



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EN CRIOCONITAS DEL VOLCÁN ANTISANA,
ECUADOR.**

Realizado por:

CARLOS RENÉ SILVA CORDONES

Director del proyecto:

JENNIFER PAOLA MOYÓN DÁVILA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Quito, 22 de marzo del 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CARLOS RENE SILVA CORDONES, con cédula de identidad # 1752829117, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de 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

175282911-7

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EN CRIOCONITAS DEL VOLCÁN ANTISANA,
ECUADOR.**

Realizado por:

CARLOS RENÉ SILVA CORDONES

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Ha sido dirigido por el profesor:

JENNIFER PAOLA MOYÓN DÁVILA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor.

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:


Ph D. JUAN CARLOS NAVARRO CASTRO

Ing. MANUEL ANDRÉS HERRERA YELA

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



FIRMA



FIRMA

Quito, 22 de marzo del 2024

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

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a mis padres por todo el apoyo incondicional durante estos años de mi carrera, junto con mi hermano y familia en general.

Especial agradecimiento a Amy por todo su aporte y apoyo constante.

Agradezco a mis compañeros y personas que dieron paso a la culminación del proyecto.

Resumen

Los glaciares tropicales andinos, reconocidos como fuente principal de suministro de recursos hídricos, demandan una constante necesidad de monitoreos y caracterización, dada la importancia estratégica del ecosistema. Las diatomeas constituyen un grupo de microorganismos unicelulares, destacando como comunidades fundamentales de los ecosistemas que emergen en la zona de ablación de los glaciares, organismos los cuales denotan sensibilidad a variaciones y estrés ambiental. Antisana, uno de los volcanes más representativos del territorio ecuatoriano, alberga especies que han sido capaces de adaptarse a microecosistemas como las crioconitas. En el año 2023, durante el mes de abril, se llevó a cabo un análisis de clasificación morfológica por metodología óptica clásica, donde se determinó a *Gomphonema parvulum*, *Hantzschia amphioxys* y el complejo de *Pinnularias* como especies más representativas, determinando de esta manera una divergencia en los registros de referencia realizados en 2018. Adicionalmente, se observó una alta cantidad de individuos de identificación única, sugiriendo así la posibilidad de que dichos ejemplares se vean afectados por corrientes eólicas, reafirmando su carácter aerófilo. Este fenómeno sugiere la probable cinética de las diatomeas entre ecosistemas y enriquecimiento biológico de crioconitas.

Palabras clave: *Glaciares tropicales, Crioconitas, Diatomeas, Análisis óptico, Aerófilo.*

Abstract

The Andean tropical glaciers, recognized as the primary source of water resources, demand a continuous monitoring and characterization due to the strategic importance of the ecosystem. Diatoms, which constitute a group of unicellular microorganisms, stand out as fundamental agents in ecosystems emerging in the ablation zone of glaciers, displaying sensitivity to environmental variations and stress. Antisana, one of the most representative volcanoes in the Ecuadorian territory, harbors communities that have successfully adapted to microecosystems such as cryoconites. In the year 2023, during the month of April, a morphological classification analysis was conducted using classical optical methodology. This analysis identified *Gomphonema parvulum*, *Hantzschia amphioxys*, and the *Pinnularia* complex as the most representative species, indicating a substantial change in communities in contrast to reference data from the area in 2018. Additionally, a significant number of individuals with unique identification were observed, suggesting the potential influence of wind currents, thereby reaffirming their aerophilic nature. This phenomenon hints at the probable kinetic transport of diatoms between ecosystems and the biological enrichment of cryoconites.

Keywords: *Tropical glaciers, Cryoconites, Diatoms, Optical analysis, Aerophilic.*

Introducción

La creciente problemática derivada del cambio climático y su inminente impacto ha generado un interés en monitorear el estado ecológico de las aguas continentales, en particular, focalizando el área de estudio en el uso de bioindicadores, marcando el desarrollo de investigaciones basadas en la caracterización de la diversidad de individuos presentes en los distintos entornos.

Ecuador, es un país que posee abundante riqueza tanto en macro como micro ecosistemas, caracterizado por la heterogeneidad en condiciones ambientales, los cuales albergan una variedad de comunidades de organismos y microorganismos (Bravo, 2014). En el contexto geográfico ecuatoriano destacan las fuentes hidrográficas de agua dulce que corresponden a ríos, lagos, lagunas, glaciares, que se hallan distribuidas a lo largo del callejón interandino.

Las cordilleras andinas albergan una gran cantidad de estratovolcanes occidentales como el Chimborazo y Carihuairazo, así como volcanes orientales como Cayambe, Sangay y Antisana. En este contexto geográfico se registra un listado de 17 glaciares según documentación de Hastenrath (1981) Jordan (1998).

Particularmente relevante es el sistema glaciar que recubre a la reserva ecológica Antisana, donde se asienta el glaciar 15, el cual ha sido objeto de diversos estudios relacionados al volumen, integridad y deterioro del ecosistema (Cáceres, 2010). El control de estos entornos reviste una importancia fundamental, ya que constituyen fuentes primordiales de abastecimiento de agua para las zonas rurales y urbanas adyacentes. Un monitoreo apropiado de las fuentes de origen del recurso hídrico puede ser determinante para evaluar condiciones y calidad del suministro de agua (Yáñez et al., 2017).

Uno de los micro ecosistemas primordiales que se desarrollan en el interior de un sistema glaciar son las crioconitas, las cuales son nichos de en la superficie del hielo que surgen como

resultado de la ablación eólica de partículas con una notable capacidad de absorción de radiación solar, las mismas que se adhieren a la superficie y funden gradualmente la capa de hielo circundante hasta alcanzar un equilibrio térmico del sedimento y el entorno (Foreman et al., 2007). Estos orificios se caracterizan por ser microcosmos enriquecidos que, haciendo uso de las ventajas inherentes a su estructura, establecen un entorno que simulan condiciones de efecto invernadero. Este fenómeno favorece la proliferación de comunidades de microorganismos en su interior entre los que destacan bacterias, microalgas y virus (MacDonell & Fitzsimons, 2008). Investigaciones centradas en comunidades de crioconitas señalan que la mayor abundancia de individuos se encuentra dentro de las partículas granulares del sedimento, mientras que la presencia en la fase líquida es significativamente menos numerosa en términos porcentuales (Cameron et al., 2012).

Dentro del grupo de microalgas, se hallan las diatomeas, microorganismos unicelulares, fotosintéticos de las cuales se tiene registro de más de 100,000 especies (Mann & Vanormelingen, 2013), que a su vez se encuentran altamente distribuidos en ambientes acuáticos, que comprenden desde fuentes salinas hasta afluentes de agua dulce, así como áreas terrestres colindantes. Adicionalmente, se ha observado la presencia de diatomeas incluso en forma de aeroplankton, transportadas por vigorosas corrientes de aire (Kawecka' & Olech, 1993; Zimmermann et al., 2015).

Su importancia, más allá de sus diversas intervenciones en ciclos del fósforo, nitrógeno y silicio (Allen et al., 2006), radica en su notable capacidad de respuesta a condiciones de estrés medioambiental y su habilidad de desarrollar especies sensibles en cortos periodos de generaciones, por estos motivos se consideran un adecuado indicador biológico en el monitoreo de ecosistemas acuáticos (Ballesteros et al., 2020).

Las investigaciones basadas en diatomeas como agentes con impacto ecológico datan del año 1958 en el continente americano con Kociolek (1958-2014) con su publicación “The Diatoms of the United States” y en regiones orientales y europeas con publicaciones de Descy (1976), donde la identificación morfológica constituía el método predominante de clasificación. Con el transcurso de los años, se ha perfeccionado esta técnica hasta alcanzar un sistema estandarizado de identificación.

El modelo óptico clásico se fundamenta en la detección de características morfológicas de la pared celular compuesta de sílice denominada frústulo, la cual está conformada por dos valvas que se superponen, de modo que la sección superior, conocida como epivalva, recubre la unidad inferior, llamada hipovalva (Dell’Uomo, 2004).

Para llevar a cabo una asignación taxonómica adecuada, se determina la forma y tamaño de las valvas entre las que se distinguen estructuras centrales y pennadas, así mismo, se concentra en la distinción de patrones en la porosidad o detalles en la hendidura central prominente de las estructuras (rafe) y más aspectos asociados tales como estriado, areolas, forma de del ápice y más (Kilroy, 2004). La detección de todas estas características junto al contraste con la bibliografía existente, como son las Incografías o Bibliotecas Diatomológicas, referentes europeos de diatomeas y fuentes digitales, permite la asignación de un género o, a su vez, la suposición de la presencia de nuevos ejemplares.

El estudio y caracterización de comunidades de diatomeas en los ecosistemas es una corriente actual, prominente en regiones europeas y occidentales. En estas áreas, el sistema de control de calidad de aguas ha incorporado estándares específicos para la obtención de datos biológicos, facilitando así una referencia clara de la diversidad de diatomeas en la gran mayoría de fuentes hidrográficas de las regiones (ECS, 2003). En contraste, en el continente americano, con especial énfasis en las regiones tropicales y cadenas de glaciares andinos, su control y

caracterización es una temática de investigación en fases iniciales de desarrollo, donde se observa una gran falta de información tanto a lo que respecta especies, como comportamientos de las comunidades (Lobo et al., 2019).

Abordando la región del volcán Antisana como objeto de estudio, surge un desafío que requiere de especial atención, específicamente en la escasez de estudios orientados a la caracterización de las comunidades andinas de diatomeas. En los últimos años, se ha observado una creciente tendencia en el estudio de la diversidad de microorganismos acuáticos tropicales.

Estudios relevantes destacan como: la determinación de comunidades de diatomeas en zonas andinas (Castillejo et al., 2022), análisis de respuesta de diatomeas epilíticas frente a efectos de eutrofización (Castillejo et al., 2018), junto con publicaciones enfocadas en la caracterización de diversos ambientes, especialmente en el análisis ecológico de diatomeas en crioconitas del volcán Antisana (Chamorro et al. 2021).

En este último se abordaron aspectos fundamentales inherentes a las comunidades de los glaciares andinos, sugiriendo una relación limitada o ausente entre los factores fisicoquímicos del ambiente y las comunidades de diatomeas presentes en las crioconitas. Como conclusión derivada de este estudio, se postula la necesidad de profundizar en la investigación, enfocándose particularmente en la constante caracterización de comunidades de diatomeas en el microecosistema estudiado. Este planteamiento fundamenta la observación de que, hasta la fecha, existe una brecha sustancial en la comprensión de la dinámica de comunidades andinas ecuatorianas. La consideración detallada de una constante caracterización en futuras investigaciones permitirá obtener una perspectiva más completa y holística de la diversidad de estos microorganismos en el área de estudio.

Derivado del registro presentado se expone las siguientes **Hipótesis** la cual enfatiza en el hecho de que **H0**: *no existe abundancia de diatomeas en las crioconitas del volcán Antisana Ecuador,*

que se adaptan al entorno glaciar particular y a su vez no se apega a referencias de caracterizaciones del ambiente en el año 2018 **H1:** existe abundancia de diatomeas en las crioconitas del volcán Antisana Ecuador, que se adaptan al entorno glaciar particular y a su vez se apega a referencias de caracterizaciones del ambiente en el año 2018.

De esta forma, el **objetivo general** es; *Determinar la diversidad de diatomeas en crioconitas del volcán Antisana en el año 2023, mediante un análisis morfológico clásico, con el propósito de caracterizar el ecosistema, contribuyendo así al entendimiento de la biodiversidad holística presente. y objetivos específicos* *identificar taxonómicamente las variedades de diatomeas presentes en crioconitas del glaciar Antisana. y analizar la variabilidad inter e intra específica de las especies*

Materiales y métodos

El presente estudio empleó metodología que aborda fases centradas en actividades de campo, laboratorio y computacional, tal como se plasma en la **Figura 1**.

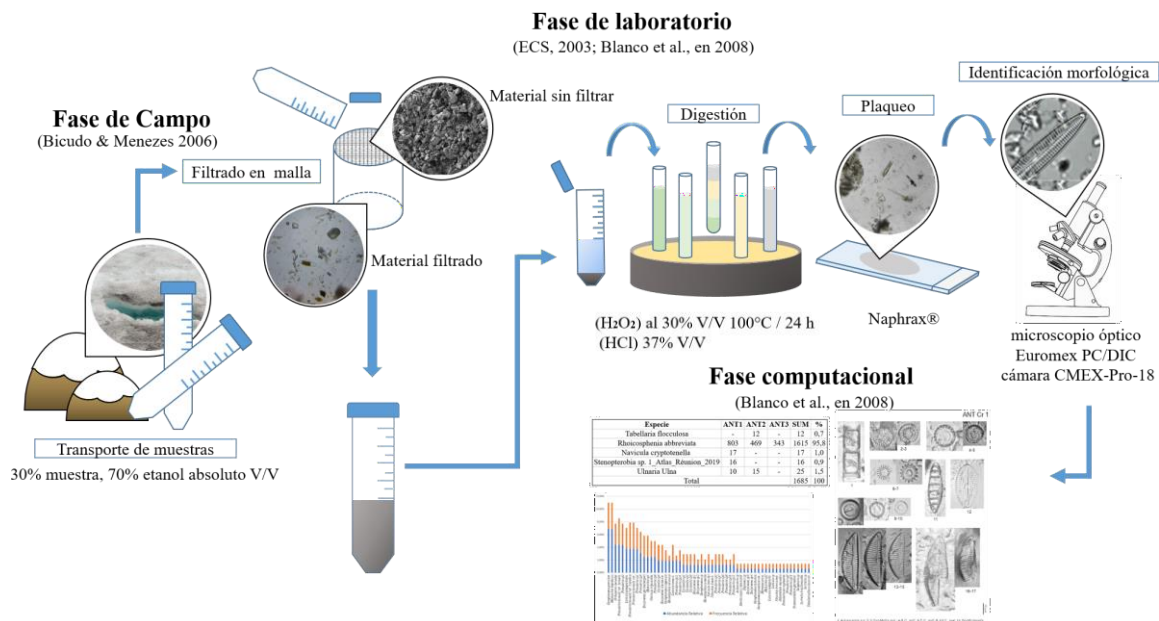


Figura 1.- Esquema gráfico de la metodología empleada para el presente estudio.

Sitio de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la reserva ecológica Antisana, la cual está situada en la cordillera Oriental de los Andes, abarcando las provincias de Napo y Pichincha en Ecuador. En esta área se encuentra el Volcán Antisana, un volcán activo que se eleva a una altitud de 5700 metros sobre el nivel del mar, en conjunto con una zona glaciaria que se extiende a partir de los 4800 metros, según datos proporcionados por Hall (2017) y Jumbo (2017) representado en la

Figura 2.

