

Distribución de diatomeas perifíticas a lo largo de un gradiente de uso del suelo en una
microcuenca del páramo de Berlín

Brandon José Hernández Durán

Trabajo de Grado para Optar el Título de Biólogo

Director

Yasmin Plata Díaz

Magister en Biología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A mis padres por su guía, paciencia y dedicación en mi formación personal y académica.

A mis hermanas por constituir un pilar fundamental para seguir día a día por el camino que decidí tomar.

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo en todas las fases de mi formación académica.

A la profesora Yasmin Plata Díaz por sus enseñanzas y guía en esta última fase de mi formación profesional.

A los profesores Edgar Ricardo Oviedo Ocaña y Daniela Cristina Rey Romero, de la Escuela de Ingeniería Civil, por la oportunidad para participar en este proyecto y su apoyo con la logística para acceder a la zona de trabajo.

A los profesores Björn Reu, Martha Patricia y Sergio Marchant, de la Escuela de Biología, por facilitarnos el ingreso a los laboratorios y el uso de los equipos necesarios para desarrollar el presente estudio.

Al grupo de investigación Saneamiento y Recursos Hídricos Ambiental (GPH) por compartirnos los datos necesarios para realizar el presente estudio.

A mis compañeros Jonathan Gómez, Pablo Mojica, Iver Daza y Arley Pinzón por su ayuda para aclarar las dudas que se presentaron durante el desarrollo del presente estudio.

A todas las personas que formaron parte directa o indirectamente en mi formación profesional.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	11
Competencias.....	14
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco referencial	16
2.1 Complejo de páramos de Santurbán	18
2.2 Diatomeas	19
3. Métodos.....	21
3.1 Área de estudio	21
3.2 Fase de campo.....	24
3.3 Fase de laboratorio.....	26
3.4 Análisis de la información	28
4. Resultados.....	30
4.1 Variables físicas y químicas.....	30
4.2 Ensamble de diatomeas.....	38
5. Discusión.....	51
5.1. Componente ambiental	51
5.2. Ensamble de diatomeas y patrón de distribución.....	53
6. Conclusiones.....	57
Competencias desarrolladas durante la pasantía.....	58
Referencias Bibliográficas	59
Apéndices.....	74

Lista de Tablas**Pág.**

Tabla 1. Descripción de los puntos de muestreo tomados a lo largo de la microcuenca objetivo..... 22

Tabla 2. Número de especies observadas y esperadas para los números q0, q1 y q2 por punto de muestreo..... 47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de sitio muestreado.....	24
Figura 2. Toma de la muestra de perifiton en los sustratos disponibles a lo largo del tramo de estudio.....	26
Figura 3. Proceso de oxidación de la materia orgánica mediante el método del peróxido en caliente.....	27
Figura 4. Media mensual de la precipitación total (Estación Berlín IDEAM, 2020).	30
Figura 5. Caudal medio registrado en los tramos evaluados (n = 6)	31
Figura 6. Valores de pH (Izquierda) y conductividad eléctrica (Derecha) registrados en los tramos evaluados (n = 6).....	32
Figura 7. Valores de sólidos disueltos (izquierda) y sólidos totales (derecha) registrados en los tramos evaluados (n = 6).....	33
Figura 8. Valores de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico total Kjeldah registrados en los tramos evaluados (n = 6).....	34
Figura 9. Valores de fosforo reactivo soluble (izquierda) y fosforo total (derecha) registrados en los tramos evaluados (n = 6)	35
Figura 10. Valores demanda biológica de oxígeno registrados en los tramos evaluados (n = 6). 36	36
Figura 11. Análisis de componentes principales para las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas en el área de estudio.....	37
Figura 12. Distribución de la abundancia relativa a nivel espacial y temporal	39
Figura 13. Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el primer punto para ambas épocas de muestreo	40

Figura 14. Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el segundo punto para ambas épocas de muestreo.....	41
Figura 15. Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el tercer punto para ambas épocas de muestreo.....	42
Figura 16. Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el cuarto punto para ambas épocas de muestreo	43
Figura 17. Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el quinto punto para ambas épocas de muestreo.....	44
Figura 18. ANOSIM agrupando por época de muestreo y por uso del suelo (I = Intervenido, NI = No Intervenidos).....	46
Figura 19. Curvas de rarefacción basadas en el tamaño de la muestra (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) sobre una muestra basada en 3000 individuos para los números de Hill de orden $q=0$ (panel izquierdo), $q=1$ (panel centro) y $q=2$ panel derecho.....	48
Figura 20. Riqueza de especies (q_0) registrada en los sitios intervenidos y no intervenidos	49
Figura 21. Análisis de coordenadas principales. Las flechas azules representan las especies significativas ($p_{\max} = 0.05$, función envfit) y las flechas rojas representan las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas significativas ($p_{\max} = 0.05$, función envfit)	50

Lista de Apéndices**Pág.**

Apéndice A. Taxonomía de las especies encontradas y sus respectivas abreviaciones.....	74
--	----

Resumen

Título: Distribución de diatomeas perifíticas a lo largo de un gradiente de uso del suelo en una microcuenca del páramo de Berlín*

Autor: Brandon José Hernández Durán**

Palabras Clave: Diatomeas, páramo, uso del suelo, diversidad, distribución.

Descripción: Las actividades agrícolas y pecuarias asociadas a los páramos han transformado las características de los ambientes acuáticos durante los últimos años. Las diatomeas han sido ampliamente utilizadas para evaluar los efectos de las actividades antrópicas en los cuerpos de agua debido a que brindan una medida fiable de las condiciones del hábitat. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del uso del suelo sobre la composición y distribución de diatomeas perifíticas en una microcuenca del páramo de Santurbán. Se seleccionaron 5 puntos a lo largo del gradiente del uso del suelo (uno asociado a cultivos, uno asociado a actividades pecuarias y a cultivos, una zona de confluencia y dos puntos no intervenidos) los cuales fueron muestreados durante la época seca (febrero) y la época lluviosa (noviembre). El muestreo se realizó utilizando cepillos abrasivos para raspar superficies duras (rocas y tuberías) y blandas (macrofitas) con desarrollo de biofilm. Paralelamente se midieron variables fisicoquímicas asociadas al sitio y características del paisaje. Se encontraron, en total, 69 especies (y 4 morfotipos), distribuidas en 1 clase, 11 órdenes, 20 familias y 30 géneros. Los resultados mostraron que las abundancias de las especies más representativas de diatomeas estuvieron moduladas por las variaciones del nitrógeno total, nitratos, sólidos totales, conductividad eléctrica y pH. También se encontraron diferencias en el ensamble de diatomeas a lo largo de los puntos muestreados, presentándose mayores abundancias de *Diatoma mesodon* y *Achnantheidium minutissimum*, especies asociadas a bajos niveles de contaminación en los puntos no intervenidos, y mayores abundancias de especies tolerantes a niveles altos de contaminación, como *Melosira varians* y *Fragilaria vaucheriae* en los puntos con actividades agrícolas y pecuarias asociadas. El estudio demostró que las diferencias en la composición del ensamble de diatomeas responde a los cambios producidos por las actividades agrícolas y no a los cambios estacionales.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Yasmim Plata Díaz. Magister en biología

Abstract

Title: Distribution of periphytic diatoms along a land use gradient in a micro-basin of the Berlin paramo*

Author: Brandon José Hernández Durán¹

Key Words: Diatoms, moorland, land use, diversity

Description: Agricultural and livestock activities associated with the moorlands have transformed the characteristics of aquatic environments in recent years. Diatoms have been widely used to assess the effects of anthropic activities on water bodies because they provide a reliable measure of habitat conditions. The main objective of this study was to evaluate the effect of land use on the composition and distribution of periphytic diatoms in a micro-basin of the Santurbán moorland. 5 points were selected along the land use gradient (one associated with crops, one associated with livestock activities and crops, one confluence zone and two non-intervened points) which were points during the dry season (February) and the rainy season (November). Sampling was carried out using abrasive brushes to scrape hard surfaces (rocks and pipes) and soft surfaces (macrophytes) with biofilm development. At the same time, physicochemical variables associated with the site and landscape characteristics were measured. A total of 69 species (and 4 morphotypes) were found, distributed in 1 class, 11 orders, 20 families and 30 genera. The results showed that the abundances of the most representative diatom species were modulated by the variations of total nitrogen, nitrates, total solids, electrical conductivity and pH. Differences were also found in the assembly of diatoms along the sampled points, showing greater abundances of *Diatoma mesodon* and *Achnantheidium minutissimum*, species associated with low levels of contamination in the non-intervened points, and greater abundances of species tolerant to high levels of contamination, like *Melosira varians* and *Fragilaria vaucheriae* in points with associated agricultural and livestock activities. The study showed that the differences in the composition of the diatom assembly respond to changes produced by agricultural activities and not to seasonal changes.

* Degree Work

¹ Science Faculty. Biology School. Director: Yasmin Plata Díaz, Master in Biology

Introducción

Los ecosistemas de paramos son considerados únicos en el mundo (Morales et al., 2007). La mayoría de los páramos ubicados en Suramérica se encuentran sobre la cordillera de los Andes, atravesando Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (Hofstede et al. 2014).

En Colombia, país que alberga el 49% de los páramos a nivel mundial (Castaño-Uribe, 2002), estos ecosistemas ofrecen importantes servicios ambientales que van desde la fijación del carbono atmosférico hasta el abastecimiento de recursos hídricos para el país (Morales et al., 2007). A pesar de ser un ecosistema de gran importancia, el aumento de las actividades como agricultura, minería y ganadería durante los últimos años, unidos al cambio climático, ha deteriorado significativamente este ecosistema y, en algunos casos, cerca del 16% de la vegetación nativa ha sido reemplazada por pastizales debido a la expansión agrícola, provocando un impacto directo sobre los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, disminución de la biodiversidad, ampliación del efecto de borde y reducción del cinturón paramuno (Hofstede et al., 2014; León et al., 2017).

El páramo de Berlín, el cual hace parte del complejo biogeográfico de Santurbán, y que abarca los departamentos de Santander y Norte de Santander, es considerado un ecosistema estratégico productor de agua que tiene una influencia hidrográfica sobre 48 municipios y abastece a 2.3 millones de personas (Sarmiento & Ungar, 2014). Según el Plan de Manejo Ambiental del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales “Páramo de Santurbán”, este ecosistema presenta un fuerte deterioro debido a las actividades agrícolas ambientalmente no sostenibles, en particular, debido a la producción de cebolla larga, principal actividad de los pobladores del asentamiento que lleva su mismo nombre (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), 2018). Este efecto se podría evidenciar

analizando la composición de diatomeas asociadas a los cuerpos de agua pertenecientes a este complejo.

El perifiton, y en particular las diatomeas, se han utilizado para evaluar los efectos de la contaminación por actividades mineras (Luís et al., 2015; Lavoie et al., 2018), por aguas residuales (Leira et al., 2015; Lavoie et al., 2018) y por agricultura (Mangadze et al., 2016) en los ríos, debido a que brindan una medida fiable de las condiciones del hábitat (Lavoie et al., 2004; Keck et al., 2016; Vasselon et al., 2017)

En Colombia, los estudios de diatomeas en ríos altoandinos son escasos (Gavilán et al., 2000; Díaz & Rivera, 2004; Ramírez & Plata, 2008) y aunque la utilización de diatomeas para la evaluación de la calidad del agua utilizando diferentes métricas como índices de diversidad, formas de vida e índices diatómicos ha tomado fuerza en los últimos años (Calizaya-Anco et al., 2013; Castro-roa y Pinilla-agudelo, 2014; Colen et al., 2018), poco se conoce acerca de la influencia del uso del suelo sobre las comunidades de diatomeas en ríos de páramo. Particularmente, en el páramo de Santurbán se cuentan con pocos estudios sobre este tema, como los trabajos conducidos por Gavilán et al. (2000) y Ramírez y Plata (2008), en donde describen la distribución de diatomeas en el gradiente espacial y su relación con algunas variables fisicoquímicas.

La presente pasantía de investigación fue realizada en el marco del proyecto “Análisis Participativo de la Influencia del Uso del Suelo en los Servicios Hidrológicos de Suministro y Regulación Ofertados por el Ecosistema de Páramo Seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán)”, perteneciente al Grupo de Investigación en Saneamiento y Recursos Hídricos Ambiental (GPH), de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, en una microcuenca perteneciente al río Jordán. Su objetivo principal es determinar la influencia del uso del suelo

(actividades agrícolas y pecuarias) en la distribución espacial y temporal de las diatomeas presentes en los sitios muestreados, correlacionando su abundancia relativa con las variables fisicoquímicas teniendo como factor de comparación las diferentes actividades agrícolas a lo largo de la microcuenca.

Para lograr los objetivos planteados, el estudio se dividió en varias etapas, las cuales comprendieron el muestreo de material biológico, la determinación taxonómica hasta el nivel taxonómico más bajo posible, la determinación de la abundancia y riqueza de las especies presentes en los sitios muestreados, y la identificación de los factores que pueden influenciar en la composición y distribución de las diatomeas a lo largo del gradiente en la microcuenca estudiada.

Competencias

- Obtiene destreza en técnicas de campo y laboratorio para el estudio de ríos y análisis de diatomeas.
- Adquiere destreza en las técnicas para preparar montajes permanentes de diatomeas.
- Adquiere destrezas en el reconocimiento de características morfológicas y ecológicas de las diatomeas
- Maneja herramientas estadísticas para el análisis de datos obtenidos de estudios limnológicos.
- Adquiere destrezas en la descripción de resultados relacionados con las variables físicas y químicas del agua.
- Propone modelos explicativos de fenómenos biológicos mediante el uso de herramientas estadísticas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del uso del suelo sobre la composición y distribución de diatomeas perifíticas en una microcuenca del páramo de Santurbán.

1.2 Objetivos Específicos

- Categorizar las morfoespecies de diatomeas en todos los puntos de muestreo.
- Identificar los factores que pueden explicar la distribución de las especies a lo largo del gradiente del uso del suelo
- Correlacionar las variables fisicoquímicas con la abundancia de las especies.

