es decir, que consideran principalmente las especies dominantes en una comunidad, sin considerar la aportación proporcional de las demás especies.
- Equidad de Pielou (J'), medida utilizada para evaluar la uniformidad en la distribución de individuos entre las especies dentro de una comunidad.

RESULTADOS

Abundancia y riqueza de especies en crioconitas del Volcán Cayambe

A partir del análisis microscópico de las 46 muestras de crioconitas del glaciar Cayambe se registró una abundancia de 2483 individuos que correspondieron a 69 especies asociadas a 30 géneros (**ANEXO 1**). Es importante destacar que este recuento no incluye los puntos de muestreo que carecen de información, con un total muestral de n=44. Se encontraron 69 especies con mayor abundancia, estas fueron: *Psammothidium germainii (55,70%), Sellaphora atomoides (17,92%), Pinnularia sp3 (11,48%) y Hannaea arcus (2,50%).* Por otro lado, se encontraron 63 especies con menor abundancia, entre las cuales se encuentran algunas a nivel genérico, debido al escaso número de individuos hallados, lo que complica su identificación precisa. Las especies con menor abundancia, fueron: *Achnanthes inflata (0,04%); Gomphonema sp2 (0,08%); Stenopterobia krammeri (0,12%); Encyonema silesiacum (0,16%); Pinnularia borrealis var. lanceolata (0,20%).* Cabe mencionar, que quedaron 13 especies identificadas a nivel genérico. Ver (Figura 6).

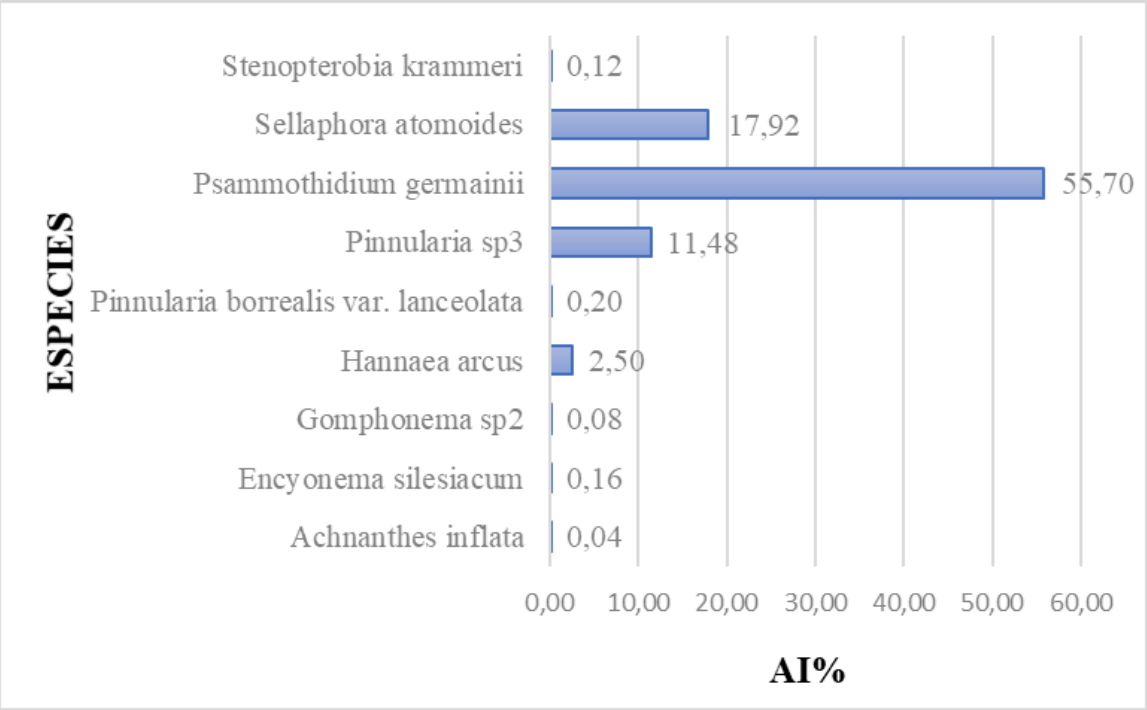


Figura 6. Diagrama de barras para análisis de la abundancia de especies de diatomeas.

Diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe

Las crioconitas del volcán Cayambe se reveló tres puntos de alta abundancia denotados en color verde en la tabla a continuación, contrastados con otros ocho puntos marcados en naranja que se distinguen por su escasez. Adicionalmente, en dos puntos de muestreo (P16, P36) no se evidenció ningún individuo. Los puntos que tuvieron mayor abundancia son aquellos que evidenciaron entre 16 a 19 individuos que se encontraron en los puntos P2, P18 y P26, por otro lado, las de menor abundancia contaron únicamente entre 1 y 2 individuos los puntos fueron P19, P23, P33, P35, P40, P42, P45 y P46. Ver (Figura 7).

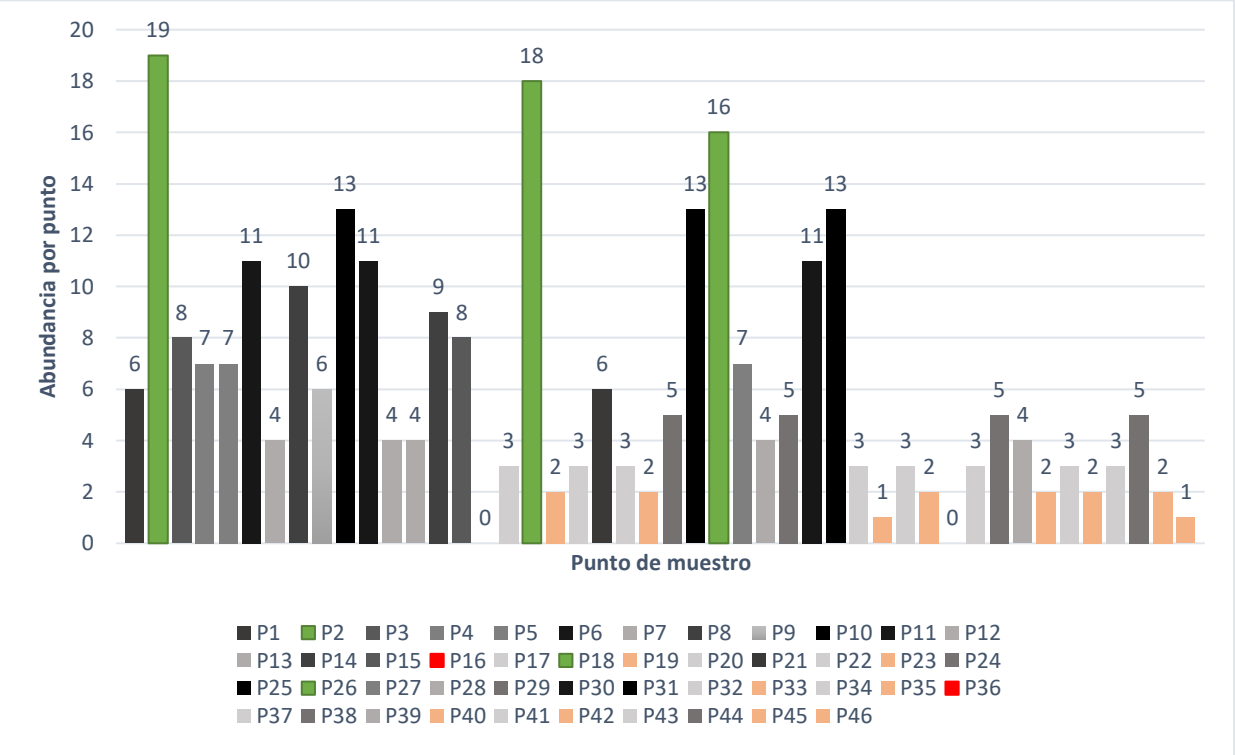


Figura 7. Análisis de abundancia de individuos por punto de muestreo.

Según el índice de Shannon-Wiener, se observa que entre las alturas 4869 y 4875 metros, la diversidad de diatomeas se considera moderadamente baja. Además, a medida que aumenta la altitud de muestreo, la diversidad tiende a disminuir. Utilizando el promedio de las 46 muestras para calcular el índice de diversidad, se obtuvo un valor de 1,073. Este resultado sugiere, en términos generales, que la diversidad de toda la comunidad es baja.

Para el índice de Simpson, se observa que en 19 puntos de muestreo se evidenció una baja dominancia, lo que indica una alta diversidad en esos puntos. Por otro lado, se obtuvieron 27 puntos de muestreo donde existe una alta dominancia, lo que sugiere una baja diversidad. El promedio de este índice arroja un valor de 0,522, indicando que la dominancia es alta. Sin embargo, la diversidad se mantiene baja en toda la comunidad.

En el índice de Equidad de Pielou, se identificaron 4 puntos altitudinales desde los 4870 a 4877 metros, con 5 muestras que se caracterizan por tener una distribución poblacional heterogénea. Esto sugiere que todas las especies tienen una abundancia relativa similar en estas áreas. Por otro lado, en las restantes 41 muestras, la población es homogénea, lo que indica que, en estos puntos, existe una o pocas especies que son bastante comunes y que las otras tienen poca presencia. El promedio de toda la comunidad da un valor de 0,697, indicando una población distribuida homogéneamente en todos los puntos. Ver **ANEXO 4**.

Variabilidad en la composición de diatomeas en relación con los gradientes altitudinales del volcán Cayambe.

En contraste, se evaluó la misma diversidad de especies de diatomeas con respecto a las gradientes altitudinales del punto de muestreo. Para el punto más alto, denominado "P46", que tiene una elevación de 4936 metros, en la cual se logró identificar 7 individuos pertenecientes a una misma especie, la cual es *Psammothidium germainii.* Por otro lado, según el promedio de altitudes el punto medio que corresponde al "P29", ubicado a 4891 metros que cuenta con las siguientes especies: *Gomphonema affine, Hantzschia amphioxys, Psammothidium germainii, Sellaphora atomoides y Stephanodiscus parvus.* En otra instancia, se examinó el punto más bajo, correspondiente al punto "P15", ubicado a los 4869 metros; por su parte, esta locación cuenta con estas especies: *Gomphonema punae, Hannaea arcus, Hantzschia amphioxys, Nitzschia media, Odontidium mesodon, Pinnuralia borealis, Psammothidium germainii, y Stenopterobia krammeri.*

Con el propósito de verificar la similitud o desimilitud de especies entre las crioconitas se realizó un análisis Clúster con el índice de similitud de Bray-Curtis (Figura 8),

existiendo cinco bloques que reflejan una mayor afinidad en términos de la presencia de diatomeas en las crioconitas, se tomó como porcentaje de similitud 0,4. Los cuales corresponden a el Bloque 1 contiene 20 grupos que corresponden a las estaciones CAY10; CAY4; CAY54; CAY52; CAY59; CAY62; CAY54; CAY64; CAY58; CAY5; CAY41; CAY34; CAY35; CAY63; CAY49; CAY46; CAY37; CAY43; CAY60; presentó especies que compartidas como *Fragilaria vaucheriae, Gomphonema affine, Gomphonema punae, Hannaea arcus, Hantzschia amphioxys, Luticola acidoclinata, Navicula radiosa, Nitzschia paleaformis, Odontidium mesodon, Pinnularia borealis, Pinnularia brebissonii, Pinnularia* sp*3, Planothidium lanceolatum, Psammothidium germainii y Sellaphora atomoides*. El punto CAY33 se encontró excluido, aunque también cuenta con las especies *Psammothidium germainii* y *Sellaphora atomoides.*

El Bloque 2 consta de 10 grupos formando un conjunto con las estaciones CAY18; CAY21; CAY36; CAY50; CAY61; CAY65; CAY56; CAY23; CAY25; CAY29, comparten las especies *Fragilaria tenera, Fragilaria vaucheriae, Gomphonema punae, Hantzschia amphioxys, Navicula radiosa, Nitzschia paleaformis, Odontidium mesodon, Pinnularia borealis, Planothidium lanceolatum, Psammothidium germainii, Sellaphora atomoides* y *Stenopterobia krammeri.*

Luego el Bloque 3, se forman dos conjuntos, que abarcaron 8 grupos, los mismo que son CAY38; CAY39; CAY40; CAY3; CAY8; CAY6; CAY1; CAY47; que tiene estas especies *Fragilaria vaucheriae, Gomphonema pumilum var. rigidum, Gomphonema punae, Hannaea arcus, Hantzschia amphioxys, Luticola tomessi, Nitzschia media, Nitzschia paleaformis, Odontidium mesodon, Pinnularia borealis, Pinnularia gibba, Pinnularia* sp*3, Planothidium lanceolatum, Psammothidium germainii, Sellaphora atomoides* y *Ulnaria ulna.*

Se observó que hay 6 grupos que quedan aislados a este nivel de similitud, aunque aún forman parte del subgrupo principal del clustering comparten estas especies *Gomphonema punae, Hannaea arcus, Navicula radiosa, Nitzschia paleaformis, Odontidium mesodon, Pinnularia borrealis* var. *lanceolata, Psammothidium germainii, Rhoicosphenia abbreviata* y *Sellaphora atomoides.*

No obstante, existen dos grupos que son las estaciones CAY27 y CAY53 que se consideran valores atípicos, ya que se desvían de los demás puntos de datos en el conjunto de datos global, esto se debe a que estos puntos no cuentan con especies.