En adición, el glaciar de la reserva Antisana presenta condiciones ambientales características de un volcán andino, donde destacan sus constantes precipitaciones durante todo el año marcando un pico máximo en los meses de abril a junio con valores máximos de 100 mm de lluvia y un periodo de sequía de julio a octubre con un mínimo de 50 mm, (Consuelo & Chamorro, 2018) haciendo referencia a la temperatura, el glaciar, según registros planteados hasta el 2008 mantenía una media anual de $1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ (Mena, 2010).

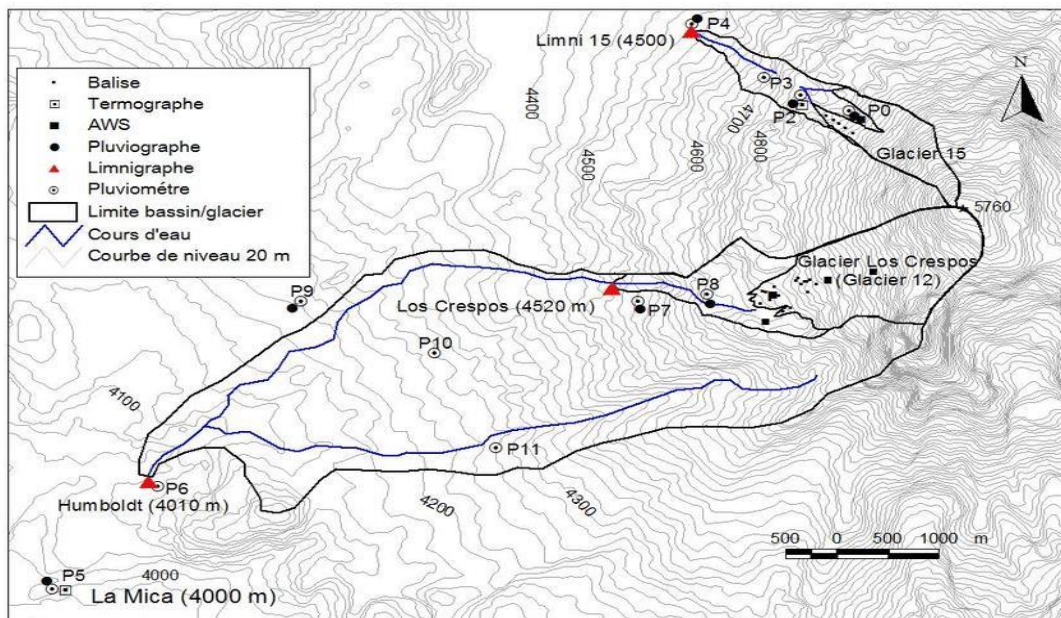


Figura 2.- Área de muestreo, zona de ablación glaciaria 15 ($0^{\circ} 28' \text{ S}$, $78^{\circ} 9' \text{ O}$) imagen recuperada de Gualco (2018).

Fase de campo

La recolección y preservación de muestras, se llevó a cabo en base a metodología planteada por Bicudo & Menezes (2006) con ciertas modificaciones adaptadas para ambientes glaciares.

Colección de muestras

En Abril del 2023, se recolectó muestras de sedimentos de agujeros de crioonitas en la zona de ablación del glaciar 15 (0° 28' S, 78° 9' O) expuesta a elevación de 5000 m ± 20 m. La selección se llevó a cabo de manera aleatoria, de los cuales se tomó en cuenta los ejemplares que presentaban una cubierta en estado de congelación. Tras romper la capa de hielo, el contenido se homogeneizó mediante el uso de jeringas estériles de 50 mL y se extrajo el sedimento junto con la fase líquida.

Estas muestras se procesaron in situ donde se agregó etanol absoluto como preservante, en proporción 30% de muestra y 70% de etanol V/V. Posteriormente se transportaron al laboratorio de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas de la Universidad Internacional SEK manteniendo las muestras a una temperatura de 4 grados centígrados.

Fase de laboratorio

La metodología empleada en la fase de laboratorio tomó como base el protocolo empleado por (ECS, 2003; Blanco et al., en 2008).

Filtrado de muestra

Las muestras de sedimentos contenían material volcánico no orgánico que resulta resistente a los métodos convencionales de digestión. Para abordar este desafío, se implementó un proceso de filtración mediante el uso de una malla con una porosidad de 100 µm. Esta técnica permitió retener el material volcánico grueso mientras permitía el paso de las diatomeas. El procedimiento involucró colocar la malla en la parte superior de un vaso de precipitación, añadir el sedimento y emplear agua destilada para facilitar el paso del material.

Digestión de muestras

Para obtener frústulos completamente exentos de materia orgánica, las muestras, que fueron previamente filtradas y depositadas en tubos de ensayo de 25 mL de capacidad, se sometieron a un proceso de digestión utilizando peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30% V/V. Estos tubos de ensayo se dispusieron en una olla que contenía arena y se colocaron sobre una plancha de calentamiento, manteniendo una temperatura constante de 100 °C durante un periodo ininterrumpido de 24 horas.

Una vez concluido el proceso de digestión, se extrajo una pequeña alícuota de muestra de cada tubo y se examinó detenidamente bajo un microscopio óptico con un aumento de 40x, con el objetivo de identificar cualquier indicio de residuos y la presencia de diatomeas. Al tratarse de material de origen volcánico se detectó gran cantidad de residuos inorgánicos que generan interferencia en el análisis, razón por la cual se realizó una segunda digestión utilizando ácido clorhídrico HCl, 37% V/V.

Una vez confirmada la ausencia de cloroplastos presentes en los frústulos mediante observación de alícuotas bajo un microscopio óptico con aumento de 40x, las muestras se sometieron a un proceso de centrifugación para recuperar el sedimento resultante. Posteriormente, el sedimento se almacenó en frascos de cristal debidamente identificados.

Concentración de muestras

Las muestras procedentes del glaciar, debido a la baja abundancia de individuos, requirieron un procedimiento riguroso para obtener una muestra representativa. Cada frasco con muestra fue homogenizado y, posteriormente, se procedió a contar 10 segundos tras la homogeneización. Luego, utilizando una pipeta Pasteur, se extrajo 1 mL del material re-suspendido evitando extraer sedimento. Este proceso se repitió en diez ocasiones con el

objetivo de concentrar la muestra de manera efectiva. La muestra resultante de esta concentración se dispuso en tubos Eppendorf y, finalmente, se sometió a un examen bajo un microscopio óptico con aumento de 400x para verificar la presencia de diatomeas.

Plaqueo de láminas permanentes

Las muestras digeridas fueron diluidas con agua destilada para alcanzar concentraciones uniformes en la observación final bajo el microscopio. Se agregó 1 alícuota de la muestra a un cubreobjetos circular y se dejó secar a temperatura ambiente (15 – 20 °C). Se procedió a fijarlas con resina refractiva (Naphrax®), estas muestras se almacenaron en cajas portaobjetos con sus respectivos códigos de identificación para su posterior clasificación óptica.

Fase computacional

Identificación taxonómica

Las láminas permanentes fueron analizadas utilizando un microscopio óptico Euromex PC/DIC equipado con una cámara CMEX-Pro-18, que permitió la observación a una magnificación de 1000x. El enfoque metodológico tomó como base a la propuesta de (Blanco et al., en 2008), adaptando el protocolo para muestras con poca abundancia, el cual implica un barrido total de la placa con la finalidad de registrar el mayor número de individuos, Las diatomeas fueron capturadas en fotografía empleando la extensión digital ImageFocus Alpha for Windows v1.3.7.22259 a una resolución de 4912 x 3684 pixeles, las mismas que se procesaron empleando el programa CorelDRAW Graphics Suite 2022 v24.3.0.571 Multilingual generando láminas de identificación.

Para llevar a cabo la identificación taxonómica se basó en el análisis del material bibliográfico especializado tal como 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 variabilidad inter e intraespecífica

Tomando como base las fotografías capturadas durante el conteo en el microscopio se procedió a editarlas y reducirlas a una escala de 10 µm para medir la longitud, ancho, número de estrías, areólas y/o fíbulas de cada valva. Estos datos fueron analizados, tanto en comparación entre individuos de la misma especie para análisis intraespecífico, como entre individuos de especies diferentes para análisis interespecífico.

Resultados

Se recuperó un total de 1 L de muestra obtenida a partir de 20 crioconitas de la zona de ablación del glaciar 15, del cual se extrajo 7 placas representativas para su respectivo análisis óptico, las imágenes capturadas fueron agrupadas y clasificadas mediante 12 láminas, ver **ANEXO 1**, del cual se genera la tabla de conteo de especies que se presenta la **figura 3**.

Un total de 160 individuos fueron identificados, englobando 57 especies de diatomeas. Las placas contenían un intervalo de 11-35 unidades identificables, generando una media de 22,85 valvas. *Gomphonema parvulum* y *Hantzschia amphioxys* fueron las especies más representativas, ambas con igual porcentaje de abundancia relativa de 6,88% y con frecuencia absoluta de 71,43%, seguidas por *Orthoseira sp* y *Pinnularia borealis* var. *borealis* con porcentajes similares de abundancia relativa 4,38% y frecuencia absoluta de 57,14 y 71,43% respectivamente.

Del total de 160 valvas identificadas, fue posible asignar 69 a nivel de género únicamente, debido a la falta de resolución de las imágenes por la presencia de material volcánico y escasez

de individuos encontrados, o al no corresponder a ninguna descripción previa. 21 especies fueron identificadas a partir de un solo individuo representando 0,63% de abundancia por especie y en conjunto el 13,23% del total.

De las especies más representativas se pudo determinar que *Gomphonema parvulum* presenta un largo en el rango de 53,71 - 25,28 μm y ancho en rango de 11,21 - 9,65 μm , con un rango de estrías centrales de 8 a 11, *Hantzschia amphioxys* con un largo de 74,97 - 46,78 μm y ancho de 11,15 - 8,50 μm , *Orthoseira sp* presenta un largo de 25,13 - 11,99 μm y ancho de 25,51 - 12,12 μm y *Pinnularia borealis* var. *borealis* con un largo de 66,49 - 36,18 μm , ancho de 18,20 - 10,99 μm y estrías centrales en un rango de 4 - 5, ver **ANEXO 3**.

En consideración del total de los individuos se genera un análisis global de tamaños, dando como resultado un largo máximo de 110,35 μm y ancho máximo de 29,97 μm , ambos valores correspondientes a *Pinnularia sp10*, un largo mínimo de 11,99 μm que pertenece a *Orthoseira sp*, y por último un ancho mínimo de 4,87 μm que se asocia a *Humidophila lacunosa*.

Con la ayuda del análisis de variabilidad se logró evidenciar que son especies diferentes por la variación en las características merísticas y morfológicas. Por ejemplo, se encontraron 14 morfoespecies de *Pinnularia sp*, de las cuales *Pinnularia sp2* (4,38%) y *Pinnularia sp1* (3,75%) fueron las más abundantes representando *Pinnularia* el 38,75% de los géneros 15 identificados ver **figura 4**.

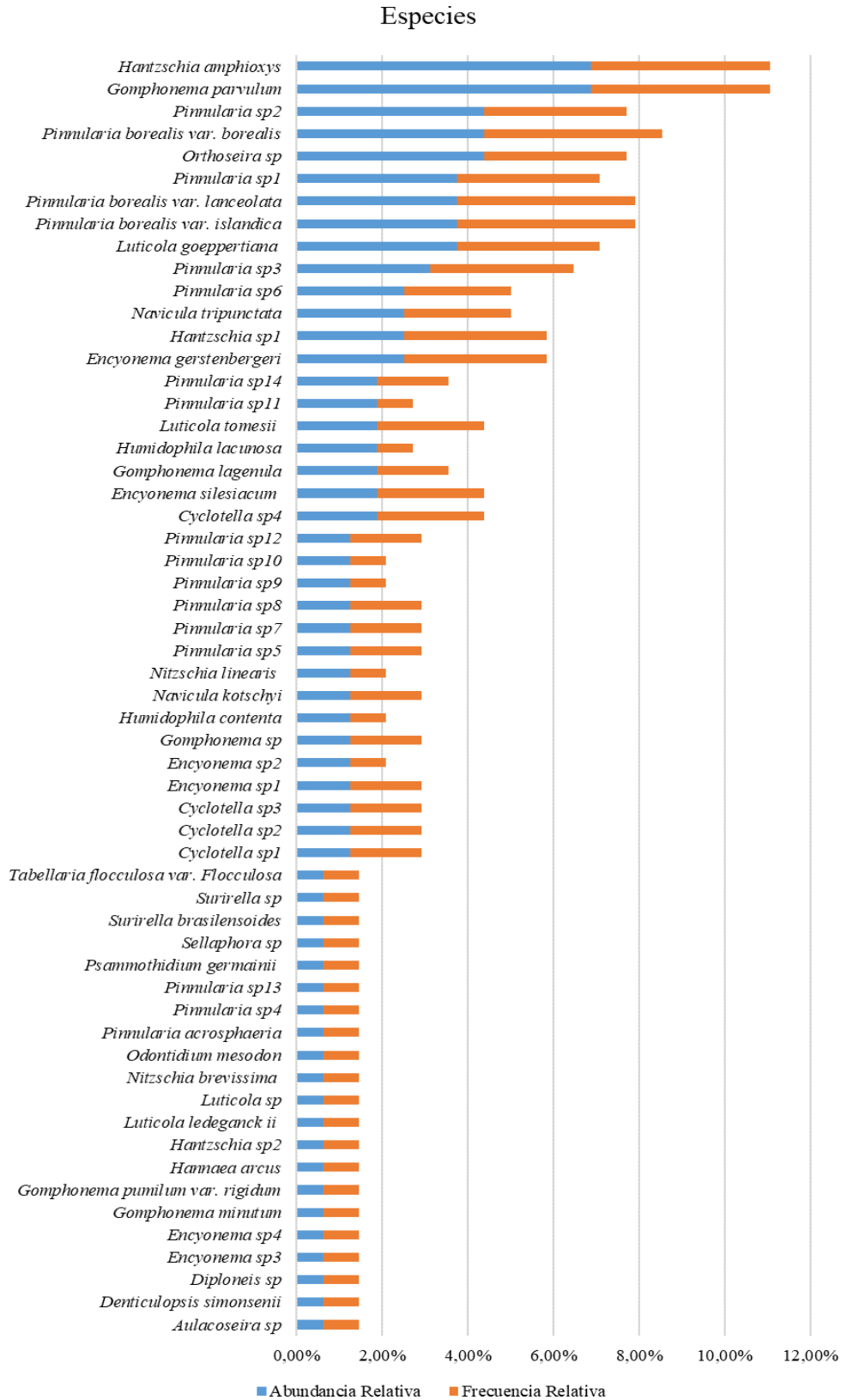


Figura 3.- Análisis porcentual de especies de diatomeas encontradas en crioconitas del volcán Antisana.