2. Marco referencial

El páramo es un ecosistema de alta montaña, que se ubica en las regiones tropicales de Centro América, Sur América, Asia, África y Oceanía, cuya existencia se relaciona estrechamente a condiciones ambientales extremas, como la presencia de humedad en 10 u 11 meses al año (Hofstede, 1997; Rangel, 2000), bajas temperaturas, baja presión atmosférica y altos niveles de radiación solar (Sáenz, 2001; Hofstede et al., 2014).

Las características climáticas particulares de nubosidad y niebla, la permeabilidad suelo debido a su profundidad, baja densidad y gran contenido de materia orgánica, les permiten formar complejos que retienen agua por largos periodos de tiempo y liberarla de forma lenta y constante. Asimismo, la presencia de humedales y turberas, la alta capacidad de la vegetación para captar agua atmosférica, proteger el suelo, capturar la neblina (precipitación horizontal), y la geomorfología particular derivada de las glaciaciones, convierte a los páramos en hidrosistemas reguladores de gran importancia (Buytaert et al., 2004; Buytaert et al., 2006; Hofstede et al., 2014), siendo denominados por algunos autores como fábricas de agua (Estupiñán, 2001; Díaz-Granados et al., 2005; Carrascal et al., 2009).

Este ecosistema es el mayor proveedor de agua de los Andes en países como Colombia, Venezuela y Ecuador, debido a que en él nacen la gran mayoría de los sistemas fluviales, los cuales son aprovechados para la generación de energía hidroeléctrica, el abastecimiento de agua potable, los sistemas de riego, entre otros (Malagón y Pulido, 2000; Poulenard, 2000). Colombia posee 36 complejos de páramos ubicados sobre las 3 cordilleras, los cuales ocupan solo el 1.3% de la superficie del país y abastecen de agua aproximadamente al 70% del territorio colombiano. El 54.5% de estos complejos se ubican sobre la Cordillera Oriental (Vásquez y Buitrago, 2011), y entre ellos, se encuentra el complejo de páramos de Santurbán, del cual hace parte el Páramo

de Berlín (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), 2002; Vásquez y Buitrago, 2011; Hofstede et al., 2014).

La vegetación perteneciente a los páramos presenta características fisiológicas particulares que le permiten sobrevivir bajo las condiciones extremas del clima (Díaz-Granados et al., 2005), y se puede utilizar como un buen indicador del tipo de suelo presente (Llambí et al., 2012).

La diversidad del suelo en los ecosistemas de páramo no es tan alta como la presente en tierras más bajas, esto se debe, principalmente, al lento proceso de descomposición química de las rocas y la materia orgánica debido a las bajas temperaturas, por ello, los suelos de páramo son poco desarrollados (Llambí et al., 2012). A menudo, presentan horizontes superficiales espesos de color negro o tonos muy oscuros, esto se debe al lento actuar de los microorganismos encargados de los procesos de descomposición debido a las bajas temperaturas, por ello, normalmente se acumula materia orgánica parcialmente descompuesta conformada por sustancias húmicas (Malagón y Pulido. 2000).

En los páramos andinos, los suelos presentan una mezcla de ceniza volcánica y materia orgánica acumulando grandes cantidades de carbono debido a la fotosíntesis de las plantas, que se terminará utilizando, a modo de carbohidratos, para los procesos de descomposición de materia orgánica y formación del suelo (Castaño-Urbe, 2002; Vásquez y Buitrago, 2011)

Dichas condiciones los convierten en un ecosistema atractivo para las producciones agropecuarias, generando centros urbanos asociados a esta práctica (Díaz-Granados et al., 2005; Reyes et al., 2005). Las actividades principales en los suelos paramunos se relacionan con el pastoreo y los cultivos, aunque también se encuentran, en menor medida, actividades de minería y plantaciones forestales (Hofstede et al., 2014). En especial, los suelos del páramo bajo, gracias

a su alta capacidad de retención de agua, porosidad y fácil manejo, unidos a la baja presencia de plagas, favorecen cultivos como papa, cebada, cebolla y uyuco (Mora-Osejo et al., 1995; Suárez, 2005). Estas actividades de monocultivo, que requieren cantidades considerables de nutrientes y plaguicidas, unidas a las prácticas de quema y pastoreo, favorece la rápida desaparición de la materia orgánica, la reducción de la fauna de los suelos, pérdida de nutrientes, acidificación, compactación y erosión de los suelos, pérdida de retención de agua, contaminación aguas superficiales y subterráneas, pérdida de bosques y arbustales parameros (Domínguez, 1999; Rangel, 2000; Salamanca y Camargo, 2000).

2.1 Complejo de páramos de Santurbán

La unidad biogeográfica de Santurbán, conocida como “Nudo de Santurbán”, es un territorio de alta montaña ubicado en la cordillera oriental de Colombia, entre los departamentos de Santander, el cual comprende el 32% de la totalidad de su territorio, y Norte de Santander, el cual comprende 72% de la totalidad de su territorio. Con una superficie total estimada de 1426.08 Km² y un gradiente altitudinal comprendido entre los 2500 y 4300 m s. n. m., ofrece un gran número de servicios ecosistémicos, en especial, el abastecimiento y la regulación hídrica a más de 2'500.000 de habitantes representados en 48 municipios (15 en Santander y 33 en el Norte de Santander) (Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), 2010; Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (DBBSE), 2018). Además, aporta a tres cuencas hidrográficas de gran importancia: Río Lebrija, Río Chicamocha y Río Arauca (CDMB, 2012).

Entre los centros urbanos que se ubican en este complejo biogeográfico están: California, El Playón, Suratá, Vetás, Tona, Charta, Silos, Mutiscua, Cucutilla, Arboledas y Cáchira; y los

centros suburbanos de: Berlín (Municipio de Tona), Cachiri y Turbay (Municipio de Surata), La Laguna, Ranchadero, Pachacual, Los Rincones y Babega (Municipio de Silos), los Mangos, La Carrera, San José de los Llanos (Municipio de Cáchira) (CDMB, 2012).

El páramo de Berlín pertenece esta unidad biogeográfica. Se ubica al norte de la Cordillera Oriental de Colombia, a una altitud entre los 2220 y 4100 m s.n.m. Posee una extensión de 44.272 hectáreas, ubicadas en el departamento de Santander (municipio de Tona), y en el departamento de Norte de Santander (municipios de Silos y Mutiscua) (CORPONOR, 2008).

A nivel de vegetación, los musgos del género *Sphagnum* son abundantes, participando en la regulación hídrica al formar colchones sobre las superficies del ecosistema. También se encuentran arbustos rastreros de la familia Ericaceae como *Pernettya prostrata* que dominan este ecosistema. En cuanto a Fauna, se pueden encontrar especies en peligro de extinción como el chirriador (*Cistothorus apollinari*), el pato zambullidor (*Podiceps andinus*), el pato de páramo (*Anas flavirostris*), el curí (*Cavia porcellus*), el venado de páramo (*Odocoileus virginianus*) y el condor (*Vultur gryphus*) (Colparques, 2021).

2.2 Diatomeas

Las diatomeas son microalgas unicelulares que hacen parte del perifiton, el cual se define como una comunidad de bacterias, hongos, protozoos y algas, además de detritos orgánicos e inorgánicos, adheridos a un sustrato sumergido (Wetzel, 1983). Habitan casi todos los ambientes acuáticos y algunos ambientes terrestres húmedos (Seckbach y Kociolek, 2011). Presentan una pared celular ornamentada única entre los microorganismos, compuesta por silicatos, llamada frústula, la cual se divide en 2 partes: Superior o epiteca, e inferior o hipoteca (Lozano-Duque et

al., 2010; Lora-Vilchis et al., 2020), y cuya ornamentación es la base para su clasificación taxonómica (Hasle y Fryxell, 1995).

La diversidad de formas de vida está relacionada con el mucilago que secretan para su fijación como células solitarias móviles, pedunculadas, postradas, formando cadenas, colonias o tubos (Lora-Vilchis et al., 2020).

Su uso como indicadores de salud de los medios acuáticos ha sido ampliamente registrado desde 1908 debido a su presencia universal en los sistemas acuáticos, fácil y rápido muestreo, sensibilidad a los cambios generados por las características fisicoquímicas del agua, ciclos de vida rápidos, entre otros (Kolkwitz y Marrsson, 1908). Para ello, se tienen en cuenta aspectos relacionados con la sensibilidad y tolerancia de las especies a lo largo del gradiente ambiental, así como el cambio de especies, la reducción del número total de especies, cambios en su diversidad relativa, entre otros (Sabater et al., 1988; Stevenson y Pan, 1999; Licursi y Gómez, 2003). Estudios en este campo se han enfocado principalmente a evaluar los efectos de la contaminación por actividades mineras (Luís et al., 2015; Lavoie et al., 2018), por aguas residuales (Leira et al., 2015; Lavoie et al., 2018) y por agricultura (Mangadze et al., 2016) en los sistemas lóticos.

En Suramérica se han realizado diversos estudios con el objetivo de aportar al conocimiento taxonómico, como los realizados por Metzeltin y Lange-Bertalot (1998) Rumrich et al. (2000) y Metzeltin y Lange-Bertalot (2007) los cuales resultaron en catálogos importantes para el reconocimiento taxonómico de la flora de diatomeas en la región. También se han conducido estudios en Perú sobre la evaluación de la calidad del agua utilizando diatomeas como bioindicadores (Calizaya-Anco et al., 2013) y, en años recientes, en Ecuador se han realizado

estudios en el páramo del Macizo del Cajas sobre la diversidad de las diatomeas para la gestión de la calidad del recurso hídrico (Sardi, 2018) y su variación temporal (Picón y Solano, 2019).

En Colombia, y particularmente para los páramos, se han conducido pocos estudios que tengan como objetivo principal las diatomeas. Donato (1991) realizó un estudio sobre la estructura del perifiton en la laguna de Chingaza. Años más tarde, Donato et al. (1996a) publican un libro sobre la ecología de la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza, en donde reportan 62 taxones predominando las diatomeas. En ese mismo año, Donato et al. (1996b) realizaron un estudio sobre el perifiton asociado a sustratos artificiales en dos sistemas acuáticos de páramo, encontrando que las diatomeas predominan en el perifiton con el 41% de la abundancia. Posteriormente, Ramírez y Plata (2008), publicaron un estudio en donde realizan el inventario de diatomeas perifíticas en dos sistemas lóticos del páramo de Santurbán, determinando su relación con los factores fisicoquímicos del medio en el gradiente espacial. Aun así, poco se conoce de la influencia del uso del suelo en ríos de páramo sobre las comunidades de diatomeas.

3. Métodos

3.1 Área de estudio

La microcuenca de estudio hace parte de la cuenca del río Jordán en el páramo de Berlín y está ubicada entre los 07°06'10,3" latitud norte, 72°56'33,9" longitud oeste, y los 07°07'6,2" latitud norte, 72°56'26,8" longitud oeste.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Strahler (1964), corresponde a dos ríos de primer orden que recorren alrededor de 2051 m y posteriormente se unen formando un río de orden 2 (Figura 3). Inicialmente se realizó una salida de reconocimiento, en donde se identificaron los puntos de muestreo, así como las actividades antrópicas asociadas a cada punto,

equipos y materiales a utilizar, seguridad y transporte de personal. Posteriormente, se realizaron dos campañas de muestreo, la primera el 27 de febrero de 2020, en época seca; y la segunda el 5 de noviembre de 2020, en época lluviosa.

La ubicación de los puntos de muestreo se realizó teniendo en cuenta el cambio en el uso del suelo y su ubicación dentro del gradiente hidrológico (antes o después de la confluencia) (Figura 1). En la Tabla 1 se describen cada uno de ellos.

Tabla 1.

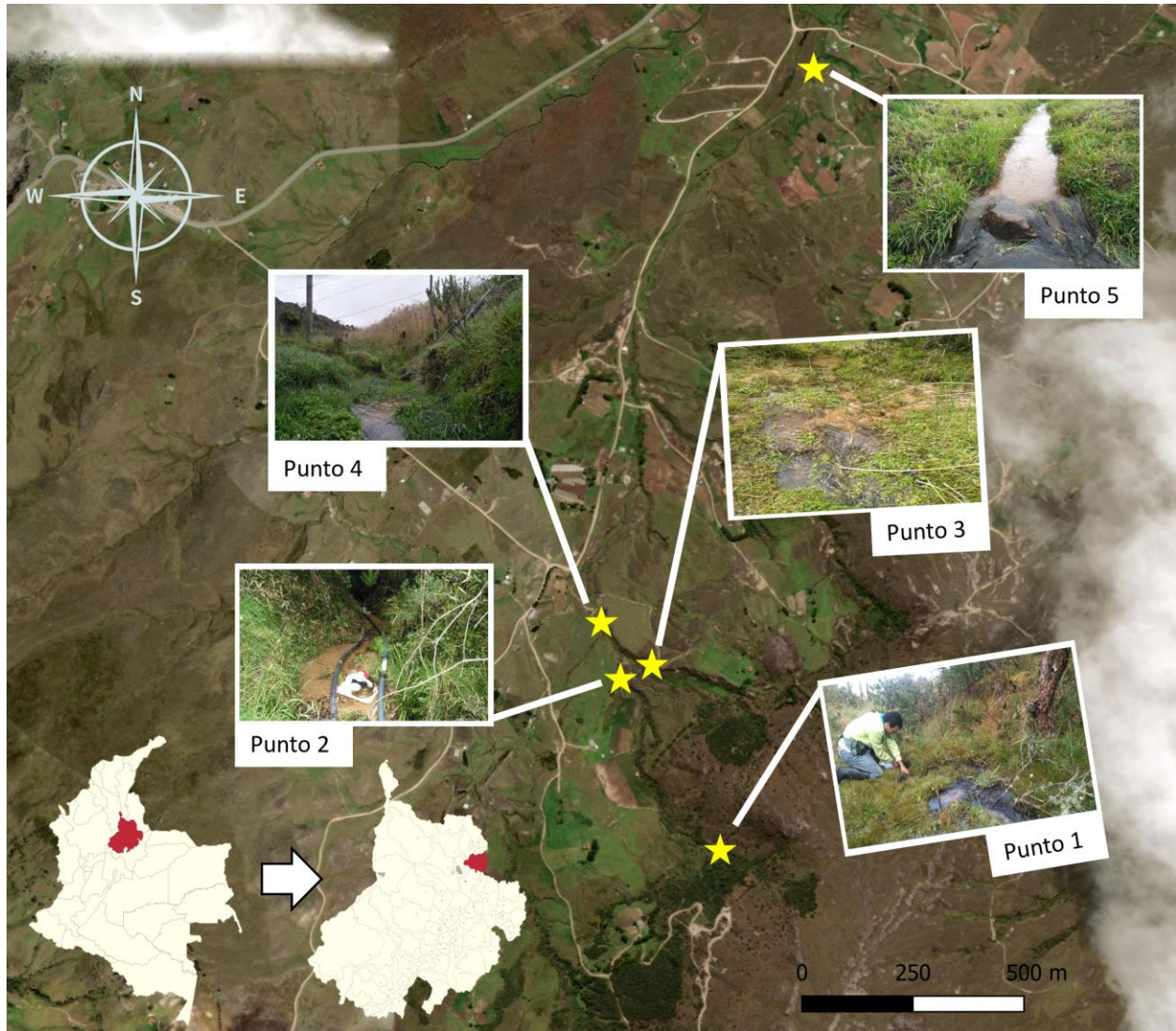
Descripción de los puntos de muestreo tomados a lo largo de la microcuenca objetivo.

