MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

"**MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**.**"**

Realizado por:

FRANKS ALID ARAYA RUIZ

Director del proyecto:

MSc. SUSANA CHAMORRO

Como requisito para la obtención del título de:

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 11 de febrero de 2020

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, **FRANKS ALID ARAYA RUIZ**, con cédula de identidad # 1717095440, 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, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

FIRMA

1717095440

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO”

Realizado por:

FRANKS ALID ARAYA RUIZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

SUSANA CHAMORRO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JUAN CARLOS NAVARRO

JOSE SALAZAR

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador

Quito, 11 de febrero de 2020

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

BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA

Perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

DEDICATORIA

A mi Familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecir mi camino durante la carrera, a mi mamá por todo el sacrificio que hizo para que pudiera cumplir con esta meta, a mis profesores en especial a mi tutora que guio. A mis hermanos y sobrinos, a Ramiro mi guía, a todas las personas que me ayudaron en mis tesis y a Saúl Blanco, por ser un mentor y por animarme en los momentos difíciles.

Gracias por todo negrita, te amo. Y gracias a toda tu familia.

Para someter a:

To be submitted:

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Franks Araya[1], Susana Chamorro [1*]

[1] Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONTENCIA: Susana Chamorro,

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono:0990035913; email: susana.chamorro@uisek.edu.ec

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Resumen

El aumento de la temperatura anual a nivel mundial se le atribuye al cambio climático provocado principalmente por la contaminación ambiental como consecuencia del uso excesivo de energías como la de carbono o de combustibles fósiles, dando como consecuencia el deterioro de la capa de ozono, causando daños tanto a la flora como fauna a nivel mundial. Por lo cual este trabajo se enfocó en un recurso primordial como es el agua principalmente en una zona delicada como es está, la cual abastece de agua al sur de Quito.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar las comunidades de microalgas (diatomeas) en crioconitas presentes en la gradiente altitudinal del glaciar del Volcán Antisana, usándolas como bioindicadores del derretimiento acelerado debido a la presencia de las mismas en esta zona. Se planteó que en crioconitas grandes existiría un mayor número de individuos que en crioconitas de un tamaño menor.

El muestreo tuvo una duración de 6 meses (una por mes) donde se recolectaron 54 muestras en total, de las cuales se obtuvieron parámetros físicos como el largo, ancho y profundidad de cada crioconita, además se tomaron parámetros químicos como temperatura, conductividad eléctrica, demanda de oxígeno disuelto y el pH y 100 mL de muestras con sedimento debido a que por pre muestreos verificamos que las diatomeas están presentes únicamente en el sedimento.

Finalmente se calculó la diversidad en cada una de las 54 crioconitas analizadas donde se obtuvo como resultado que no tenía ninguna relación el volumen de las crioconitas con el número de individuos en las mismas. Además, que *Psamonthidium germainii* es la especie más abundante con 344 individuos de 842 que fueron contabilizados.

Palabras clave: *Diatomeas, cambio climático, derretimiento, glaciar.*

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Abstract

The increase in annual temperatures globally is attributed to climate change caused mainly by environmental pollution as a result of the overuse of energy such as carbon or fossil fuels, resulting in deterioration of the ozone layer, causing damage to both flora and fauna worldwide. So this work focused on a primordial resource such as water mainly in a delicate area as it is, which supplies water south of Quito.

The objective of this work was to characterize the communities of microalgae (diatom) in cryoconites present in the altitude gradient of the anti-active Volcano glacier, using them as bioindicators of accelerated melting due to the presence of themselves in this area. It was raised that in large cryoconites there would be a greater number of individuals than in cryoconites of a smaller size.

The sampling lasted 6 months (one per month) where 54 samples were collected in total, from which physical parameters such as the length, width and depth of each cryoconite were obtained, in addition chemical parameters such as temperature, conductivity were taken dissolved oxygen demand and pH and 100 mL of sediment samples because by pre-sampling we verify that the diatoms are present only in the sediment.

Finally the diversity was calculated in each of the 54 cryoconites analyzed where it was obtained as a result that the volume of cryoconites was unrelated to the number of individuals in them. In addition, that Psamonthidium germainii is the most abundant species with 344 individuals out of 842 that were counted.

***Keywords*:** *Diatom, global warming, melting, glacier.*

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

INTRODUCCIÓN:

El cambio climático en la actualidad se puede evidenciar gracias a las variaciones que se observa en las temperaturas a nivel mundial, o a su vez en fenómenos, los cuales se encuentran evidenciados a los derretimientos de glaciares y del hielo de los polos, provocados principalmente por la actividad antrópica.

Mueller (2004), y su estudio "*Revision of the Psammothidium germainii complex (Bacillariophyta) in the Maritime Antarctic Region"* el cual realiza una comparación con dos glaciales similares, con características semejantes como el tamaño de cada una de ellas, y además que el valor de la temperatura media anual que se encuentra en esos lugares son iguales, encontrando comunidades de crioconitas propias de cada uno. En este estudio los resultados del análisis canónico de correspondencia se atribuyeron a la cantidad relativa de perturbación y aislamiento entre cada crioconita de los glaciares.

Cabe mencionar que las crioconita de cada glaciar tenían sus características como la que presentaba el del glaciar de Canadá, recubierto de hielo y sin presentar alguna perturbación por la corriente de agua derretida y las crioconitas del Glaciar Blanco parecido a los del glaciar del Antisana los cuales podían restablecer continuamente la estructura comunitaria y la variabilidad del hábitat debido a la mezcla.

Gracias a este estudio nace la idea de investigar el Glaciar del volcán Antisana.

A nivel mundial los glaciares se encuentran ubicados por todo el mundo, particularmente en zonas de altas latitudes, sin embargo, podemos encontrarlas en zonas de baja latitudes. En zonas templadas están la mayor parte de glaciares de montaña (Himalaya) y solo un 5% se encuentran en zonas tropicales (América del Sur, África). Los glaciares tropicales están ubicados principalmente en los Andes tropicales de esta manera: Perú (71%), Bolivia (20%), y el resto está ubicado en Colombia, Ecuador y Venezuela (Francou, 2004).

El Antisana es un misterioso y majestuoso volcán que se encuentra ubicado en la cordillera Oriental ecuatoriana. El centro de esta área geográfica se halla protegido, en dicho interior existen bosques y páramos. Con una vida silvestre muy diversa, existencia de paisajes impresionantes, con retroceso y paso de los glaciares, además de su actividad volcánica. Se localiza la laguna de la Mica como espejo del volcán, que suministra gran

parte del agua de la ciudad de Quito. Su acceso era hasta hace algunos años difícil, pero al pasar del tiempo se convirtió en una zona fácil de visitar desde las partes aledañas y la capital del país (Ministerio del Ambiente, 2015).

La ablación de los glaciares es sensible a los cambios en el albedo con consecuencias atmosféricas, hidrológicas. La nieve fresca refleja más del 90% de la radiación visible, pero durante la fusión su tamaño de grano y contenido de agua aumenta, provocando que el aumento del deshielo y disminuyendo el albedo. Las impurezas, polvo y los microorganismos residentes también disminuyen el albedo. Las poblaciones perennes de microorganismos fotosintéticos resurgen activamente después de la fusión de nieve y dependen de nutrientes y del agua para su supervivencia y reproducción (Ganey, 2017).

El cambio climático al igual que en todo el mundo ya muestra evidencias en Ecuador, el ex ministro del Ambiente junto con delegaciones de la Unión Europea pudo constatar lo que está ocurriendo en los páramos de nuestro país. La zona de la Reserva Ecológica Antisana (REA), específicamente el glaciar que hace 20 años era solo hielo, cada vez es más pequeña. Luis Maisincho, investigador del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi) y de la Universidad Ikiam, explican durante un recorrido que el frente del glaciar ha retrocedido 350 metros. Esto se pudo obtener gracias al monitoreo de glaciares que empezó en 1994 con la llegada de la cooperación francesa, que se alió con varias instituciones locales como la Universidad Politécnica Nacional, y ahora Ikiam. Según Maisincho, el estudio evidencia que el glaciar está retrocediendo entre 20 y 25 metros por año. Esto es un resultado claro del aumento de la temperatura, dice el experto, que en el último siglo ha sido de más o menos un grado centígrado. En el Ecuador los glaciares actúan como medidores de cambio climático y como recursos naturales de agua. Si se continúa como se cree el proceso de deshielo, o peor aún, desaparece el glaciar, implicaría una reducción de agua para el 30% de los habitantes del sur de la capital. Con lo que ocurre en la actualidad, se estima que hasta el año 2050, el glaciar suba a los 5 300 metros (Granizo, 2017).

En la actualidad se han implementado técnicas de adaptación con las comunidades sobre el cambio climático, donde se desarrollan iniciativas para recuperar los páramos y retener mayores volúmenes de agua a través de plantas como el lupino (Alarcón, 2017).

Las medidas de adaptación incluyen: usar los escasos recursos hídricos de manera más eficiente; adaptar los códigos de construcción a las condiciones climáticas futuras y los eventos climáticos extremos; construyendo defensas contra inundaciones y elevando los niveles de diques; desarrollo de cultivos tolerantes a la sequía; elegir especies arbóreas y prácticas forestales menos vulnerables a tormentas e incendios; y reservando corredores terrestres para ayudar a las especies a migrar.