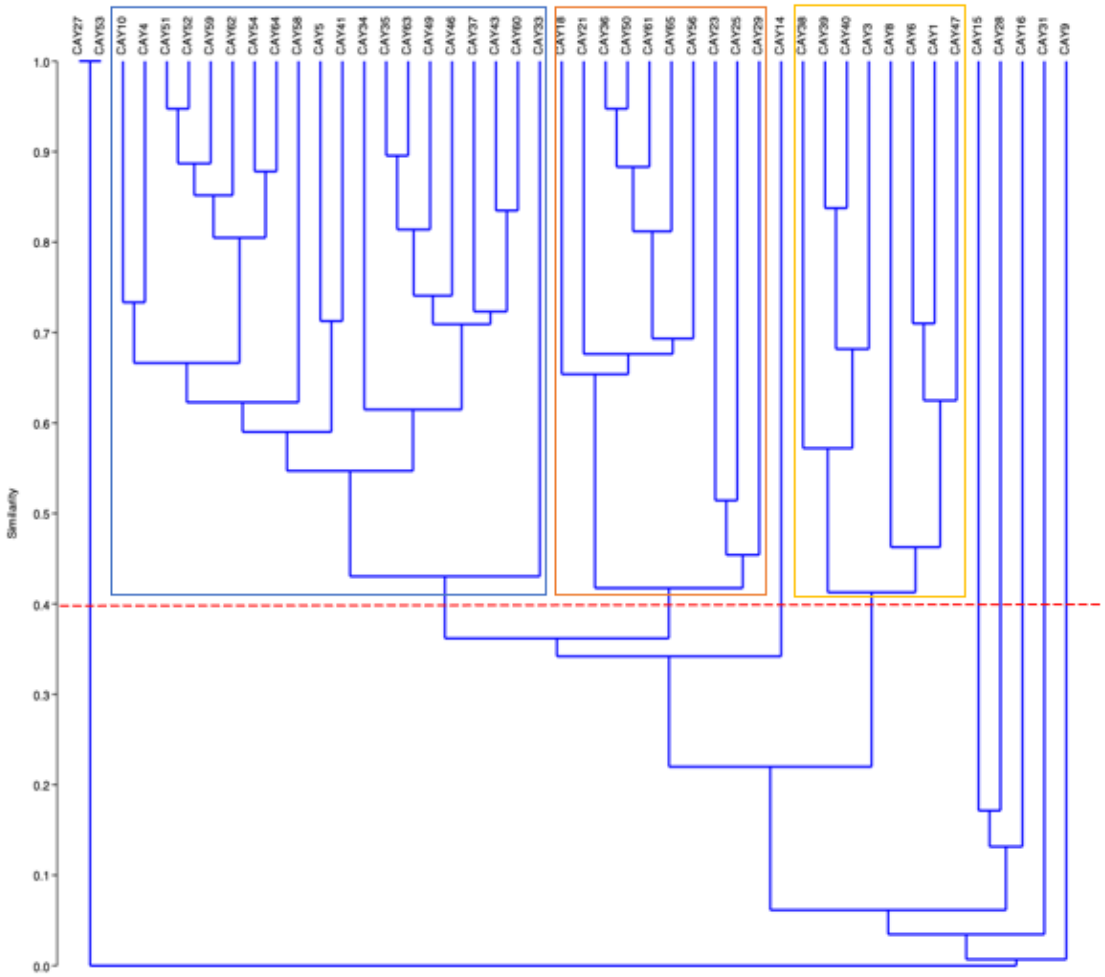


Figura 8. Dendograma de análisis Cluster para delimitar diversidad.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta tesis se basó en las áreas de muestreo ubicadas en cordillera, donde las condiciones ambientales y su biodiversidad serán diferentes a las que podemos encontrar en localidades de menor altitud. Se ha descubierto una diversidad significativa de especies de diatomeas en las crioconitas de glaciares, según estudios recientes. La presencia de una amplia gama de taxones diatomeicos también se ha observado en los ecosistemas del Volcán Antisana y Volcán Cotopaxi ubicados también en los Andes Ecuatorianos (López Rivera, 2022).

El interés principal de esta tesis es identificar la cantidad de diversidad de diatomeas presentes en las crioconitas de este ecosistema montañoso. Se recogió muestras de crioconitas en el Volcán Cayambe a diferentes altitudes; sin embargo, se observó que la diversidad de diatomeas disminuye en las crioconitas en altitudes más elevadas. Se determinó una diversidad baja y homogeneidad considerando lo análisis para índice de diversidad en PAST antes mencionados. En este caso se puede resaltar cuatro especies de diatomeas presentes en este volcán según la abundancia relativa (Ai%).

Esta tesis se destacó la investigación y estudio de diatomeas por vez primera en el volcán Cayambe, se dará a conocer la presencia de la especie *Psammothidium germainii* (55,70%) en algunos de los puntos de muestreo, antes ya identificada en una montaña del Ecuador como se menciona en Chamorro et al., (2021) es uno de los taxones con más frecuencia encontrados en regiones antárticas y subantárticas. Para el ámbito de la ecología de esta especie esta prefiere hábitats terrestres especialmente suelos desnudos que disponga de diferentes niveles de nutrientes y humedad, aunque también se pueden encontrar en cuerpos de agua abiertos y musgos terrestres (Van de Vijver et al., 2016). La

distribución de esta especie se centra principalmente en islas, aunque también se encuentra en un entorno glacial como se puede comprobar.

Además, la especie identificada como *Sellaphora atomoides* (Grunow) Wetzel and Van de Vijver 2015 (17,92%) viene siendo la segunda más abundante en individuos por muestra, también está catalogada como una especie de ecosistema glaciar, ubicada mayormente en hábitats elevados, como en el aire o en entornos naturalmente puros y no perturbados. Sus preferencias se inclinan hacia áreas que no han sido significativamente afectadas por la actividad humana, buscando entornos en su estado original no alterado (Wetzel et al., 2015).

Por su parte, ocupando el tercer lugar los individuos que responden al nombre *Pinnularia* sp3 (11,48%), se caracterizan por su adaptación a entornos continentales más que a los marinos, destacando su preferencia por elegir hábitats con aguas continentales de corriente limpia y de tengan un pH bajo (Toledo & Comas, 2012), Sin embargo, por su identificación en esta área pueden ser especies que también habitan en glaciares junto con otras especies, resistiendo las bajas temperaturas y adaptándose a las condiciones desfavorables del ecosistema altitudinal del Cayambe.

La especie *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick (2,50%) con la especie menos abundante de esta selección, según estudios de Álvarez-Blanco & Blanco, (2013) este tipo de especies sobrevive en entornos oligotróficos en el mismo que hay una limitada fuente de nutrientes, donde la productividad biológica es baja por la falta de elementos como nitrógeno y fósforo, su distribución es en varios países que comprenden latitudes altas del hemisferio norte, se ha evidenciado su hallazgo específicamente en aguas dulces de Islandia, se conoce según literatura que este organismo tiende a habitar en condiciones

de temperatura que oscilan entre los 0 a 15°C, con un pH situado entre los 6 y 8 (Bixby & Jahn, 2005).

CONCLUSIONES

Los resultados de microscopia óptica fueron fundamentales para realizar la identificación taxonómica de diatomeas en el Parque Nacional Cayambe - Coca, identificando individuos que coexisten en climas por lo general cálidos, por lo que se deduce que las condiciones ambientales y la repartición de nutrientes puede ser óptima para el desarrollo de estas especies en ese ecosistema.

Con respecto a la abundancia de estas especies si bien no se considera abundante, compete una información significativa para dar comienzo estudios de este sitio que tengan que ver con las diatomeas, se pudo evidenciar que a mayor altitud menos presencia de individuos, sin embargo, en punto de muestreo más bajos se analiza una mayor diversidad en cuanto a individuos por especies.

Se estableció mediante la alta abundancia relativa (Ai%) que especies como *Psammothidium germainii, Sellaphora atomoides, Pinnularia sp3, y Hannaea arcus* son comunidades de especies que se adaptan al contexto glacial, hay que tener en cuenta que algunas de estas provienen de fuentes marinas lo cual se explica como que son arrastradas mediante corrientes de aire hasta su asentamiento y reproducción productiva en este hábitat.

Para concluir, es importante destacar la relevancia científica de estudiar estos microorganismos, especialmente cuando se encuentran en entornos extremos. Este análisis es fundamental para comprender la evolución, la adaptabilidad biológica y la

interacción con el entorno ecológico. Además, nos ayuda a comprender cómo estos organismos se relacionan con los afluentes que tienen una conexión directa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el estudio de la zona en este glaciar y sus cuerpos de agua aledaños con el fin de determinar la conexión entre comunidades y su rol entre los ecosistemas para entender de mejor manera los ambientes andinos ecuatorianos y de esta manera obtener mayor información fósil de estos ambientes.

Destacar que para el biomonitoreo es necesaria siempre la clasificación taxonómica morfológica utilizando frústulas de las diatomeas, teniendo en cuenta tamaño, forma y diseño de las valvas como principal referencia característica, y acompañar estos estudios del uso de metabarcoding que asignen un código de barra genético a cada taxon, para agilizar la identificación morfológica y caracterización ecológica exhaustiva de las diferentes especies.

Como última recomendación, se espera poder recopilar información que complemente esta con ayuda de parámetros fisicoquímicos de los puntos que se tomen para muestrear y que limiten las condiciones ambientales de este lugar tan preciado para el país.

REFERENCIAS

Acevedo Acosta, J. D., & Martínez López, A. (2015). *Ecología y flujo vertical de las diatomeas planctónicas en Cuenca Alfonso: Implicaciones para los estudios paleoclimáticos.* Instituto Politécnico Nacional. .

Alverson, A. J., Manoylov, K. M., & Stevenson, R. J. (2003). Laboratory sources of error for algal community attributes during sample preparation and counting. *Journal of Applied Phycology*, *15*(5), 357–369. https://doi.org/10.1023/A:1026009724797

Bax, V., & Francesconi, W. (2019). Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot: Implications for the expansion of protected areas. *Journal of Environmental Management*, *232*, 387–396. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.086

Blanco Lanza, S., Álvarez Blanco, I., Cejudo Figueiras, C., Bécares Mantecón, E., Ector, L., García Asenjo, C., Seisdedos Fidalgo, P., Hernández García, N., & Rodríguez Muñoz, I. (2011). *Guía de las diatomeas de la Cuenca del Duero*. http://hdl.handle.net/10612/7009

Blanco, S., Álvarez, I., & Cejudo, C. (2008). A test on different aspects of diatom processing techniques. *Journal of Applied Phycology*, *20*(4), 445–450. https://doi.org/10.1007/s10811-007-9292-2

Cabrera Montenegro, E. B., Vega Tamba, J. C., & Jácome Aguirre, G. A. (2023a). Estimación actual y futura del retroceso glaciar del nevado Cayambe, en Ecuador. *SATHIRI*, *18*(1), 158–178. https://doi.org/10.32645/13906925.1197

Cabrera Montenegro, E. B., Vega Tamba, J. C., & Jácome Aguirre, G. A. (2023b). Estimación actual y futura del retroceso glaciar del nevado Cayambe, en Ecuador. *SATHIRI*, *18*(1), 158–178. https://doi.org/10.32645/13906925.1197

Chamorro, S., Moyón, J., Araya, F., Salazar, J., Navarro, J.-C., Bécares, E., & Blanco, S. (2021). The ecology of diatoms inhabiting cryoconite holes in Antisana Glacier, Ecuador. *Journal of Glaciology*, *68*(267), 204–208. https://doi.org/10.1017/jog.2021.108

Csilla, S. K. (2007). *A bevonatlakó kovaalgák (Bacillariophyceae) alkalmazása hazai felszíni vizeink ökológiai állapotminősítésében*.