Punto de muestreo	Descripción	Acrónimo	Uso Suelo
1	Nacimiento río 1. Área no intervenida con alto porcentaje de vegetación riparia.	NIVR (No Intervenido – vegetación riparia)	No Intervenido
2	Aguas abajo del punto 1, debajo de una zona de cultivos de cebolla y extracción de agua.	C (Cultivos)	Intervenido
3	Aguas abajo nacimiento río 2. Sin asentamientos ni cultivos asociados, se evidencia el paso de animales y un alto	PIVR (Poco Intervenido – Vegetación riparia)	No Intervenido

	porcentaje de vegetación riparia.		
4	Aguas abajo de la confluencia de los puntos 2 y 3. Sin vegetación riparia y con posible entrada de aguas residuales provenientes de asentamientos	ZC (Zona de Confluencia)	Intervenido
5	Parte baja de la microcuenca o zona receptora, vegetación riparia dominada por pastos, presencia de cultivos, sistemas pecuarios y extracción de agua para riego.	CP (Cultivos - Pecuario)	Intervenido

Figura 1.

Ubicación geográfica de sitio muestreado



Nota: Fuente propia

3.2 Fase de campo

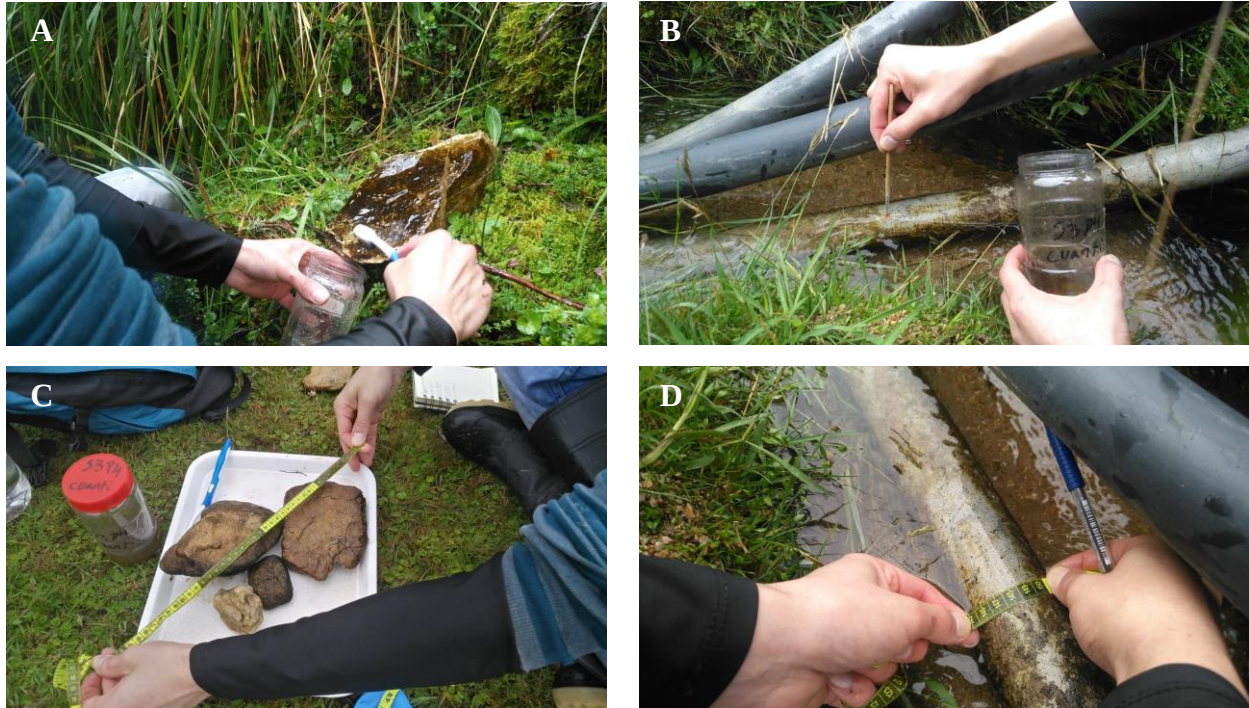
En cada punto se delimitó un transecto de 20 metros en donde se realizó la descripción hidrogeomorfológica del sitio, la cual comprendió la cuantificación visual de aspecto del hábitat

(composición del lecho teniendo en cuenta presencia de bloques, cantos rodados, gravas, arenas, limos o arcillas; palos, raíces, ramas, hojarasca o detritus). También se agruparon los sitios teniendo en cuenta las actividades antrópicas asociadas en: sitios intervenidos (principalmente presencia de cultivos) y sitios no intervenidos (sin presencia de cultivos). Para medir el caudal medio (Q) (L/s) se utilizó el método volumétrico. Posteriormente, con ayuda de un equipo portátil multiparamétrico Mettler Toledo (modelo S678-FK2), se tomaron las mediciones de las variables fisicoquímicas in situ en 3 puntos diferentes para cada tramo muestreado y se registraron los valores de pH, temperatura (Temp) (°C), oxígeno disuelto (OD) (mg/L), conductividad eléctrica (CE) ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Paralelamente, en los mismos 3 puntos se tomaron muestras para análisis de sólidos totales (ST) (mg/L), sólidos disueltos (SD) (mg/L), nitratos (NO_3) (mg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{L}$), nitritos (NO_2) (mg NO_2/L), nitrógeno amoniacal (NH_3) (mg N/L), nitrógeno orgánico total Kjeldahl (NKJ) (mg N/L), nitrógeno total (NT) (mg N/L), fósforo reactivo soluble (PRS) (mg $\text{P-PO}_4/\text{L}$), fósforo total (PT) (mg P/L) y Demanda biológica de oxígeno (DBO5) (mg O_2/L).

Para la colecta de diatomeas se utilizó un cepillo abrasivo para cada punto. A lo largo del transecto se tomaron diferentes sustratos duros y blandos en donde se observaba a simple vista biofilm adherido a la superficie (rocas, tuberías de agua y macrófitas), los cuales fueron raspados en un área definida. Todos los raspados fueron depositados en un frasco para posterior conservación con solución Lugol. El área de las superficies muestreadas fue medida inmediatamente después del raspado con ayuda de una cinta métrica y sus valores fueron anotados en una libreta de campo (Figura 2).

Figura 2.

Toma de la muestra de perifiton en los sustratos disponibles a lo largo del tramo de estudio



Nota: En las imágenes se pueden observar diferentes sustratos de los cuales fueron tomadas las muestras y su posterior medición in situ: A y C: sustrato rocoso; B y D: Tuberías de recolección de agua.

3.3 Fase de laboratorio

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Conservación GIEFIVET, ubicado en la sede Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander. A cada muestra se le realizó primero un lavado con agua destilada para eliminar el exceso de Lugol: se tomaron 5 ml de muestra de cada punto y se depositaron en tubos de ensayo, a cada muestra se le agregaron 9 ml de agua destilada y se mezcló por el método de inversión para, posteriormente, dejar decantar

por gravedad durante 5 horas. Finalizando el proceso se retiró el sobrenadante y se continuó con el proceso de oxidación.

El proceso de oxidación de la materia orgánica se realizó siguiendo el protocolo CEN/TC (2003). Para ello, a cada muestra se le agregaron 10 ml de peróxido de hidrogeno al 30% y se depositaron en un horno precalentado a 80°C 3 días por un periodo de 8 horas/día, hasta que el pellet resultante se viera de color blanco o muy claro (Figura 3).

Figura 3.

Proceso de oxidación de la materia orgánica mediante el método del peróxido en caliente



Nota. La imagen presenta los tubos de ensayo listos para ser depositados en el horno e iniciar el proceso de oxidación siguiendo el protocolo CEN/TC (2003).

Terminado el proceso de oxidación, a cada muestra se le retiró el sobrenadante hasta dejar únicamente 3 ml, se le agregaron 5 gotas de HCl 1N y se cocinaron nuevamente a 80°C por 3 horas, esto con el fin de asegurar la separación de las valvas. Posteriormente, se realizaron

lavados sucesivos con agua destilada, dejando decantar entre lavados y obteniendo así 2 ml de muestra con pellet visible en el fondo.

Para el montaje de las muestras se utilizó una placa de calentamiento y resina Naprax®. Para ello se ajustó la temperatura de la placa a 50 °C y se puso sobre ella una lámina sobre la cual se depositó un cubreobjetos. Sobre el cubreobjetos se puso una gota de la muestra procesada con el fin de evaporar el agua. Una vez finalizada la evaporación, se agregó una gota de resina Naprax® y se invirtió el cubreobjetos con ayuda de unas pinzas. Seguidamente se ejerció presión sobre el cubreobjetos para retirar el exceso de resina y todo el aire posible. Finalmente se dejó secar durante dos días.

La revisión morfológica y taxonómica se realizó con ayuda de literatura especializada para diatomeas de Sur América (Metzeltin y Lange, 1998; Rumrich et al., 2000; Metzeltin y Lange, 2007) y Colombia (Sala et al., 2002a; Sala et al., 2002b; Sala et al., 2008), utilizando un microscopio óptico Olympus CH-2 Led a una magnificación de 100x. Finalizada la revisión morfológica y taxonómica, se procedió a realizar el conteo de las valvas a una magnificación de 100x hasta obtener 400 valvas de la especie más abundante. Los conteos fueron expresados en abundancia relativa, la cual se calculó teniendo en cuenta el número de valvas registradas de cada especie y su relación con el número total de valvas contadas en la muestra.

3.4 Análisis de la información

Todos los análisis estadísticos se efectuaron con la ayuda del software Rstudio (R core team. 2020).

Para describir la variación de los datos fisicoquímicos, se realizaron gráficos tipo boxplot con el paquete ggplot2 (Wickham, 2016). La importancia de las variables fisicoquímicas y de

composición del paisaje respecto a los puntos y épocas de muestreo se determinó realizando un análisis de componentes principales (ACP) utilizando las librerías FactoMineR (Le et al., 2008) y factoextra (Kassambara y Mundt, 2020), previa transformación Box-Cox con ayuda de la librería MASS (Venables y Ripley, 2002).

Para representar las variaciones de la abundancia entre puntos y épocas de muestreo se realizaron gráficas de barras con la librería ggplot2 (Wickham, 2016), y para determinar si existen diferencias significativas en la composición de la comunidad respecto a los tipos de uso del suelo y épocas de muestreo, se realizó Anova de similitudes (ANOSIM) utilizando la librería vegan (Oksanen et al., 2020), agrupando los puntos muestreados como Intervenidos (I: Puntos 2, 4 y 5) y No Intervenidos (NI: Puntos 1 y 3).

La diversidad se analizó mediante los números de Hill de orden 0 (riqueza de especies), orden 1 (diversidad de Shannon) y orden 2 (dominancia de Simpson), utilizando la librería iNEXT (Hsieh et al., 2020). La diversidad estimada mediante números de Hill se utilizó para observar variaciones a nivel espacial en la estructura del ensamble de diatomeas dada su fácil interpretación, debido a que las unidades están dadas en especies.

El patrón de distribución de las especies fue analizado mediante un análisis de coordenadas principales (PCoA) con ayuda de la librería ape (Paradis y Schliep, 2019), utilizando una matriz de distancia Bray-Curtis. Posteriormente, sobre el gráfico resultante fueron proyectadas las especies más significativas ($p < 0.05$) obtenidas mediante la función *envfit* (Figura 17), y para determinar las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas que más influían en la composición de las diatomeas sobre el mismo PCoA fueron proyectadas las variables más significativas ($p < 0.05$) obtenidas mediante la función *envfit* (Figura 18).

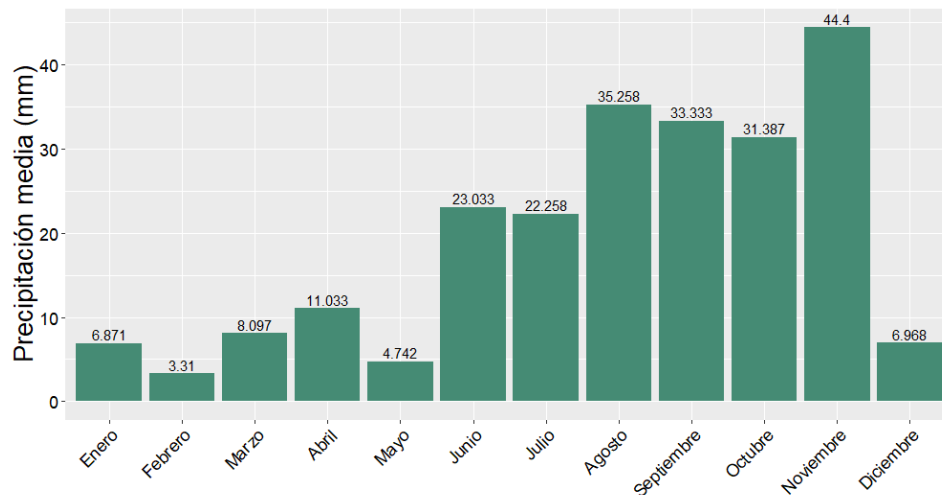
4. Resultados

4.1 Variables físicas y químicas

La media mensual de la precipitación total durante el año 2020 osciló entre 3.31 y 44.4 (mm), registrando sus valores más altos entre los meses junio-noviembre y los más reducidos entre diciembre-mayo (figura 4).