El cambio climático plantea una amenaza considerable para la biodiversidad de los ecosistemas de gran altitud en todo el mundo, incluidos los sistemas fluviales de agua fría que están respondiendo rápidamente a una criosfera en disminución. La investigación más reciente ha demostrado la grave vulnerabilidad de los invertebrados de los ríos a la retirada de los glaciares, pero los efectos sobre otros grupos acuáticos siguen escasamente cuantificados.

Incertidumbres considerables rodean tanto el alcance del cambio climático futuro como el alcance de los impactos biofísicos de dicho cambio. A pesar de las incertidumbres, los científicos del clima han alcanzado un fuerte consenso de que, en ausencia de medidas para reducir significativamente las emisiones de gases de efectos invernaderos, los cambios en el clima serán sustanciales, con efectos duraderos en muchos de los sistemas físicos y biológicos de la Tierra. Las estimaciones centrales o medianas de estos impactos son significativas. Además, existen riesgos significativos asociados con baja probabilidad, pero resultados potencialmente catastróficos. Aunque centrarse solo en los resultados medianos justifica los esfuerzos para reducir las emisiones de estos gases, los economistas argumentan que las incertidumbres y los riesgos asociados justifican una acción política más agresiva de lo que se justificaría (Wilhelm & Singer, 2017).

Las microalgas se han sugerido como una prometedora materia prima de biodiesel y se les ha llamado materia prima de tercera generación. Las microalgas son microorganismos procariotas o eucariotas que crecen a través de la fotosíntesis. Las microalgas tienen una estructura celular simple y su crecimiento requiere luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes (fósforo y nitrógeno como nutrientes principales). Fotosintéticamente, las microalgas pueden convertir esas necesidades en energía y usarla en el desarrollo celular. Los principales componentes químicos de las microalgas son los

lípidos, las proteínas y los carbohidratos con diferentes composiciones que se almacenan en la célula de microalgas (Huss & Hock, 2018).

La gran flexibilidad y adaptabilidad de las microalgas para crecer en diversos entornos significa que usan menos tierra cultivable que las plantas terrestres y, por lo tanto, se puede evitar la competencia con la agricultura por la producción de alimentos. La tasa de crecimiento de las microalgas es de 5 a 10 veces más rápida que los cultivos alimentarios convencionales. Además, la alta productividad de los lípidos es la razón principal por la cual las microalgas pueden usarse como materia prima alternativa de biodiesel. Las microalgas pueden tener entre 15 y 300 veces la productividad de los lípidos de los cultivos oleaginosos comunes y la acumulación de lípidos de las microalgas puede ser más del 50% por agotamiento de nutrientes. Los componentes menores de las microalgas son pigmentos como las ficobiliproteínas, clorofilas y carotenoides, que pueden usarse en industrias como la farmacéutica, alimentaria y cosmética. La producción de biodiesel a base de microalgas combina comercialmente varios procesos que funcionan simultáneamente, a saber, el cultivo, la cosecha, deshidratación y la conversión de biodiesel (Fell, Carrivick, & Brown, 2017).

La contaminación del agua superficial se ha convertido en uno de los problemas ambientales más importantes. Existen muchos estudios de varios autores que enfatizan las relaciones de las algas con el agua limpia. Recientemente, las algas se han convertido en organismos importantes para la purificación biológica de las aguas residuales, ya que pueden acumular nutrientes vegetales, metales pesados, pesticidas, sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas y materias radiactivas en sus células.

El cambio climático global ya ha resultado en una amplia gama de impactos en todas las regiones del país y en muchos sectores de la economía que se espera que crezcan en las próximas décadas. Posteriormente, se conoce que es causado principalmente por la quema de petróleo, gas y carbón. Si no se trabaja en busca de alternativas que favorezcan el medio ambiente, el mundo se volverá significativamente menos habitable. El Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC), explica que los peores impactos que podrían evitarse si se limitan con éxito el calentamiento global a menos de 0.5ºC a 1.5ºC.

Se ha perdido un tiempo precioso, pero si actuamos ahora, de manera decisiva y dramática, todavía tenemos la oportunidad de evitar los impactos más catastróficos del cambio climático. Los modelos climáticos pronostican con éxito aumentos de

temperatura, así como otros impactos como el aumento del nivel del mar y la acidificación del océano. Los modelos ahora sugieren que se requieren reducciones dramáticas inmediatas de CO2 para evitar impactos catastróficos (Jüttner & Gurung, 2017).

Se prevé que la retirada generalizada y acelerada de los glaciares en las regiones alpinas del mundo se intensifique a lo largo del siglo XXI (Wang, Zheng, & Liu, 2014). Esta disminución de la capa de hielo en última instancia reducirá la contribución del deshielo a los ríos, aumentando posteriormente las contribuciones relativas del deshielo, las corrientes de agua subterránea y la precipitación (Huss & Hock, 2018). La alteración del abastecimiento de agua de deshielo modificará físicamente la geomorfología del canal a medida que se atenúan los picos de descarga de hielo derretido diurnos y estacionales, lo que reduce la erosión y la reelaboración de sedimentos proglaciales (Jüttner & Gurung, 2017).

Cada fuente de agua también genera condiciones fisicoquímicas discretas, formando la plantilla del hábitat sobre las comunidades acuáticas y actuando como un filtro ambiental para los taxones que no poseen las combinaciones de rasgos morfológicos y de comportamiento necesarios para sobrevivir (Brown & Dickson, 2018).

La mezcla espacio-temporal de las fuentes de agua crea una mayor diversidad de condiciones de hábitat dentro de los ríos alpinos. Si bien ha habido un importante enfoque de investigación sobre el impacto de la retirada de los glaciares en las comunidades de macroinvertebrados, mucho menos se entiende cómo responderán otros grupos acuáticos (Fell, Carrivick, & Brown, 2017).

La sensibilidad de las diatomeas de agua dulce al cambio ambiental ha llevado a su uso como taxones indicadores representativos en la evaluación de la calidad del agua a nivel mundial (Wilhelm & Singer, 2017). Los ensambles de diatomeas poseen un espectro diverso de óptimas y tolerancias ecológicas y se vuelven a ensamblar en respuesta a las alteraciones en el entorno fisicoquímico, lo que sustenta su uso en la evaluación de la condición de los ecosistemas de agua dulce requerida por la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea (Lobo & Heinrich, 2016). Sin embargo, sigue existiendo una clara necesidad de conocer las respuestas del ensamblaje de diatomeas a los cambios antropogénicos naturales e indirectos, como la retirada de los glaciares.

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Las diatomeas bentónicas, junto con otros componentes de biopelículas, incluidas las cianobacterias y otras algas, desempeñan un papel importante en la producción primaria dentro de los ríos alpinos (Brown & Dickson, 2018). Este aporte autóctono es crítico para estos sistemas por encima de la línea de árboles que reciben un subsidio de energía mínimo de la zona ribereña. Los ríos alpinos, particularmente los manantiales, han sido identificados como puntos críticos potenciales de biodiversidad de diatomeas bentónicas, que albergan taxones raros y amenazados, a menudo en gran abundancia (Fell, Carrivick, & Brown, 2017).

Fragilaria arcus ((Ehrenberg) Cleve) y los géneros *Achnanthidium*, *Fragilaria* y *Odontidium* son consistentemente los taxones más abundantes dentro de los conjuntos de diatomeas en los Alpes europeos, el Himalaya y las Montañas Rocosas, con nuevas especies pertenecientes a este último recientemente identificadas en arroyos de montaña (Jüttner & Gurung, 2017). Sin embargo, se necesita una consideración más completa de las diatomeas bentónicas para informar la comprensión de las respuestas de biodiversidad del río alpino al retiro de los glaciares, dado su papel como fuente principal de alimento para los consumidores primarios de invertebrados en los ríos alimentados por glaciares (Wilhelm & Singer, 2017).

Huss&Hock (2018), analizaron conjuntos de diatomeas de ríos dentro de cuencas de montañas donde se ha considerado la influencia glacial con respecto a la distancia desde los márgenes de hielo y los orígenes de las fuentes de agua. Sin embargo, las predicciones holísticas de la respuesta de la comunidad acuática a la futura retirada de los glaciares requieren enfoques que identifiquen alteraciones de la biodiversidad de agua dulce alpina a lo largo de un espectro cuantificado de influencia glacial (Brown & Dickson, 2018).

Si bien estos enfoques de crono secuencia se han utilizado recientemente para determinar la respuesta de macro invertebrados, algas (excluyendo diatomeas) y comunidades procariotas microbianas a la desglaciación (Wang, Zheng, & Liu, 2014), aún no se han aplicado a los conjuntos de diatomeas bentónicas. La eficacia de la estrategia de conservación de agua dulce alpina depende de manera crítica de la comprensión de estas respuestas, particularmente para los taxones que son vulnerables a la extirpación debido a la limitada movilidad y capacidad de dispersión (Lobo & Heinrich, 2016).

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados ambientales cada día son más complejos, debido al cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global, la desforestación, la contaminación del agua, suelo y aire, la extinción de especies animales, por estos motivos es necesario el planteamiento de soluciones a todos estos problemas ambientales.

En un ensayo realizado por (Silva & Lehmkuhl, 2018) con el objetivo de reflexionar sobre cómo las microalgas se pueden diseñar teóricamente y utilizar metodológicamente como un instrumento de detección biotecnológica responsable de aumentar la capacidad, percepción, acción, cognición y comunicación sobre la dinámica antrópica de la naturaleza - considerando, en términos epistemológicos, esa razón científica parte del sentido común a medida que genera instrumentalizado entre sujeto-objeto de conocimiento.