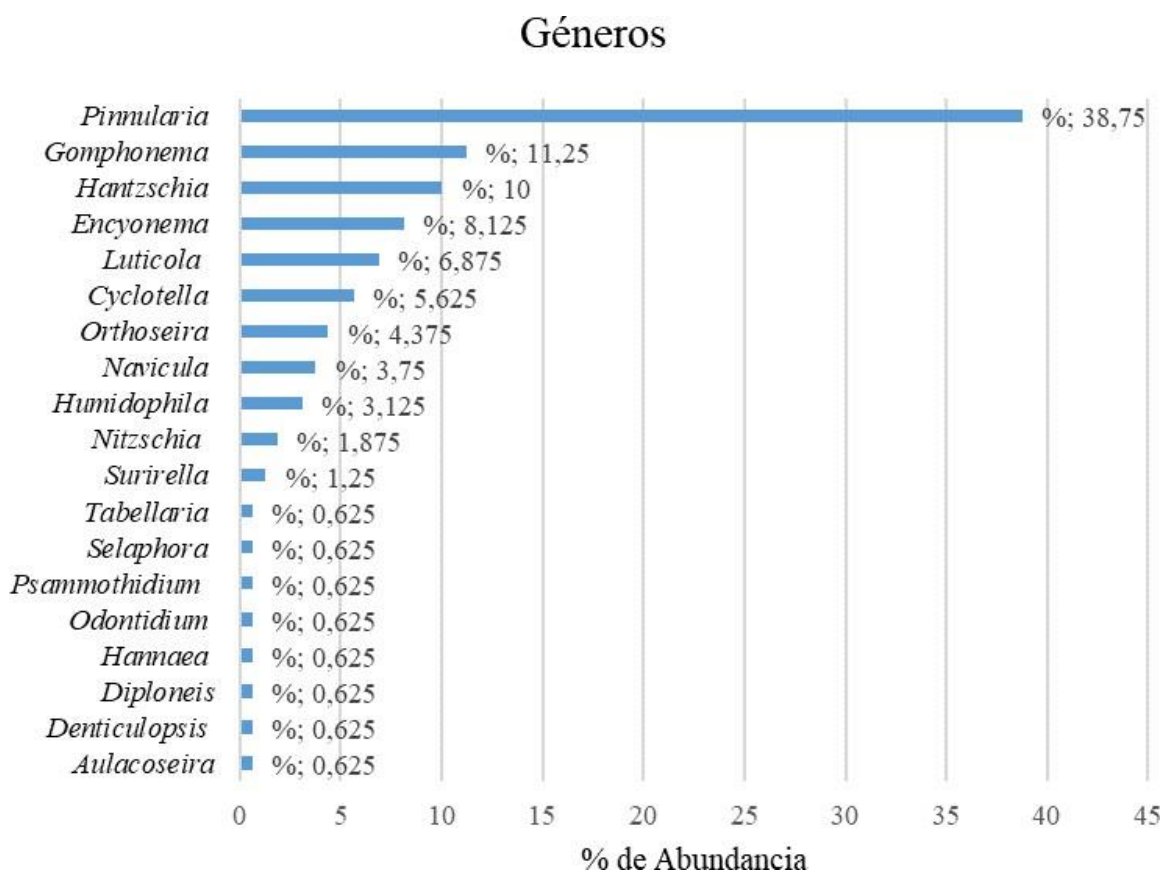


Figura 4.- Análisis porcentual de géneros de diatomeas encontradas en crioconitas del volcán Antisana.

Discusión

Se determinó una baja abundancia tanto en individuos como especies, resultados relacionados a las condiciones de vida limitante y el estrés ocasionado por las bajas temperaturas y limitada accesibilidad de nutrientes que presentan los glaciares (Jumbo et al., 2017). En contraste con ambientes con mayor disponibilidad y estabilidad, en los que la metodología de registro de valvas sugiere un conteo de 400 valvas, medida estándar para identificación de diatomeas por placa de observación (Blanco et al., en 2008), obteniendo en la actual investigación una media de 22,85 valvas por placa.

Estudios previos efectuados en crioconitas del glaciar Antisana, durante los meses de junio a diciembre del 2018, se identificaron 278 especies siendo *Psammothidium germainii* (29%), *Planothidium lanceolatum* (12%) y *Sellaphora atomoides* (7%) comunidades de diatomeas predominantes en el ecosistema (Chamorro et al., 2021). Dicho estudio constituye una de las primeras referencias en caracterización de la región.

El presente estudio, llevado a cabo en abril del 2023 refleja una diferencia en las comunidades previamente mencionadas. Entre las diferencias más notorias se destaca la ausencia de variedades abundantes en el análisis del 2018, detectando como único individuo y baja incidencia a *P. germainii* (0,63%). Esta primicia podría suponer alteraciones en la estructura del ecosistema y el nicho biológico que alberga, teorizando un impacto en el ecosistema correspondiente al progresivo deterioro y pérdida de volumen del glaciar.

El ecosistema de crioconitas en la zona de ablación del glaciar Antisana año 2023 exhibe nuevas comunidades adaptadas a la región, destacando a *Gomphonema parvulum* y *Hantzschia amphioxys* como especies predominantes, seguido por una variedad de morfoespecies relacionadas el género *Pinnularia*. Estas pertenecen a familias las cuales han sido previamente identificadas en ambientes Árticos y crioconitas.

Otros autores demuestran la existencia de variabilidad en la composición de comunidades de microorganismos eucariontes en ambientes andinos y subtropicales (Castillejo et al., 2022). Los glaciares se caracterizan por la presencia de especies de diatomeas como *Fragilarias*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Pinnularias*, *Hantzschia*, *Gomphonemas*, etc. Las cuales se adaptan a condiciones desfavorables (Bae, 2021; Vinšová et al., 2015), dichas especies se caracterizan por sus propiedades aerófilas y su capacidad para ser transportadas por fuertes corrientes de aire en forma de aeroplancton (Kawecka' & Olech, 1993) (Zimmermann et al., 2015), se postula que estas diatomeas tendrían la capacidad de ser transportadas desde sitios aledaños

como posibles fuentes marinas cercanas, que son ambientes idóneos para el desarrollo de comunidades como *Hantschias* y *Gomphonemas* (Kociolek et al., 1849; Kociolek et al., 1880) escalando por ecosistemas de agua dulce hasta alcanzar depósitos en criocónitas de glaciares andinos. Dicho efecto daría una posible explicación de la presencia de especies abundantes nombradas con anterioridad.

Las corrientes de aire desempeñan un rol fundamental en el transporte de una variedad de organismos, sin embargo, una limitada cantidad son capaces de adaptarse a los ambientes en los cuales son depositados (Budgeon et al., 2012; Nkem et al., 2006). En referencia a las criocónitas, en sus etapas de desarrollo, no presentan una cubierta de hielo exterior, circunstancia que favorece al establecimiento y colonización de microorganismos. Dentro del alcance del estudio se identificaron 21 especies con identificación única y baja abundancia, lo que sugiere una alta posibilidad de no necesariamente representar una comunidad viable en el ecosistema y probablemente son resultado de depósito reciente del individuo (Stanish et al., 2013).

El análisis de variabilidad permitió determinar características morfológicas inherentes a las especies abundantes en el área de estudio, a su vez, permitió la diferenciación de morfoespecies correspondientes a un mismo género. El género *Pinnularia* especialmente el complejo *borealis* denota una variedad de al menos 42 subclasificaciones registradas en bases de datos. 12 clasificaciones resultantes del análisis fueron asociados a variedades de *Pinnularias sp*, debido a falta de resolución en las imágenes que no permiten la correcta identificación de rasgos, en conjunto con la falta de variedad en las fotografías dió como resultado una ambigüedad en la clasificación al no relacionarse directamente con alguna descripción presente en bibliografía.

Conclusión

El presente estudio logró caracterizar la diversidad de especies de diatomeas presentes en el glaciar Antisana y a su vez contrastar con datos obtenidos en el año 2018 de la misma área de estudio, donde se apoya la hipótesis nula planteada, debido a que no se observó abundancia de diatomeas y diferenciarse significativamente con la información de referencia previa, obteniendo resultados y especies completamente diferentes al análisis previo del 2013.

Se estableció *Gomphonema parvulum*, *Hantzschia amphioxys*, *Orthoseira sp* y el complejo de *Pinnularias* como comunidades adaptadas a la actualidad del ecosistema del glaciar en el año 2023, debido a su gran abundancia relativa.

Se plantea una nueva hipótesis de que el arrastre por corrientes eólicas es la principal fuente de enriquecimiento y siembra de diatomeas en las crioconitas del glaciar, derivado de las características intrínsecas de las especies identificadas en el área de estudio y su carácter aerófilos y su afinidad por pertenecer a ambientes marinos o fuentes saladas.

Recomendaciones

Se sugiere un estudio temporal continuo de la zona y región en general para la determinación de un complejo de comunidades nativas de ambientes andinos subtropicales ecuatorianos, con el objetivo de mejorar el entendimiento de la diversidad y desarrollo de comunidades diatomeas, y a su vez ser capaz de clasificar de manera adecuada especies las cuales no se apeguen a descripciones bibliográficas actuales.

Se recomienda para futuros estudios la implementación de técnicas de última tendencia, como son los análisis moleculares con enfoque a la obtención de información genética de las especies presentes, que permitan suplementar los resultados de identificación y clasificación.

Bibliografía:

- Allen, A. E., Vardi, A., & Bowler, C. (2006). An ecological and evolutionary context for integrated nitrogen metabolism and related signaling pathways in marine diatoms. In *Current Opinion in Plant Biology* (Vol. 9, Issue 3, pp. 264–273). <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.013>
- Ballesteros, I., Castillejo, P., Haro, A. P., Montes, C. C., Heinrich, C., & Lobo, E. A. (2020). Genetic barcoding of Ecuadorian epilithic diatom species suitable as water quality bioindicators. In *Comptes Rendus - Biologies* (Vol. 343, Issue 1, pp. 41–52). Academie des sciences. <https://doi.org/10.5802/crbiol.2>
- Bae, H., Ahn, IY., Park, J. et al. Shift in polar benthic community structure in a fast retreatig glacial area of Marian Cove, West Antarctica. *Sci Rep* 11, 241 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80636-z>
- Bicudo, C., & Menezes, M. (2006). GÊNEROS DE ALGAS DE ÁGUAS CONTINENTAIS DO BRASIL CHAVE PARA IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÕES SEGUNDA EDIÇÃO.
- 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>
- Bravo, E. (2014). La biodiversidad en el Ecuador. <https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/303/1/La%20Biodiversidad.pdf>
- Budgeon, A. L., Roberts, D., Gasparon, M., & Adams, N. (2012). Direct evidence of aeolian deposition of marine diatoms to an ice sheet. *Antarctic Science*, 24(5), 527–535. <https://doi.org/10.1017/S0954102012000235>

- Cameron, K. A., Hodson, A. J., & Osborn, A. M. (2012). Structure and diversity of bacterial, eukaryotic and archaeal communities in glacial cryoconite holes from the Arctic and the Antarctic. *FEMS Microbiology Ecology*, 82(2), 254–267. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01277.x>
- Cáceres, B (2010) ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE TRES CASQUETES GLACIARES DEL ECUADOR. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Bolivar-Caceres/publication/280637393_Actualizacion_del_inventario_de_tres_casquetes_glaciares_del_Ecuador/linksn
- Castillejo, P., Ballesteros, I., Ríos, B., Ortiz, S., & Lobo, E. (2022). DIATOMEAS EPILÍTICAS DE LOS ANDES ECUATORIANOS. <https://www.udlaediciones.com.ec/wp-content/uploads/2022/08/Diatomeas.pdf>
- Castillejo, P., Chamorro, S., Paz, L., Heinrich, C., Carrillo, I., Salazar, J. G., Navarro, J. C., & Lobo, E. A. (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River. *Comptes Rendus - Biologies*, 341(4), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.03.008>
- Chamorro, S., Moyón, J., Araya, F., Salazar, J., & Navarro, J. C. (2021). The ecology of diatoms inhabiting cryoconite holes in Antisana Glacier (Ecuador). <https://doi.org/10.1017/jog.2021.108>
- Consuelo, C. Del, & Chamorro, D. (2018). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS *FRECUENCIAS DE VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA: CASO DE ESTUDIO VOLCÁN ANTISANA*. <https://doi.org/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19488/1/CD-8886.pdf>

- Dell'Uomo, A. (2004). L'INDICE DIATOMICO DI EUTROFIZZAZIONE/POLLUZIONE (EPI-D) NEL MONITORAGGIO DELLE ACQUE CORRENTI LINEE GUIDA. https://doi.org/http://www.cisba.eu/attachments/article/75/IndiceEPI_D.pdf.
- Descy, J.-P. (1976). Utilisation des algues benthiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes. (In P. Pesson (Ed.)). La pollution des eaux continentales.
- ECS, E. C. for S. (2003). Water quality — Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers.
- Foreman, C. M., Sattler, B., Mikucki, J. A., Porazinska, D. L., & Priscu, J. C. (2007). Metabolic activity and diversity of cryoconites in the Taylor Valley, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(4). <https://doi.org/10.1029/2006JG000358>
- Gualco, L. F. (2018). APLICACIÓN DE BALANCE DE ENERGÍA PARA ANALIZAR EL FORZAMIENTO ATMOSFÉRICO EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES EN UN GLACIAR TROPICAL. CASO DE ESTUDIO: GLACIAR 12 DEL VOLCÁN ANTISANA. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19306>
- Hall, M. L., Mothes, P. A., Samaniego, P., Militzer, A., Beate, B., Ramón, P., & Robin, C. (2017). Antisana volcano: A representative andesitic volcano of the eastern cordillera of Ecuador: Petrography, chemistry, tephra and glacial stratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*, 73, 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.11.005>
- Hastenrath, S. 1981. The glaciation of Ecuadorian Andes. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Jordan, E., Hastenrath, S., 1999: Glaciers of Ecuador. In: Williams, R.S., Ferrigno, J.G., (Eds.), Satellite image atlas of the glaciers of the world - South America. USGS Professional paper 1386-I, 31-50.

Jumbo, Y., Alvarez, P., & Torres, S. (2017). Variabilidad espacial del contenido de carbono y las propiedades químicas del suelo en dos niveles de degradación en la unidad hidrográfica Jatunhuaycu, Reserva Ecológica Antisana.

Kawecka', B., & Olech, M. (1993). Diatom communities in the Vanishing and Ornithologist Creek, King George Island, South Shetlands, Antarctica. In *Hydrobiologia* (Vol. 269).