Figura 4.

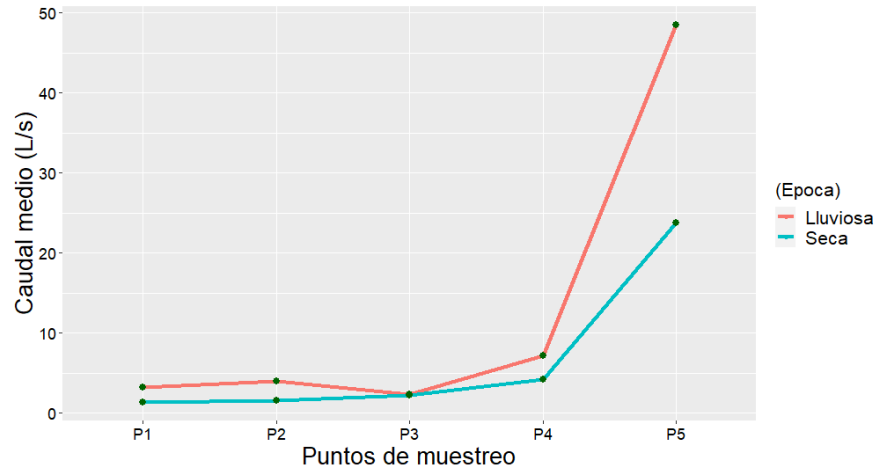
Media mensual de la precipitación total (Estación Berlín IDEAM, 2020).



Con relación al caudal, durante la época seca, los puntos 1 a 4 presentaron caudales inferiores a 5 L/s, mientras que en el punto 5 los valores fueron significativamente altos (23 L/s). Durante la época de lluvias, los valores de caudal aumentaron levemente en la mayoría de los puntos, y al doble de su valor en el punto 5 (48 L/s) (Figura 5).

Figura 5.

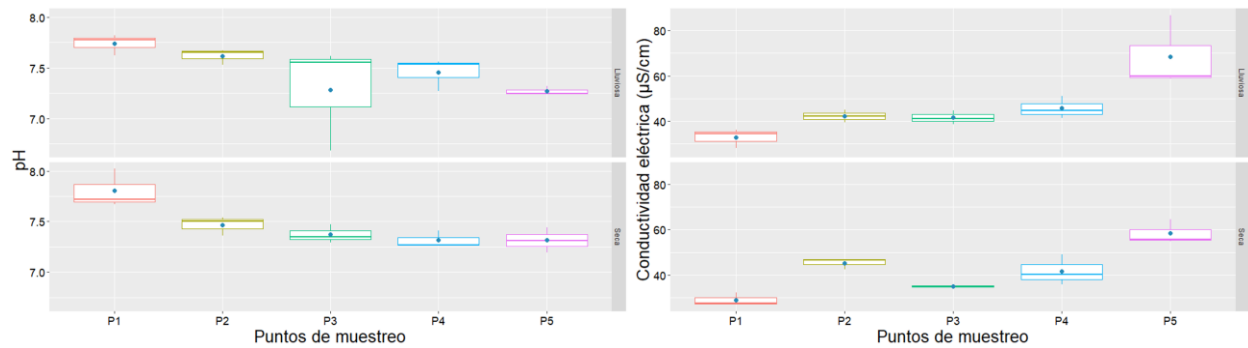
Caudal medio registrado en los tramos evaluados (n = 6)



Respecto al pH, el rango de valores estuvo entre 7.3 - 7.8 para la época seca y 7.2 - 7.7 para la época lluviosa. Para ambas épocas de muestreo el punto 1 presentó los mayores valores (7.771) (Figura 6). Por el contrario, para la conductividad eléctrica en ambas épocas, el punto 1 presentó los valores más reducidos (30.91 $\mu\text{S}/\text{cm}$), encontrando en el punto 5 los valores más altos (63.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$), fluctuando entre 28.9 - 58.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la época seca, y de 32.8 - 68.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la época lluviosa. (Figura 6).

Figura 6.

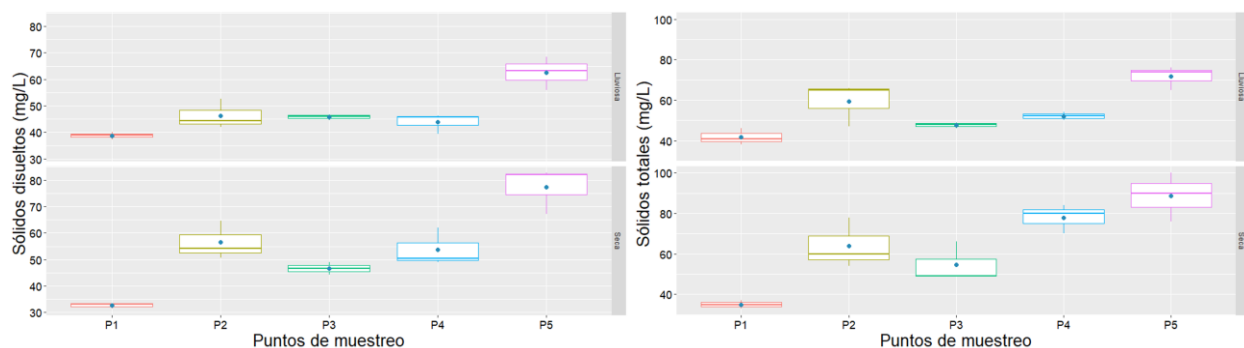
Valores de pH (Izquierda) y conductividad eléctrica (Derecha) registrados en los tramos evaluados ($n = 6$)



Los sólidos disueltos y sólidos totales (Figura 7) presentaron tendencias similares, en ambos casos, los menores valores se presentaron para el punto 1 y los valores mayores se evidenciaron en el punto 5, con valores para los sólidos totales entre 35 - 88.6 mg/L en la época seca, y 41.6 - 71.6 mg/L en época lluviosa; mientras que los valores para los sólidos disueltos fluctuaron entre 32.7 - 77.3 mg/L para la época seca, y 38.7 - 62.5 mg/L para le época lluviosa.

Figura 7.

Valores de sólidos disueltos (izquierda) y sólidos totales (derecha) registrados en los tramos evaluados ($n = 6$)



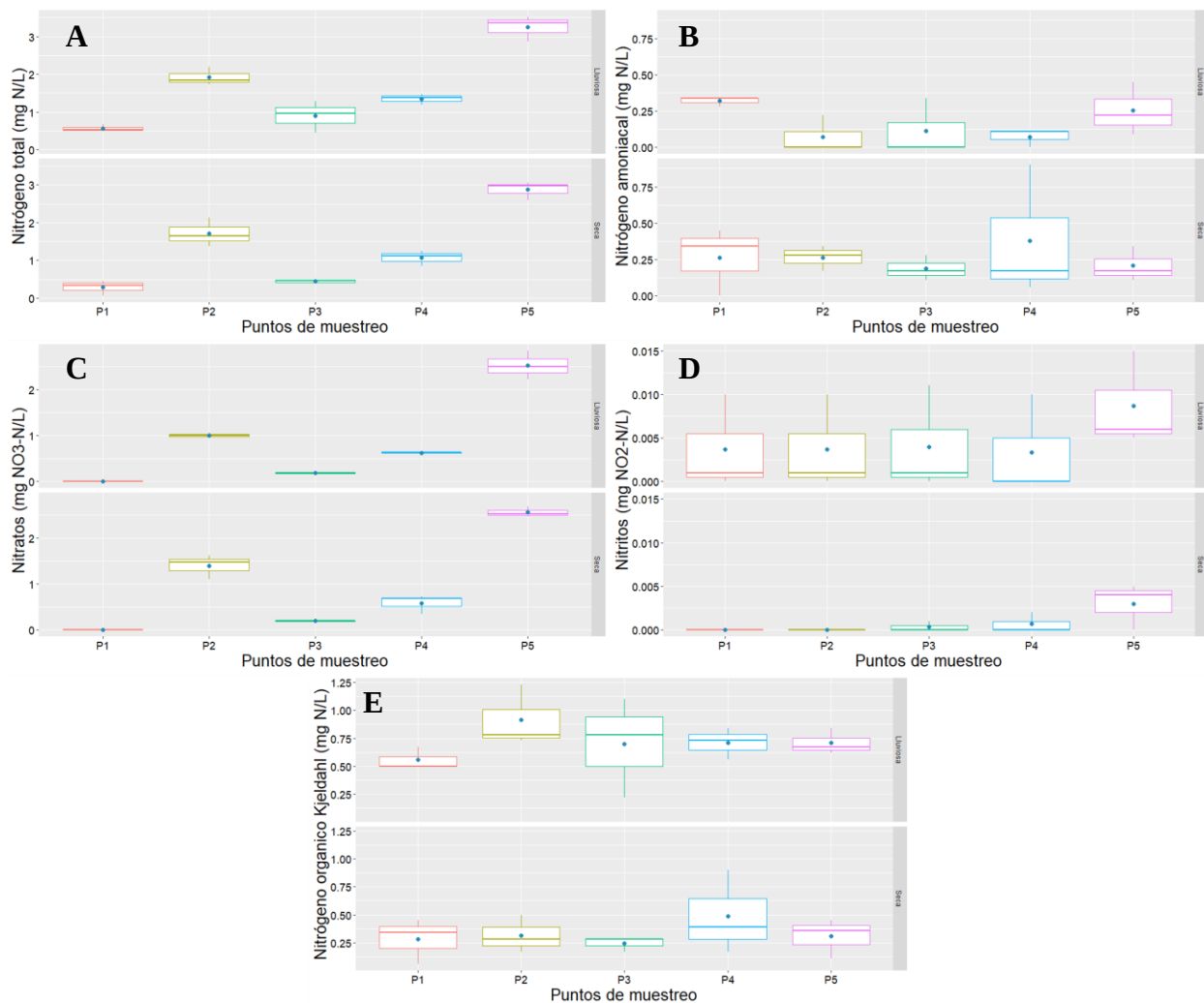
El nitrógeno total presentó valores entre 0.2 - 2.8 mg N/L para la época seca, y valores entre 0.5 - 3.2 mg N/L en la época lluviosa. Los puntos intervenidos (2, 4 y 5) presentaron los valores más altos para ambas épocas, mientras que los puntos de referencia (1 y 3) presentaron valores menores para ambas épocas (Figura 8A). Por otra parte, los valores de nitrógeno amoniacal (NH_3) fueron variables entre puntos y periodos, el punto 4 presentó los valores más altos de la época seca (0.377 mg N/L), mientras que en la época lluviosa el punto 1 presentó la mayor concentración (0.320 mg N/L) (Figura 8B).

Los nitratos fluctuaron entre 0.1 - 2.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ para la época seca, y 0.007 - 2.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ para la época lluviosa. Los puntos 2 y 5 registraron los mayores valores (1.202 y 2.545 mg N/L respectivamente), mientras que los puntos no intervenidos (1 y 3) presentaron valores inferiores a 0.2 mg N/L durante las dos épocas (Figura 8C). La concentración de nitritos fue muy baja en la época seca, incluso en rangos no detectables en los puntos 1 al 3, mientras que durante la época lluviosa los valores aumentaron en todos los puntos. Se destaca el punto 5 por presentar los valores más altos en ambas épocas (0.006 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$) (Figura 8D).

La concentración de nitrógeno orgánico total Kjeldahl en el área de estudio presentó valores entre 0.2 - 0.4 mg N/L en la época seca, destacándose el punto 4 por presentar mayor concentración (0.487 mg N/L). El rango para la época lluviosa los valores aumentaron en todos los puntos, en donde se destaca el punto 2 (con presencia de cultivos) por presentar la mayor concentración en comparación con los demás puntos (0.913 mg N/L) (Figura 8E).

Figura 8.

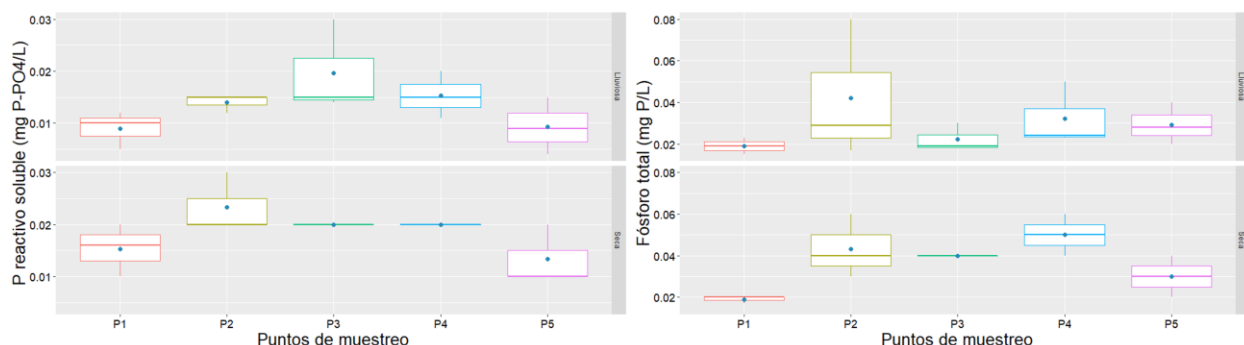
Valores de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico total Kjeldah registrados en los tramos evaluados ($n = 6$)



El fosforo reactivo soluble presentó valores mayores en la época seca siendo el punto 2 el tramo con mayor valor (0.023 mg P-PO₄/L). En la época lluviosa los valores fluctuaron entre 0,009 - 0,20 mg P-PO₄/L, siendo el punto 3, tramo con alta cobertura riparia, el sitio con mayor concentración (0.02 mg P-PO₄/L,) (Figura 9). De manera similar, el fosforo total presentó los mayores valores en la época seca y menores valores en la época lluviosa. Para los puntos 2 y 4 se encontraron los valores más altos, y los valores más bajos fueron registrados en los puntos 1 y 5 (Figura 9).

Figura 9.