También extienden y corrigen experiencias fenomenológicas limitadas a capacidades humanas limitadas a reglas neuropsicológicas y neuropsicológicas de cuerpo humano, o la lógica técnico-científica de otras áreas del conocimiento vinculadas a la política. Trabajan como biotecnologías capaces de crecer y corregir la inteligencia y la sensibilidad de los sistemas teórico-metodológicos aplicados en los planes de diagnóstico, monitoreo y ajuste ambiental.

Como biotecnologías, las microalgas funcionan como extensiones y potenciadores del cuerpo y el cerebro de los científicos o de las comunidades académicas reunidas dentro de las Ciencias Ambientales. Finalmente, se consideraron algunos Obstáculos epistemológicos que impiden la participación de bioindicadores en el ámbito de las políticas dirigidas a gestión ambiental.

Por lo tanto, las microalgas pueden considerarse un órgano "artificial" del cuerpo científico, de modo que ellas se tornan sensible a los comportamientos naturalmente imperceptibles. No perdiendo de vista sus causas antropogénicas, filosóficamente las microalgas ofrecen la oportunidad de reflexionar sobre las inconsecuencias e irresponsabilidades del ser humanos modernos porque sirven como un enlace entre acción y resultado, permitiendo que la humanidad se vea ella misma reflejada en las matemáticas de los fenómenos ambientales, y no se atribuyen los cambios climáticos a las causas naturales.

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Las microalgas como bioindicadores de la contaminación del agua, por ejemplo, pueden contribuir a la antigua tarea humana anunciada por el oráculo de Delfos, Grecia antigua: Conócete a ti mismo, sin embargo, la historia de la humanidad ha estado demostrando que esta declaración solo puede ser cumplido por relaciones de alteridad en oposición a cualquier ilusión psicológica o ideológica autonomía o separación del "hombre" frente a naturaleza y sociedad; dominado y explotado (Silva & Lehmkuhl, 2018).

Así como los humanos cambian cuando la zona de confort es presionada por factores externos, las microalgas también cambian la estructura de su comunidad cuando es sensible a cambios inducidos por el hombre en el medio ambiente. Protocolos y técnicas adoptadas para monitorear los cambios en la estructura de la comunidad de microalgas implican conocimientos y técnicas taxonómicas y especies ecológicas. El hecho de los cambios no aprensivo fuera del horizonte del desarrollo de la ciencia y la tecnología, el entorno revelado como fenómeno estrictamente cuyo lenguaje es comprensible para la subjetividad teórica y metodológicamente entrenada socialmente del científico; una intersubjetividad controlado por la comunidad científica la comprensión está reservada para quienes participan en grupo (Silva & Lehmkuhl, 2018).

Las diatomeas se destacan como buenos bioindicadores ambientales, ayudando en el monitoreo de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, inferir sobre los procesos de cambio ambiental en el presente, pasado y futuro. Las principales características que los hacen buenos indicadores:

1. Amplia distribución geográfica, y se pueden encontrar en varios tipos de ambientes acuáticos (aguas continentales, paisajes marinos, lagos, ríos).
2. Alta riqueza de especies con diferentes requisitos ecológicos, por lo que los cambios pueden tomar tanto la desaparición de taxones sensibles, como el desarrollo de los favorecidos con algunos cambios, así como la permanencia de taxones tolerantes.
3. Ciclo de vida corto, uno para algunas divisiones por día para reaccionar casi instantáneamente a los cambios en el medio ambiente considerado como indicadores de respuesta rápida.
4. Envoltura de células de sílice (Si O2), que contribuye a la preservación de las válvulas en el sedimento, resistiendo la descomposición por bacterias, disolución

química y ruptura física, lo que permite su identificación correcta incluso si se ha depositado durante mucho tiempo en el sedimento.

5. Grande cantidad de información sobre la ecología de varias especies, lo cual es esencial para el monitoreo exitoso (Wilhelm & Singer, 2017).

METODOLOGÍA:

Sitio de estudio

La Reserva Ecológica Antisana que se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de los Andes delimitada por las provincias de Napo y Pichincha, donde se encuentra el Glaciar Antisana, uno de los volcanes activos del Ecuador y el mismo que tiene una altura de 5700 m.s.n.m en el cual se puede observar su glaciar que empieza desde los 4700 m.s.n.m donde se enfocó el análisis de esta investigación.

Figura 1: Ubicación de los volcanes en Ecuador. Realizado por: Franks Araya

Métodos.

Fase de campo.

Se realizaron un total de seis muestreos en seis meses (junio, a diciembre del 2018), a lo largo de la gradiente altitudinal del Glaciar que inicia desde los 4700 m.s.n.m hasta los 5200 m.s.n.m, en cada muestreo se recorrió 200 metros del sendero por donde se realiza

la cumbre a la cima del volcán Antisana y se colectaron datos biológicos (diatomeas) y fisicoquímicos de las crioconitas encontradas.

Recolección de muestras in situ.

Se realizó un pre muestreo al Glaciar para colectar muestras en 4 puntos diferentes y determinar la presencia de diatomeas, con el fin de conocer la ecología de las diatomeas en crioconitas se realizó un pre muestreo dónde se colectaron 4 diferentes muestras (Figura 2) en 4 crioconitas de diferentes puntos.

1. Hielo (completamente blanco, sin presencia de sedimento, 10x10).
2. Borde de las crioconitas (raspado de hielo con sedimento).
3. Agua superficial de la crioconita sin congelar.
4. Fondo de crioconita donde se encontraba sedimento (la crioconita congelada en el fondo con sedimento, para esto se cavó o se golpeó la crioconita para poder llegar al fondo.

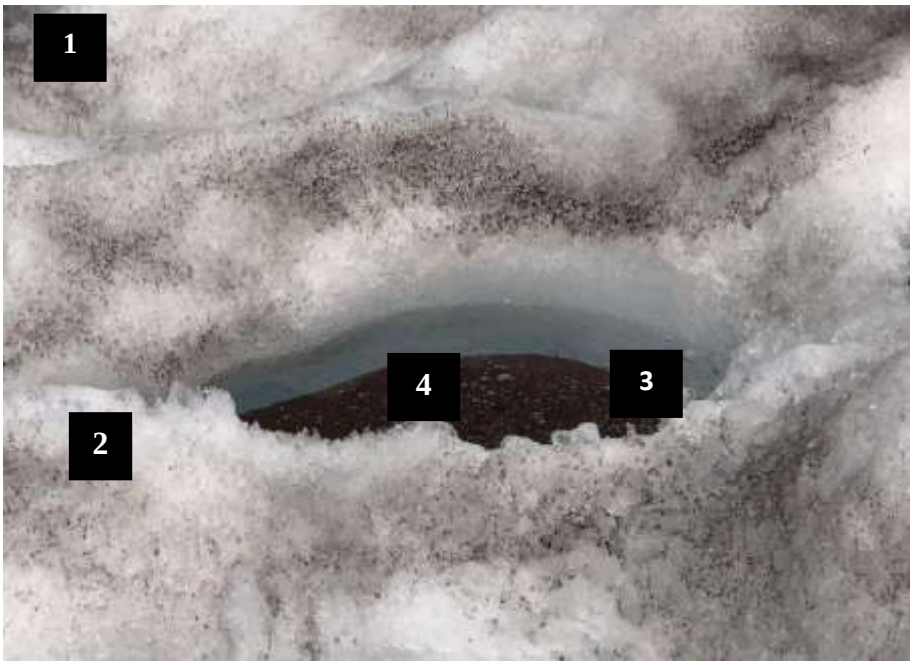


Figura 2: Imagen de crioconita. Realizado por Araya 2019

Las muestras fueron homogenizadas (es decir, se mezclaba el agua con el sustrato), para lo cual se cabo y se golpeó las crioconitas congeladas para poder llegar al fondo donde se encontraba el sedimento, con una jeringuilla se tomó la muestra directamente de cada crioconita fueron recolectadas en frascos previamente esterilizados

de 100ml, y etiquetados (fecha, número de crioconita, altura y coordenadas geográficas), a cada muestra se le añadió transeau para su preservación. Todas las muestras se colocaron en un cooler con hielo a 4°C y llevados al laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales para su posterior tratamiento.

En cada crioconita se tomaron los siguientes parámetros:

Parámetros Físicos:

Se midió el largo, ancho y profundidad de cada crioconita para luego obtener el volumen de la misma. Dando como resultado el total de 54 crioconitas, 37 pequeñas y 17 crioconitas grandes, evidenciando un mayor número de pequeñas.

Además de las coordenadas geográficas.

Parámetros Químicos:

Con la ayuda de un multiparámetro (HANNA) y kit de campo se registraron los siguientes parámetros de temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza, alcalinidad, nitrito, nitrato, porcentaje de saturación de OD.

Fase de laboratorio

En el presente trabajo se emplearon los métodos y materiales de campo y laboratorio de trabajos ya realizados por (Battarbee 1986; Battarbee et al. 2001; ECS 2003; Blanco, Álvarez & Cejudo 2008).