D.G. Mann & S. J. M. Droop. (1996). Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiología*, 19–32. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00010816

Díaz Altamirano, M. de los Á. (2023). *Diversidad metagenómica de bacterias extremófilas en volcanes andinos Cayambe y Sumaco del Ecuador*. https://hdl.handle.net/10902/29216

ECS. (2003). *Water quality — Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers.*.

Fermani, P., Mataloni, G., & Van de Vijver, B. (2007). Soil microalgal communities on an antarctic active volcano (Deception Island, South Shetlands). *Polar Biology*, *30*(11), 1381–1393. https://doi.org/10.1007/s00300-007-0299-6

Jácome, G., Mejía, J., Guerra, N., Romero, A., Puedmag, V., Padilla, C., & Pupiales, N. (2020). Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico. Imbabura-Ecuador. . *FICAYA Emprende*.

Krammer, K. (1997a). *Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1. Allgeneines und Encyonema part.* (Vol. 36). Bibliotheca Diatomologica.

Krammer, K. (1997b). *Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis.* (Vol. 37). Bibliotheca Diatomologica.

Krammer, K. (2002). *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats.* (Cymbella). ARG Gantner Verlag KG.

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1985). *neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen.* (Vol. 9). Bibliotheca Diatomologia.

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1986). *Bacillariophyceae: 1. Teil: Naviculaceae; 206 Tafeln.* Fischer.

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1987). *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae.*

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1989). *Achnanthes eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung Cocconeis und Nachträgen zu den Naviculaceae.* (Vol. 18). Bibliotheca Diatomologica.

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991a). *Bacillariophyceae Sübwasserflora von Mitteleuropa, 2/4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen Zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4.* (Gustav Fischer & Verlag Stuttgart, Eds.).

Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991b). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 02/3: Bacillariophyceae: Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae* (Vol. 2).

Lange-Bertalot, H. (2001). *Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia.* (Gantner Verlag. KG., Vol. 2).

Lange-Bertalot, H., Cavacini, P., Tagliaventi, N., & Alfinito, S. (2003). *Diatoms of Sardinia: rare and 76 new species in rock pools and other ephemeral waters. In Diatoms of Sardinia: Rare and 76 New Species in Rock Pools and Other Ephemeral Waters.* (ARG GANTNER., Vol. 12).

Licursi, M. (2005). *Efectos de las perturbaciones antropogénicas sobre la taxocenosis de diatomeas bentónicas en sistemas lóticos pampeanos* [Universidad Nacional de La Plata]. https://doi.org/10.35537/10915/4475

López Rivera, S. E. (2022). *Caracterización ecológica de diatomeas en Crioconitas del glaciar norte del volcán Cotopaxi.*

Metzeltin, D. (2007). *Tropical Diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction.* (Iconogr., Vol. 18). Diatomol.

Metzeltin, D., & Lange-Bertalot, H. (1998). *Tropishe Diatomeen in Südamerika I. Iconographia Diatomologica, 5.*

Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2013). *PARQUE NACIONAL CAYAMBE COCA*.

Montero Ismael. (2010). En el vértice del Ecuador: el descubrimiento del sitio a más altitud en el globo terráqueo por donde cruza la línea ecuatorial. *Ciudad de México: Am&Am.*

Pandey, L. K., Bergey, E. A., Lyu, J., Park, J., Choi, S., Lee, H., Depuydt, S., Oh, Y.-T., Lee, S.-M., & Han, T. (2017). The use of diatoms in ecotoxicology and bioassessment: Insights, advances and challenges. *Water Research*, *118*, 39–58. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.062

Raven, P., & Curtis, H. (1975). *Biología vegetal* (Vol. i9788428204200).

Rumrich, U., Lange-Bertalot, H., & Rumrich, M. (2000). *Diatoms of the Andes (from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego), Iconographia Diatomologica.* (Vol. 9). Koeltz Scientific Books.

Samaniego, P., Robin, C., Monzier, M., Eissen, J.-P., Mothes, P., & Hall, M. (2004). *El complejo volcánico Cayambe: Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos. 1*, 35. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers20-11/010036195.pdf

Soler Onis, E. (2016). *Estudio de las diatomeas (Heterokomtophyta, Bacillariophyceae) del bosque húmedo subtropical del Barranco de Azuaje, Gran Canaria, Islas Canarias* [Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. http://hdl.handle.net/10553/22751

Spaulding, S. A., Potapova, M. G., Bishop, I. W., Lee, S. S., Gasperak, T. S., Jovanoska, E., Furey, P. C., & Edlund, M. B. (2021). *Diatoms.org* : supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*, *36*(4), 291–304. https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790

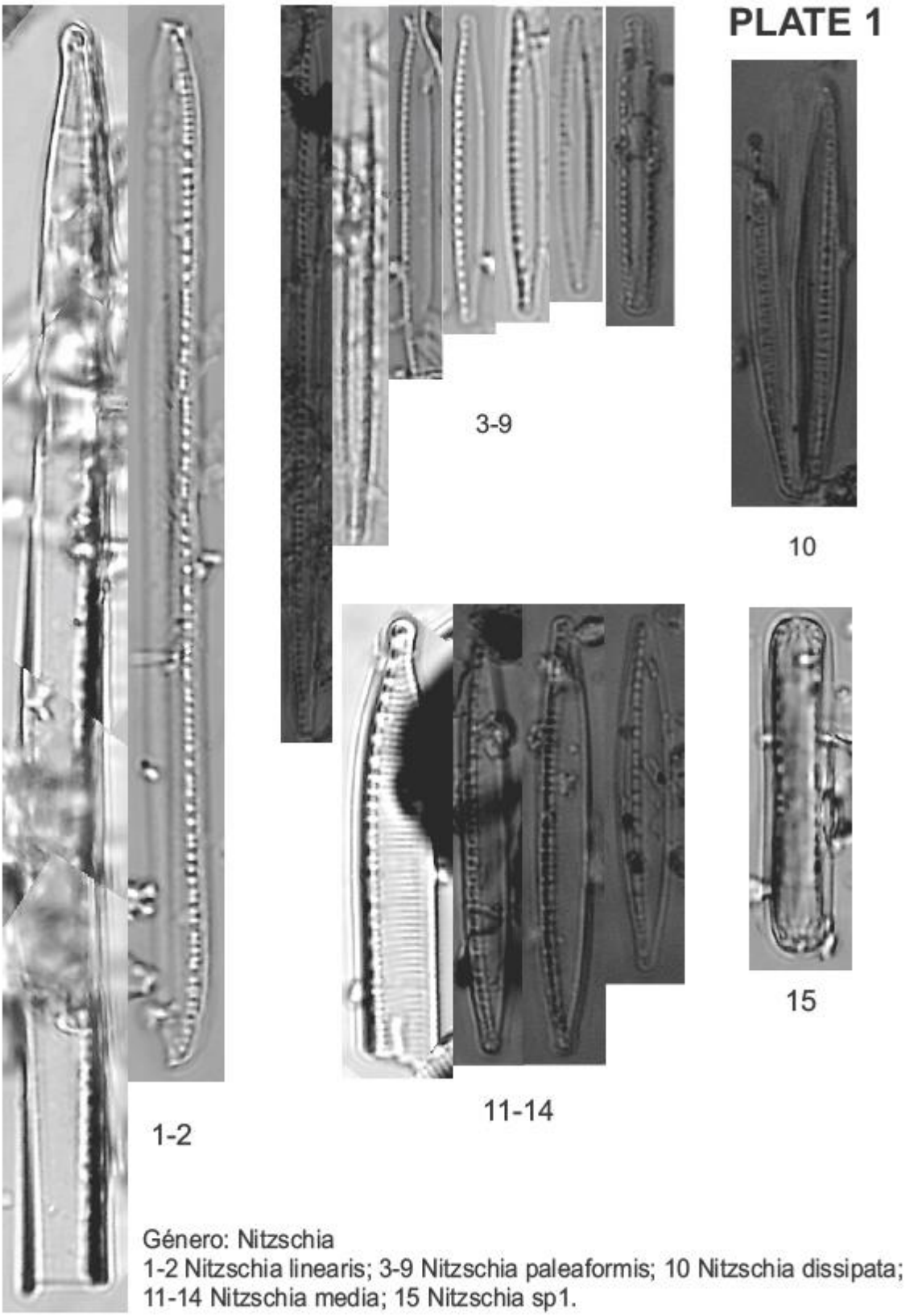
Taboada, M. de los Á., Martínez De Marco, S. N., Bustos, M. S., & Tracanna, B. (2018). Nuevos registros de Bacillariophyceae en ecosistemas lóticos del Noroeste de Argentina II. *Lilloa*, *55*(1), 81–97. https://doi.org/10.30550/j.lil/2018.55.1/7

Vuille, M., & Bradley, R. S. (2000). Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters*, *27*(23), 3885–3888. https://doi.org/10.1029/2000GL011871

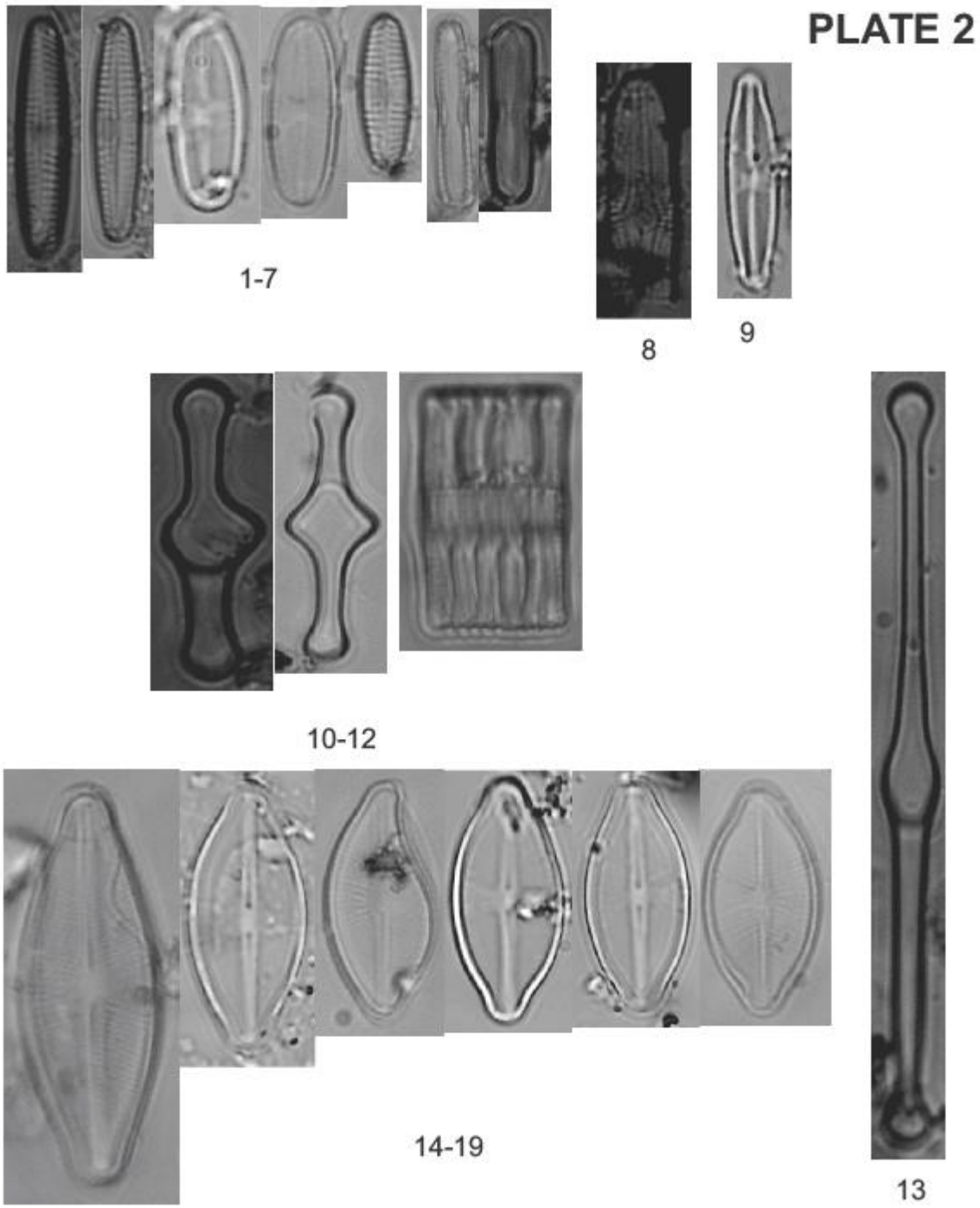
Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