Kilroy, C. (2004). *Quick Guide to Common Diatom Genera in Freshwaters*.

Kociolek, J.P.; Blanco, S.; Coste, M.; Ector, L.; Liu, Y.; Karthick, B.; Kulikovskiy, M.; Lundholm, N.; Ludwig, T.; Potapova, M.; Rimet, F.; Sabbe, K.; Sala, S.; Sar, E.; Taylor, J.; Van de Vijver, B.; Wetzel, C.E.; Williams, D.M.; Witkowski, A.; Witkowski, J. (1849). DiatomBase. *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=149557> on 2023-12-20

Kociolek, P., Laslandes, B., Bennett, D., Brady, M., & Graeff, C. (1958-2014) *Diatoms of the United States 1, Taxonomy, Ultrastructure and Descriptions of New Species and Other Rarely Reported Taxa from Lake Sediments in the Western U.S.A.* <https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783443570521>

Kociolek, J.P.; Blanco, S.; Coste, M.; Ector, L.; Liu, Y.; Karthick, B.; Kulikovskiy, M.; Lundholm, N.; Ludwig, T.; Potapova, M.; Rimet, F.; Sabbe, K.; Sala, S.; Sar, E.; Taylor, J.; Van de Vijver, B.; Wetzel, C.E.; Williams, D.M.; Witkowski, A.; Witkowski, J. (1880).

DiatomBase. *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=149572> on 2023-12-20

- Krammer, K. (1997a). Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1. Allgemeines und Encyonema part. Bibliotheca Diatomologica, 36, 1–382.
- Krammer, K. (1997b). Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. Bibliotheca Diatomologica, 37, 1–469.
- 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. (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. Bibliotheca Diatomologica, 18, 1–393.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991a). Bacillariophyceae Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen Zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991b). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 02/3: Bacillariophyceae: Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae (Vol. 2). Springer.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. N. (1985). neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen. U: Bibliotheca Diatomologica, 9.

- Lange-Bertalot, H. (1993). 85 New taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to SuBwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2/1-4. *Bibliotheca Diat.*, 27, 1–454.
- Lange-Bertalot, H. (1996). Indicators of oligotrophy. *Iconographia Diatomologica*. 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*. Vol. 2. Gantner Verlag. KG.
- 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* (Vol. 12, pp. 1–438). ARG GANTNER.
- Lange-Bertalot, H. (1996). Indicators of oligotrophy. *Iconographia Diatomologica*. 2.
- Lange-Bertalot, H. (2001). Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats
- Lobo, E. A., Freitas, N. W., & Salinas, V. H. (2019). Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America. In *Mexican Journal of Biotechnology* (Vol. 4, Issue 1, pp. 1–24). Universidad Autonoma de Tlaxcala. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.1.1>
- MacDonell, S., & Fitzsimons, S. (2008). The formation and hydrological significance of cryoconite holes. *Progress in Physical Geography*, 32(6), 595–610. <https://doi.org/10.1177/0309133308101382>

- Mann, D. G., & Vanormelingen, P. (2013). An inordinate fondness? the number, distributions, and origins of diatom species. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 60(4), 414–420. <https://doi.org/10.1111/jeu.12047>
- Mena, P. (2010). EVOLUCIÓN DE LA DINÁMICA DE LOS ESCURRIMIENTOS EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA: CASO DEL VOLCÁN ANTISANA.
- Metzeltin, D. (2007). Tropical Diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. *Iconogr. Diatomol.*, 18, 1–877.
- Metzeltin, D., & Lange-Bertalot, H. (1998). Tropische Diatomeen in Südamerika I. *Iconographia Diatomologica*, 5.
- Metzeltin, D., Lange-Bertalot, H., & García-Rodríguez, F. (2005). Diatoms of Uruguay, Compared with Other Taxa from South America and Elsewhere. *Iconographia Diatomologica*. ARG Gantner Verlag KG.
- Nkem, J. N., Wall, D. H., Virginia, R. A., Barrett, J. E., Broos, E. J., Porazinska, D. L., & Adams, B. J. (2006). Wind dispersal of soil invertebrates in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Polar Biology*, 29(4), 346–352. <https://doi.org/10.1007/s00300-005-0061-x>
- Reichardt, E. (1984). Die Diatomeen der Altmuhl. *Bibliotheca Diatomologica*, 6, 1–169.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H., & Rumrich, M. (2000). Diatoms of the Andes (from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego), *Iconographia Diatomologica* Vol. 9: Koenigstein, Hesse, Alemania. Koeltz Scientific Books.
- Stanish, L. F., Bagshaw, E. A., McKnight, D. M., Fountain, A. G., & Tranter, M. (2013). Environmental factors influencing diatom communities in Antarctic cryoconite holes. *Environmental Research Letters*, 8(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/045006>

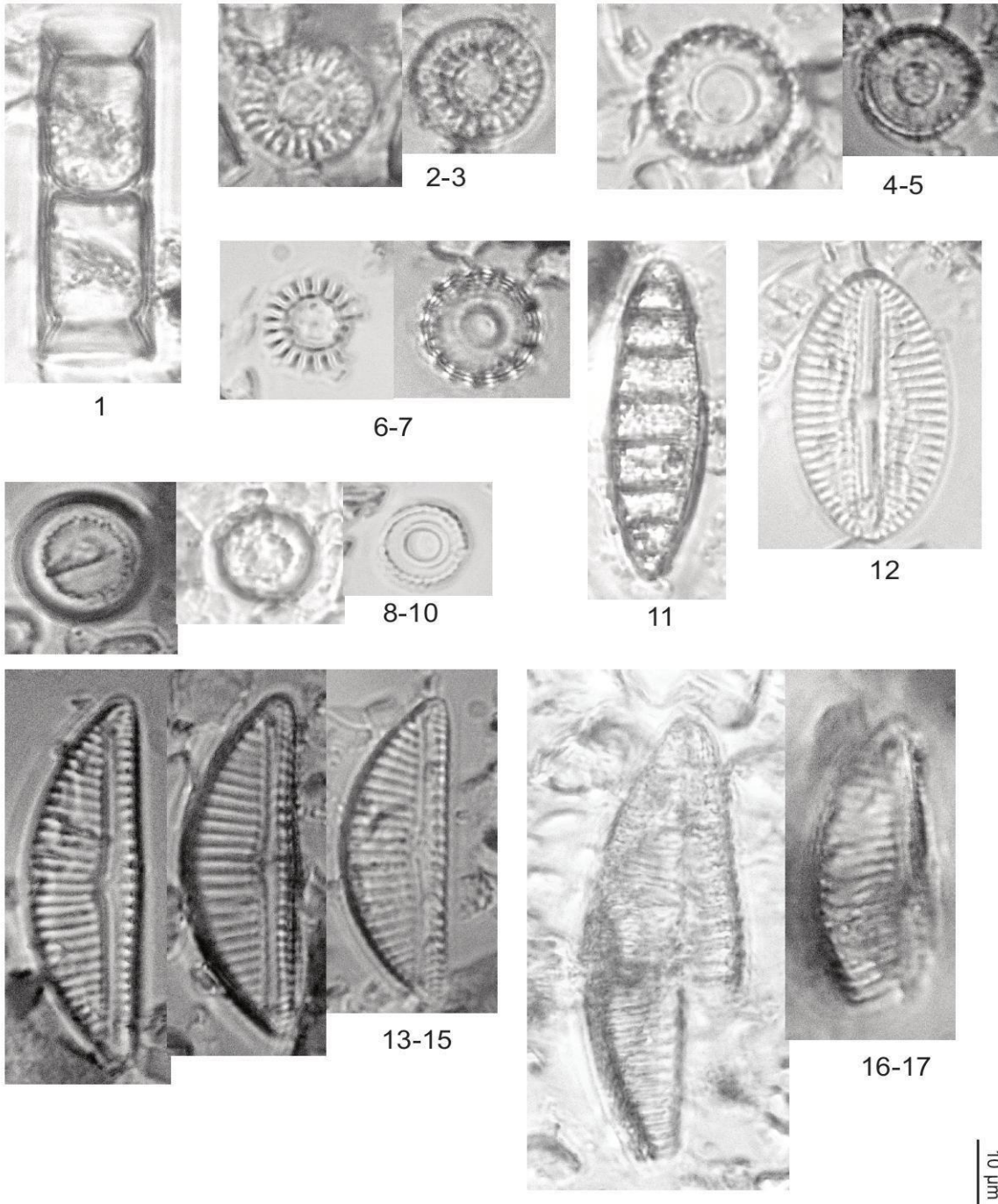
- Vinšová, P., Pinseel, E., Kohler, T. J., Van de Vijver, B., Žárský, J. D., Kavan, J., & Kopalová, K. (2015). Diatoms in cryoconite holes and adjacent proglacial freshwater sediments, nordenskiöld glacier (spitsbergen, high arctic). *Czech Polar Reports*, 5(2), 112–133. <https://doi.org/10.5817/CPR2015-2-11>
- Yáñez, L., Franco, P., Wellington Bastidas., & Córdova, V. (2017). SUMMARY OF NATIONAL PLAN FOR THE INTEGRATED AND INTEGRAL MANAGEMENT OF WATER RESOURCES AND THE BASINS AND WATERSHEDS OF ECUADOR (Vol. 9).
- Zimmermann, J., Glöckner, G., Jahn, R., Enke, N., & Gemeinholzer, B. (2015). Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies. *Molecular Ecology Resources*, 15(3), 526–542. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.1233>

Anexos.-

ANEXO 1

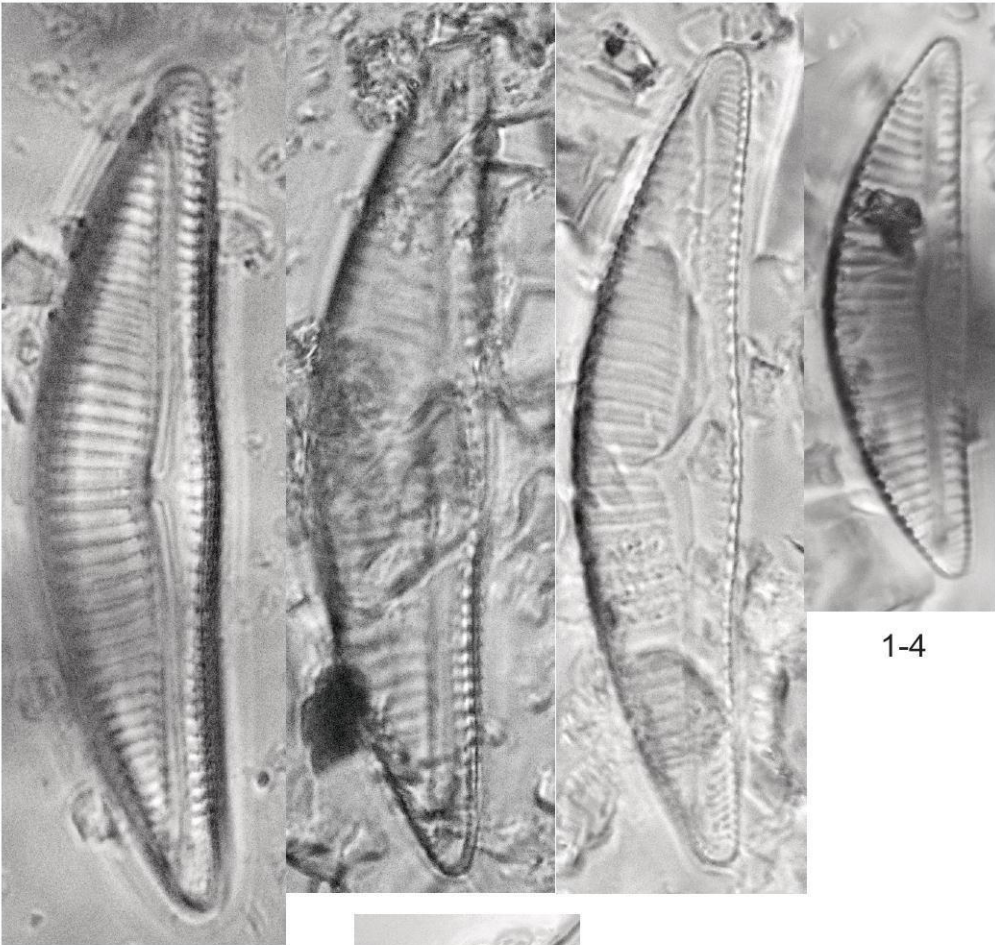
Láminas de especies encontradas en crioconitas del glaciar Antisana (1-12).

ANT Cr 1

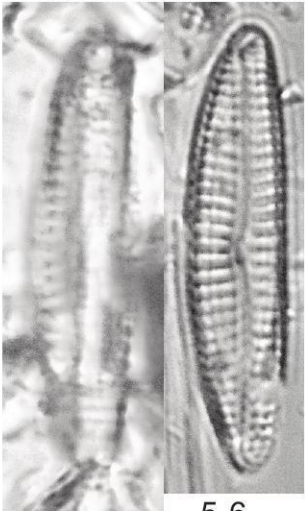


1 *Aulacoseira* sp; 2-3 *Cyclotella* sp1; 4-5 *C. sp2*; 6-7 *C. sp3*; 8-10 *C. sp4*; 11 *Denticulopsis simonsenii*; 12 *Diploneis* sp; 13-15 *Encyonema silesiacum*; 16-17 *E. sp1*.