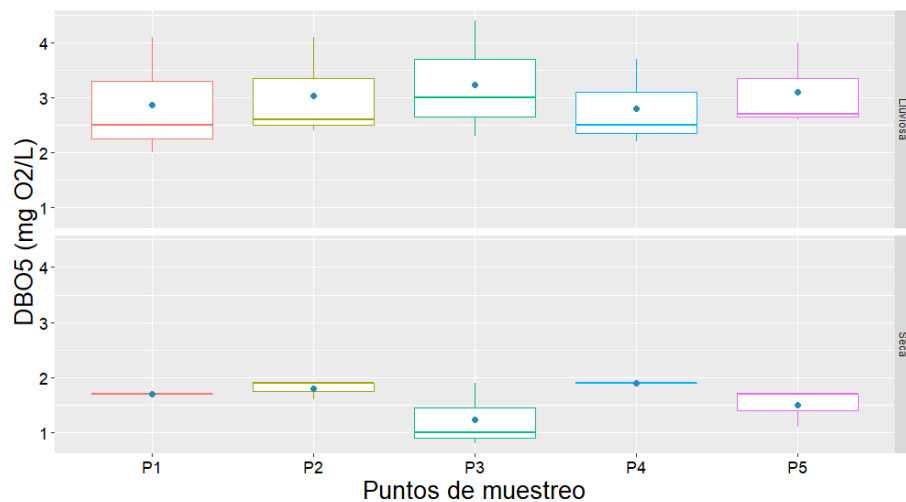
Valores de fosforo reactivo soluble (izquierda) y fosforo total (derecha) registrados en los tramos evaluados (n = 6)



Los valores de la demanda biológica de oxígeno fueron bajos en todos los puntos y periodos de muestreo, los valores para la época seca fluctuaron entre 1.2 - 1.9 mg O₂/L, y en el periodo de lluvias entre 2.8 - 3.2 mg O₂/L. Se destaca el punto 3 de la época seca por presentar el valor más bajo en general (1.233 mg O₂/L), mientras que, en general, en la época lluviosa los valores aumentaron en todos los puntos (Figura 10).

Figura 10.

Valores demanda biológica de oxígeno registrados en los tramos evaluados (n = 6)



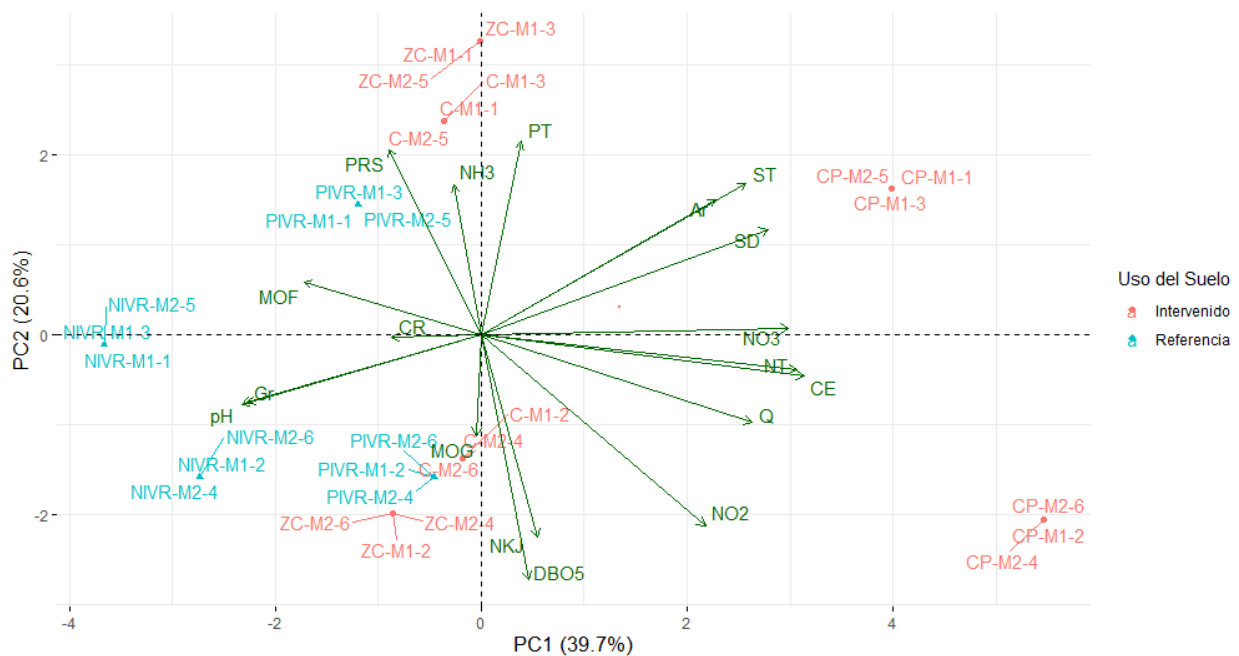
El análisis de componentes principales explicó un 60.3% de la variabilidad de los datos en las 2 primeras tendencias de variación (Figura 11). El primer componente explicó un 39.7% del total de la varianza y está asociado positivamente con las variables conductividad eléctrica, nitrógeno total y nitratos, y negativamente con el pH, las gravas y la materia orgánica fina. El segundo eje de ordenación explicó un 20.6% del total de la varianza y se relacionó positivamente con el fosforo reactivo soluble, el nitrógeno amoniacal y el fosforo total, y negativamente con la demanda biológica de oxígeno y la materia orgánica gruesa.

En general, la primera tendencia de variación está relacionada con la mineralización y el contenido de nitrógeno, generando un gradiente desde aguas más mineralizadas y con alta carga de nitrógeno en el tramo inferior de la microcuenca (punto 5) contrastando con el punto más prístino del gradiente (punto 1) con aguas muy poco mineralizadas y con bajo contenido de

nitrógeno. Por su parte, el comportamiento del fósforo está más asociado con los usos del suelo, encontrándose mayor contenido de fósforo en puntos con cultivos asociados.

Figura 11.

Análisis de componentes principales para las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas en el área de estudio



Nota. La notación de los puntos se compone de: Uso del suelo: C = Cultivos, CP = Cultivos-Pecuario, NIVR = No intervenida con vegetación riparia, PIVR = Poco intervenida con vegetación riparia, ZC = Zona de confluencia; M: Época de muestreo (1 = Seca, 2 = Lluviosa). Fisicoquímicos: DBO5 = Demanda biológica de oxígeno; PRS = Fosforo reactivo soluble; PT = Fosforo total; NO3 = Nitratos; NO2 = Nitritos; NH3 = Nitrógeno amoniacal; NKJ = Nitrógeno orgánico total Kjeldahl; NT = Nitrógeno total, ST = Sólidos totales; SD = Sólidos disueltos; Q = Caudal; CE = Conductividad eléctrica. Hidrogeomorfológicos: CR = Cantos rodados; Gr = Gravas; Ar = Arenas; MOG = Materia orgánica gruesa; MOF = Materia orgánica fina.

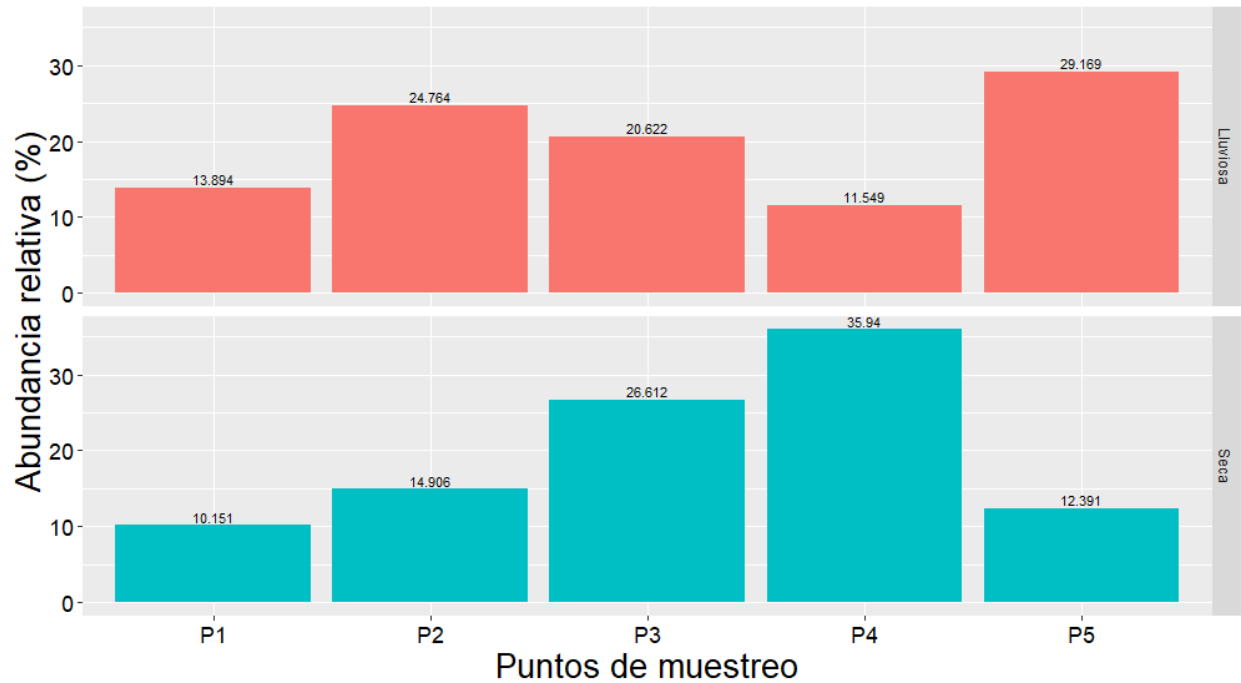
4.2 Ensamble de diatomeas

En el área de estudio se registró un total de 69 especies (y 4 morfotipos), distribuidas en una clase, 11 órdenes, 20 familias y 30 géneros (Apéndice A). Las familias más representativas fueron Naviculaceae y Pinnulariaceae, cada una con el 14.49% de las especies encontradas, seguidas por Gomphonemataceae, representando el 11.59% del total de especies encontradas. Respecto a los géneros ocurre algo similar, siendo *Pinnularia* el género más recurrente, seguido por *Gomphonema*, *Navicula* y *Eunotia*.

Respecto a la riqueza de especies, en la época lluviosa se registraron 66 especies, mientras que en la época seca se registraron 51 especies. En términos de abundancia, el mayor número de valvas fue registrado en la época lluviosa con 4563 (51.1% del total de valvas contadas en todo el estudio), la época seca registro un total de 4374 valvas (48.9% del total de valvas contadas en todo el estudio). Para la época seca, los puntos 3 y 4 registraron la mayor abundancia relativa de valvas, sumando más del 50%; para la época lluviosa los puntos 2 y 5 sumaron más del 50% de la abundancia relativa de valvas (Figura 12).

Figura 12.

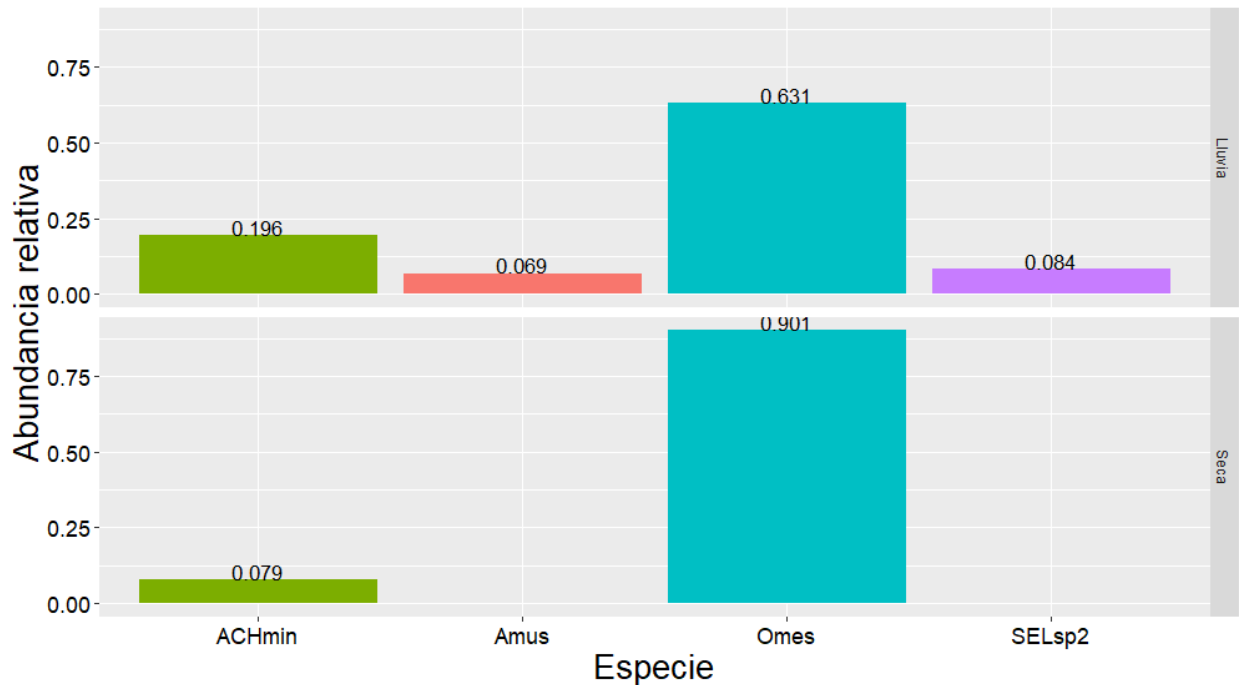
Distribución de la abundancia relativa a nivel espacial y temporal



En el punto 1 se observó que *Odontidium mesodon* Kützing, 1849, presentó una alta dominancia con abundancias superiores al 60%, seguido por *Achnanthidium minutissimum* (Kütz.) Czarn, 1994, con mayor abundancia en el periodo de lluvias (Figura 13).

Figura 13.

Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el primer punto para ambas épocas de muestreo

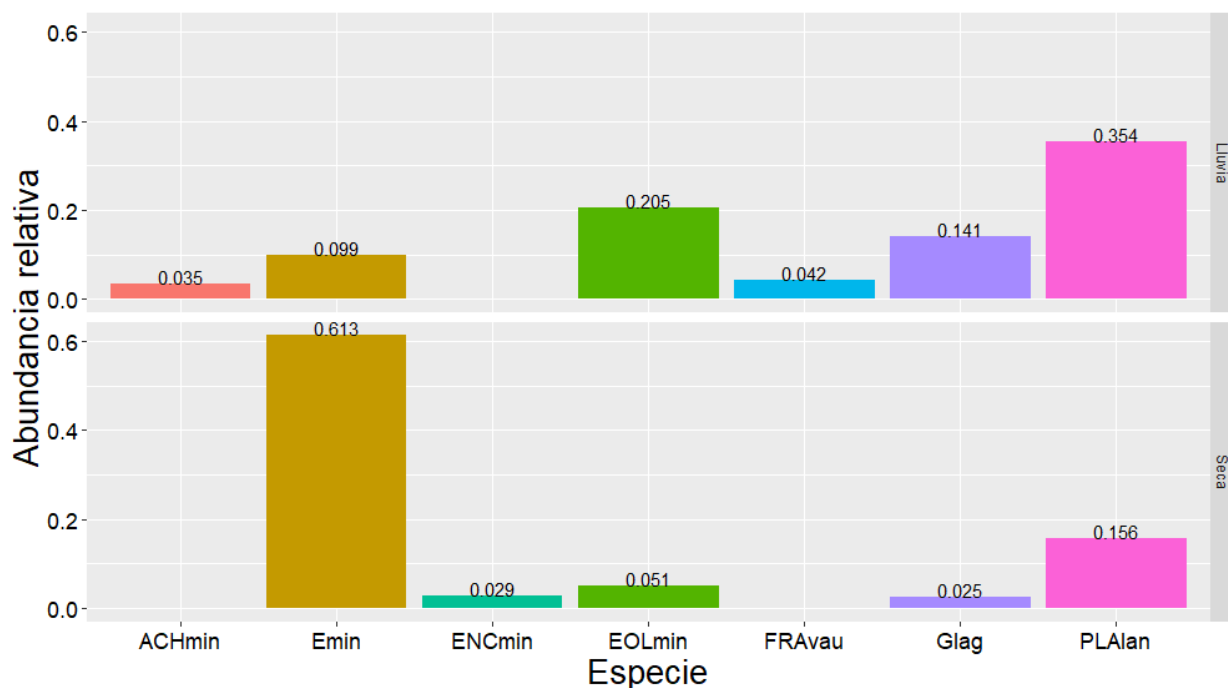


Nota: ACHmin = *Achnantheidium minutissimum*; Amus = *Adlafia aff muscora*; Omes = *Odontidium mesodon*; Selsp2 = *Sellaphora sp2*.

Eunotia minor (Kützing) Grunow, 1881, presentó una dominancia evidente el segundo punto para la época seca (61% del total), seguida por *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot, 1999, (15%). Respecto la época lluviosa, difiriendo del muestreo en la época seca, *Planothidium lanceolatum* se encontró como la especie dominante (35%), seguido por *Eolimna mínima* (Grunow) Lange-Bertalot, 1998, (20%) y *Gomphonema lagenula* Kützing, 1844, (14%) (Figura 14).

Figura 14.

Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el segundo punto para ambas épocas de muestreo

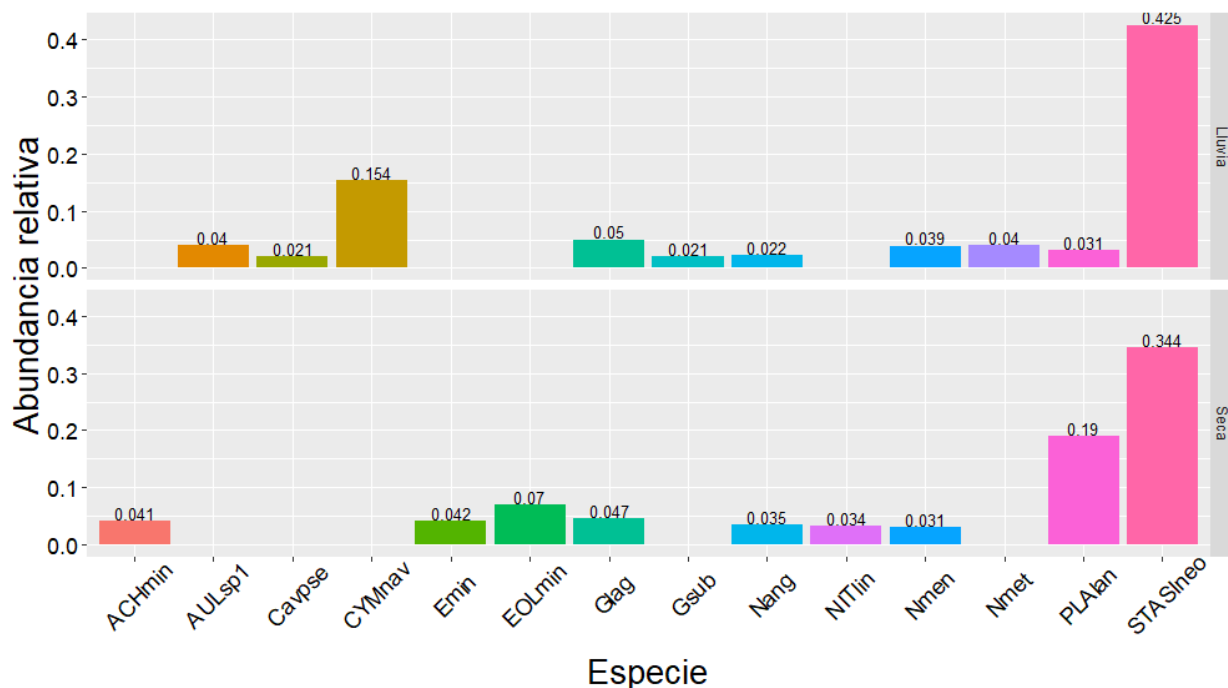


Nota: ACHmin = *Achnantheidium minutisimum*; Emin = *Eunotia minor*; ENCmin = *Encyonema minutum*; EOLmin = *Eolimna minima*; FRAvau = *Fragilaria vaucheriae*; Glag = *Gomphonema lagenula*; PLAlan = *Planothidium lanceolatum*.

Staurosirella neopinnata E. A. Morales, C. E. Wetzel, Haworth & Ector, 2019, presentó una alta dominancia en el tercer punto para ambas épocas de muestreo (34% para la época seca y 42% para la época lluviosa). *Planothidium lanceolatum* se encontró como la segunda especie dominante en la época seca (19%), y para la época lluviosa la segunda especie dominante fue *Cymbopleura naviculiformis* (Auerswald ex Heiberg) Krammer, 2003, (15%) (Figura 15).

Figura 15.

Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el tercer punto para ambas épocas de muestreo



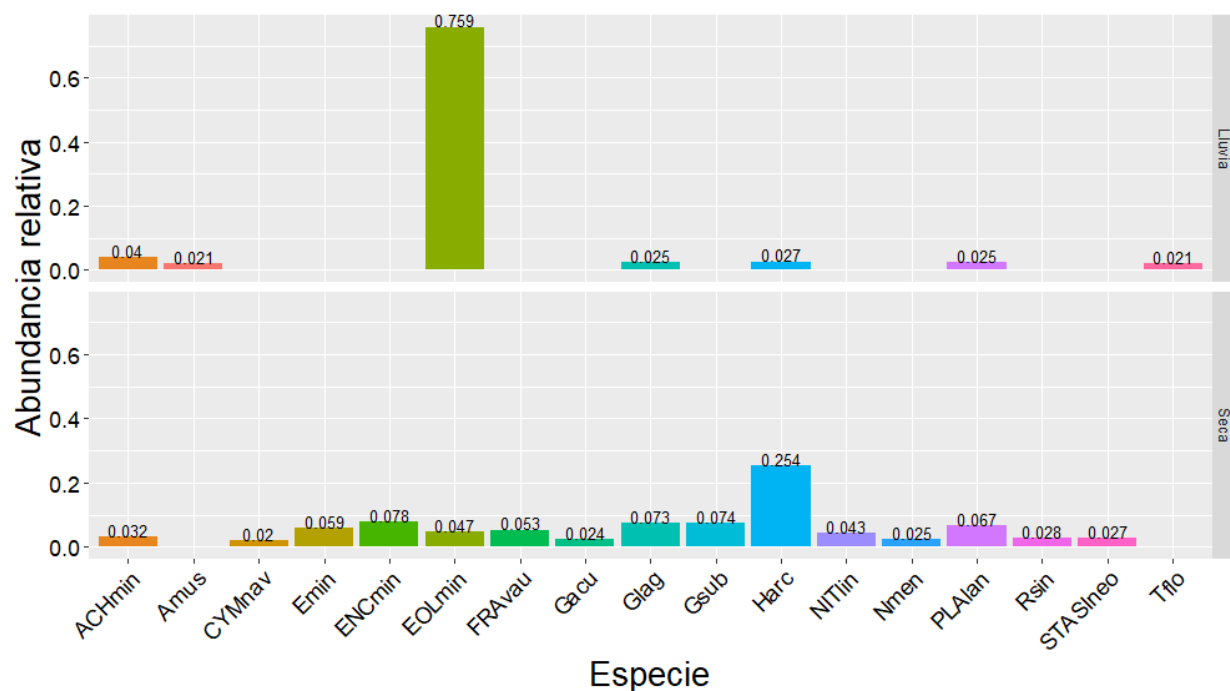
Nota: ACHmin = *Achnantheidium minutissimum*; AULsp1 = *Aulacoseira sp1*; CAVsp1 = *Cavinula pseudocutiformis*; CYMnav = *Cymbopleura naviculiformis*; Emin = *Eunotia minor*; EOLmin = *Eolimna mínima*; Glag = *Gomphonema lagenula*; Gsub = *Gomphonema subclavatum*; Nang = *Navicula angusta*; NITlin = *Nitzschia linearis*; Nmen = *Navicula aff menisculus*; Nmet = *Navicula aff metareichardtiana*; PLAlan = *Planothidium lanceolatum*; STASIneo = *Staurosirella neopinnata*.

En el cuarto punto, para la época seca, se observó un mayor número de especies respecto a la época lluviosa, con abundancias equitativas, encontrándose como especie dominante a *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R. M. Patrick, 1966, con el 25% del total registrado, seguida por

Encyonema minutum (Hilse) D. G. Mann, 1990, (7.8%). Para la época lluviosa se observó una marcada reducción del número de especies, se encontró una alta dominancia de *Eolimna mínima* con más del 75% del total registrado, de *Hannaea arcus* se presentaron muy pocas valvas (2%) (Figura 16).

Figura 16.

Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el cuarto punto para ambas épocas de muestreo



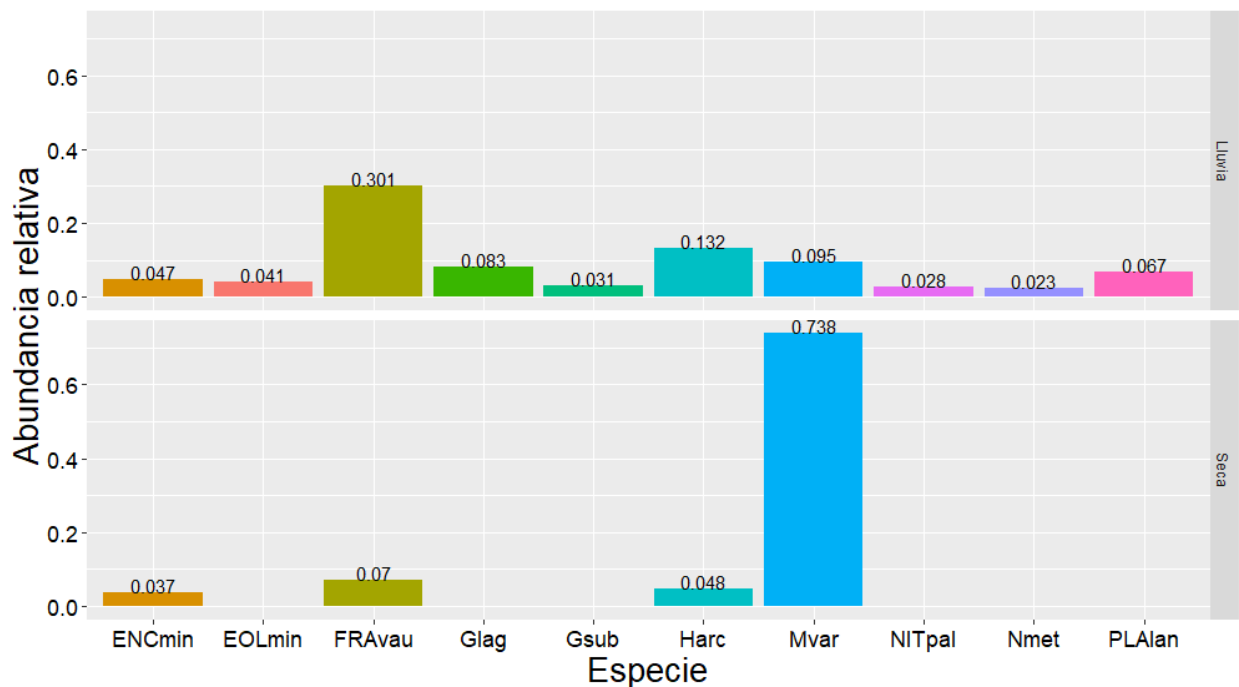
Nota: ACHmin = *Achnantheidium minutissimum*; Amus = *Adlafia aff muscora*; CYMnav = *Cymbopleura naviculiformis*; Emin = *Eunotia minor*; ENCmin = *Encyonema minutum*; EOLmin = *Eolimna mínima*; FRAvau = *Fragilaria vaucheriae*; Gacu = *Gomphonema acuminatum*; Glag = *Gomphonema lagenula*; Gsub = *Gomphonema subclavatum*; Harc = *Hannaea arcus*; NITlin =

Nitzschia linearis; Nmen = *Navicula aff menisculus*; PLAlan = *Planothidium lanceolatum*; Rsin = *Reimeria sinuata*; STASIneo = *Staurosirella neopinnata*; Tflo = *Tabellaria flocculosa*.

Finalmente, en el punto 5 *Melosira varians* C. Agardh, 1827, presento una dominancia evidente en la época seca alcanzando abundancias superiores al 70%. En la época lluviosa, se evidenció un aumento del número de especies con dominancia de *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J. B. Petersen, 1938, (30% del total registrado) (Figura 14), difiriendo, al igual que los puntos 2 y 4, del muestreo en época seca (Figura 17).