Anexos.-

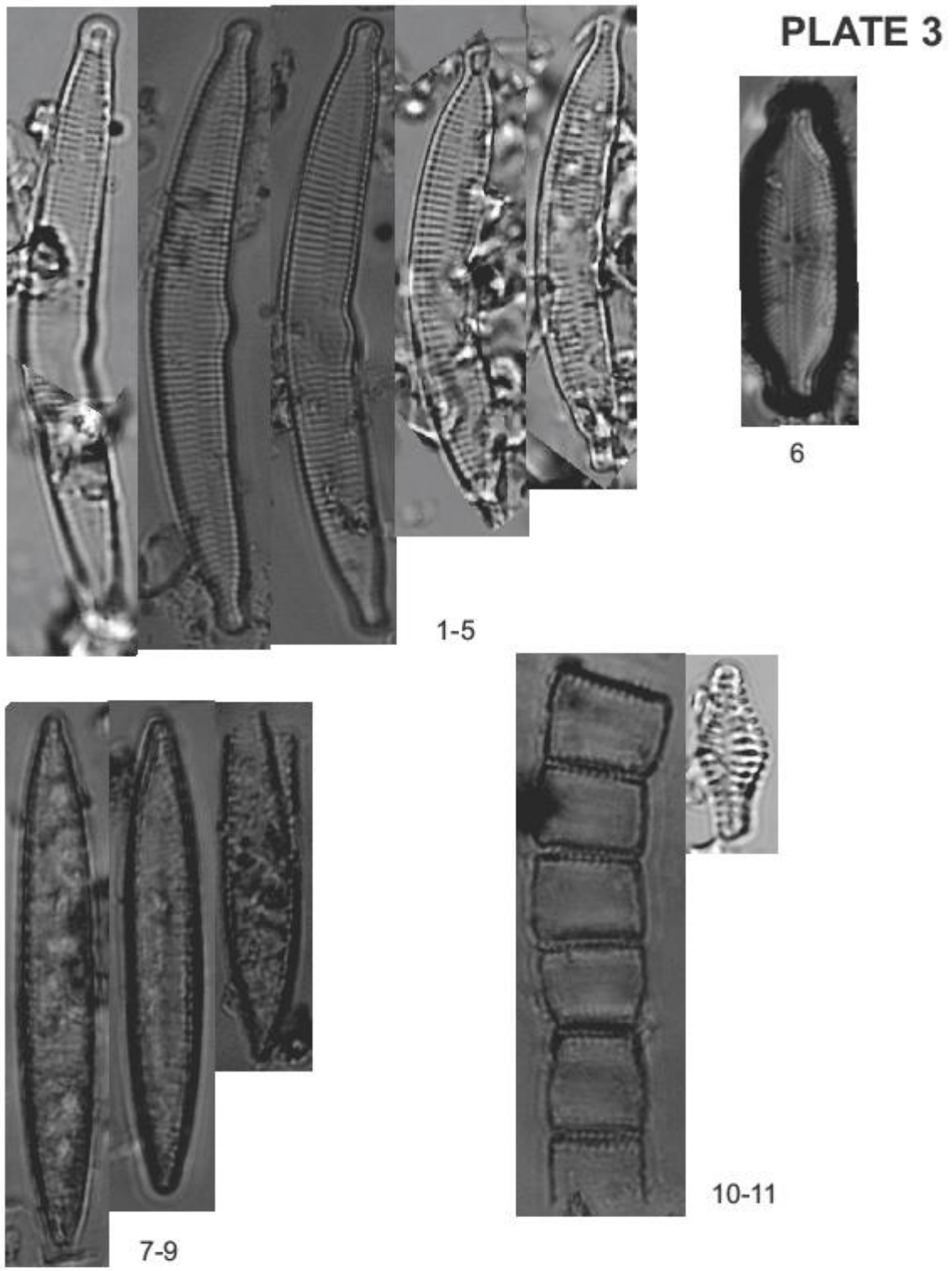
ANEXO 1



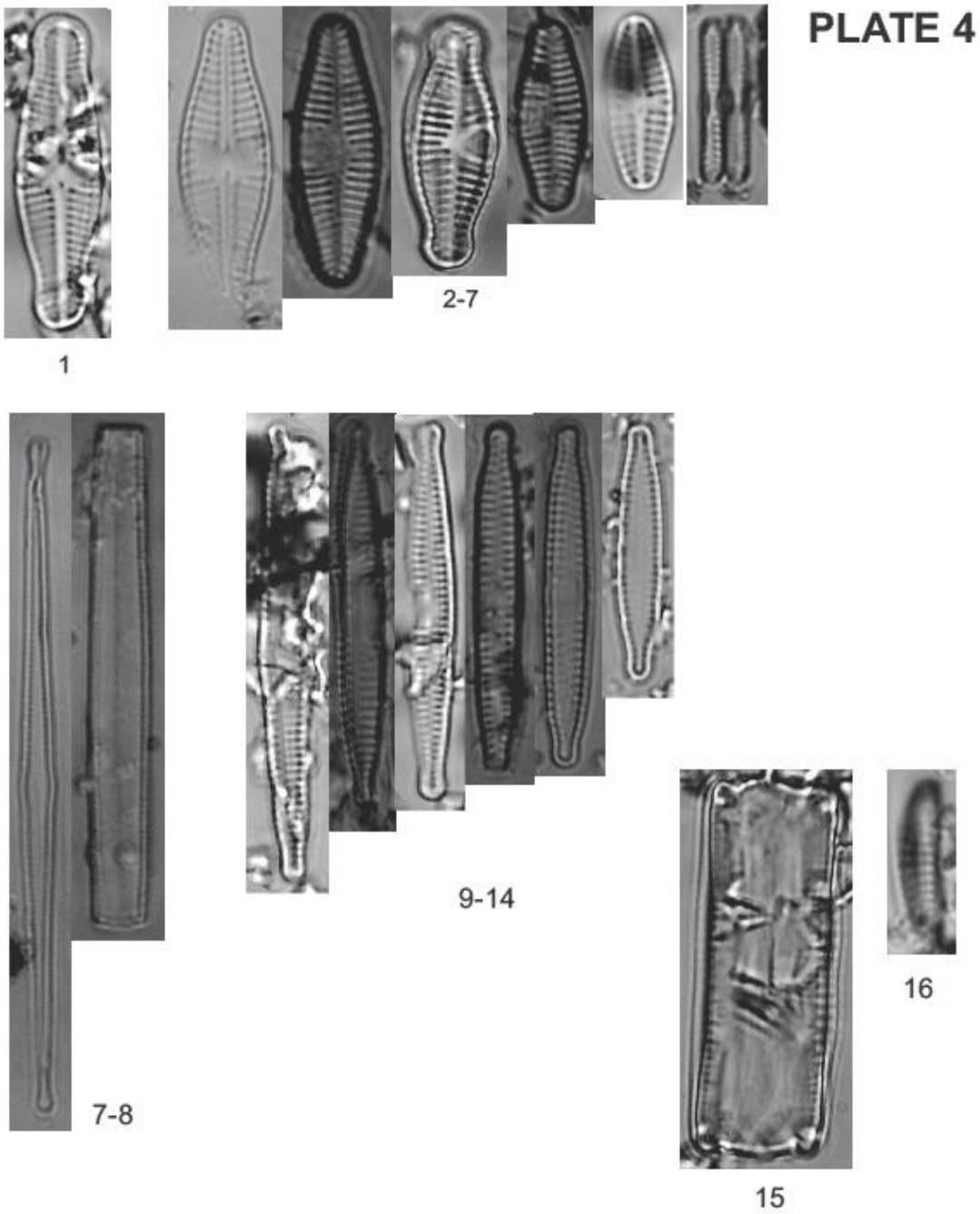
Género: Nitzschia
1-2 Nitzschia linearis; 3-9 Nitzschia paleaformis; 10 Nitzschia dissipata; 11-14 Nitzschia media; 15 Nitzschia sp1.



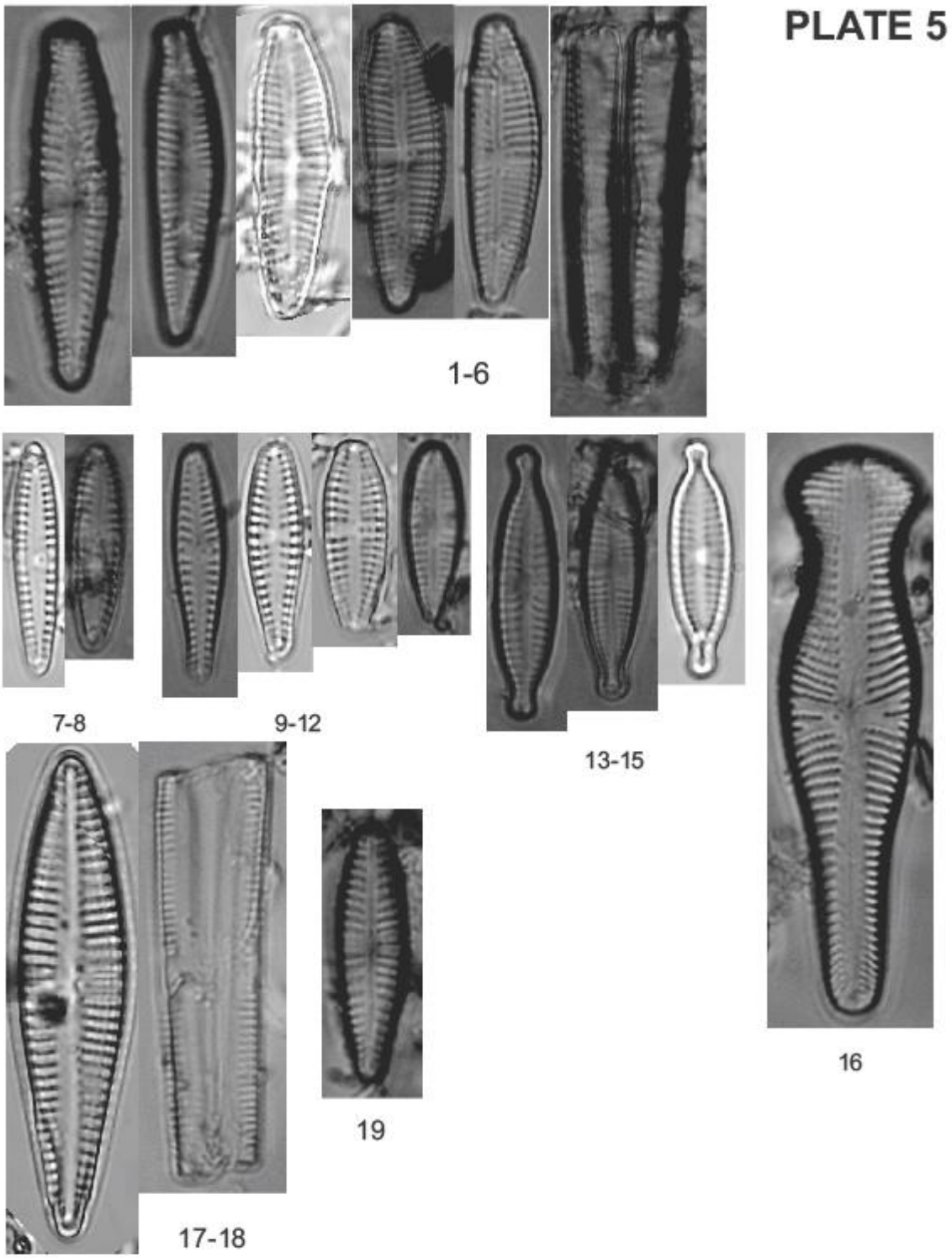
Género: Sellaphora/ Tabellaria/ Psammothidium
1-7 Sellaphora atomoides; 8 Sellaphora sp2; 9 Sellaphora sp3;
10-12 Tabellaria flocculosa var. floculossa; 13 Tabellaria flocculosa var. andina;
14-19 Psammothidium germainii.