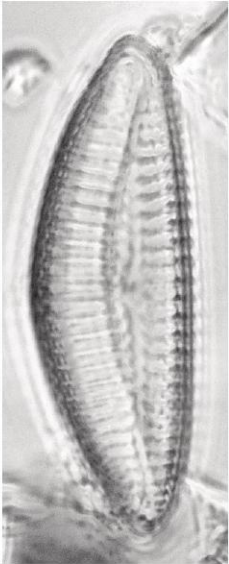
ANT Cr 2



1-4



5-6

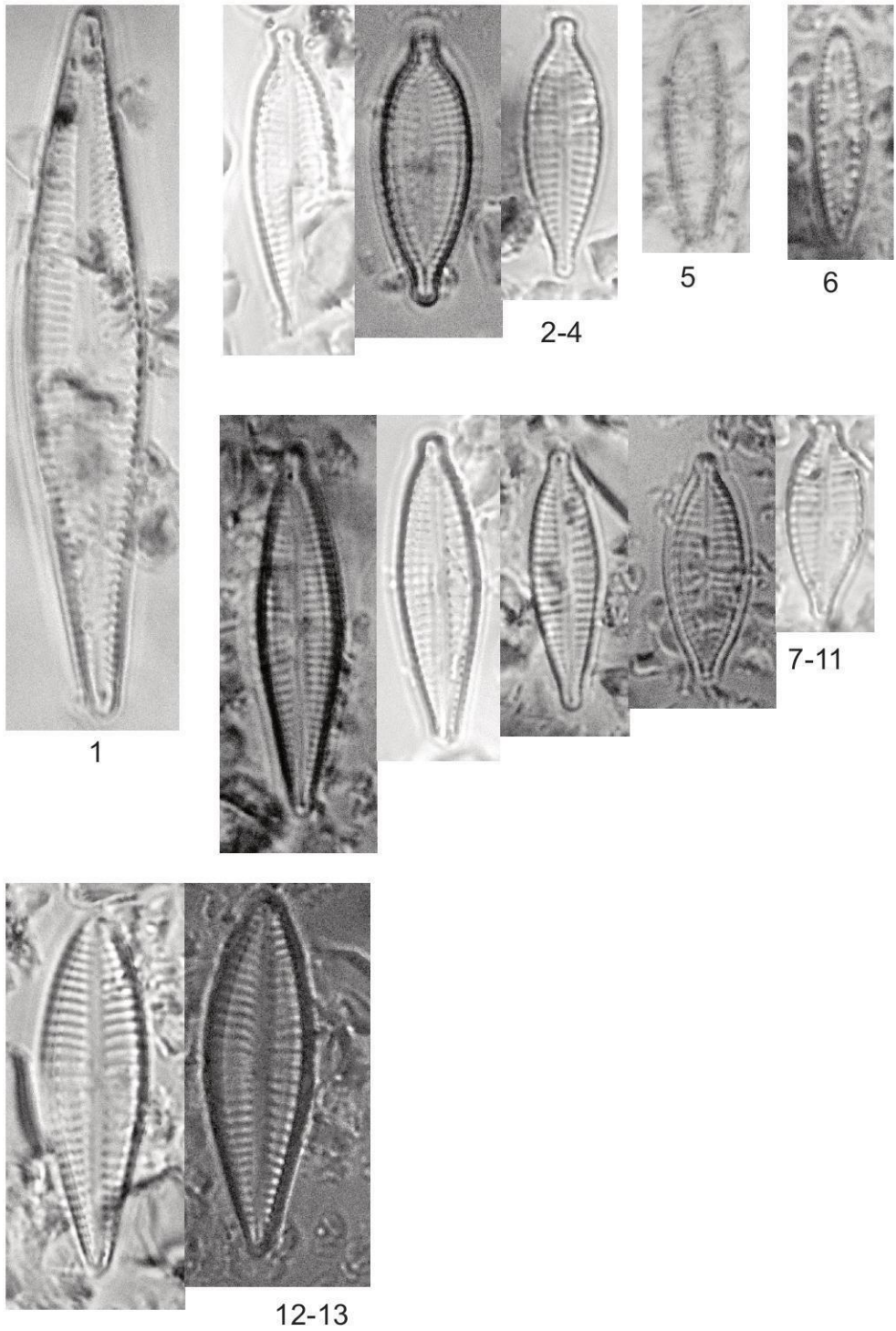


7

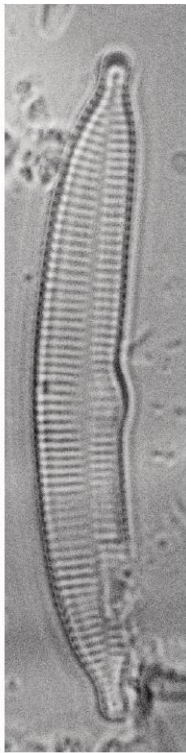
1-4 *Encyonema gerstenbergeri*; 5-6 *E. sp2*; 7 *E. sp3*.

10 µm

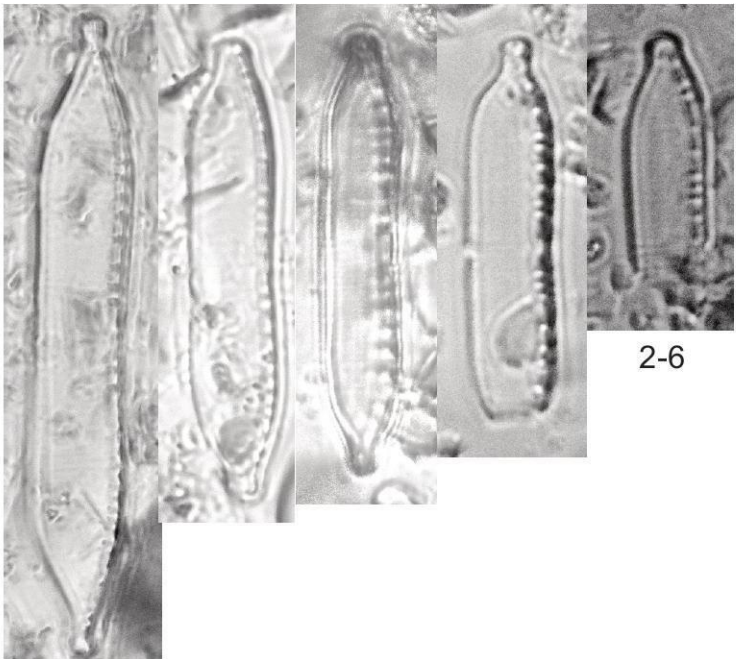
ANT Cr 3



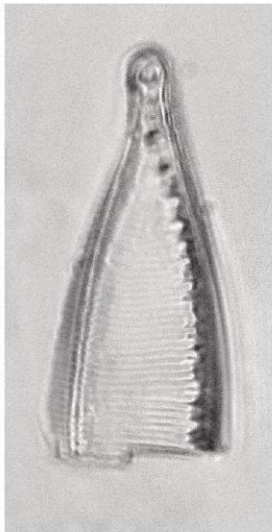
1 *Encyonema* sp3; 2-4 *Gomphonem lagenula*; 5 *G. minutum*; 6 *Gomphonema pumilum* var. *rigidum*; 7-11 *G. parvulum*; 12-13 *G. sp.*



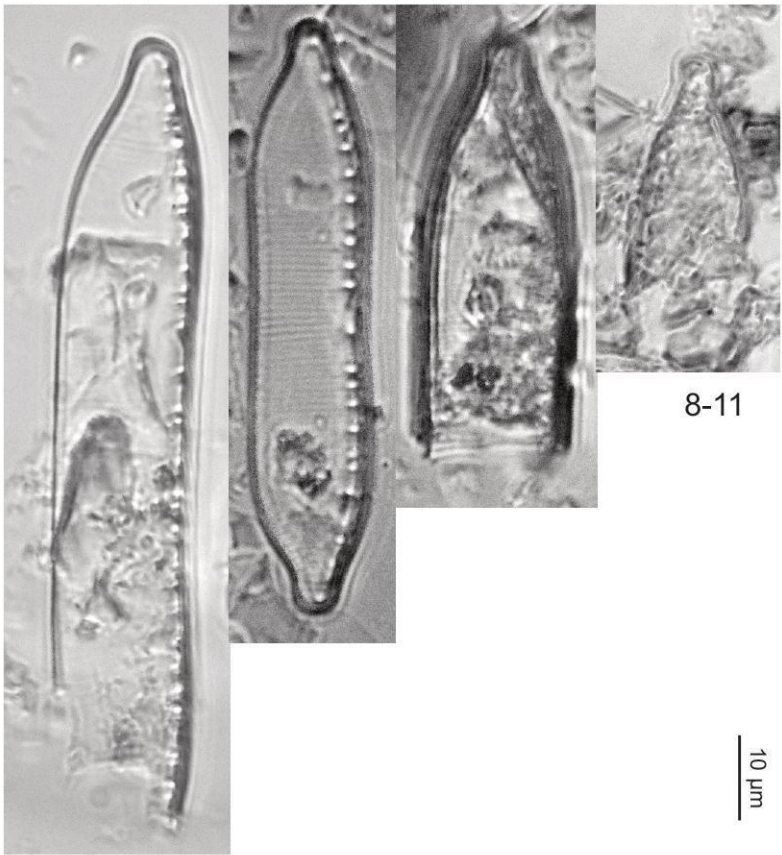
1



2-6



7

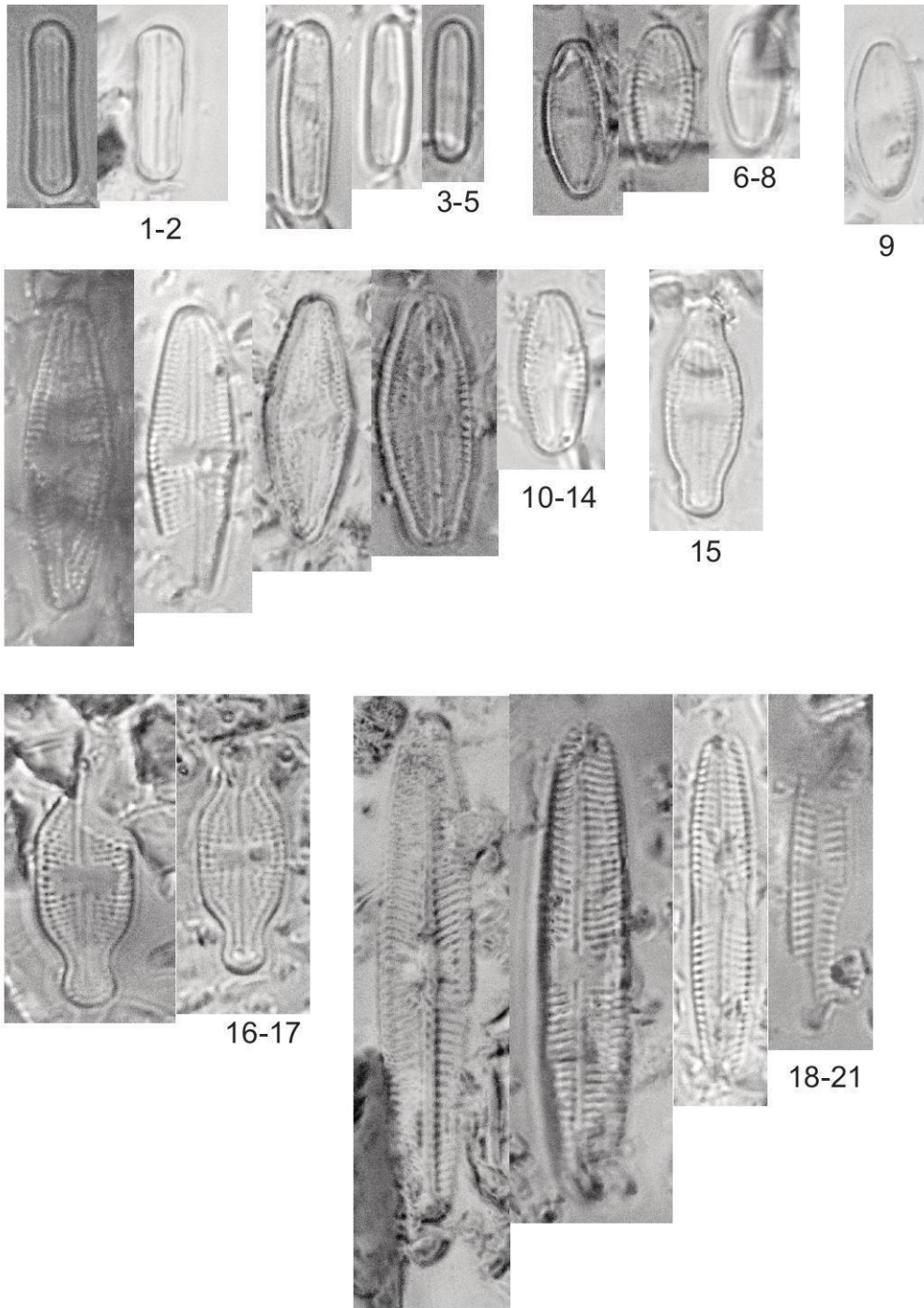


8-11

10 µm

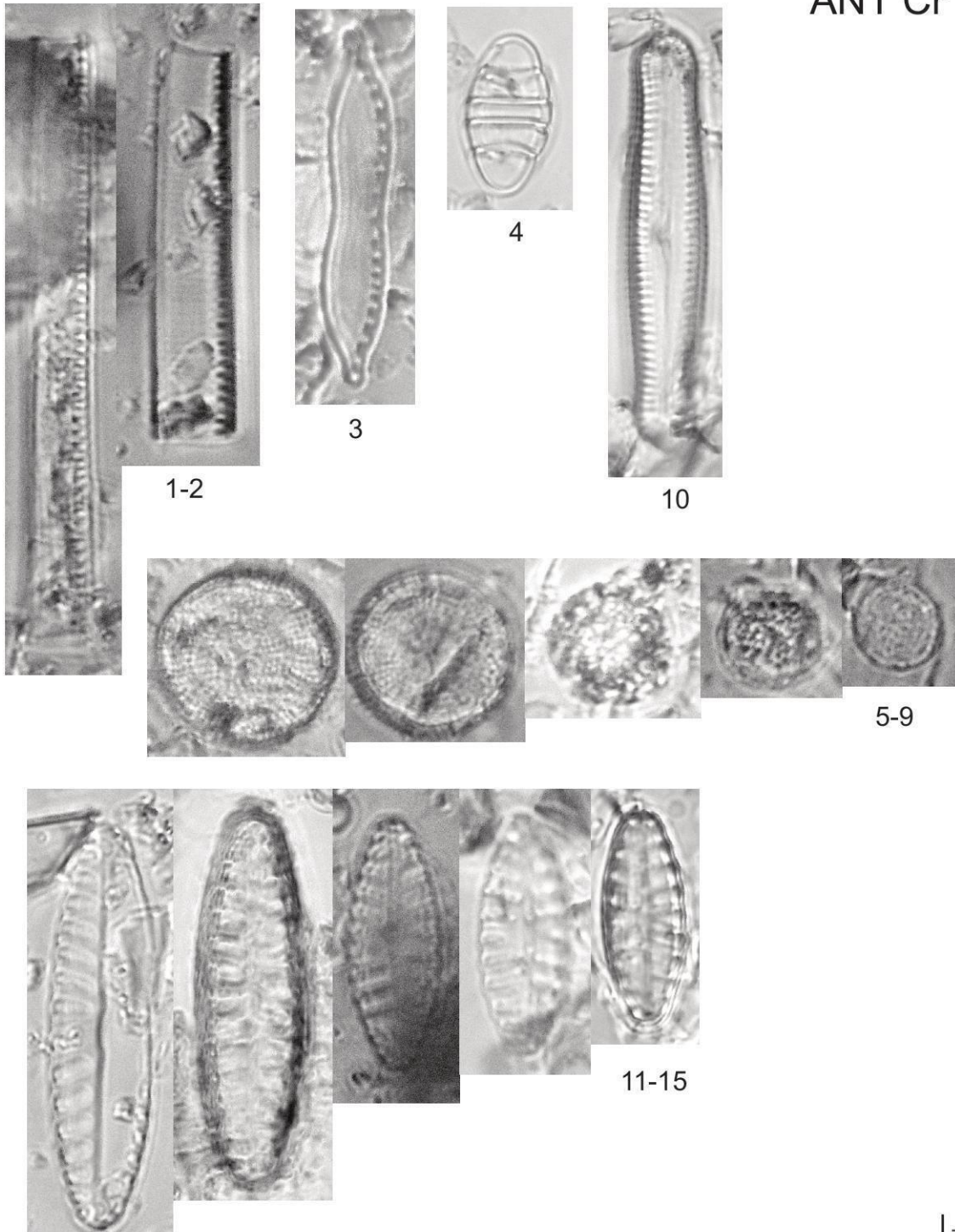
1 *Hannaea arcus*; 2-6 *Hantzschia amphioxys*; 7 *H. sp2*; 8-11 *H. sp1*.