RESULTADOS:

Parámetros fisicoquímicos:

Los datos obtenidos fueron *in situ* con ayuda del multiparámetro y con un kit de campo, los valores del kit de campo fueron, dureza, alcalinidad, nitritos y nitratos donde todos los datos son de 0, debido a que la condición del agua es pura. Los valores fueron:

Tabla 1: Rango de variación de Parámetros fisicoquímicos en crioconitas del glaciar Antisana.

Conductividad (µS/cm)	Temperatura ºC	pH	Dureza (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Saturación de DO (%)
0 a 9	1,39 a 2,58	6,04 a 8,61	0 a 100	0 a 20	0	0	23 77

Elaborado por: Araya 2019

Caracterización de los puntos de muestreo:

Se recolectó un total de 54 crioconitas durante seis meses de muestreo que abarcó los meses de junio a diciembre del 2018 en la gradiente altitudinal del volcán Antisana, que inicio desde los 4700 m.s.n.m hasta los 5200 m.s.n.m obteniendo una abundancia de 825 individuos.

De estos 825 individuos las especies más representativas fueron: *Psamonthidium germainii* con 344 individuos, *Pinnularia borealis* con 65 individuos, *Lemnicola hungarica* con 45, *Nitszchia soratensis* con 35 individuos, *Cocconeis euglypta* y *Planothidium lanceolatum* con 25 individuos cada una.

Evidentemente la especies *Psamonthidium germainii* con un total de 344 individuos representa el 41.69 % es la especie representativa del Glaciar Antisana.

Diatomeas

Después de analizar el tamaño calculado por el cálculo entre largo, ancho y profundidad tuvimos un valor medio de V=6581,97 cm³, donde se clasifico las crioconitas que tenían menor valor como pequeñas y las que superaban este valor se les considera como crioconitas grandes dando como resultado de cada una de ellas:

Tabla 2: Representación de cuantos individuos fueron encontrados en las crioconitas de tamaño pequeños y grandes.

Crioconita	Tamaño	Total de individuos en cada crioconita	Crioconita	Tamaño	Total de individuos en cada crioconita
1	Pequeño	30	**28**	Pequeño	0
2	Pequeño	33	**29**	Pequeño	0
3	Pequeño	45	**30**	Pequeño	26

4	Pequeño	19	**31**	Pequeño	15
5	Pequeño	28	**32**	Pequeño	0
6	Pequeño	23	**33**	Pequeño	0
7	Pequeño	25	**34**	Pequeño	22
8	Pequeño	52	**35**	Pequeño	22
9	Grande	16	**36**	Pequeño	0
10	Grande	17	**37**	Pequeño	9
11	Grande	18	**38**	Grande	23
12	Pequeño	12	**39**	Grande	33
13	Pequeño	18	**40**	Pequeño	0
14	Pequeño	20	**41**	Grande	4
15	Pequeño	16	**42**	Grande	3
16	Pequeño	6	**43**	Pequeño	15
17	Pequeño	11	**44**	Pequeño	14
18	Pequeño	17	**45**	Grande	19
19	Pequeño	2	**46**	Grande	9
20	Pequeño	3	**47**	Grande	5
21	Pequeño	22	**48**	Grande	34
22	Pequeño	15	**49**	Pequeño	17
23	Grande	17	**50**	Pequeño	19
24	Grande	17	**51**	Pequeño	6
25	Grande	4	**52**	Grande	19
26	Pequeño	0	**53**	Grande	9
27	Pequeño	17	**54**	Grande	16

Elaborado por: Araya 2019

Por lo tanto, se obtuvieron 37 crioconitas pequeñas las cuales evidencian que tienen un número mayor de individuos que las 17 crioconitas grandes.

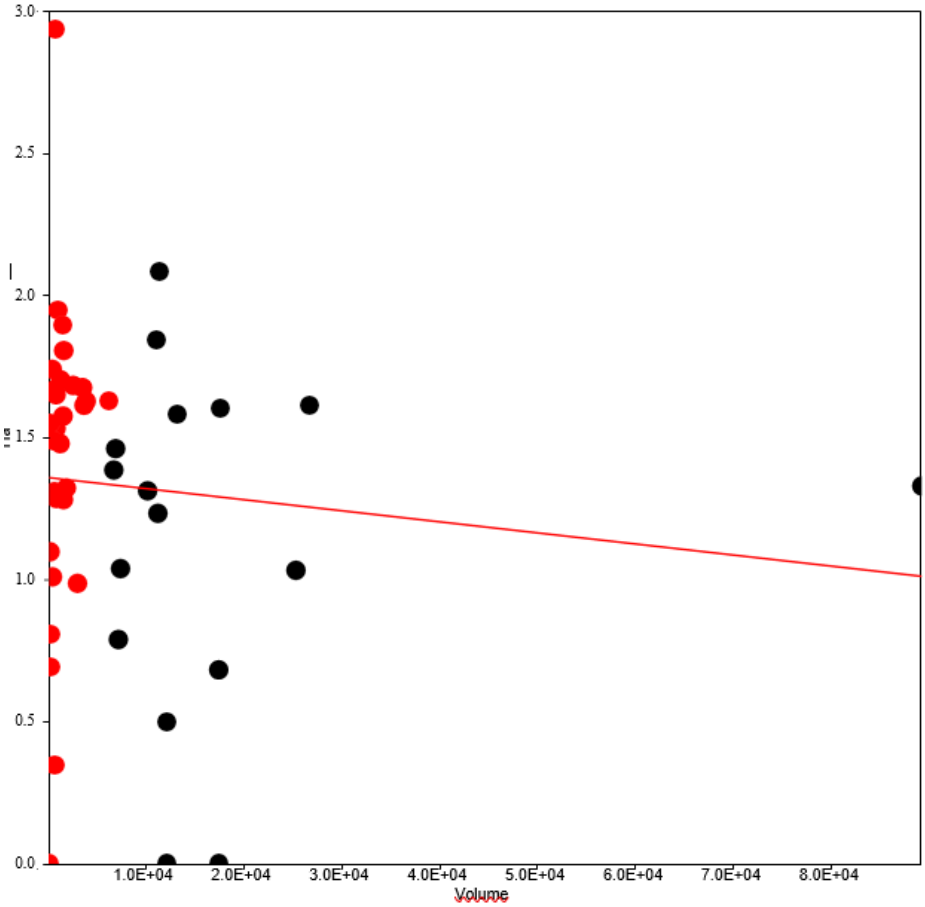


Gráfico 3: relación negativa entre volumen de crioconita y diversidad de diatomeas.

Como se evidencia en el gráfico, existe una relación negativa entre el volumen calculado con la diversidad hallada en cada crioconita, donde las crioconitas pequeñas (puntos rojos) son las que presentan un mayor número de diversidad de especies que las crioconitas grandes (puntos negros). Esto ayuda a demostrar que la hipótesis planteada en esta investigación es nula.

Índice de diversidad:

Índice de Shannon-Wiener

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} (P * \log_2 Pi)$$

S *es el número de especies (la riqueza de especies)*

Pi *es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i)*

$$H' = 1{,}147$$

Este índice considera tanto a la riqueza en especies como su abundancia, asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra y el valor de 1,147 nos indica que el valor de biodiversidad especifica al ser menor de 2 se considera como un ecosistema bajo en diversidad.

Dominancia de Simpson

$$\boldsymbol{\lambda = \sum Pi^2}$$

$$\lambda = 0{,}185$$

Este parámetro toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies, es decir, manifiesta la posibilidad de que dos individuos tomados al azar de la muestra sean de la misma especie y esto indica que en la muestra no existe una uniformidad debido a que *Psamonthidium germaiini* está presente con una mayor abundancia que las otras especies.

Análisis canónico de correspondencia:

De acuerdo a todos los datos obtenidos se obtuvo dos matrices de datos (variables dependientes e independientes) para realizar el análisis canónico de correspondencia como se observa en el gráfico 4, se demuestra que la mayoría de crioconitas se agrupan en la parte inferior del gráfico, sin embargo, algunas de ellas se ubican al interior del polígono rojo, otras en el polígono negro y otras tantas fuera de ellas. Las especies que se encuentran en el polígono rojo como ENMI, SRBC, PTLA presentan un menor número de individuos sin tener relación a los parámetros fisicoquímicos, mientras que las se destacan en el polígono negro están NPAL y PGER (especie más representativa) que se caracterizan por presentar una cantidad mayor de individuos con características más representativas. Nótese también que las especies como LFRQ, NPAD y AUDI se encuentran en el mismo direccionamiento de la variable de conductividad, mientras que otras como FRUM y HNOR poseen un más pH como variable química. Por su parte, las especies DIPL y FALI no se asocian con el resto de ellos y no se identifica una variable claramente definida.