Figura 17.

Abundancia relativa de las especies con abundancias mayores al 2% registradas en el quinto punto para ambas épocas de muestreo

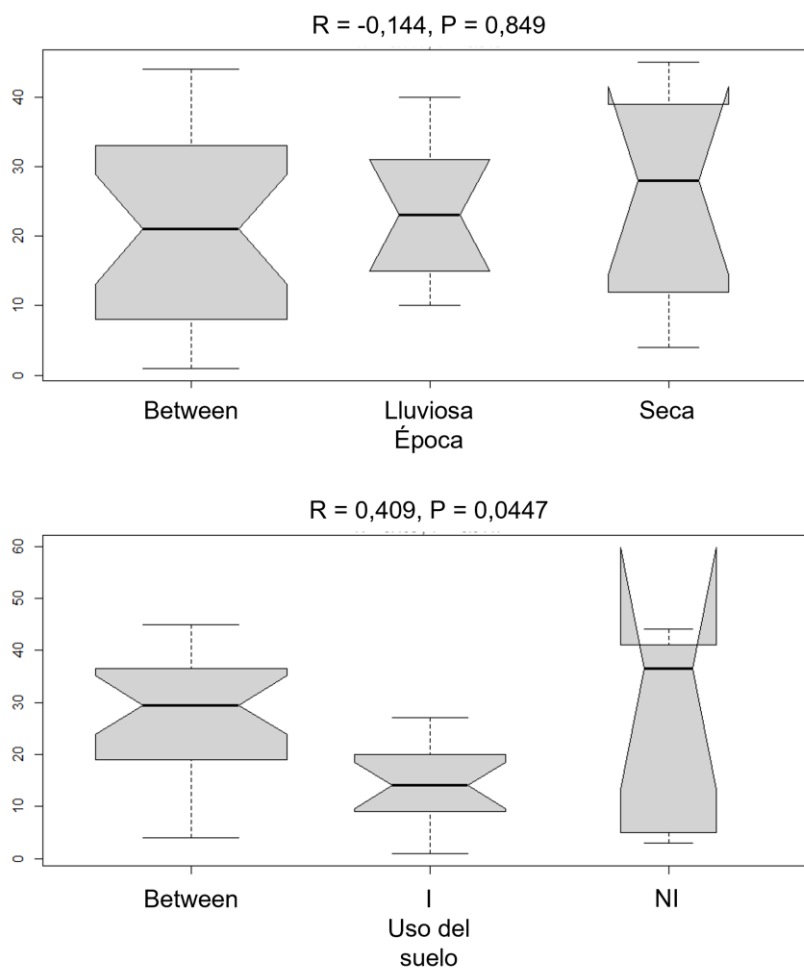


Nota: ENCmin = *Encyonema minutum*; EOLmin = *Eolimna* mínima; FRAvau = *Fragilaria vaucheriae*; Glag = *Gomphonema lagenula*; Gsub = *Gomphonema subclavatum*; Harc = *Hannaea arcus*; Mvar = *Melosira varians*; NITpal = *Nitzschia palea*; Nmet = *Navicula aff metareichardtiana*; PLAlan = *Planothidium lanceolatum*.

El anova de similitudes arrojó como resultado que las diferencias respecto a la composición de la comunidad de diatomeas en los diferentes puntos de la zona estudiada no responde a cambios estacionales ($p = 0.84$, $r = -0.14$), responde al nivel de presión representada por la presencia de cultivos (Intervenidos (I), No Intervenidos (NI), $p = 0.03$, $r = 0.41$) (Figura 18).

Figura 18.

Anova de similitud (ANOSIM) para época de muestreo y uso del suelo (*I* = *Intervenido*, *NI* = *No Intervenidos*).



En cuanto a la diversidad calculada mediante los numeros de Hill, según la diversidad de orden q_0 , el punto 3 fue el sitio con mayor riqueza (53 especies) y el punto 1 fue el sitio con menor riqueza (21 especies), encontrándose un patron de aumento en la riqueza de especies desde el punto 1 al 3, la cual disminuye en el punto 4 (49 especies) y el punto 5 (48 especies), sin embargo es importante mencionar que la riqueza de especies esta muy subestimada en los puntos 1 y 2 (Figura 19).

Por otro lado, cuando se analiza la diversidad de orden q_1 y q_2 , el punto con mayor diversidad en el estudio es el punto 4 (14 y 8 especies respectivamente), y el punto con menor diversidad es el punto 1 (2 y 1 especies respectivamente) (Tabla 2).

La diversidad de orden q_2 mostró un patrón similar al encontrado para q_1 , aumentando desde el punto 1 hasta el punto 4 (1 - 8 especies) y disminuyendo en el punto 5 (6 especies). Este patrón también es observado al examinar la diversidad estimada por extrapolación (Figura 19), sin embargo, no se puede establecer si hay diferencias significativas de la diversidad de orden q_0 a lo largo del gradiente de estudiado dado que todos los intervalos de confianza se superponen. Para el caso de q_1 , se observa que los puntos 1, 2 y 4 son diferentes, mientras que para q_2 se observa una agrupación de los puntos 2, 3 y 5, únicamente diferenciándose los puntos 1 y 4.

Tabla 2.

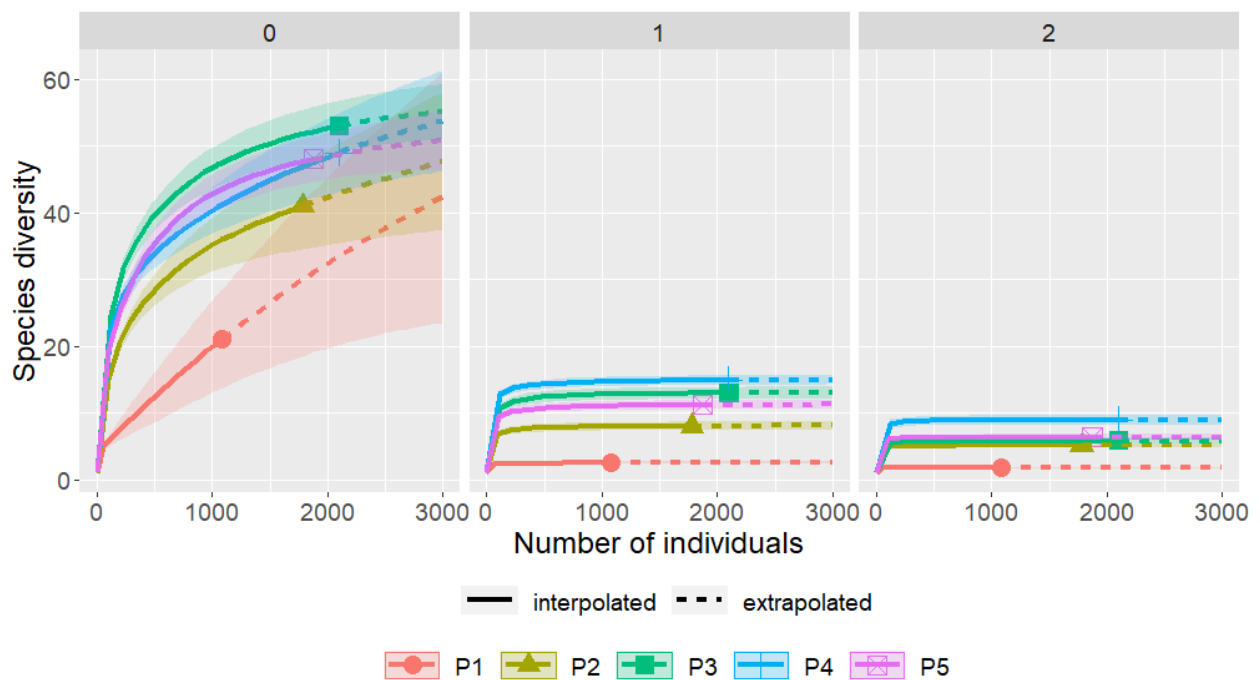
Número de especies observadas y esperadas para los números q_0 , q_1 y q_2 por punto de muestreo

Punto de muestreo	Índice de diversidad	Observado	Estimado
Punto 1	Riqueza de especies ($q = 0$)	21	77.19
	Diversidad de Shannon ($q = 1$)	2.48	2.55
	Diversidad de Simpson ($q = 2$)	1.73	1.73
Punto 2	Riqueza de especies ($q = 0$)	41	71.23
	Diversidad de Shannon ($q = 1$)	8.02	8.18
	Diversidad de Simpson ($q = 2$)	5.09	5.11
Punto 3	Riqueza de especies ($q = 0$)	53	57.08

	Diversidad de Shannon ($q = 1$)	12.96	13.15
	Diversidad de Simpson ($q = 2$)	5.76	5.77
	Riqueza de especies ($q = 0$)	49	65.89
Punto 4	Diversidad de Shannon ($q = 1$)	14.88	15.13
	Diversidad de Simpson ($q = 2$)	8.93	8.96
	Riqueza de especies ($q = 0$)	48	52.89
Punto 5	Diversidad de Shannon ($q = 1$)	11.17	11.34
	Diversidad de Simpson ($q = 2$)	6.37	6.38
	Riqueza de especies ($q = 0$)	48	52.89

Figura 19.

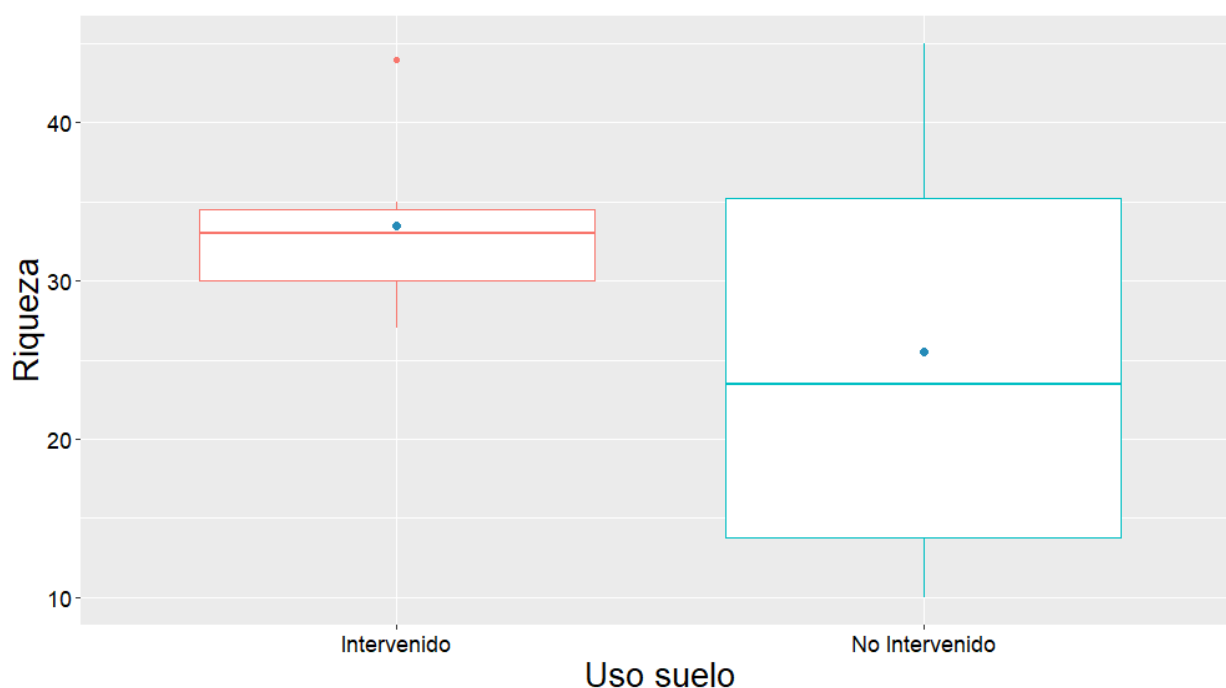
Curvas de rarefacción basadas en el tamaño de la muestra (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) sobre una muestra basada en 3000 individuos para los números de Hill de orden $q=0$ (panel izquierdo), $q=1$ (panel centro) y $q=2$ (panel derecho).



Al comparar la riqueza de especies (q_0), entre los puntos intervenidos y de referencia, en general se evidencian una menor riqueza de taxones en los puntos no intervenidos (figura 20).

Figura 20.

Riqueza de especies (q_0) registrada en los sitios intervenidos y no intervenidos



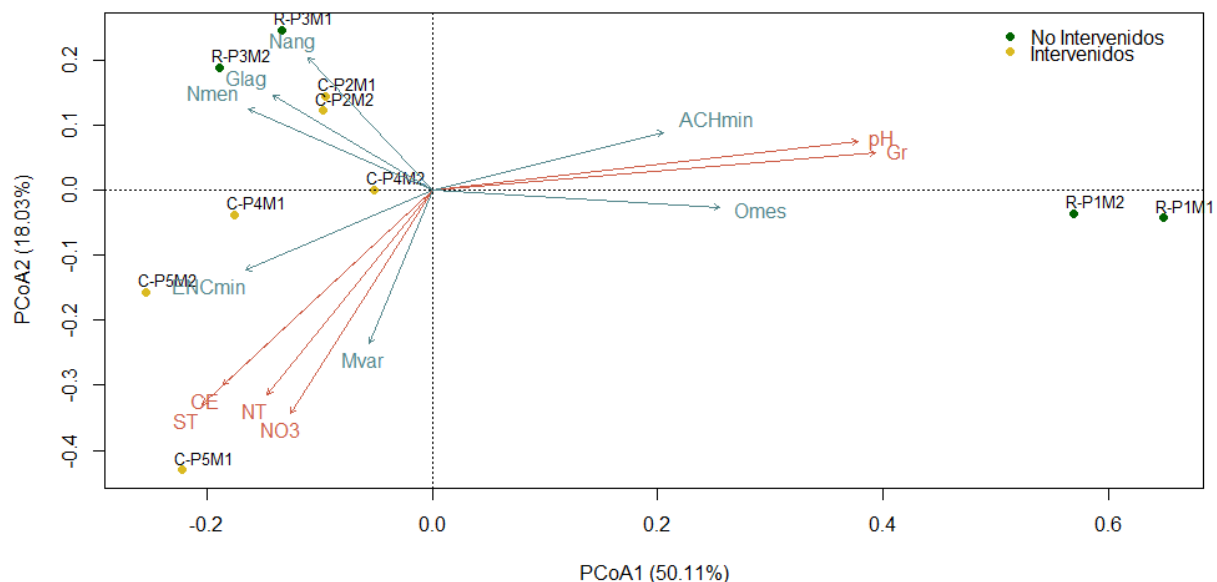
Respecto al patrón de distribución de las especies, el PCoA reunió el 68.14% de la varianza de las especies en las dos primeras dimensiones del espacio de ordenación. Dicho análisis mostró una clara separación entre los puntos 1 y 5, los cuales se ubicaron en los extremos del gradiente. Los puntos 2 y 3 tendieron a agruparse (Figura 21).