ANT Cr 5



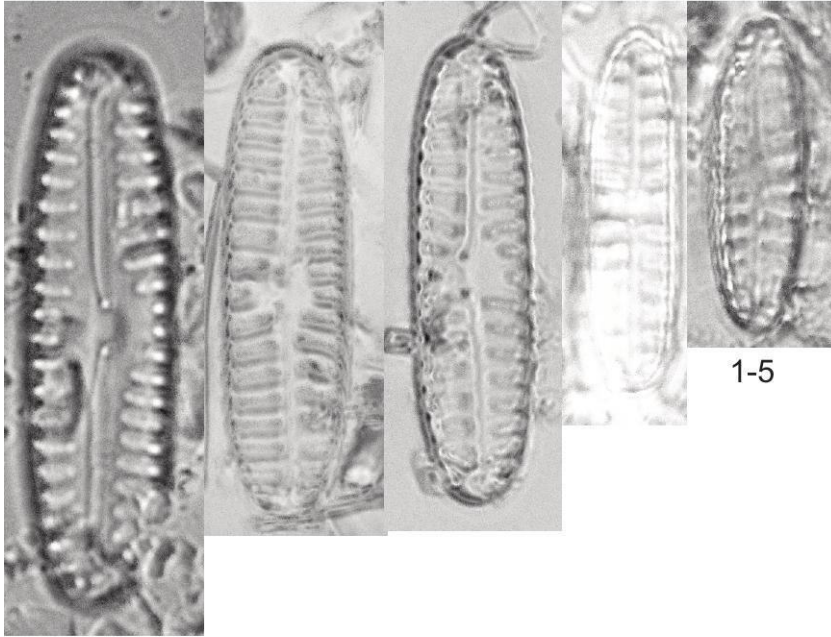
1-2 *Humidophila contenta*; 3-5 *H. lacunosa*; 6-8 *Luticola tomessij*; 9 *L. sp*; 10-14 *L. goeppertiana*; 15 *L. ledeganckij*; 16-17 *Navicula kotschy*; 18-21 *N. tripunctata*.

ANT Cr 6

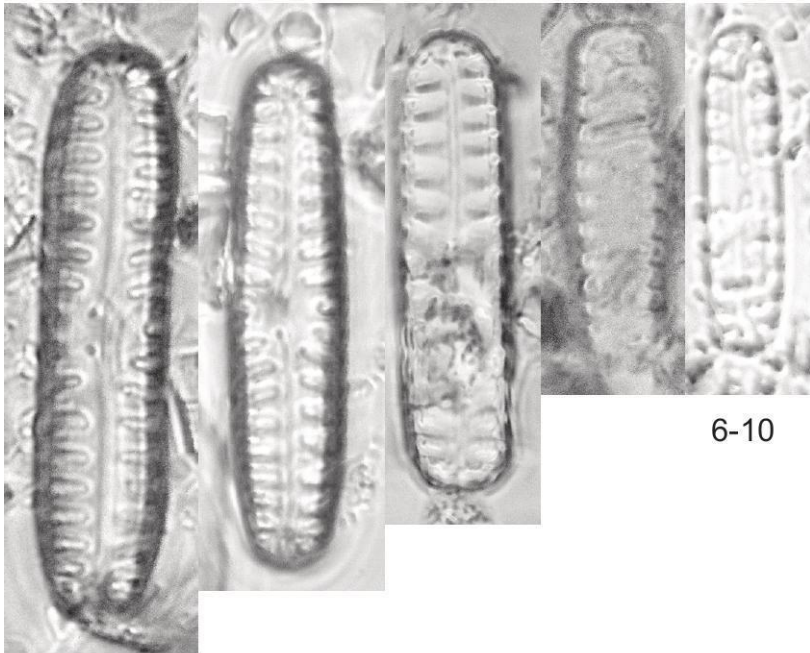


1-2 *Nitzschia linearis*; 3 *N. brevissima*; 4 *Odontidium mesodon*; 5-9 *Orthoseira* sp.; 10 *Pinnularia acrosphaeria*; 11-15 *P. borealis* var. *lanceolata*.

ANT Cr 7



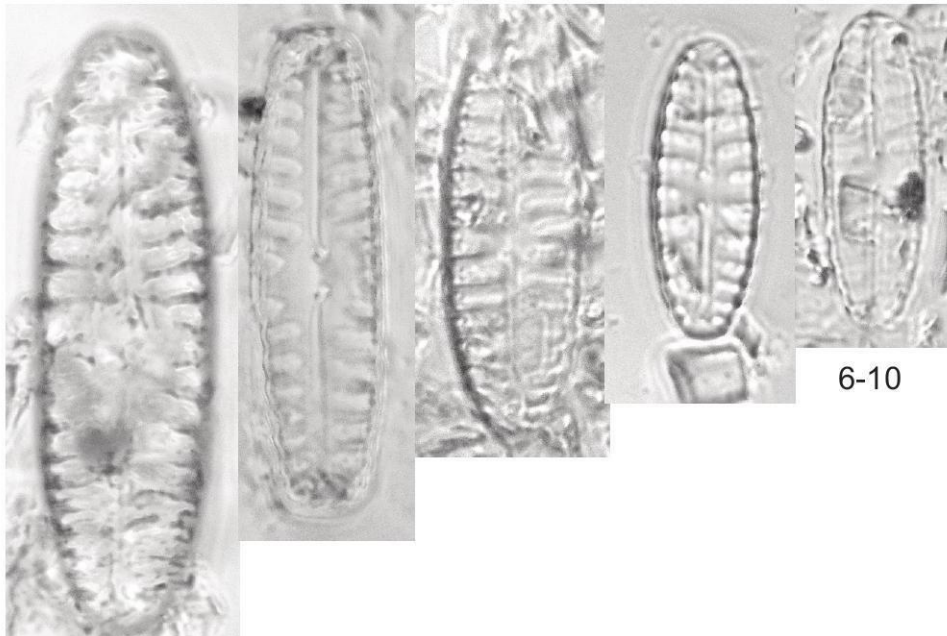
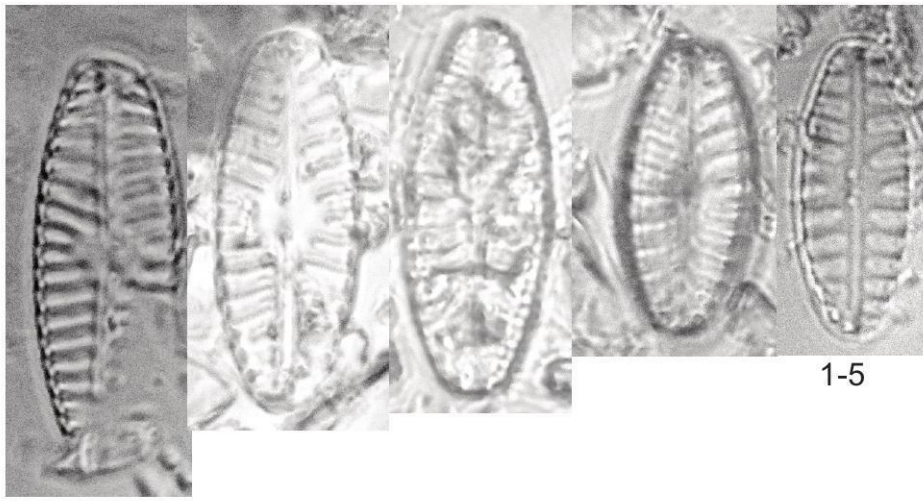
1-5



6-10

10 µm

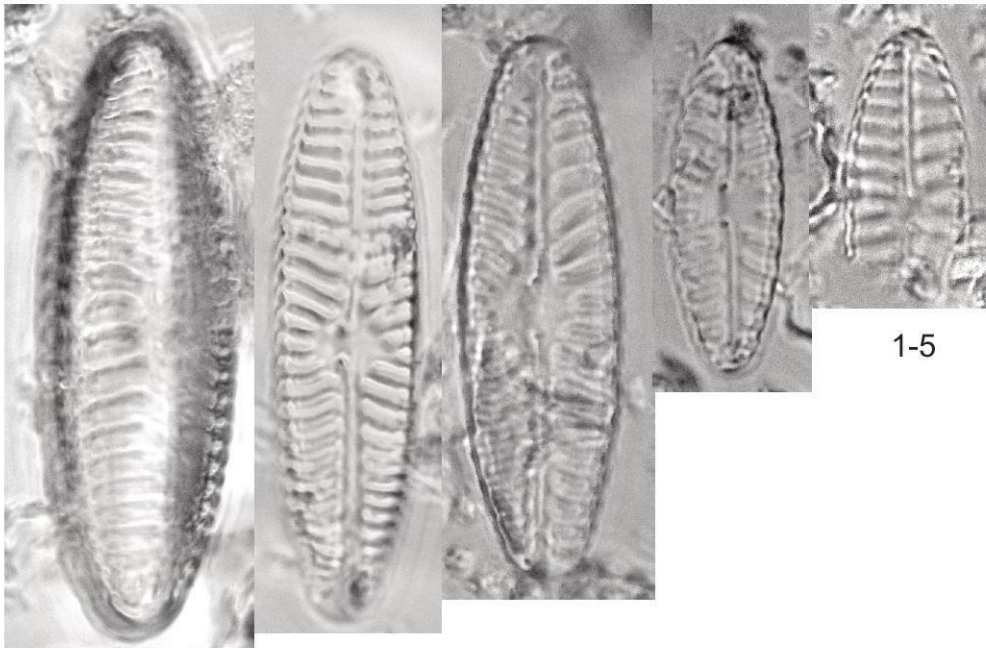
1-5 *Pinnularia borealis* var. *borealis*; 6-10 *P. borealis* var. *islandica*



10 μm

1-5 *Pinnularia* sp1; 6-10 *P.* sp2.

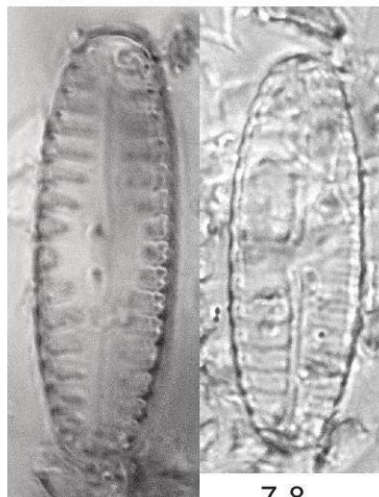
ANT Cr 9



1-5



6

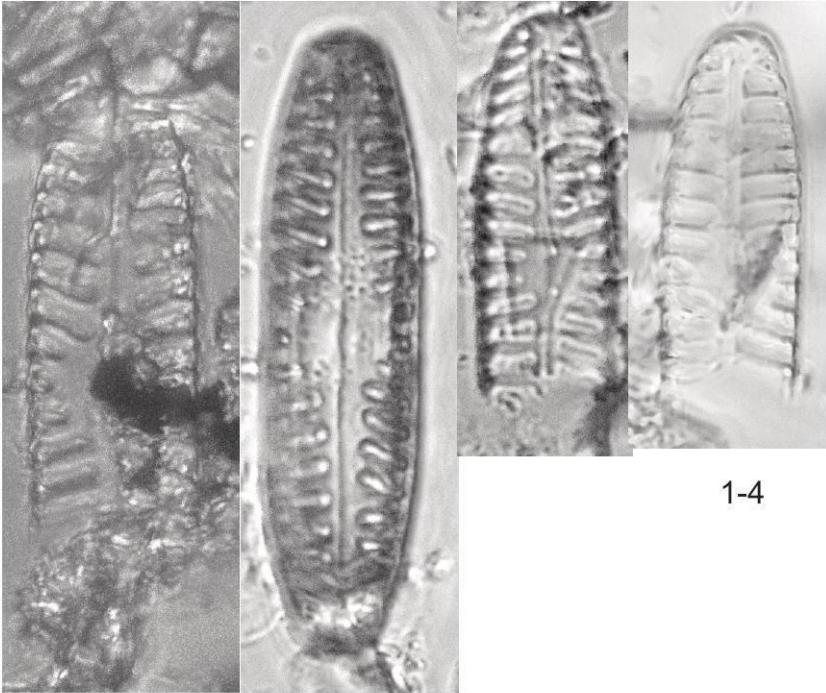


7-8

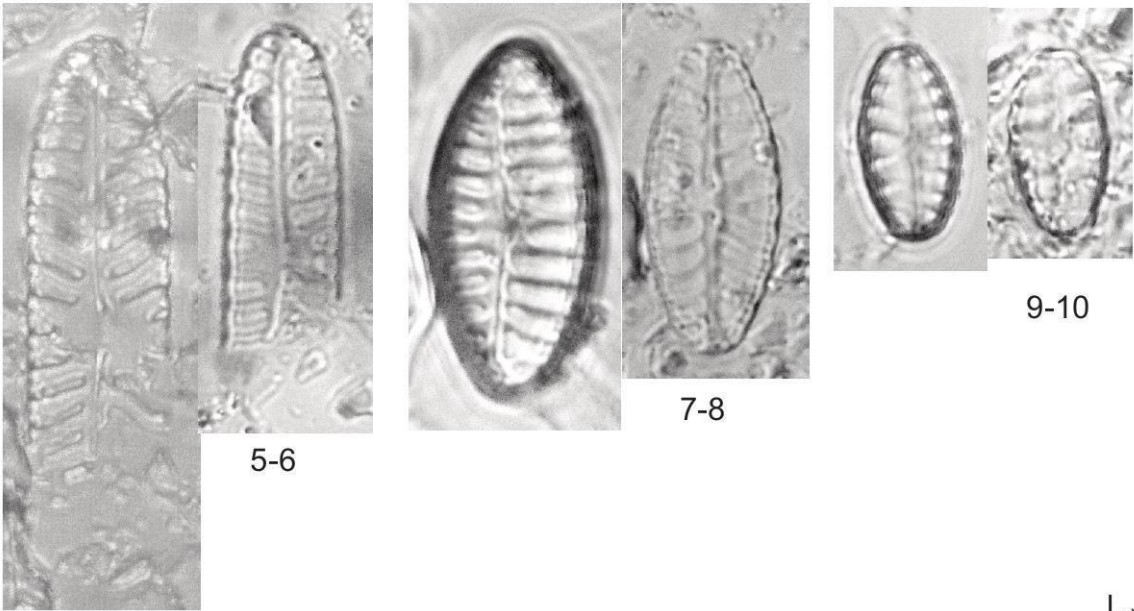
10 μm

1-5 *Pinnularia* sp3; 6 *P. sp4*; 7-8 *P. sp5*.