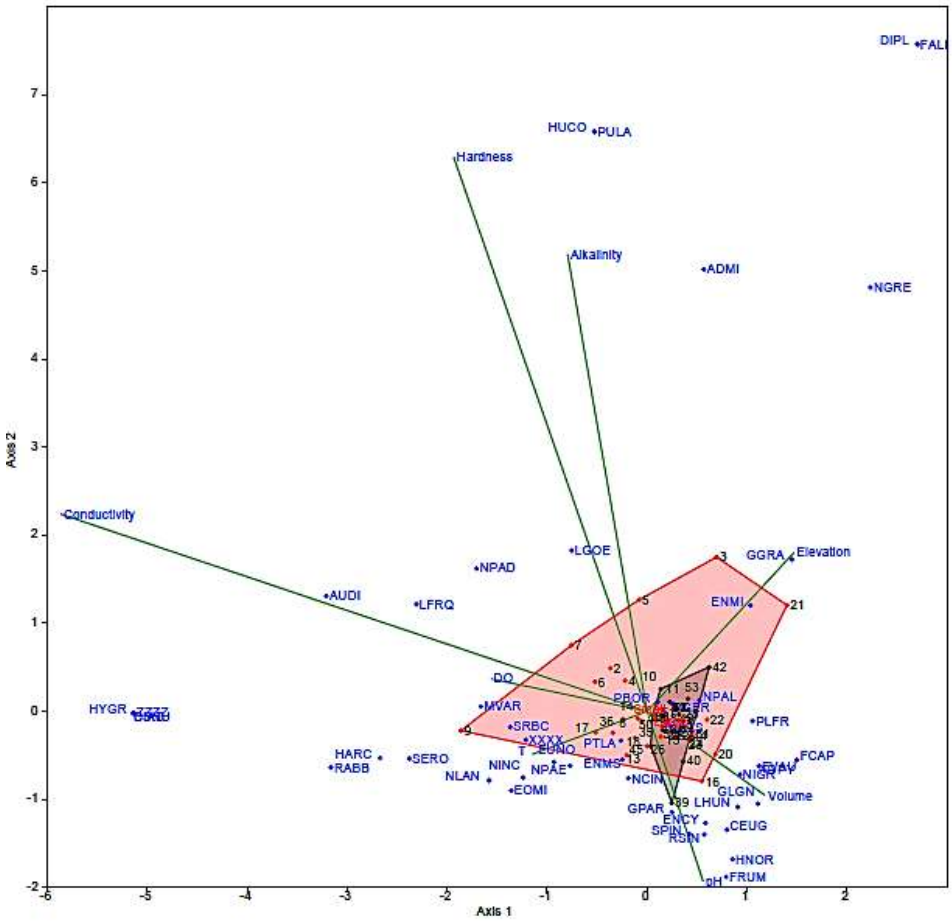


Gráfico 4: Análisis Canónico de correspondencia

En el gráfico 5 se agrupó en dos grupos de acuerdo a la composición química. Aparecieron dos grupos como se evidencia claramente, el primer grupo es uno que tiene una conductividad muy bajas o nulas y el otro grupo con un poco de electrolitos.

Se llamó un grupo como crioconitas no conductivas (color rojo) y conductivas (color negro) donde cada uno de estos grupos difieren significativamente en el resto de parámetros químicos que fueron medidos. Nótese además que se demuestra una mayor agrupación de especies de diatomeas en el polígono rojo las mismas que se han denominado como crioconitas no conductivas mientras que las se ubican en el polígono negro se reconocen como crioconitas conductivas, ambas se diferencian entre sí dependiendo de los parámetros químicos que se analizó.

Pudimos comprobar si las diatomeas que viven en cada tipo de crioconita son diferentes, y la respuesta es que sí, tal como se ve en el CCA:

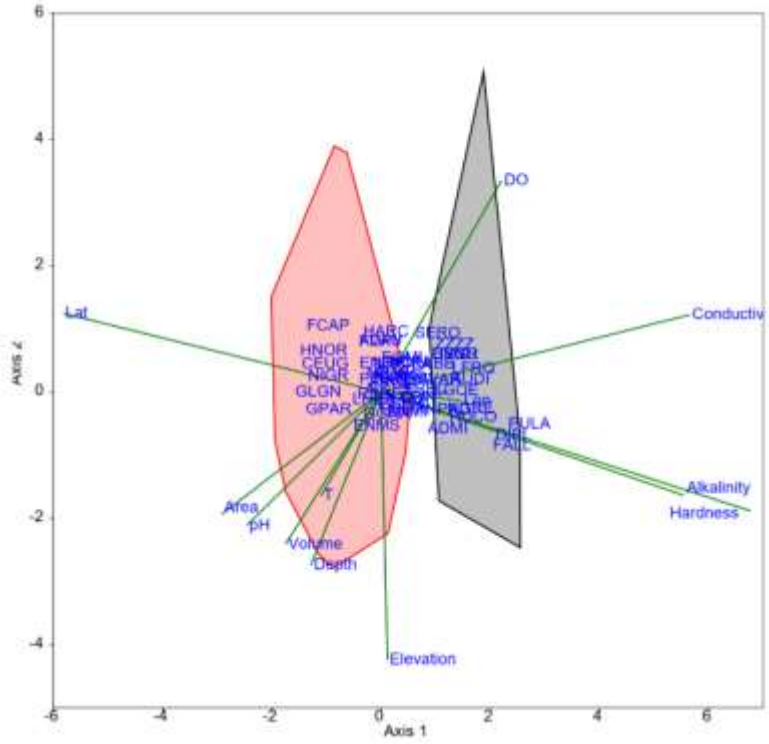


Gráfico 5: Análisis canónico de correspondencia según la conductividad

Los polígonos engloban a cada tipo de crioconita (cada crioconita no aparece en el gráfico para que se vea mejor). Se ve que las crioconitas conductivas están fuertemente influenciadas por conductividad, dureza y alcalinidad, y que hay un claro gradiente latitudinal (cuanto más al norte menos solutos). Esto último se ve en el mapa, en color azul las zonas con menos conductividad y en rojo las que más conductividad.

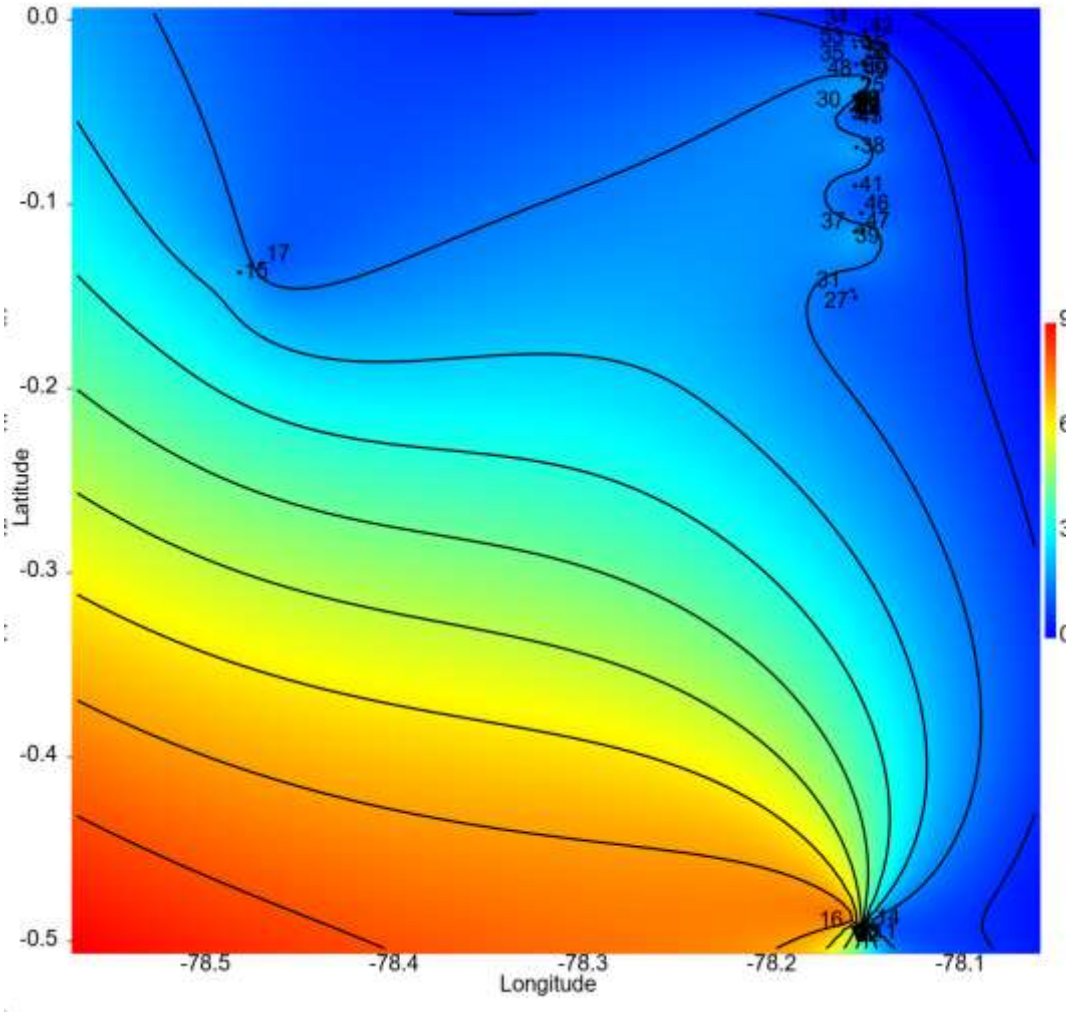


Gráfico 6: Relación entre la latitud y longitud de los puntos analizados.

En el gráfico 6 se observa las dimensiones tanto de longitud como de latitud para cada una de las crioconitas, nótese que el color azul determina una menor conductividad, encontrándose así la mayoría de ellas mientras que en la parte inferior de la figura presentan una latitud y longitud más negativa al identificar el gradiente latitudinal. En la parte superior izquierda de la figura se destacan solamente las crioconitas 15 y 17 lo que se interpreta que ambas presentan una mayor conductividad al efectuar el análisis de los datos obtenidos.