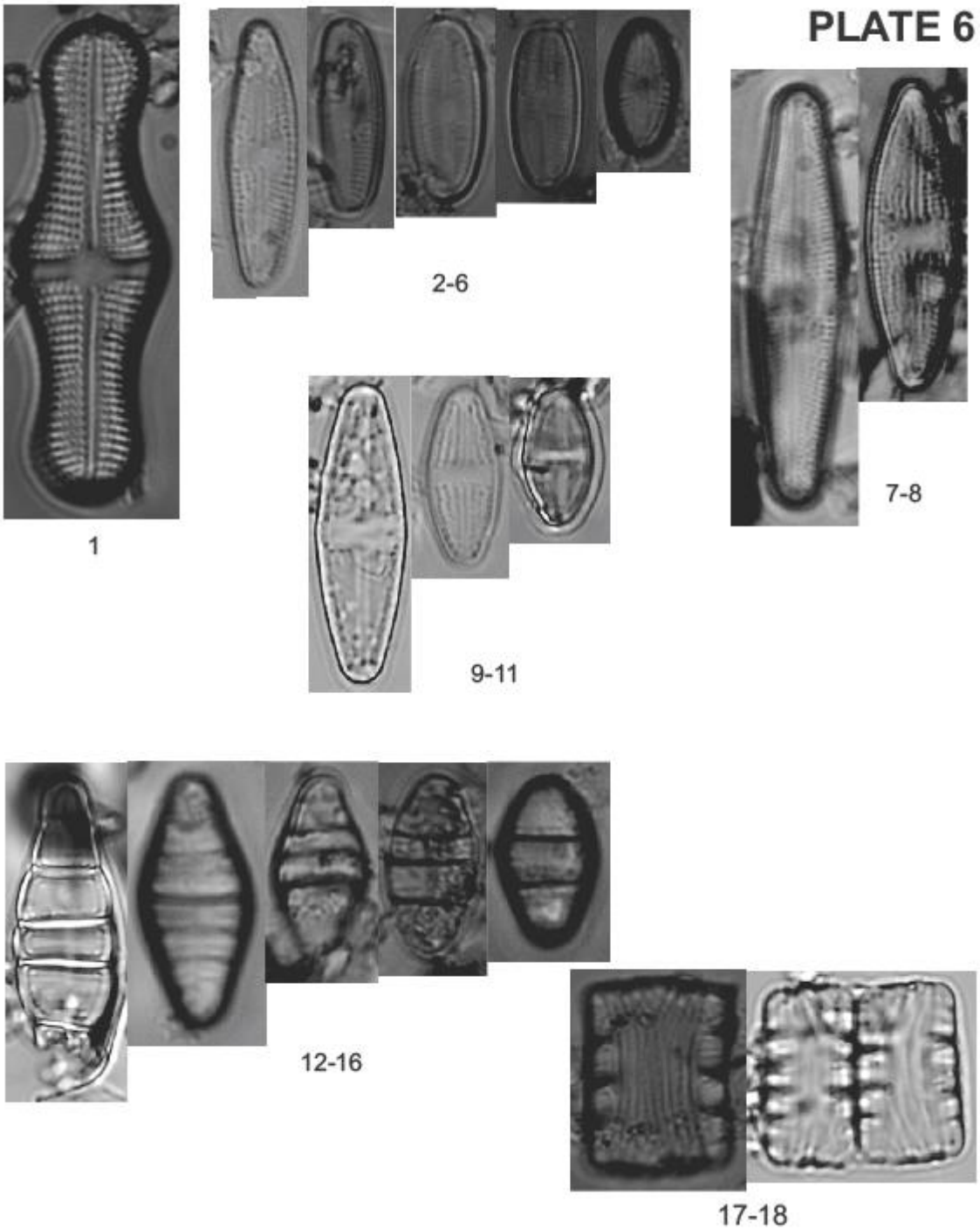
Género: Hannaea/ Placoneis/ Stenopterobia/ Staurosira
1-5 Hannaea arcus; 6 Placoneis sp1; 7-9 Stenopterobia krammeri;
10-11 Staurosira construens.



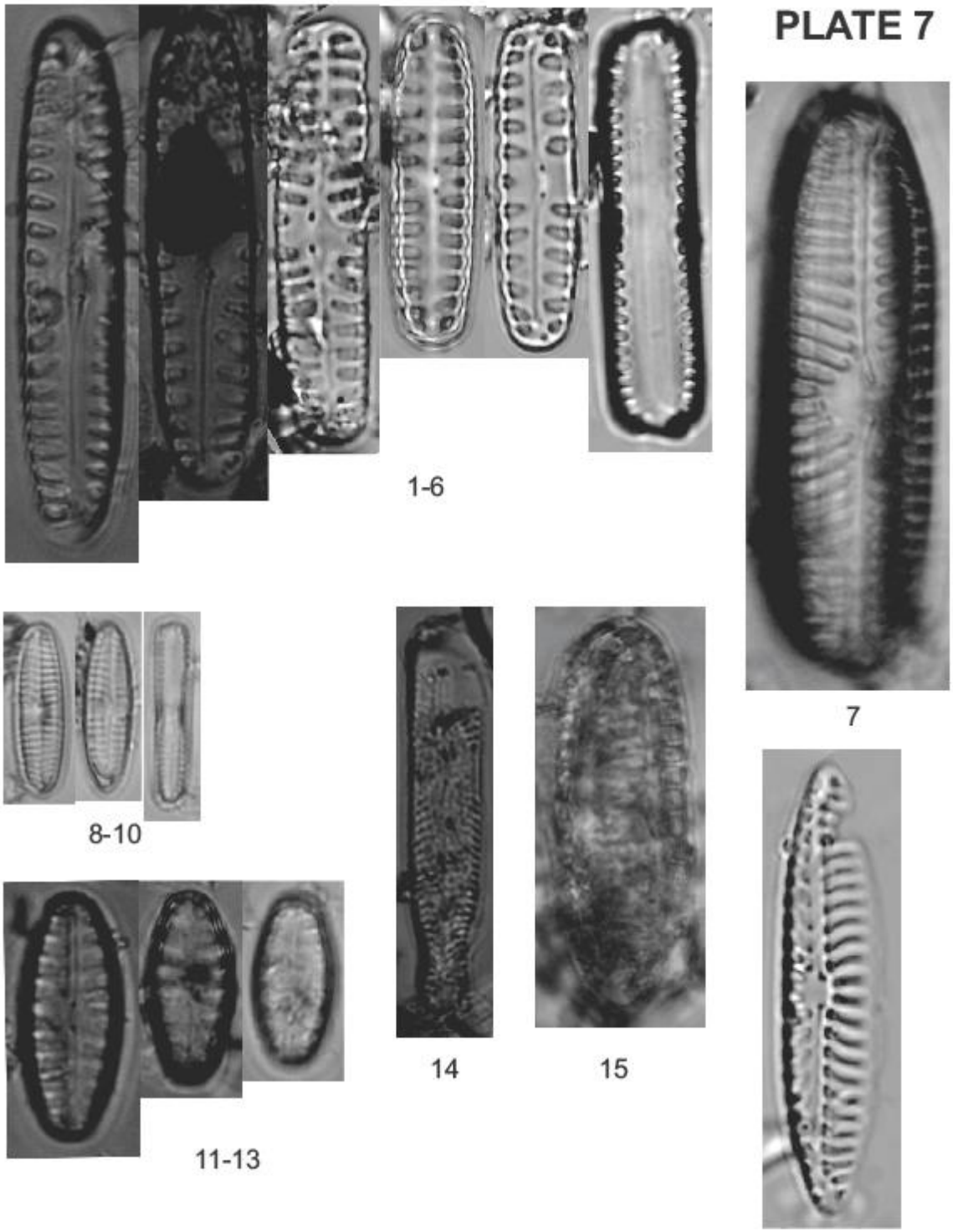
Género: Planothidium/ Fragilaria/ Eunotia
1 Planothidium biporomum; 2-6 Planothidium lanceolatum;
7-8 Fragilaria tenera; 9-14 Fragilaria vaucheriae;
15 Eunotia minor; 16 Eunotia sp1.



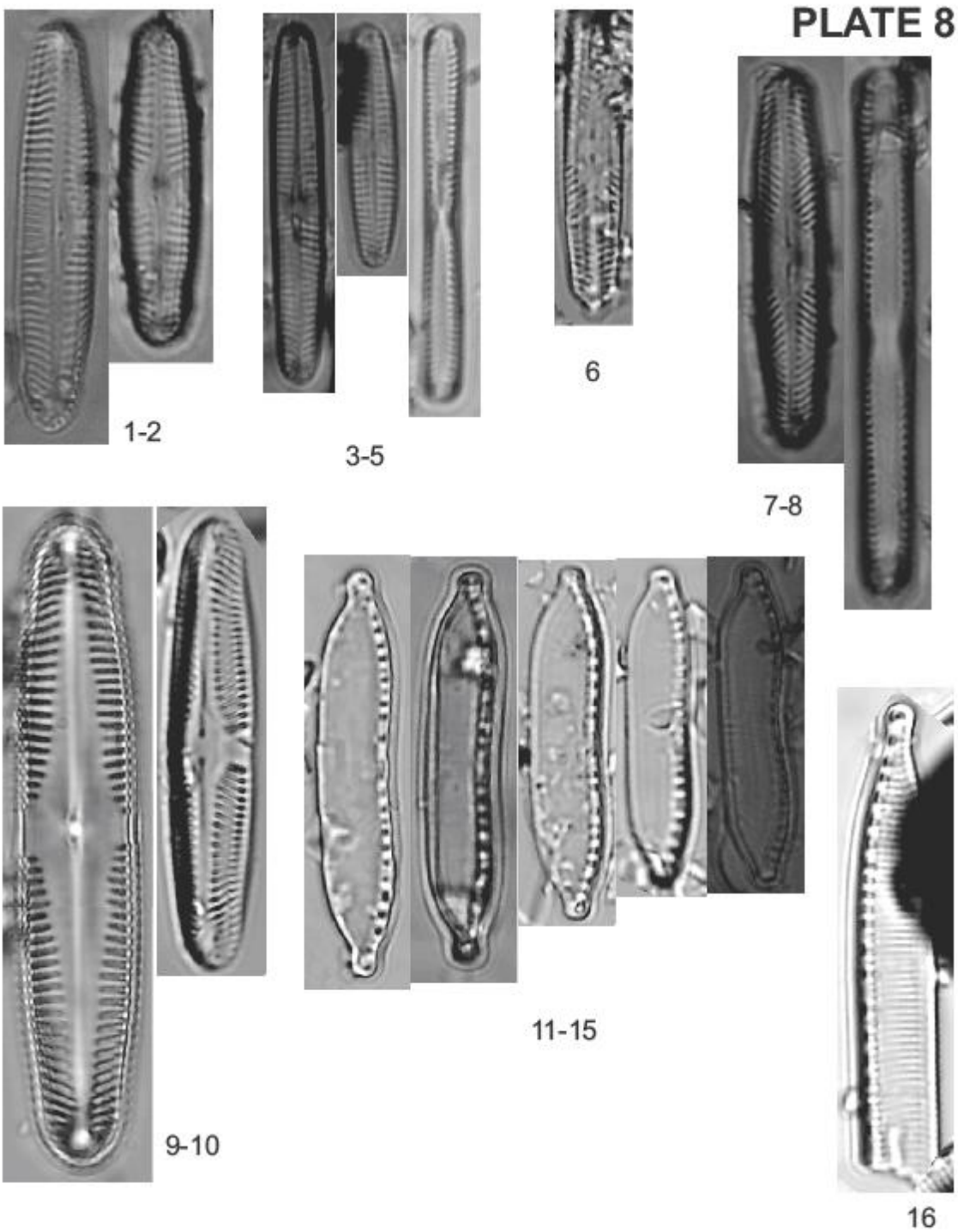
Género: Gomphonema
1-6 Gomphonema punae; 7-8 Gomphonema pumilum var. rigidum; 9-12 Gomphonema minutum; 13-15 Gomphonema exilissimum; 16 Gomphonema truncatum; 17 -18 Gomphonema affine; 19 Gomphonema sp2.