ANT Cr 10



1-4



5-6

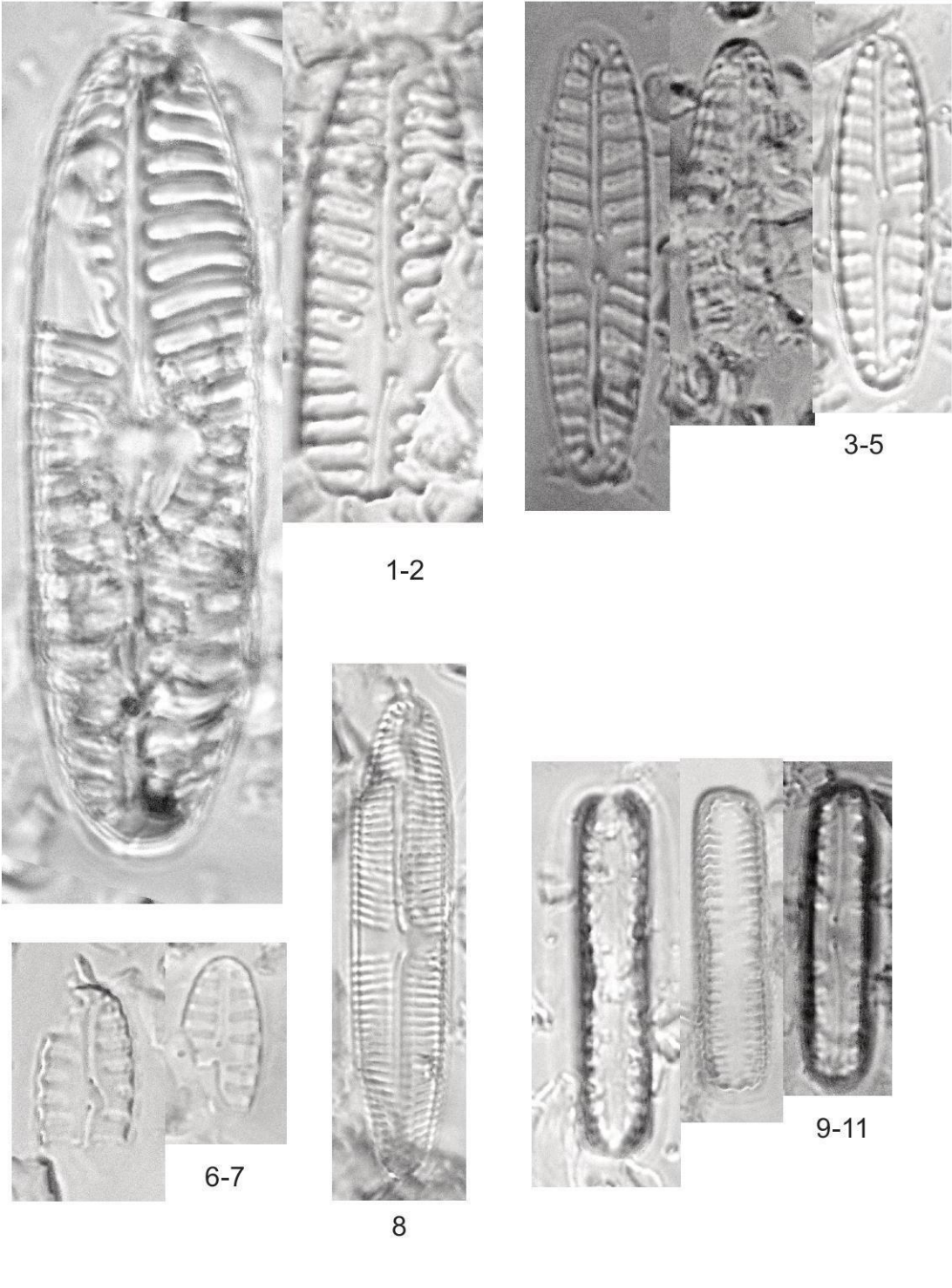
7-8

9-10

10 μm

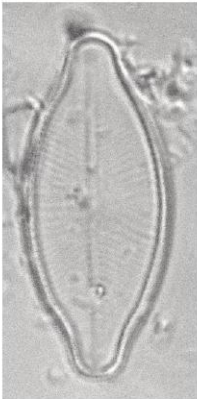
1-4 *Pinnularia* sp6; 5-6 *P. sp7*; 7-8 *P. sp8*; 9-10 *P. sp9*.

ANT Cr 11

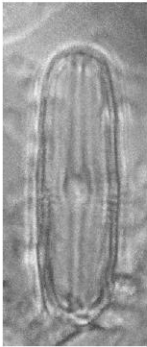


1-2 *Pinnularia* sp10; 3-5 *P. sp11*; 6-7 *P. sp12*; 8 *P. sp13*; 9-11 *P. sp14*.

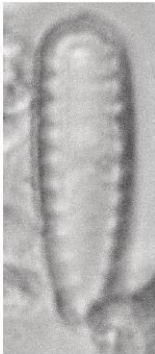
ANT Cr 12



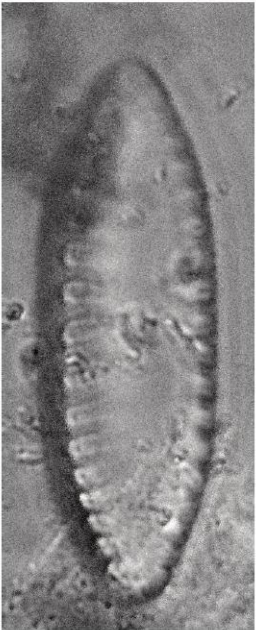
1



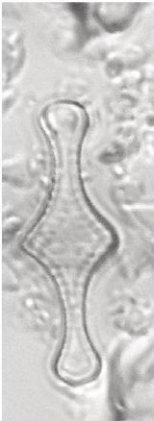
2



3



4



5

10 µm

1 *Psammothidium germainii*; 2 *Sellaphora* sp1; 3 *Surirella brasilenoides*; 4 *S.* sp1; 5 *Tabellaria flocculosa* var. *flocculosa*.

ANEXO 2

Tabla 1.- Identificación y conteo de especies de diatomeas, placas de identificación ANT 1-7.

Especies	ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	AA	CF	FA	AR	FR
1 <i>Aulacoseira sp</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
2 <i>Cyclotella sp1</i>	1	1						2	2	28,57	1,25%	1,67%
3 <i>Cyclotella sp2</i>				1	1			2	2	28,57	1,25%	1,67%
4 <i>Cyclotella sp3</i>					1		1	2	2	28,57	1,25%	1,67%
5 <i>Cyclotella sp4</i>				1	1		1	3	3	42,86	1,88%	2,50%
6 <i>Denticulopsis simonsenii</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
7 <i>Diploneis sp</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
8 <i>Encyonema gerstenbergeri</i>	1	1	1	1				4	4	57,14	2,50%	3,33%
9 <i>Encyonema silesiacum</i>		1	1	1				3	3	42,86	1,88%	2,50%
10 <i>Encyonema sp1</i>	1		1					2	2	28,57	1,25%	1,67%
11 <i>Encyonema sp2</i>				2				2	1	14,29	1,25%	0,83%
12 <i>Encyonema sp3</i>						1		1	1	14,29	0,63%	0,83%

	Especies	ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	AA	CF	FA	AR	FR
13	<i>Encyonema sp4</i>							1	1	1	14,29	0,63%	0,83%
14	<i>Gomphonema lagenula</i>			2		1			3	2	28,57	1,88%	1,67%
15	<i>Gomphonema minutum</i>	1							1	1	14,29	0,63%	0,83%
16	<i>Gomphonema parvulum</i>	2	2	3		3		1	11	5	71,43	6,88%	4,17%
17	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i>			1					1	1	14,29	0,63%	0,83%
18	<i>Gomphonema sp</i>		1	1					2	2	28,57	1,25%	1,67%
19	<i>Hannaea arcus</i>			1					1	1	14,29	0,63%	0,83%
20	<i>Hantzschia amphioxys</i>	3	2	1	1	4			11	5	71,43	6,88%	4,17%
21	<i>Hantzschia sp1</i>			1	1	1	1		4	4	57,14	2,50%	3,33%
22	<i>Hantzschia sp2</i>						1		1	1	14,29	0,63%	0,83%
23	<i>Humidophila contenta</i>		2						2	1	14,29	1,25%	0,83%
24	<i>Humidophila lacunosa</i>				3				3	1	14,29	1,88%	0,83%
25	<i>Luticola goeppertiana</i>	2	2			1		1	6	4	57,14	3,75%	3,33%
26	<i>Luticola ledeganckii</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%

	Especies	ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	AA	CF	FA	AR	FR
27	<i>Luticola tomesii</i>	1			1	1			3	3	42,86	1,88%	2,50%
28	<i>Luticola sp</i>							1	1	1	14,29	0,63%	0,83%
29	<i>Navicula kotschyi</i>			1	1				2	2	28,57	1,25%	1,67%
30	<i>Navicula tripunctata</i>	1	2	1					4	3	42,86	2,50%	2,50%
31	<i>Nitzschia brevissima</i>		1						1	1	14,29	0,63%	0,83%
32	<i>Nitzschia linearis</i>				2				2	1	14,29	1,25%	0,83%
33	<i>Odontidium mesodon</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
34	<i>Orthoseira sp</i>	1	1		3	2			7	4	57,14	4,38%	3,33%
35	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
36	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>borealis</i>	3	1		1	1	1		7	5	71,43	4,38%	4,17%
37	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>islandica</i>	1		1		2	1	1	6	5	71,43	3,75%	4,17%
38	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>lanceolata</i>	1		1	2	1	1		6	5	71,43	3,75%	4,17%
39	<i>Pinnularia sp1</i>	2		1		1	2		6	4	57,14	3,75%	3,33%
40	<i>Pinnularia sp2</i>	2		2		1		2	7	4	57,14	4,38%	3,33%

Especies		ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	AA	CF	FA	AR	FR
41	<i>Pinnularia sp3</i>		2	1			1	1	5	4	57,14	3,13%	3,33%
42	<i>Pinnularia sp4</i>		1						1	1	14,29	0,63%	0,83%
43	<i>Pinnularia sp5</i>		1				1		2	2	28,57	1,25%	1,67%
44	<i>Pinnularia sp6</i>		1		2			1	4	3	42,86	2,50%	2,50%
45	<i>Pinnularia sp7</i>		1	1					2	2	28,57	1,25%	1,67%
46	<i>Pinnularia sp8</i>		1		1				2	2	28,57	1,25%	1,67%
47	<i>Pinnularia sp9</i>		2						2	1	14,29	1,25%	0,83%
48	<i>Pinnularia sp10</i>					2			2	1	14,29	1,25%	0,83%
49	<i>Pinnularia sp11</i>			3					3	1	14,29	1,88%	0,83%
50	<i>Pinnularia sp12</i>				1	1			2	2	28,57	1,25%	1,67%
51	<i>Pinnularia sp13</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
52	<i>Pinnularia sp14</i>			2			1		3	2	28,57	1,88%	1,67%
53	<i>Psammothidium germainii</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
54	<i>Sellaphora sp</i>		1						1	1	14,29	0,63%	0,83%

Especies		ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	AA	CF	FA	AR	FR
55	<i>Surirella brasilenoides</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
56	<i>Surirella sp</i>			1					1	1	14,29	0,63%	0,83%
57	<i>Tabellaria flocculosa</i> var. <i>Flocculosa</i>					1			1	1	14,29	0,63%	0,83%
TOTAL		23	27	28	25	35	11	11	160	120	1714,29	100%	100%

Abundancia Absoluta **AA**

Conteo de Frecuencia **CF**

Frecuencia Absoluta **FA**

Abundancia Relativa **AR**

Frecuencia Relativa **FR**

ANEXO 3

Tabla 2- Análisis de variabilidad inter e intraespecífica de diatomeas encontradas en crioconitas del volcán Antisana.

	Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL
1	<i>Aulacoseira sp</i>	ANT Cr1	1	70,84	22,79	47,23	15,19	Areolas N/V vista pleural	Areolas N/V vista pleural	1
2	<i>Cyclotella sp1</i>	ANT Cr13	8	29,85	29,66	19,90	19,77	Areolas N/V	Areolas N/V	2
			9	25,64	26,79	17,09	17,86	Areolas N/V		
3	<i>Cyclotella sp2</i>	ANT Cr13	10	30,04	30,06	20,03	20,04	Areolas N/V	Areolas N/V	2
			11	24,45	24,49	16,30	16,33	Areolas N/V		
4	<i>Cyclotella sp3</i>	ANT Cr13	12	22,58	21,62	15,05	14,41	Areolas N/V	Areolas N/V	2
			13	25,26	25,26	16,84	16,84	Areolas N/V		
5	<i>Cyclotella sp4</i>	ANT Cr13	14	28,13	27,55	18,75	18,37	Areolas N/V	Areolas N/V	3
			15	20,28	20,09	13,52	13,39	Areolas N/V		
			16	17,99	18,94	11,99	12,63	Areolas N/V		
6	<i>Denticulopsis simonsen ii</i>	ANT Cr1	2	69,42	19,35	46,28	12,90	Estrías 2	Estrías 2	1
7	<i>Diploneis sp</i>	ANT Cr1	4	58,04	31,05	38,69	20,70	Estrías 6	Estrías 6	1
8	<i>Encyonema gerstenberger</i>	ANT Cr 8	1	147,91	32,59	98,61	21,73	Estrías 5	Estrías 5 a 6	4

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		2	145,93	30,59	97,29	20,39	Estrías N/V			
		3	144,37	29,23	96,25	19,49	Estrías 5			
		4	96,03	25,00	64,02	16,67	Estrías 6			
9	<i>Encyonema silesiacum</i>	ANT Cr 9	2	81,14	22,14	54,09	14,76	Estrías 9	Estrías 6 a 9	3
			3	75,24	23,90	50,16	15,93	Estrías 6		
			4	66,68	22,13	44,45	14,75	Estrías 7		
10	<i>Encyonema sp1</i>	ANT Cr 8	5	-	31,70	-	21,13	Estrías N/V	Estrías 6	2
			6	-	23,00	-	15,33	Estrías 6		
11	<i>Encyonema sp2</i>	ANT Cr 8	7	77,88	17,98	51,92	11,99	Estrías N/V	Estrías 7	2
			8	78,98	16,74	52,65	11,16	Estrías 7		
12	<i>Encyonema sp3</i>	ANT Cr 8	9	137,89	21,11	91,93	14,07	Estrías 7	Estrías 7	1
13	<i>Encyonema sp4</i>	ANT Cr 9	1	87,04	26,37	58,03	17,58	Estrías 5	Estrías 5	1
14	<i>Gomphonema lagenula</i>	ANT Cr7	12	60,10	15,28	40,07	10,19	Estrías 9	Estrías 8 a 9	3
			13	53,70	16,16	35,80	10,77	Estrías 8		
			14	50,74	14,83	33,83	9,89	Estrías 8		

	Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL
15	<i>Gomphonema minutum</i>	ANT Cr7	17	42,72	10,93	28,48	7,29	Estrías 9	Estrías 9	1
16	<i>Gomphonema parvulum</i>	ANT Cr7	1	80,56	16,82	53,71	11,21	Estrías 8	Estrías 8 a 10	11
			2	70,86	15,81	47,24	10,54	Estrías 8		
			3	49,26	15,48	32,84	10,32	Estrías 9		
			4	58,99	14,00	39,33	9,33	Estrías 10		
			5	50,09	12,67	33,39	8,45	Estrías 9		
			6	52,81	15,47	35,21	10,31	Estrías 10		
			7	44,25	15,01	29,50	10,01	Estrías 8		
			8	43,17	13,62	28,78	9,08	Estrías N/V		
			9	42,42	12,66	28,28	8,44	Estrías 8		
			10	38,63	14,28	25,75	9,52	Estrías 10		
			11	37,92	14,47	25,28	9,65	Estrías 9		
17	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i>	ANT Cr 9	8	41,71	9,87	27,81	6,58	Estrías 8	Estrías 8	1
18	<i>Gomphonema</i> sp	ANT Cr7	15	68,13	20,69	45,42	13,79	Estrías 6	Estrías 6 a 8	2
			16	68,63	21,02	45,75	14,01	Estrías 8		

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
19	<i>Hannaea arcus</i>	ANT Cr 9	5	117,07	17,65	78,05	11,77	Estrías 10	Estrías 10	1
20	<i>Hantzschia amphioxys</i>	ANT Cr 10	1	112,46	15,41	74,97	10,27	Estrías N/V	Estrías N/V	11
			2	-	-	-	-	Estrías N/V		
			3	82,63	16,72	55,09	11,15	Estrías N/V		
			4	-	12,46	-	8,31	Estrías N/V		
			5	80,00	13,77	53,33	9,18	Estrías N/V		
			6	75,08	14,10	50,05	9,40	Estrías N/V		
			7	70,17	13,31	46,78	8,87	Estrías N/V		
			8	-	15,37	-	10,25	Estrías N/V		
			9	-	12,75	-	8,50	Estrías N/V		
			10	-	17,62	-	11,75	Estrías N/V		
			11	-	12,75	-	8,50	Estrías N/V		
21	<i>Hantzschia spl</i>	ANT Cr11	1	-	23,72	-	15,81	Estrías N/V	Estrías N/V	4
			2	105,28	18,28	70,19	12,19	Estrías N/V		
			3	-	23,88	-	15,92	Estrías N/V		

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		4	-	-	-	-	Estrías N/V			
22	<i>Hantzschia sp2</i>	ANT Cr11	5	-	-	-	Estrías N/V	Estrías N/V	1	
23	<i>Humidophila contenta</i>	ANT Cr12	12	33,35	8,28	22,23	5,52	Estrías N/V	Estrías N/V	2
			13	30,00	10,52	20,00	7,01	Estrías N/V		
24	<i>Humidophila lacunosa</i>	ANT CR11	6	37,15	10,09	24,77	6,73	Estrías N/V	Estrías N/V	3
			7	29,47	7,48	19,65	4,99	Estrías N/V		
			8	26,86	7,30	17,91	4,87	Estrías N/V		
25	<i>Luticola goeppertiana</i>	ANT Cr11	9	59,23	16,98	39,49	11,32	Areolas N/V	Estrías 11 a 13	6
			10	54,31	16,17	36,21	10,78	Areolas N/V		
			11	47,55	17,92	31,70	11,95	Areolas N/V		
			12	46,93	17,37	31,29	11,58	Areolas N/V		
			13	40,99	13,21	27,33	8,81	Areolas N/V		
			14	30,54	13,21	20,36	8,81	Areolas N/V		
26	<i>Luticola ledeganck ii</i>	ANT Cr11	18	42,38	15,91	28,25	10,61	Areolas N/V	Estrías 14	1
27	<i>Luticola tomesii</i>	ANT Cr11	15	30,41	12,44	20,27	8,29	Areolas N/V	Estrías 12	3

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		16	26,61	12,32	17,74	8,21	Areolas N/V			
		17	23,50	11,52	15,67	7,68	Areolas N/V			
28	<i>Luticola sp</i>	ANT Cr11	19	30,50	12,48	20,33	8,32	Areolas N/V	Areolas N/V	1
29	<i>Navicula kotschy</i>	ANT Cr12	7	-	18,80	-	12,53	Estrías N/V	Estrías N/V	2
			8	44,77	16,46	29,85	10,97	Estrías N/V		
30	<i>Navicula tripunctata</i>	ANT Cr12	1	96,81	19,03	64,54	12,69	Estrías 9	Estrías 5 a 9	4
			2	92,07	15,67	61,38	10,45	Estrías 5		
			3	66,02	11,19	44,01	7,46	Estrías 7		
			4	-	12,98	-	8,65	Estrías 6		
31	<i>Nitzschia brevissima</i>	ANT Cr10	13	73,73	11,00	49,15	7,33	Estrías N/V		1
32	<i>Nitzschia linearis</i>	ANT Cr12	5	-	12,76	-	8,51	Estrías N/V	Estrías N/V	2
			6	-	16,12	-	10,75	Estrías N/V		
33	<i>Odontidium mesodon</i>	ANT Cr12	9	32,68	17,91	21,79	11,94	Estrías 3	Estrías 3	1
34	<i>Orthoseira sp</i>	ANT Cr13	1	37,70	38,27	25,13	25,51	Areolas N/V	Areolas N/V	7
			2	35,02	35,02	23,35	23,35	Areolas N/V		

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		3	23,73	24,51	15,82	16,34	Areolas N/V			
		4	25,83	25,83	17,22	17,22	Areolas N/V			
		5	19,52	21,27	13,01	14,18	Areolas N/V			
		6	20,86	22,01	13,91	14,67	Areolas N/V			
		7	17,99	18,18	11,99	12,12	Areolas N/V			
35	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	ANT Cr1	5	86,44	17,05	57,63	11,37	Estrías 10	Estrías 10	1
36	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>borealis</i>	ANT Cr2	1	99,73	27,30	66,49	18,20	Estrías 5	Estrías 4 a 5	7
		2	84,19	20,51	56,13	13,67	Estrías 4			
		3	83,40	19,88	55,60	13,25	Estrías 4			
		4	-	22,07	-	14,71	Estrías N/V			
		5	62,50	14,78	41,67	9,85	Estrías 4			
		6	64,18	17,20	42,79	11,47	Estrías 4			
		7	54,27	16,48	36,18	10,99	Estrías 5			
37	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>islandica</i>	ANT Cr2	8	103,00	22,07	68,67	14,71	Estrías 4	Estrías 3 a 5	6
		9	90,30	20,30	60,20	13,53	Estrías 4			

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		10	81,70	18,26	54,47	12,17	Estrías 3			
		11	53,02	16,79	35,35	11,19	Estrías 4			
		12	61,38	19,04	40,92	12,69	Estrías 5			
		13	59,50	13,76	39,67	9,17	Estrías 4			
38	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>lanceolata</i>	ANT Cr1	6	84,03	21,40	56,02	14,27	Estrías 5	Estrías 3 a 5	6
		ANT Cr1	7	77,86	24,04	51,91	16,03	Estrías 3		
		ANT Cr1	8	55,37	21,61	36,91	14,41	Estrías 4		
		ANT Cr1	9	52,52	20,15	35,01	13,43	Estrías 5		
		ANT Cr1	10	50,32	19,41	33,55	12,94	Estrías 4		
		ANT Cr1	11	43,05	18,04	28,70	12,03	Estrías 3		
39	<i>Pinnularia sp1</i>	ANT Cr 3	1	-	26,28	-	17,52	Estrías 6	Estrías 4 a 6	6
			2	68,56	24,80	45,71	16,53	Estrías N/V		
			3	64,48	26,84	42,99	17,89	Estrías 4		
			4	61,33	23,65	40,89	15,77	Estrías 4		
			5	53,41	23,69	35,61	15,79	Estrías 5		

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		6	-	21,59	-	14,39	Estrías 6			
40	<i>Pinnularia sp2</i>	ANT Cr 3	7	109,10	30,34	72,73	20,23	Estrías 4	Estrías 4 a 3	7
			8	85,03	23,34	56,69	15,56	Estrías 4		
			9	73,90	23,38	49,27	15,59	Estrías 4		
			10	64,49	21,59	42,99	14,39	Estrías 4		
			11	51,34	18,38	34,23	12,25	Estrías 4		
			12	-	23,17	-	15,45	Estrías N/V		
			13	54,26	18,19	36,17	12,13	Estrías 3		
41	<i>Pinnularia sp3</i>	ANT Cr4	1	106,56	31,24	71,04	20,83	Estrías 4	Estrías 4 a 6	5
			2	100,49	24,94	66,99	16,63	Estrías 5		
			3	97,46	27,77	64,97	18,51	Estrías 6		
			4	59,54	19,95	39,69	13,30	Estrías 4		
			5	-	22,33	-	14,89	Estrías 5		
42	<i>Pinnularia sp4</i>	ANT Cr4	6	116,99	31,54	77,99	21,03	Estrías 4	Estrías 4	1
43	<i>Pinnularia sp5</i>	ANT Cr4	7	77,17	24,10	51,45	16,07	Estrías 5	Estrías 4 a 5	2

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		8	71,15	23,12	47,43	15,41	Estrías 4			
44	<i>Pinnularia sp6</i>	ANT Cr5	1	-	29,35	-	19,57	Estrías 5	Estrías 4 a 5	4
			2	112,78	29,74	75,19	19,83	Estrías 4		
			3	-	25,75	-	17,17	Estrías 4		
			4	-	24,41	-	16,27	Estrías 5		
45	<i>Pinnularia sp7</i>	ANT Cr5	5	-	24,60	-	16,40	Estrías 3	Estrías 3	2
			6	-	19,17	-	12,78	Estrías 3		
46	<i>Pinnularia sp8</i>	ANT Cr5	7	61,85	29,73	41,23	19,82	Estrías 5	Estrías 4 a 5	2
			8	55,39	24,89	36,93	16,59	Estrías 4		
47	<i>Pinnularia sp9</i>	ANT Cr5	9	34,59	18,07	23,06	12,05	Estrías 5	Estrías 4 a 5	2
			10	35,70	17,91	23,80	11,94	Estrías 4		
48	<i>Pinnularia sp10</i>	ANT Cr6	1	165,53	44,96	110,35	29,97	Estrías 3	Estrías 3 a 4	2
			2	-	34,34	-	22,89	Estrías 4		
49	<i>Pinnularia sp11</i>	ANT Cr6	3	91,97	22,90	61,31	15,27	Estrías 3	Estrías 3	3
			4	-	-	-	-	Estrías N/V		

Especies	pág.	N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Largo (µm)	Ancho (µm)	Caracteres morfológicos	Rango de caracteres	TOTAL	
		5	72,75	19,77	48,50	13,18	Estrías 3			
50	<i>Pinnularia sp12</i>	ANT Cr6	6	-	20,05	-	13,37	Estrías 4	Estrías 4	2
			7	-	16,47	-	10,98	Estrías 4		
51	<i>Pinnularia sp13</i>	ANT Cr6	8	98,98	19,68	65,99	13,12	Estrías 7	Estrías 7	1
52	<i>Pinnularia sp14</i>	ANT Cr6	9	72,19	12,04	48,13	8,03	Estrías N/V	Estrías 2 a 6	3
			10	61,85	12,86	41,23	8,57	Estrías 6		
			11	59,60	12,03	39,73	8,02	Estrías 2		
53	<i>Psammothidium germainii</i>	ANT Cr1	3	59,56	24,33	39,71	16,22	Estrías 10	Estrías 10	1
54	<i>Sellaphora sp</i>	ANT Cr12	11	47,23	14,55	31,49	9,70	Estrías N/V	Estrías N/V	1
55	<i>Surirella brasilensoides</i>	ANT Cr 9	7	55,29	16,10	36,86	10,73	Estrías 4	Estrías 4	1
56	<i>Surirella sp</i>	ANT Cr 9	6	97,76	28,85	65,17	19,23	Estrías 4	Estrías 4	1
57	<i>Tabellaria flocculosa</i> var. <i>Flocculosa</i>	ANT Cr12	10	51,04	17,01	34,03	11,34	Estrías N/V	Estrías N/V	1
TOTAL									160	

No visible (N/V)

Medida no válida por irregularidad en fotografía (-)

ANEXO 4

Tabla 3.- Identificación y conteo de géneros de diatomeas.

	Género	TOAL	%
1	<i>Aulacoseira</i>	1	0,63
2	<i>Cyclotella</i>	9	5,63
3	<i>Denticulopsis</i>	1	0,63
4	<i>Diploneis</i>	1	0,63
5	<i>Encyonema</i>	13	8,13
6	<i>Gomphonema</i>	18	11,25
7	<i>Hannaea</i>	1	0,63
8	<i>Hantzschia</i>	16	10,00
9	<i>Humidophila</i>	5	3,13
10	<i>Luticola</i>	11	6,88
11	<i>Navicula</i>	6	3,75
12	<i>Nitzschia</i>	3	1,88
13	<i>Odontidium</i>	1	0,63
14	<i>Orthoseira</i>	7	4,38
15	<i>Pinnularia</i>	62	38,75
16	<i>Psammothidium</i>	1	0,63
17	<i>Selaphora</i>	1	0,63
18	<i>Surirella</i>	2	1,25
19	<i>Tabellaria</i>	1	0,63
TOTAL		160	100