Otro análisis fue ver cuál de las variables medidas es la que más afecta a la diversidad de diatomeas en estos sistemas. Sale que solo hay una variable importante y es la conductividad, existiendo una correlación positiva entre diversidad y conductividad:

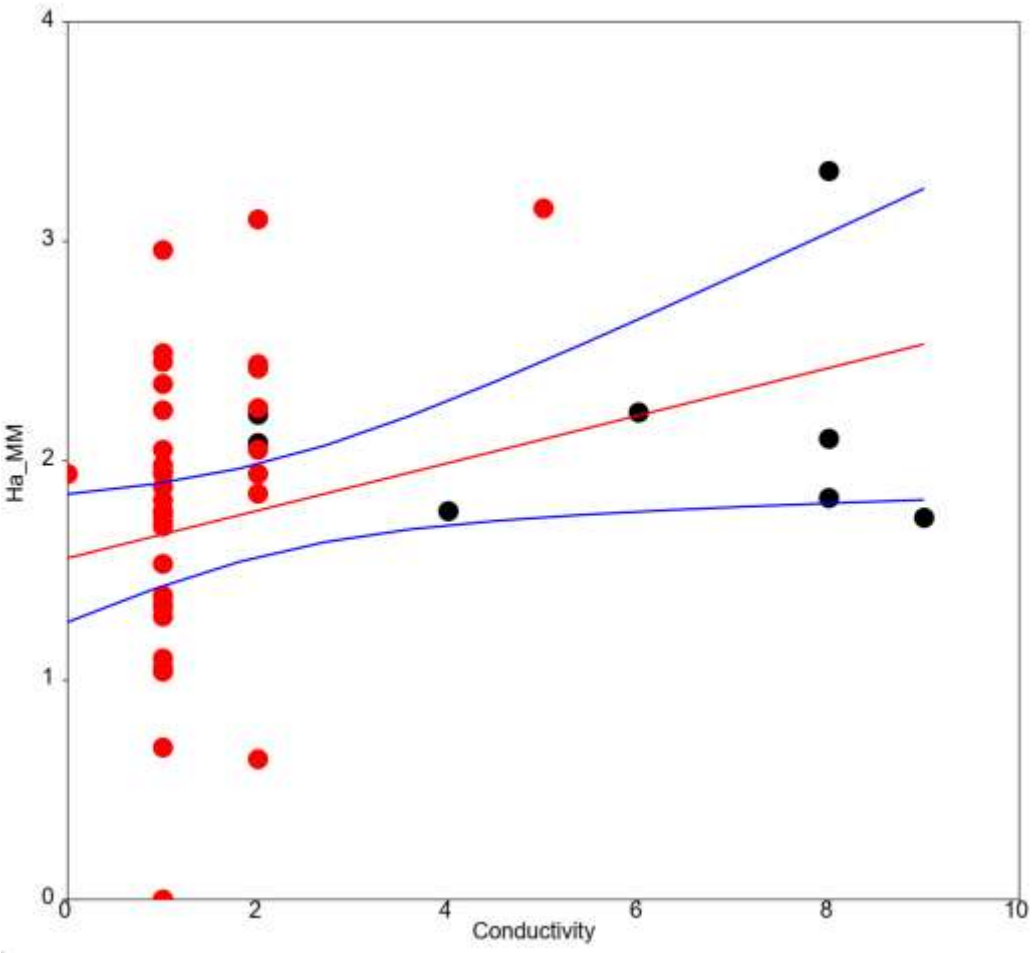


Gráfico 7: Relación positiva entre la diversidad de cada crioconita con la conductividad.

En base a la imagen anterior se determinó una relación entre la conductividad y la diversidad destacándose una relación positiva entre las crioconitas tanto de color negro y rojo, de manera que quienes poseen un mayor rango de diversidad mantienen una relación alta con la conductividad, sin embargo, los puntos de color negro se caracterizan por reflejar una menor conductividad. Por su parte, la línea roja demuestra la tendencia correlacional, mientras que las líneas azules son los límites superiores e inferiores e la agrupación de datos, siendo fundamental destacar las especies que se encuentran fuera de este rango establecido.

Análisis SIMPER.

El análisis SIMPER nos permite saber cuál es la diatomea que más contribuye a separar ambos grupos de crioconitas: es *Psammothidium germainii*, con una abundancia del 11% en las crioconitas conductivas, pero solo del 6 % en las no conductivas.

Análisis DISTLM

Este análisis consistió en comprobar a qué responde más la comunidad de diatomeas: a la química de la crioconita, a su tamaño o a su posición geográfica. El análisis correspondiente (DISTLM) nos dice que claramente responden sólo a la química:

RESULTS: CONDITIONAL (SEQUENTIAL) TESTS

Variable	SS(Trace)	pseudo-F	P	prop	cumulative
Chem	24837.8340	1.4938	0.0306	0.1602	0.1602
Geo	7805.9493	0.9350	0.5245	0.0503	0.2105
Phys	7530.6532	0.8956	0.5735	0.0486	0.2590

Finalmente, nos preguntamos si dos crioconitas muy similares tienen una flora también muy similar. A esto responde el test de Mantel, y la respuesta es que no: dos crioconitas no comparten más especies por el hecho de estar más próximas, o por tener tamaño parecido, o por ser químicamente semejantes.

Tabla 3: Listado de las especies más abundantes con el número de individuos.

Especies	**N° de individuos**
Psamonthidium germaini	344
Pinnularia borealis	65
Lemnicola hungarica	45
Nitzchia soratensis	35
Planothidium frequentissimum	27
Cocconeis euglypta	25
Planothidium lanceolatum	25

Elaborada por: Araya 2019

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

A través del programa OMNIDIA se tomaron los valores de S y V de los índices PSI (Pollution Sensitivity Index, Cemagref and Omnidia (1982-91)), IDG (eneric Diatom Index, Coste in Rumeau & Coste (1982-88)).

Donde los valores de S tienen un rango de 1 a 5, siendo 1 especie de muy mala calidad y 5 especie de muy buena calidad; los valores de V tienen un rango de 1 a 3, siendo 3 especies de baja amplitud ecológica, es decir, buena indicadora y 1 especie de alta amplitud ecológica, es decir, mala indicadora.

En la siguiente tabla 4, se puede observar que las especies *Pinnularia borealis*, *Planothidium lanceolatum* y *Encyonema minutum* son especies indicadoras del ecosistema

Sin embargo, al analizar el valor de V las especies *Lemnicola hungárica*, *Gomphonema lagenula* y talvez *Luticola frequentissima* deberían ser consideradas también bioindicadoras por ser especies de baja amplitud ecológica.

Tabla 4: Listado de las especies más abundantes con el número de individuos.

Especie	**Código**	**PSI**		**IDG**	
		S	**V**	**S**	**V**
		1	**5**	**1**	**5**
Psammonthidium germaiini	PGER			5	2
Pinnularia borealis	PBOR	5	3		
Nitzschia sorantensis	NTST	3	1		
Navicula cincta	NCIN	3	1		
Planothidium frequentissimun	PLFR	3,4	1		
Lemnicola Hungarica	LHUN	2	3		
Cocconeis euglypta	CEUG	3,6	1		
Encyonema minutum	ENMI	4	2		
Planothidium lanceolada	PTLA	4,6	1		
Eolimna mínima	EOMI	2,2	1		
Luticola frequentissima	LFRQ	2	2		
Navicula lanceolata	NLAN	3,8	1		
Gomphonema lagenula	GLGN	2	3		
Navicula gregaria	NGRE	3,4	1		
Eunotia sp	EUNO			5	2

Elaborada por: Araya 2019

DISCUSIÓN:

Los resultados obtenidos en esta investigación, rechazan la hipótesis general plantada donde hace referencia a que el tamaño de cada crioconita determinará la riqueza de comunidades de microalgas; es decir, las crioconitas más grandes presentarán una mayor riqueza con microorganismos propios del micro hábitat, y las crioconitas pequeñas presentarán una menor riqueza. Gracias al conteo que se realizó de las 54 crioconitas donde se les clasificó en grandes y pequeñas por el volumen que tenían, dando como resultado que no existe una relación directa entre el tamaño de las crioconitas con la abundancia de especies de diatomeas en ellas.

Los glaciales son ecosistemas muy pocos investigados sin embargo existen estudios como Edwar (2005), donde se hace referencia que las crioconitas son los hábitats más activos dentro de los ecosistemas glaciares, y que estos agujeros pueden estar presentes como en el ártico cubriendo el 6% de la superficie del glaciar. Los mismos que se forman el deshielo que es provocado por el albedo reducido que va acumulando material supraglaciar de color oscuro. Lo mismo que se pudo observar en las faldas de Antisana.

Cabe mencionar que la diversidad en estos lugares suele ser muy bajos debido a que las especies que viven en estos micro hábitats son extremófilas debido a que resisten a altas presiones y a temperaturas extremas propias de estas zonas.

En la zona del glaciar se encontró que la especie más abundante fue *Psamonthidium germainii,* lo que demuestra concordancia ya que esta especie fue descubierta en aguas dulces de la Antártica, según estudios realizados por (Bart Van de VijVer, 2016) representando el 41% de todos los individuos contabilizados de los 54 puntos muestreados.