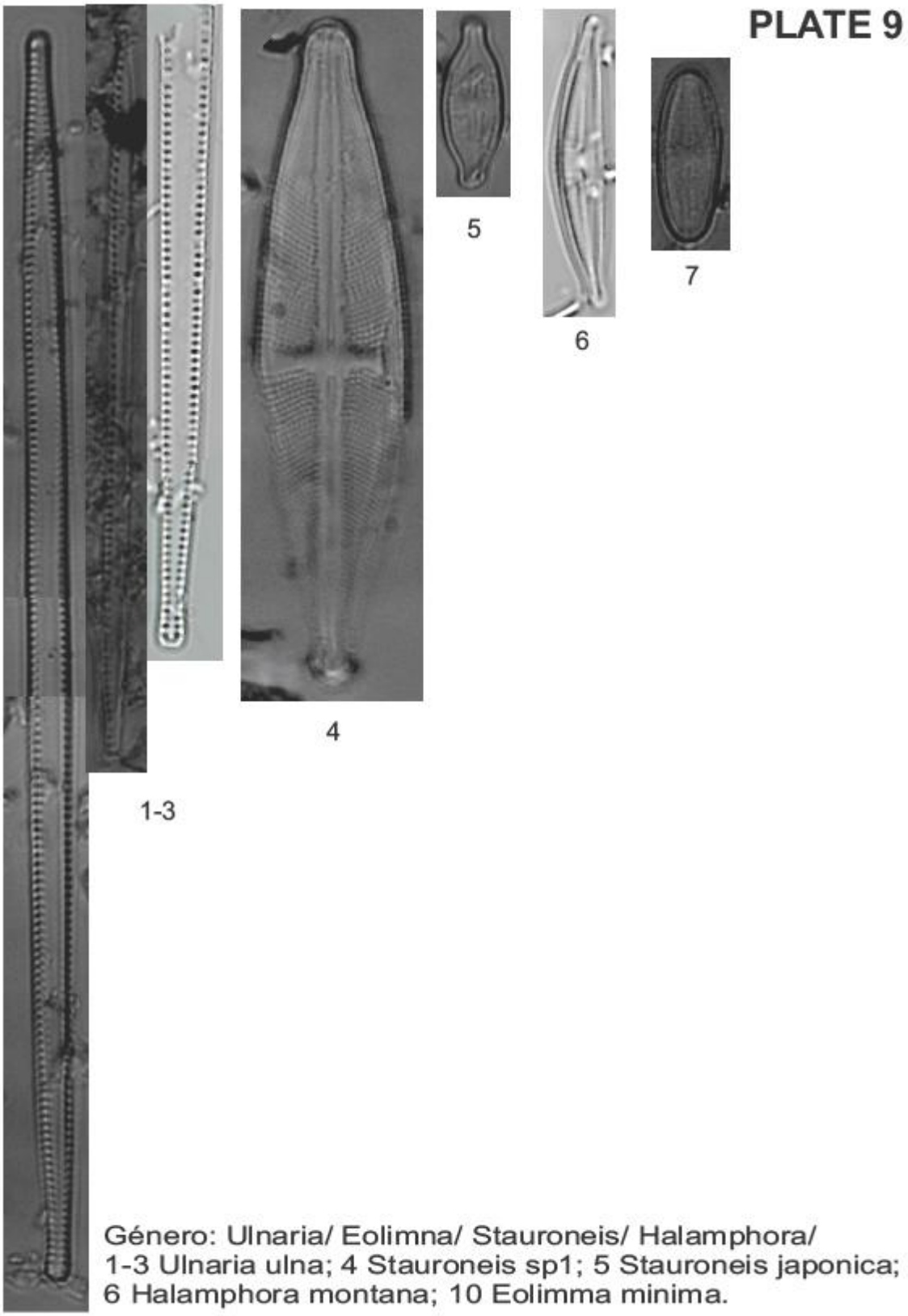
Género: Achnanthes/ Luticola/ Diatoma
1 Achnanthes inflata; 2-6 Luticola tomessi; 7-8 Luticola goeppertiana; 9-11 Luticola acidoclinata; 12-18 Odontidium mesodon.



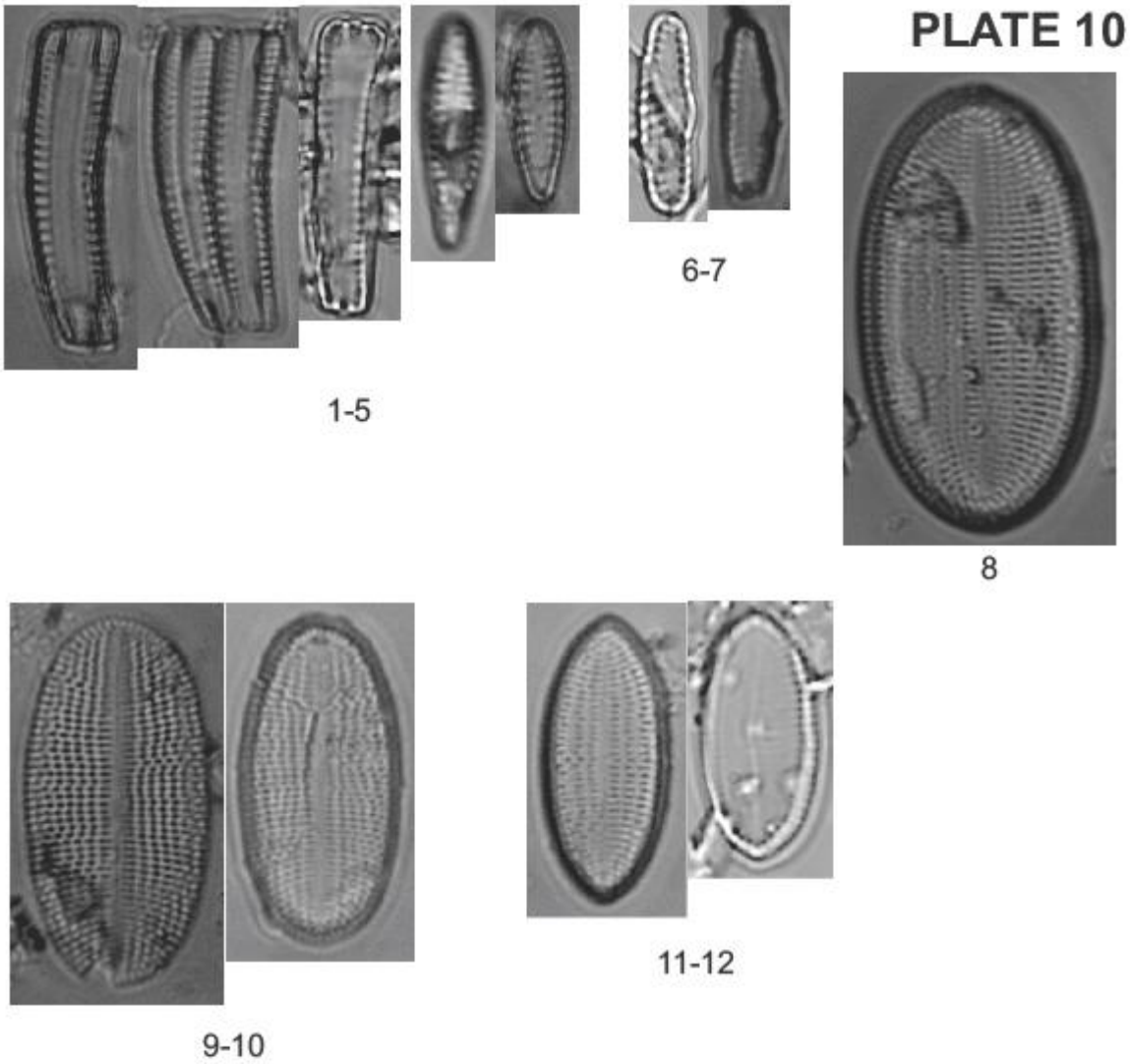
Género: Pinnularia
1-6 Pnnularia borealis; 7 Pinnularia rabenhorstii; 8-10 Pinnularia brebissonii;
11-13 Pinnularia borrealis var. lanceolata; 14 Pinnularia saprophila; 15 Pinnularia sp1;
16 Pinnularia sp2.



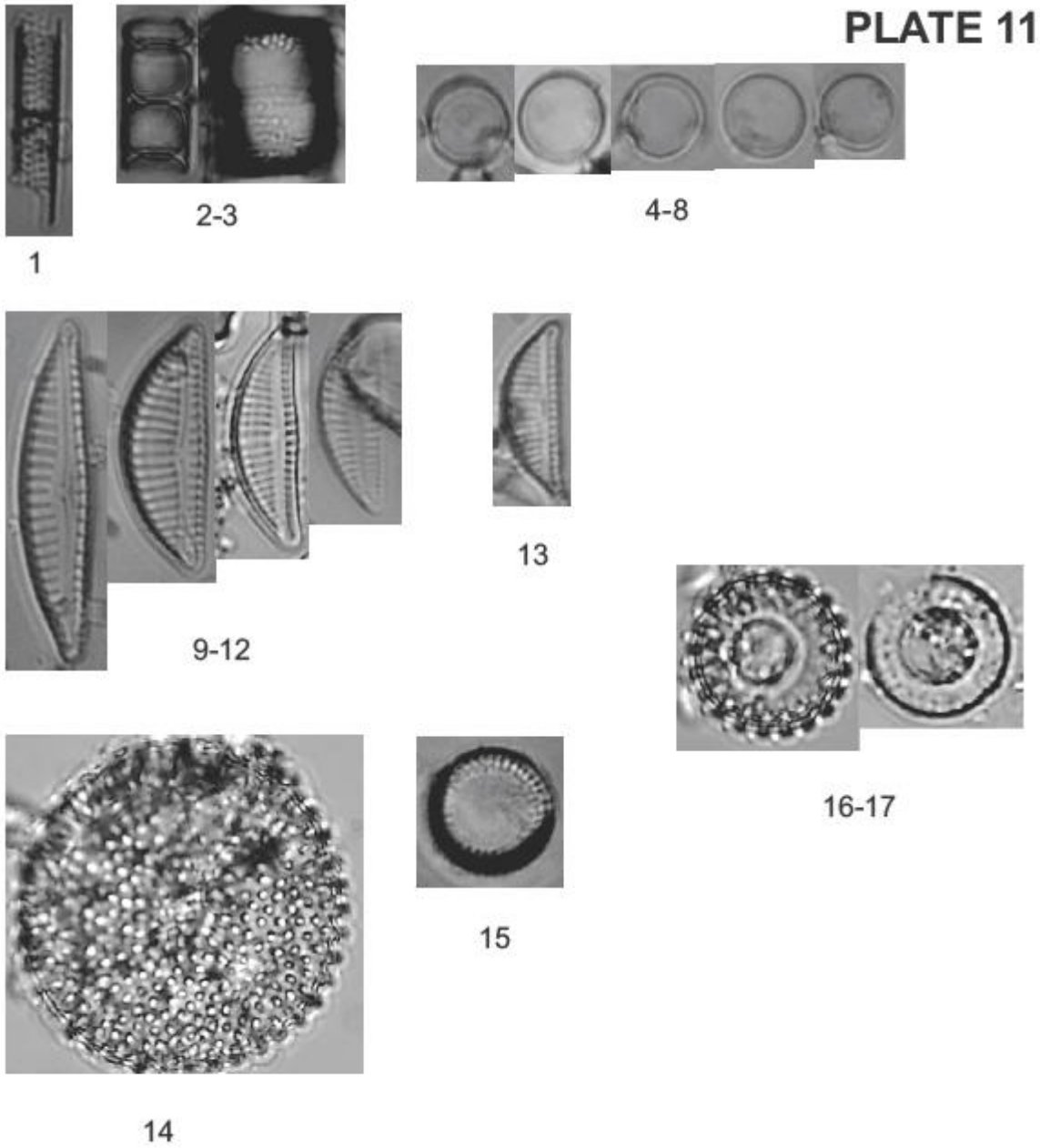
Género: Pinnularia/ Hantzschia
1-2 Pinnularia saprophilum; 3-5 Pinnularia sp3; 6 Pinnularia sp4;
7-8 Pinnularia gibba; 9-10 Pinnularia microstauron;
11-15 Hantzschia amphioxys; 16 Hantzschia sp1.



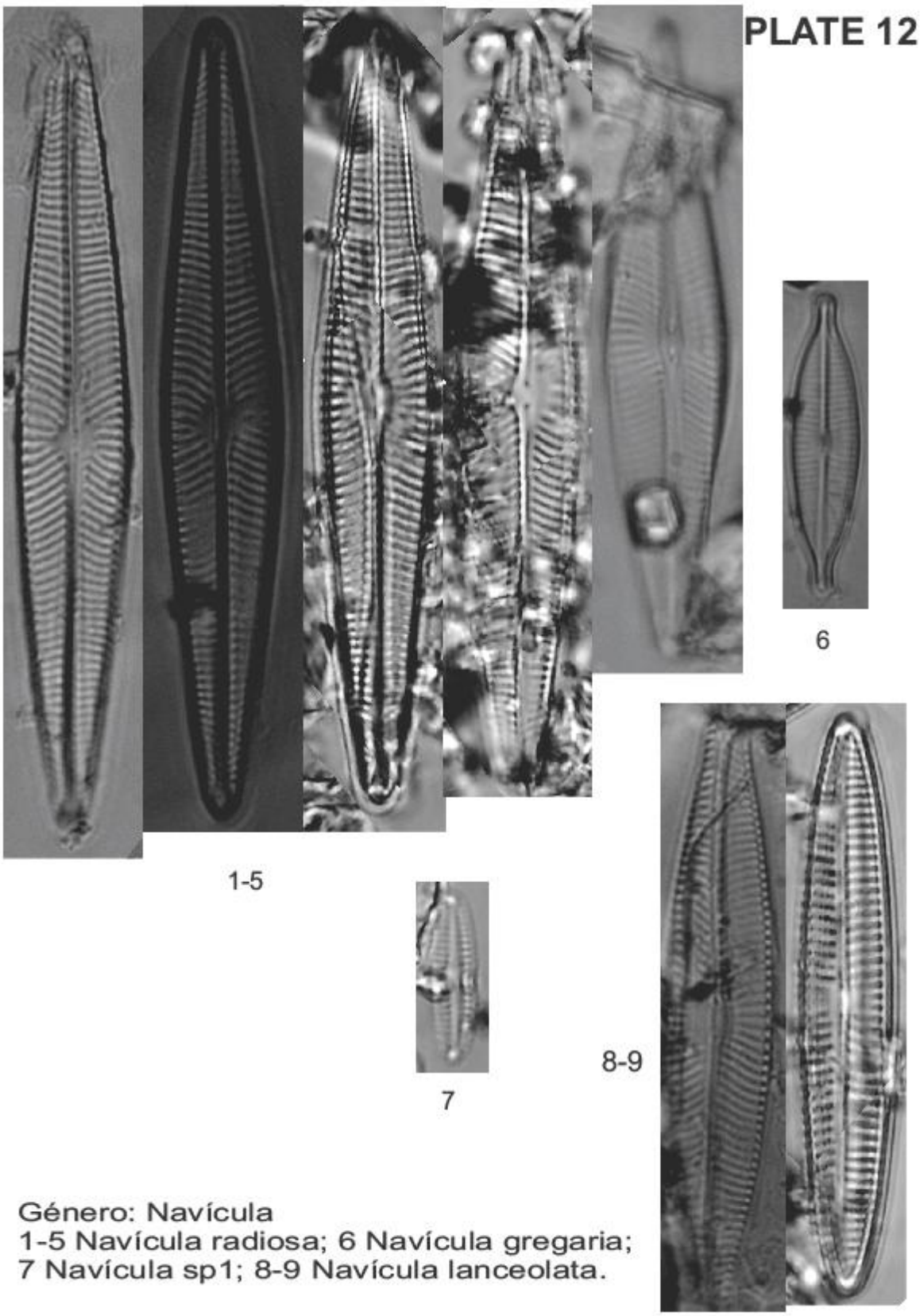
Género: Ulnaria/ Eolimna/ Stauroneis/ Halamphora/
1-3 Ulnaria ulna; 4 Stauroneis sp1; 5 Stauroneis japonica;
6 Halamphora montana; 10 Eolimma minima.



Género: Rhoicosphenia/ Reimeria /Cocconeis
1-5 Rhoicosphenia abbreviata; 6-7 Reimeria sinuata; 8 Cocconeis euglypta; 9-10 Cocconeis lineata; 11-12 Cocconeis placentula



Género: Aulacoseira/ Melosira/ Encyonema/ Cyclotella/ Stephanodiscus
1 Aulacoseira granulata var. angustissima; 2-3 Aulacoseira muzzanensis;
4-8 Melosira varians; 9-12 Encyonema silesiacum; 13 Encyonema miutum;
14 Cyclotella kingstonii; 15 Cyclotella quillensis;
16-17 Stephanodiscus parvus.



Género: Navícula
1-5 Navícula radiosa; 6 Navícula gregaria;
7 Navícula sp1; 8-9 Navícula lanceolata.

ANEXO 2

#	ESPECIES	CAY1	CAY3	CAY4	CAY5	CAY6	CAY8	CAY9	CAY10	CAY14	CAY15	CAY16	CAY18	CAY21	CAY23	CAY25	CAY27	CAY28
1	*Achnanthes inflata*		1															
2	*Aulacoseira granulata var. angustissima*										1							
3	*Aulacoseira muzzanensis*									1								
4	*Cocconeis euglypta*							1										
5	*Cocconeis lineata*											1						
6	*Cocconeis placentula*																	
7	*Cyclotella kingstonii*																	
8	*Cyclotella quillensis*																	
9	*Encyonema miutum*																	
10	*Encyonema silesiacum*										3							
11	*Eolimma minima*				1													
12	*Eunotia minor*																	
13	*Eunotia sp1*		1															
14	*Fragilaria tenera*								1						1			
15	*Fragilaria vaucheriae*		1									2	1					
16	*Gomphonema affine*																	
17	*Gomphonema exilissimum*												2					
18	*Gomphonema minutum*							2										
19	*Gomphonema pumilum var. rigidum*		1															
20	*Gomphonema punae*		2	1			3		1		2	3			1	1		
21	*Gomphonema sp2*														2			

22	*Gomphonema truncatum*																	
23	*Halamphora montana*																	
24	*Hannaea arcus*		9	3	1		3		2	1	1	4				4		
25	*Hantzschia amphioxys*		2	1	1	2							1			1		
26	*Hantzschia sp1*																	
27	*Luticola acidoclinata*										1							
28	*Luticola goeppertiana*					1												
29	*Luticola tomessi*		5			2	2											
30	*Melosira varians*										12							
31	*Navicula gregaria*								1			1						
32	*Navicula lanceolata*											1						
33	*Navicula radiosa*										1				1			1
34	*Navicula sp1*																	
35	*Nitzschia dissipata*																	
36	*Nitzschia linearis*																	
37	*Nitzschia media*					1										1		
38	*Nitzschia paleaformis*	1	1				1		1		5							1
39	*Nitzschia sp1*		1															
40	*Odontidium mesodon*	1	1	6			2		2		2	1			2	4		1
41	*Pinnularia borealis*			1	2		1									1		
42	*Pinnularia borrealis var. lanceolata*					2				1	1			1				
43	*Pinnularia brebissonii*																	
44	*Pinnularia gibba*								1						1			
45	*Pinnularia microstauron*																	
46	*Pinnularia rabenhorstii*																	

47	*Pinnularia saprophila*		1															
48	*Pinnularia saprophilum*										1							
49	*Pinnularia sp1*		1															
50	*Pinnularia sp2*																	
51	*Pinnularia sp3*	16				52	186			20								
52	*Pinnularia sp4*																	
53	*Placoneis sp1*		1															
54	*Planothidium biporomum*																	
55	*Planothidium lanceolatum*	12	2									1		1				
56	*Psammothidium germainii*	66	167	15	15	74	94		13	10	1		7	6	7	5		
57	*Reimeria sinuata*							1										
58	*Rhoicosphenia abbreviata*							1	1		1				1			
59	*Sellaphora atomoides*		21	4	16				5	1		1						
60	*Sellaphora sp2*			1														
61	*Sellaphora sp3*																	
62	*Stauroneis japonica*						1											
63	*Stauroneis sp1*											1						
64	*Staurosira construens*											1						
65	*Stenopterobia krammeri*		1												1	1		
66	*Stephanodiscus parvus*																	
67	*Tabellaria flocculosa var. andina*						1											
68	*Tabellaria flocculosa var. floculossa*	1			1													
69	*Ulnaria ulna*		1				1											
	ABUNDANCIA TOTAL	97	220	32	37	134	295	5	28	34	32	17	11	8	17	18	0	3
	RIQUEZA DE ESPECIES	6	19	8	7	7	11	4	10	6	13	11	4	4	9	8	0	3

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

#	ESPECIES	CAY29	CAY31	CAY33	CAY34	CAY35	CAY36	CAY37	CAY38	CAY39	CAY40	CAY41	CAY43	CAY46	CAY47	CAY49	CAY50	CAY51
1	*Achnanthes inflata*																	
2	*Aulacoseira granulata var. angustissima*																	
3	*Aulacoseira muzzanensis*	1																
4	*Cocconeis euglypta*																	
5	*Cocconeis lineata*				1													
6	*Cocconeis placentula*	2													1			
7	*Cyclotella kingstonii*														2			
8	*Cyclotella quillensis*	1																
9	*Encyonema miutum*	1																
10	*Encyonema silesiacum*													1				
11	*Eolimma minima*																	
12	*Eunotia minor*								1									
13	*Eunotia sp1*																	
14	*Fragilaria tenera*	1																
15	*Fragilaria vaucheriae*	1								2		1		1				
16	*Gomphonema affine*	3											1					
17	*Gomphonema exilissimum*															1		
18	*Gomphonema minutum*									1				1				
19	*Gomphonema pumilum var. rigidum*									1								
20	*Gomphonema punae*	1								3		1						1
21	*Gomphonema sp2*																	
22	*Gomphonema truncatum*	1																
23	*Halamphora montana*														1			
24	*Hannaea arcus*							4	3	7	1			4	15			
25	*Hantzschia amphioxys*								4	2	1		1		2			

26	*Hantzschia sp1*														1			
27	*Luticola acidoclinata*				1				1									
28	*Luticola goeppertiana*				1													
29	*Luticola tomessi*	1																
30	*Melosira varians*							1										
31	*Navicula gregaria*																	
32	*Navicula lanceolata*									1								
33	*Navicula radiosa*	1							1							1		
34	*Navicula sp1*									1								
35	*Nitzschia dissipata*	2																
36	*Nitzschia linearis*									1				1				
37	*Nitzschia media*								1	3					1			
38	*Nitzschia paleaformis*	2							1	2				1	5			
39	*Nitzschia sp1*																	
40	*Odontidium mesodon*	3									1				5			
41	*Pinnularia borealis*	1							1		4							
42	*Pinnularia borrealis var. lanceolata*																	
43	*Pinnularia brebissonii*			17														
44	*Pinnularia gibba*									1					1			
45	*Pinnularia microstauron*													2				
46	*Pinnularia rabenhorstii*		1															
47	*Pinnularia saprophila*																	
48	*Pinnularia saprophilum*	1																
49	*Pinnularia sp1*																	
50	*Pinnularia sp2*													1				
51	*Pinnularia sp3*				9			1										
52	*Pinnularia sp4*								1									

53	*Placoneis sp1*																	
54	*Planothidium biporomum*																	
55	*Planothidium lanceolatum*	1			1				2	2	3			1				
56	*Psammothidium germainii*	7		12	25	29	9	33	60	157	120	19	46	36	65	37	9	22
57	*Reimeria sinuata*													1				
58	*Rhoicosphenia abbreviata*								1									
59	*Sellaphora atomoides*		1	3		2	1	15	58	108	131	29	2					6
60	*Sellaphora sp2*																	
61	*Sellaphora sp3*									1								
62	*Stauroneis japonica*																	
63	*Stauroneis sp1*																	
64	*Staurosira construens*														1			
65	*Stenopterobia krammeri*																	
66	*Stephanodiscus parvus*												1					
67	*Tabellaria flocculosa var. andina*																	
68	*Tabellaria flocculosa var. floculossa*					1												
69	*Ulnaria ulna*														2			
	ABUNDANCIA TOTAL	31	2	32	38	32	10	54	135	293	261	50	51	50	102	39	9	29
	RIQUEZA DE ESPECIES	18	2	3	6	3	2	5	13	16	7	4	5	11	13	3	1	3

Análisis de la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Cayambe, Ecuador.