En el presente trabajo se determinaron 8 parámetros fisicoquímicos, sin embargo, solo un fue el que dio una relación positiva entre la abundancia existente en este lugar con la conductividad eléctrica, ya que al presentar una mayor abundancia presenta una mayor conductividad.

Además, se demostró que dos crioconitas muy similares que comparten características fisicoquímicas o que estén muy cercanas entre sí, no comparten más especies por dichas características.

Estudiar la estacionalidad de las crioconitas y ver qué factores intervienen en el crecimiento de micro algas en estos hábitats, podrían dar un mejor enfoque buscando el por qué se está derritiendo el glaciar de una manera tan acelerada y si la presencia de estos microhábitats tiene que ver con dicho deshielo para tratar de prevenir este problema ambiental.

Finalmente, con la caracterización que se realizó en este estudio no se pudo concluir si existe alguna especie sea bioindicadora sobre el deshielo que existe en el glaciar del Antisana.

CONCLUSIONES:

Pinnularia borealis Ehrenberg, *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round&Basson y *Gomphonema lagenula* Kützing son especies de muy baja amplitud evidenciando que son especies propias de este ecosistema.

Se encontraron crioconitas en el Glaciar Antisana hasta los 4850 m.s.n.m.

El tamaño de la crioconita es independiente a la riqueza de las mismas.

La conductividad eléctrica es el parámetro que tiene una relación positiva entre la diversidad con la abundancia de las crioconitas.

RECOMENDADIONES

Se recomienda seguir con la investigación ya que no se pudo concluir si las crioconitas son bioindicadores del cambio climático debido a que no se tomaron datos sobre la estacionalidad de las crioconitas.

Psamonthidium germainii (Manguin) Sabbe, es la especie más abundante de esta zona por lo que se recomiendo realizar un análisis de la misma para ver su función en este ecosistema.

Seguir con el estudio de microalgas como de *Cylindrocystis* debido a que tiene características de importancia comercial.

Medir el índice de radiación en esta zona, debido a que este parámetro no fue tomado en este trabajo, pero es necesario saber este dato para futuras investigaciones.

Asegurarse que los equipos y materiales que van hacer usados en esta zona estén previamente revisados, debido a que por cuestiones de logística es difícil encontrar soluciones en un lugar como el glaciar del Antisana.

Por experiencia en el laboratorio, se recomienda alargar el procedimiento de lavado de las muestras, debido a que se tiene que precipitar 100% el sedimento.

Usar un solo microscopio para tomar las fotos de diatomeas debido a que esto ayuda a facilitar la edición y puede realizar las láminas de una manera más optima y representarlas de una mejor manera.

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, I. (30 de junio de 2017). El glaciar del Antisana se reduce 25 metros por año. pág. 2.

Blanco, S., Ávarez-Blanco, I Cejudo- Figueiras, C., & Bécares, E. 2011. "Guía de las diatoemeas de las cuencas Del Duero.": 210.

Bart Van de VijVer, K. K. (2016). Revision of the Psammothidium germainii complex (Bacillariophyta) in the Maritime Antarctic Region. *Botanic Garden Meise, Department of Bryophyta & Thallophyta, Nieuwelaan 38, B–1860,* 145-155.

Brown, L. E., & Dickson, N. (2018). Alpine river ecosystem response to glacial and anthropogenic flow pulses. *Freshwater Science*, 34.

Carpenter, S. R. (1992). Global Change and Freshwater Ecosysttems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 119-39.

ECS- European Committe for Standartization. 2003. ECS. Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. http://www.safrass.com/partners_area/BSI%20Benthic%20diatoms.pdf
Edwards, A. A. (2005). Possible interactions between bacterial diversity,

microbial activity and supraglacial hydrology of cryoconite holes in Svalbard. *The ISME journal*,, 150-160.

Espol. (4 de 11 de 2014). *Espol.com*. Obtenido de http://blog.espol.edu.ec/depade/2014/11/04/ruta-de-los-volcanes/

Fell, S. C., Carrivick, J. L., & Brown, L. (2017). The multitrophic effects of climate change and glacier retreat in mountain rivers. *BioScience*, 67.

Francou, B. V. (2004). New Evidence for an ENSO Impact on Low-latitud Glacieres. *Antisana 15, Andes of Ecuador "Journal of Geophysical Reserch: Atmospheres*, 109(D18)4.

Ganey, G. Q. (2017). The Role of Microbes in Snowmelt and Radiative Forcing on an Alaskan Icefield. *Nature Geoscience*, 754-59.

Granizo, T. (2017). El glaciar del Antisana se reduce 25 metros al año. *El Comercio*.

Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 135.

Jüttner, I., & Gurung, S. (2017). The genus Odontidium (Bacillariophyta) in the Himalaya - a preliminary account of some taxa and their distribution. *Phytotaxa*, 332.

Lobo, E., & Heinrich, C. (2016). *Diatoms as bioindicators in rivers.* Switzerland: Springer.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Reserva Ecológica Antisana.* Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de Reserva Ecológica: http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-ecol%C3%B3gica-antisana

Mueller, D. R. (2004). Gradient analysis of cryoconite ecosystems from two polar glaciers. *Polar Biology, 27(2)*, 66-74.

Silva, A., & Lehmkuhl, A. (2018). Bioindicadores ambientais: o que as diatomáceas. *Meio Ambiente*, 63.

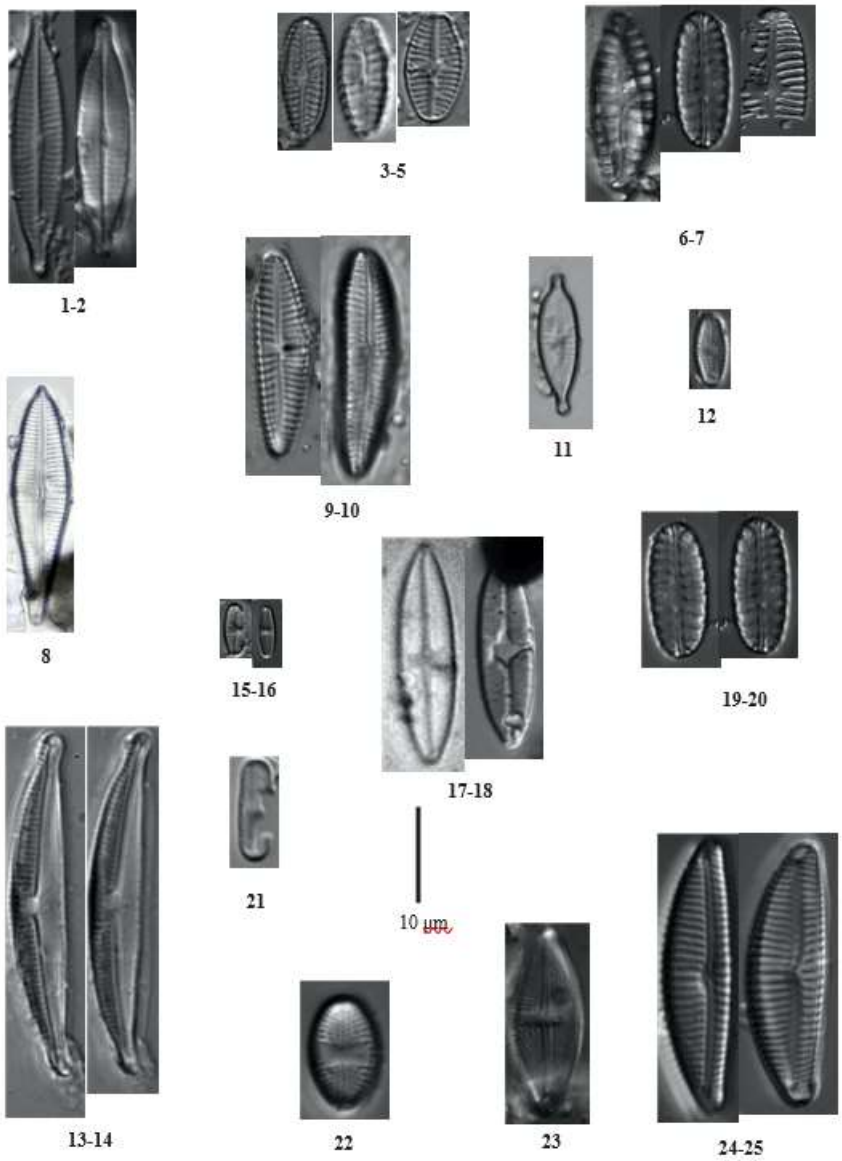
Wang, X., Zheng, B., & Liu, L. (2014). Use of diatoms in river health assessment. *Annual Research & Review in Biology*, 54.

Wilhelm, L., & Singer, G. (2017). Microbial biodiversity in glacier-fed streams. *ISME Journal*, 78.

Agradecimientos: A la Universidad de León por recibirme en la estancia que tuve para realizar la identificación, a Eloy Becares, Saul blanco y todo su equipo de trabajo, a mi tutora Susana Chamorro, finalmente a mi familia y amigos por todo su apoyo.