#	ESPECIES	CAY52	CAY53	CAY54	CAY56	CAY58	CAY59	CAY60	CAY61	CAY62	CAY63	CAY64	CAY65	AA	AR %	FA	FR %
1	*Achnanthes inflata*													1	0,040	1	0,36
2	*Aulacoseira granulata var. angustissima*													1	0,040	1	0,36
3	*Aulacoseira muzzanensis*													2	0,081	2	0,72
4	*Cocconeis euglypta*													1	0,040	1	0,36
5	*Cocconeis lineata*													2	0,081	2	0,72
6	*Cocconeis placentula*													3	0,121	2	0,72
7	*Cyclotella kingstonii*													2	0,081	1	0,36
8	*Cyclotella quillensis*													1	0,040	1	0,36
9	*Encyonema miutum*													1	0,040	1	0,36
10	*Encyonema silesiacum*													4	0,161	2	0,72
11	*Eolimma minima*													1	0,040	1	0,36
12	*Eunotia minor*													1	0,040	1	0,36
13	*Eunotia sp1*													1	0,040	1	0,36
14	*Fragilaria tenera*													3	0,121	3	1,08
15	*Fragilaria vaucheriae*													9	0,362	7	2,53
16	*Gomphonema affine*					1								5	0,201	3	1,08
17	*Gomphonema exilissimum*													3	0,121	2	0,72
18	*Gomphonema minutum*													4	0,161	3	1,08
19	*Gomphonema pumilum var. rigidum*													2	0,081	2	0,72
20	*Gomphonema punae*													20	0,805	12	4,33
21	*Gomphonema sp2*													2	0,081	1	0,36
22	*Gomphonema truncatum*													1	0,040	1	0,36
23	*Halamphora montana*													1	0,040	1	0,36
24	*Hannaea arcus*													62	2,497	15	5,42

25	*Hantzschia amphioxys*			1							2			21	0,846	13	4,69
26	*Hantzschia sp1*													1	0,040	1	0,36
27	*Luticola acidoclinata*							1						4	0,161	4	1,44
28	*Luticola goeppertiana*													2	0,081	2	0,72
29	*Luticola tomessi*													10	0,403	4	1,44
30	*Melosira varians*													13	0,524	2	0,72
31	*Navicula gregaria*													2	0,081	2	0,72
32	*Navicula lanceolata*													2	0,081	2	0,72
33	*Navicula radiosa*					1								7	0,282	7	2,53
34	*Navicula sp1*													1	0,040	1	0,36
35	*Nitzschia dissipata*													2	0,081	1	0,36
36	*Nitzschia linearis*													2	0,081	2	0,72
37	*Nitzschia media*													7	0,282	5	1,81
38	*Nitzschia paleaformis*				2									23	0,926	12	4,33
39	*Nitzschia sp1*										1			2	0,081	2	0,72
40	*Odontidium mesodon*													31	1,248	14	5,05
41	*Pinnularia borealis*				1									12	0,483	8	2,89
42	*Pinnularia borrealis var. lanceolata*													5	0,201	4	1,44
43	*Pinnularia brebissonii*													17	0,685	1	0,36
44	*Pinnularia gibba*													4	0,161	4	1,44
45	*Pinnularia microstauron*													2	0,081	1	0,36
46	*Pinnularia rabenhorstii*													1	0,040	1	0,36
47	*Pinnularia saprophila*													1	0,040	1	0,36
48	*Pinnularia saprophilum*													2	0,081	2	0,72
49	*Pinnularia sp1*													1	0,040	1	0,36
50	*Pinnularia sp2*													1	0,040	1	0,36
51	*Pinnularia sp3*										1			285	11,478	7	2,53

52	*Pinnularia sp4*													1	0,040	1	0,36
53	*Placoneis sp1*													1	0,040	1	0,36
54	*Planothidium biporomum*				1									1	0,040	1	0,36
55	*Planothidium lanceolatum*				1	5				1				33	1,329	13	4,69
56	*Psammothidium germainii*	21		17	10	16	25	50	9	19	30	13	7	1383	55,699	40	14,4
57	*Reimeria sinuata*													2	0,081	2	0,72
58	*Rhoicosphenia abbreviata*													5	0,201	5	1,81
59	*Sellaphora atomoides*	7		5			4	13	3	3	1	5		445	17,922	25	9,03
60	*Sellaphora sp2*													1	0,040	1	0,36
61	*Sellaphora sp3*													1	0,040	1	0,36
62	*Stauroneis japonica*													1	0,040	1	0,36
63	*Stauroneis sp1*													1	0,040	1	0,36
64	*Staurosira construens*													2	0,081	2	0,72
65	*Stenopterobia krammeri*													3	0,121	3	1,08
66	*Stephanodiscus parvus*													1	0,040	1	0,36
67	*Tabellaria flocculosa var. andina*													1	0,040	1	0,36
68	*Tabellaria flocculosa var. floculossa*													3	0,121	3	1,08
69	*Ulnaria ulna*													4	0,161	3	1,08
	ABUNDANCIA TOTAL	28	0	23	15	23	29	64	12	23	35	18	7	2483	100	277	100
	RIQUEZA DE ESPECIES	2	0	3	5	4	2	3	2	3	5	2	1				
	Numero de muestras TOTAL	46															

ANEXO 3

IDplaca	#muestra	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (cm)	Área (cm2)	Volume (cm3)	
CAY1	P1	0°00´55.11" N	78°00´18.11" O	4872	5	6	30	
CAY3	P2	0°00´54.35" N	78°00´17.62" O	4871	10	6	60	
CAY4	P3	0°00´54.20" N	78°00´17.59" O	4874	9	10	90	
CAY5	P4	0°00´54.37" N	78°00´17.21" O	4876	23	18	414	
CAY6	P5	0°00´54.39" N	78°00´17.25" O	4876	15	10	150	
CAY8	P6	0°00´54.82" N	78°00´17.97" O	4871	20	18	360	
CAY9	P7	0°00´54.97" N	78°00´18.09" O	4870	11	20	220	
CAY10	P8	0°00´54.94" N	78°00´18.02" O	4871	8	9	72	
CAY14	P9	0°00´53.23" N	78°00´17.21" O	4869	3	9	27	
CAY15	P10	0°00´53.45" N	78°00´17.22" O	4869	4	2	8	
CAY16	P11	0°00´53.33" N	78°00´17.13" O	4870	8	4	32	
CAY18	P12	0°00´53.41" N	78°00´17.08" O	4871	5	4	20	
CAY21	P13	0°00´53.27" N	78°00´17.09" O	4870	7	5	35	
CAY23	P14	0°00´53.30" N	78°00´17.07" O	4870	10	8	80	
CAY25	P15	0°00´55.66" N	78°00´18.57" O	4869	5	4	20	**BAJO**
CAY27	P16	0°00´55.53" N	78°00´18.25" O	4873	9	6	54	
CAY28	P17	0°00´55.64" N	78°00´18.45" O	4871	12	12	144	
CAY29	P18	0°00´55.81" N	78°00´18.22" O	4875	16	16	256	
CAY31	P19	0°00´55.29" N	78°00´17.40" O	4877	7	6	42	
CAY33	P20	0°00´56.59" N	78°00´18.50" O	4877	3	12	36	
CAY34	P21	0°00´56.67" N	78°00´18.58" O	4877	4	3	12	
CAY35	P22	0°00´56.66" N	78°00´18.56" O	4877	8	6	48	
CAY36	P23	0°00´56.72" N	78°00´18.51" O	4878	10	9	90	

CAY37	P24	0°00´56.69" N	78°00´18.48" O	4878	14	10	140	
CAY38	P25	0°00´56.71" N	78°00´18.50" O	4878	16	12	192	
CAY39	P26	0°00´56.65" N	78°00´18.00" O	4883	10	4	40	
CAY40	P27	0°00´56.82" N	78°00´18.86" O	4884	4	3	12	
CAY41	P28	0°00´56.72" N	78°00´18.11" O	4882	8	4	32	
CAY43	P29	0°00´57.13" N	78°00´17.67" O	4891	6	8	48	**MEDIO**
CAY46	P30	0°00´57.79" N	78°00´17.93" O	4892	12	12	144	
CAY47	P31	0°00´58.18" N	78°00´17.69" O	4898	5	6	30	
CAY49	P32	0°00´58.14" N	78°00´17.33" O	4902	14	12	168	
CAY50	P33	0°00´57.28" N	78°00´16.77" O	4902	18	10	180	
CAY51	P34	0°00´57.12" N	78°00´16.67" O	4903	6	6	36	
CAY52	P35	0°00´58.03" N	78°00´16.49" O	4912	8	8	64	
CAY53	P36	0°00´56.13" N	78°00´15.46" O	4910	12	6	72	
CAY54	P37	0°00´58.18" N	78°00´15.93" O	4919	5	16	80	
CAY56	P38	0°00´58.35" N	78°00´15.53" O	4925	9	9	81	
CAY58	P39	0°00´58.23" N	78°00´15.07" O	4930	35	18	630	
CAY59	P40	0°00´58.28" N	78°00´14.25" O	4935	7	4	28	
CAY60	P41	0°00´58.58" N	78°00´15.10" O	4932	12	13	156	
CAY61	P42	0°00´58.18" N	78°00´14.87" O	4932	6	4	24	
CAY62	P43	0°00´57.69 N	78°00´14.43" O	4934	4	6	24	
CAY63	P44	0°00´57.38" N	78°00´14.21" O	4935	6	4	24	
CAY64	P45	0°00´56.77" N	78°00´13.86" O	4935	4	2	8	
CAY65	P46	0°00´57.10" N	78°00´13.91" O	4936	2	1	2	**ALTO**

ANEXO 4

	CAY1	CAY3	CAY4	CAY5	CAY6	CAY8	CAY9	CAY10	CAY14	CAY15	CAY16	CAY18	CAY21	CAY23	CAY25	CAY28
Taxa_S	6	19	8	7	7	11	4	10	6	13	11	4	3	9	8	3
Individuals	97	220	32	37	134	295	5	28	34	32	17	11	8	17	18	3
Simpson_(λ)	0,499	0,414	0,740	0,661	0,548	0,502	0,900	0,762	0,581	0,837	0,927	0,600	0,464	0,831	0,856	1,000
Shannon_(H')	0,985	1,114	1,693	1,358	0,979	0,930	1,632	1,916	1,160	2,280	2,526	1,170	0,861	2,104	2,022	1,432
Equitability_(J')	0,550	0,378	0,814	0,698	0,503	0,388	1,177	0,832	0,648	0,889	1,053	0,844	0,783	0,958	0,972	1,303

	CAY29	CAY31	CAY33	CAY34	CAY35	CAY36	CAY37	CAY38	CAY39	CAY40	CAY41	CAY43	CAY46	CAY47	CAY49	CAY50
Taxa_S	18	2	3	6	3	2	5	13	16	7	4	5	11	13	3	1
Individuals	31	2	32	38	32	10	54	135	293	261	50	51	50	102	39	9
Simpson_(λ)	0,936	1,000	0,587	0,522	0,179	0,200	0,554	0,621	0,578	0,538	0,529	0,188	0,480	0,571	0,101	0,000
Shannon_(H')	2,922	0,943	0,957	1,065	0,402	0,375	1,034	1,310	1,183	0,894	0,870	0,491	1,293	1,427	0,264	0,000
Equitability_(J')	1,011	1,361	0,871	0,595	0,366	0,541	0,643	0,511	0,427	0,460	0,628	0,305	0,539	0,556	0,240	

	CAY51	CAY52	CAY54	CAY56	CAY58	CAY59	CAY60	CAY61	CAY62	CAY63	CAY64	CAY65	
Taxa_S	3	2	3	5	4	2	3	2	3	5	2	1	
Individuals	29	28	23	15	23	29	64	12	23	35	18	7	**PROMEDIO**
Simpson_(λ)	0,394	0,389	0,423	0,562	0,486	0,246	0,354	0,409	0,312	0,267	0,425	0,000	0,522
Shannon_(H')	0,686	0,580	0,735	1,214	0,922	0,418	0,597	0,604	0,603	0,658	0,619	0,000	1,073
Equitability_(J')	0,625	0,837	0,669	0,754	0,665	0,604	0,544	0,871	0,549	0,409	0,893		0,697