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO
ANEXOS

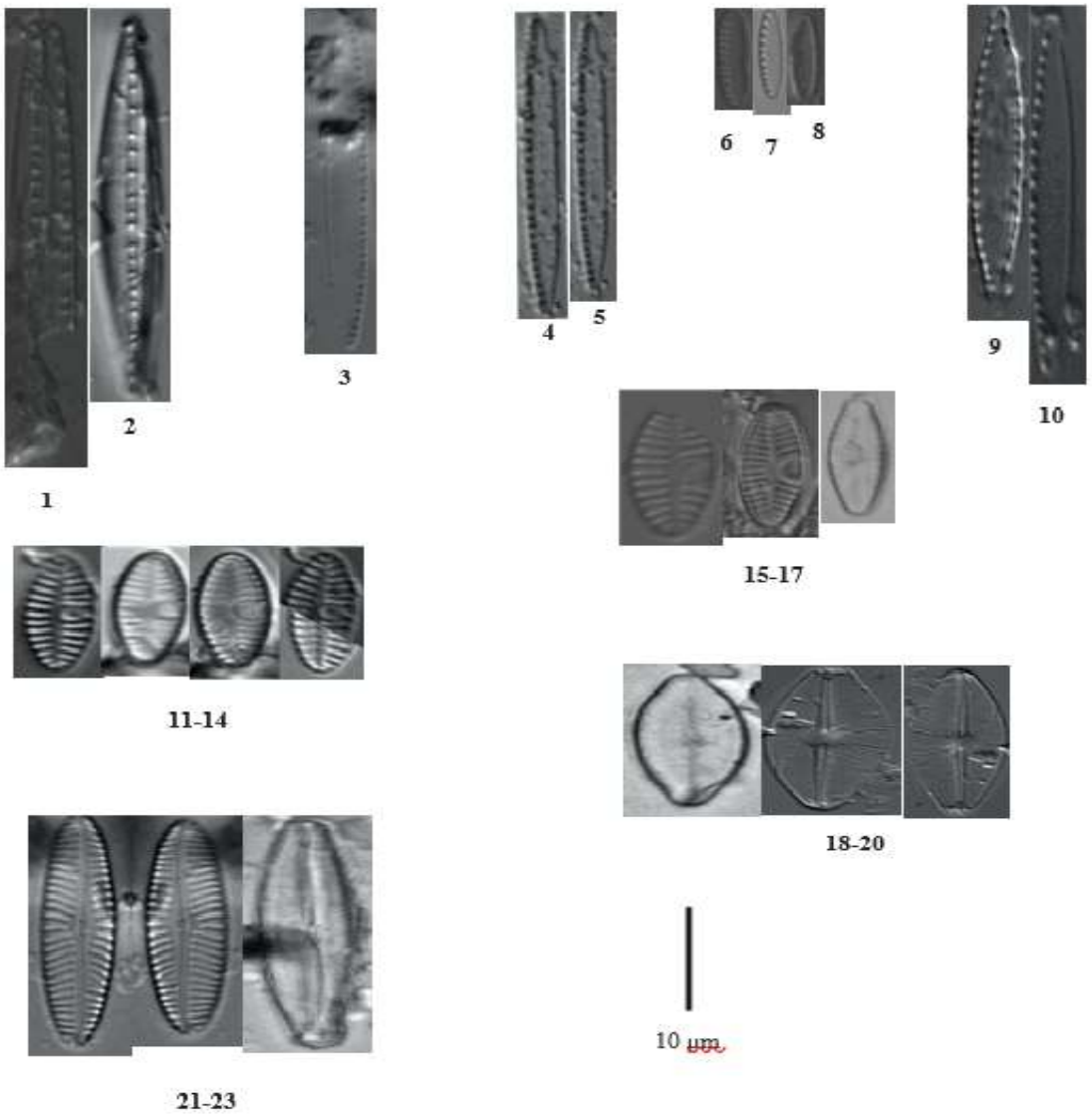
Lamina 1



Firs. 1-2 *Navicula gregaria,* **3-5** *Pinnularia borealis,* **6-7** Pinnula *borealis sp.,* **8** *Gomphonema gracile,* **9-10** *Gomphonema bavaricum,* **11** *Gomphonema lagenula,* **12** *Diadesmis,* **13-14** *Halamphora normanii,* **15-16** *Eolimna minima,* **17-18** *Lemnicola Hungarica,* **19-20** *Hygropenia,* **21** *Humidophila contenta,* **22-23** *Luticula frequentissima,* **24** *Luticula geopertiana,* **25** *Sevinavis sp.*

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

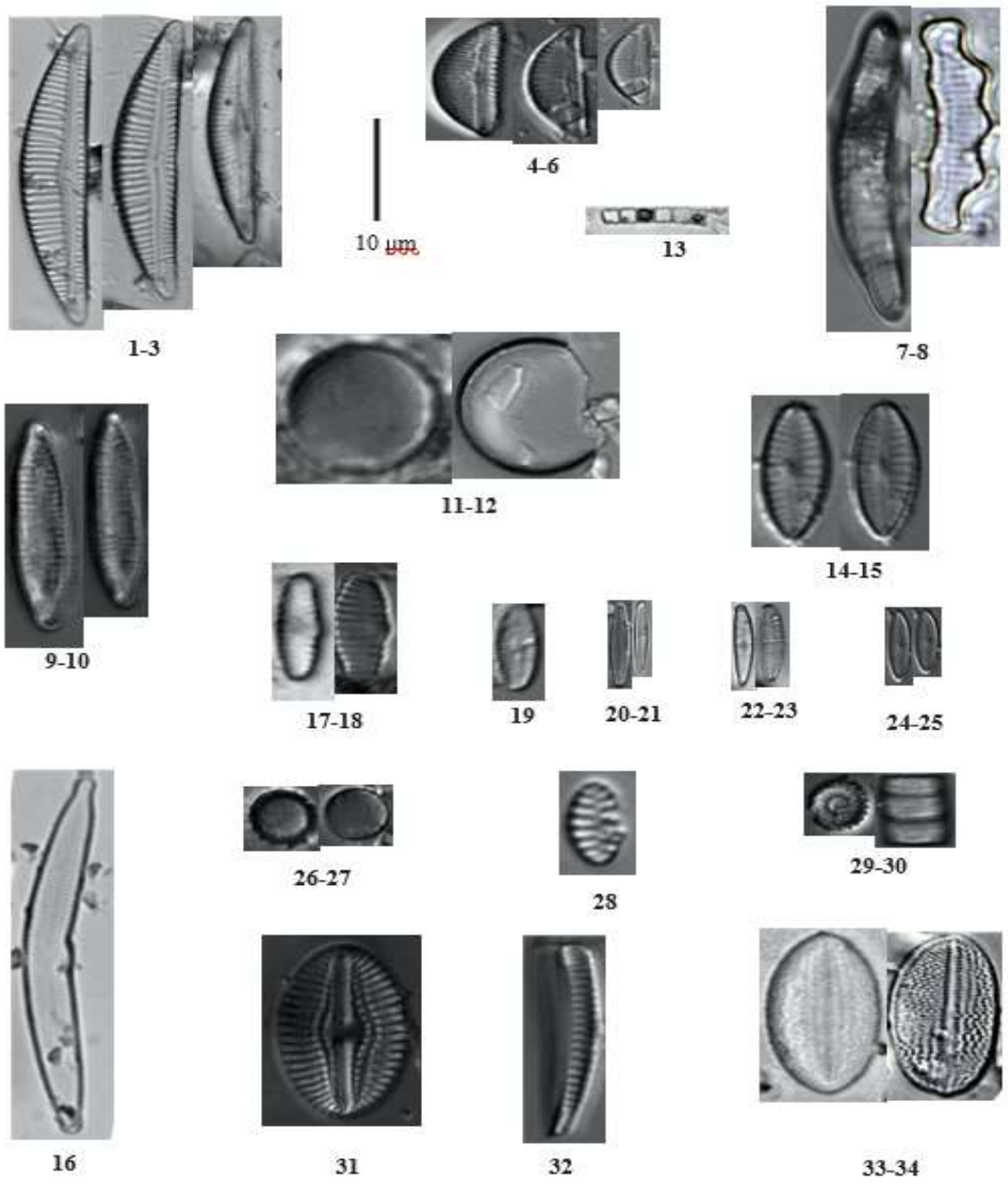
Lamina 2



Firs. 1-2. *Nitzschia dissipata,* **3.** *Nitzschia palea,* **4-5.** *Nitzschia palea var debilis* ,**6-7-8.** *Nitzschia inscospicua,* **9-10** *Nitzschia paleacea* ,**11-14** *Planothidium freqquentissimun,* **15-17** *Planothidium lanceolatum,* **18-20** *Psamonthidium germainii, 21-22 Navicula cincta.*

MICROALGAS (DIATOMEAS DEL GLACIAR ANTISANA COMO BIOINDICADORAS DE ALERTA TEMPRANA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Lamina 3



Firs. 1-3. *Encyonema cf. Neomesiamun*, **4-6** *Encyonema minutum,* **7-8** *Eunotia, dissipata,* **9-10** *Fragilaria vaucheriae,* **11-12** *Melosira varians,* **13** *Fragilaria pinnata,* **14-15** *Sellaphora rhombica,* **16** *Hanenaea arcus* **17-18** *Reimeria sinuata,* **19** *Fallacia,* **20-21** *Achananthidium minutissimuin,* **22-23** *Achanthidium pyrenaicum,* **24-25** *Craticula subminuscula,* **26-27** *Melosira varians,* **28** *Staurosira pinnata,* **29-30** *Aulacoseira distans,* **31** *Diploneis,* **32** *Rhoicosphenia abbreviata,* **33-34** *Cocconeis euglypta.*