De las 69 especies y 4 morfotipos registrados en el estudio, 7 presentaron diferencias significativas en la distribución entre los diferentes tramos (*envfit*, $p < 0.05$). En el punto 1 fueron altamente recurrentes *Odontidium mesodon* y *Achnanthidium minutissimum*, mientras que

en el quinto punto se encontró principalmente una alta abundancia de *Melosira varians* (Figura 21). Dichas especies podrían estar relacionadas con las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas que fueron retenidas en el análisis (*envfit*, $p < 0.05$). El pH y las gravas fueron los factores más representativos que se asociaron con el punto 1, mientras que para el quinto punto las variables más representativas asociadas son los nitratos, el nitrógeno total, la conductividad eléctrica y los sólidos totales (Figura 21).

Figura 21.

*Análisis de coordenadas principales. Las flechas azules representan las especies significativas ($p_{max} = 0.05$, función *envfit*) y las flechas rojas representan las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas significativas ($p_{max} = 0.05$, función *envfit*)*



Nota: Uso del suelo: NIVR = No intervenida con vegetación riparia, PIVR = Poco intervenida con vegetación riparia, C = Cultivos, CP = Cultivos-Pecuario, ZC = Zona de confluencia; P =

Punto de muestreo; M = Época de muestreo (1 = Seca, 2 = Lluviosa). Especies: Omes = *Odontidium mesodon*; ACHmin = *Achnantheidium minutisimum*; Mvar = *Melosira varians*; ENCmin = *Encyonema minutum*; Nmen = *Navicula aff menisculus*; Glag = *Gomphonema lagenula*; Nang = *Navicula aff angusta*. Variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas: ST = Sólidos totales; CE = Conductividad eléctrica; NO3 = Nitratos; NT = Nitrógeno total; Gr = Gravas.

5. Discusión

5.1. Componente ambiental

Según la (CDMB, 2011), el periodo de alta precipitación en el páramo de Berlín se encuentra entre los meses de abril - junio y septiembre - noviembre, concordando con el aumento de los valores de caudal durante el segundo muestreo.

El comportamiento de las variables fisicoquímicas a lo largo de la microcuenca estudiada puede estar relacionado con los periodos de lluvias y las actividades agrícolas presentes alrededor de los puntos de muestreo. Con relación al pH, se observó que este disminuía a medida que se avanza en el gradiente, lo cual podría asociarse al uso de fertilizantes con componentes nitrogenados en los cultivos (Buytaert et al., 2006). Se ha demostrado que la nitrificación de los fertilizantes que contienen nitratos, amonios o amidas pueden generar acidez por liberación de iones hidrogeno (Adams, 1984; Baldoncini, 2015).

Los mayores contenidos de sólidos y iones en los tramos de estudio se encontraron en los puntos asociados con cultivos y sistemas pecuarios (2 y 5). Este patrón está relacionado con el arrastre de sales, minerales y nutrientes provenientes de los cultivos por escorrentía (Loza del Carpio & Cancapa, 2020; Villamarín et al., 2014). El alto contenido de sólidos en la época seca

estaría asociado la acumulación derivada de la falta de arrastre de las lluvias (García, 2016; Molina et al., 2008).

En general, los valores de nitratos, nitritos y nitrógeno total a lo largo de la microcuenca estudiada fueron menores para los puntos no intervenidos (1 y 3) aumentando en los puntos intervenidos (2, 4 y 5), para la época lluviosa los valores aumentaron en general siguiendo el mismo patrón de la época seca. Estos compuestos pueden aparecer en aguas superficiales por lavado de suelos ricos en los mismos (Gray y Morgan-Jones, 1980), que pueden derivarse de la escorrentía de terrenos fertilizados utilizando de fertilizantes orgánicos o nitrogenados, de sistemas sépticos defectuosos o estiércol animal (De Miguel-Fernández y Vásquez-Taset, 2006; EPA, 2007), filtrando el residuo hacia los cuerpos de agua (Simal-Lozano et al., 1984).

Un patrón similar se encontró para los valores de fósforos (fósforo total y fósforo reactivo soluble) encontrando valores mayores en los puntos intervenidos (2, 4 y 5) durante ambas épocas de muestreo, en especial durante la época lluviosa, en la cual se registró un aumento en los valores. Las lluvias pueden contribuir a la cantidad de fosforo total presente en las aguas superficiales en zonas agrícolas y ganaderas debido a los lixiviados resultantes del estiércol y los fertilizantes fosfatados (Severiche et al., 2013; Arce et al. 2016) que llegan al cuerpo de agua proveniente de las pendientes circundantes.

La demanda biológica de oxígeno fue similar en todos los puntos, aunque con una clara diferencia entre periodos de estudio. Esto podría estar asociado con la baja tasas de descomposición de la materia orgánica en los ecosistemas de páramo (Llambí et al., 2012).

5.2. Ensamble de diatomeas y patrón de distribución

En términos de composición, a pesar de la pequeña área de muestreo, la zona estudiada presenta valores de diversidad importantes en comparación con los resultados reportados por Picón y Solano (2019) en diferentes riachuelos de páramo en Ecuador (77 especies), y al estudio realizado por Díaz-Quirós y Rivera-Rondón (2004) en 20 riachuelos de la cuenta alta y media del Río Bogotá, en el cual encontraron 96 especies. Sin embargo, Ramírez y Plata (2008), reportaron 157 morfoespecies en dos sistemas lóticos del Páramo de Santurbán, por lo tanto, puede que la diversidad de especies para los sistemas de páramos sea mayor a la registrada en el presente estudio, como se puede apreciar en el número de especies esperado por extrapolación (Tabla 2, Figura 18).

El aumento de la riqueza de especies en la época lluviosa estaría relacionado con periodos de mayor caudal, debido a que los arroyos muestreados son de primer orden (muy poco profundos) y el aumento en el caudal facilita la distribución de las especies al crear una mayor dinámica en el cuerpo de agua (Lamers et al. 2006). Esto coincide con lo encontrado por Pedraza-Garzón y Donato-Rondón (2011) en el río Tota, en donde encontraron que la riqueza de diatomeas era mayor en los sitios con mayor caudal, y lo reportado por Flores-Stulzer et al. (2017) en el río Pirro, en Costa Rica, en donde hallaron la mayor riqueza de especies de diatomeas en la época lluviosa.

Respecto a las especies más representativas encontradas, en los puntos no intervenidos (1 y 3) se encontraron taxones que han sido catalogados poco resistentes a contaminación orgánica, como *Odontidium mesodon*, la cual se relaciona con bajas temperaturas, bajos valores de conductividad y bajas cantidades de ortofosfatos y nutrientes en general (Mirzahasanlou et al., 2019; Potapova, 2009), así como *Achnantheidium minutissimum* que, aunque presenta una

tolerancia ecológica aparentemente amplia (Marquardat et al., 2017), también es reportada como indicadora de un buen estatus del cuerpo de agua (Kelly et al., 2014); *Planothidium lanceolatum*, de amplia distribución que se ha relacionado con altos valores de caudal y conductividad (Pedraza-Garzón y Donato-Rondón, 2011), la cual también se ha reportado en aguas con bajas temperaturas, bajos sólidos disueltos, bajos valores de nitritos y nitrógeno amoniacal (Montoya-Moreno y Aguirre-Ramírez, 2013). *Staurosirella neopinnata* es un taxon del cual poco se conoce sobre su ecología y en estudios paleolimnológicos se ha encontrado en sedimentos junto a otros taxones alcalófilos, bentónicos, no aerofilos, no clorofilas e indiferentes a las corrientes (Morales, Wetzel et al., 2019)

Similar a lo descrito por Kelly et al. (2014) en un informe realizado para lagos de Europa, este patrón de distribución encontrado para los puntos no intervenidos puede indicar que algunos taxones dominantes presentan patrones de distribución amplios debido a su rango de tolerancia a las condiciones que se presentan a lo largo del gradiente del uso del suelo, dificultando la asociación de las condiciones del medio con las especies dominantes presentes.

Caso contrario ocurre para los puntos intervenidos (2, 4 y 5), en donde se encontró gran abundancia de especies como *Eunotia cf minor*, considerada indicadora de concentraciones medias de nitritos (Montoya-Moreno y Aguirre-Ramírez, 2013), Taylor (2007) reporta que esta especie se puede encontrar en aguas circuneutrales; *Hannaea arcus*, ampliamente reportada en regiones montañosas y aguas frías (Kociolek, 2010), encontrada en arroyos de montaña de rápido movimiento (reofílica), oligotróficos, circuneutrales y con bajos contenidos de nitratos (Krammer y Lange-Bertalot, 1991; Antoniades y Douglas, 2002; Bixby y Jahn, 2005).

La alta abundancia de *Melosira varians* en el punto 5 coincide con lo registrado en la literatura: es una especie que indica eutrofización y contaminación orgánica (Yang et al., 2020),

muy recurrente en aguas ricas en nitrógeno (Retnaningsih et al., 2016), formando colonias largas en las épocas de baja precipitación aprovechando los entornos estables y de reducida velocidad (Biggs & Thomsen 1995, Pedraza-Garzón y Donato-Rondón, 2011).

Eolimna mínima, especie cosmopolita y que se ha asociado a altas concentraciones de amonio (Taylor et al., 2007), se encuentra en un amplio rango de cuerpos de agua, incluso en sitios muy contaminados, posiblemente asociándose con detritos orgánicos y condiciones sanitaria deterioradas (Pedraza-Garzón y Donato-Rondón, 2011, Flores-Stulzer et al., 2017). *Fragilaria vaucheriae* es un taxon con un amplio rango ecológico (Taylor et al., 2007) reportado tanto en sitios impactados, siendo resistente a los contaminantes (Kelly et al., 2014), como en ríos con bajas concentraciones de fósforo (Pedraza-Garzón y Donato-Rondón, 2011). Estos taxones normalmente se asocian a cuerpos de aguas con cantidades moderadas o altas de contaminantes, coincidiendo con lo encontrado en el presente estudio.

Las diferencias en composición registradas en la comunidad de diatomeas, con relación al uso del suelo (intervenidos y no intervenidos), coinciden con lo reportado por Bere y Tundisi (2011a), en donde encontraron que la estructura de la comunidad de diatomeas se relacionaba claramente con los cambios en la calidad el agua asociados con los cambios en el uso del suelo.

Respecto a la riqueza de especies calculada mediante los números de Hill, podemos observar una diferencia notoria entre la riqueza observada y esperada para el primer y segundo punto, lo cual indica que se requiere un mayor esfuerzo de muestreo para abarcar la totalidad de especies presentes. La riqueza de especies en general fue mayor para los puntos intervenidos, coincidiendo con lo reportado por Bere y Tundisi (2011b) en las zonas agrícolas y urbanas por las que fluye el río Monjolinho y sus afluentes en Brasil, en donde encontró que la riqueza de

especies tiende a ser mayor en aguas con contaminación orgánica moderada o relativamente poco contaminadas en comparación con aguas contaminadas.

Si bien algunos estudios indican que teóricamente la diversidad debería disminuir a medida que aumenta la perturbación (Leiva et al., 2015), Connell (1978) indica que la diversidad de especies es mayor cuando las perturbaciones son intermedias respecto a frecuencia e intensidad, permitiendo a las especies colonizar y resistir a los desafíos ambientales; lo cual podría indicar que las perturbaciones en el ambiente encontradas en la zona muestreada permiten el desarrollo y colonización de diferentes especies de diatomeas. En este estudio, particularmente en el gradiente observado desde el primer punto hasta el tercer punto, podría ser el resultado niveles de perturbación intermedios propensos para la colonización y desarrollo de las comunidades de diatomeas, las cuales se deterioran hacia la zona de descarga de la microcuenca (punto 5), cuyas actividades relacionadas son la presencia de cultivos, extracción de agua para riego y el pastoreo.

En la comparación entre las diatomeas más representativas y las variables fisicoquímicas con mayor peso obtenidas mediante el análisis PCoA, se encontró una diferencia entre las especies a lo largo del gradiente ambiental: *Diatoma mesodon* y *Achnanthes minutisimum* son especies que prefieren bajos valores de conductividad y bajas cantidades de ortofosfatos y nutrientes en general (Mirzahasanlou et al., 2019; Kelly et al., 2014), condiciones presentes en el primer punto, sin actividades antrópicas asociadas ni evidencia de perturbación. Por otra parte, el quinto punto, con actividades agrícolas y pecuarias asociadas, presentó altos niveles de nutrientes y contaminación en general, permitiendo a especies como *Melosira varians* y *Fragilaria vaucheriae* establecerse debido a su tolerancia hacia estos ambientes (Teplý y Bahls, 2006; Yang et al., 2020). Esto es un posible indicador de que, a medida que se avanza en la microcuenca, las

condiciones del cuerpo de agua se van deteriorando, reforzado por la ausencia de especies encontradas en los sitios no intervenidos y el aumento de especies tolerantes a altos contenidos de nutrientes.

6. Conclusiones

- Las diferencias en la composición de la comunidad de diatomeas en el área de estudio se relacionan al nivel de presión representado por la presencia de cultivos, y no a los cambios estacionales, reflejando la incidencia de los factores fisicoquímicos y del uso del suelo en la zona.

- *Odontidium mesodon* y *Achnanthidium minutissimum* fueron dominantes en los tramos no intervenidos con alta cobertura de bosque ripario.

- Se encontró una dominancia notoria de *Eolimna mínima* y *Melosira varians* en los puntos con mayor intervención, en donde dominan las actividades de pastoreo, extracción de agua y cultivos.

- La época lluviosa presentó mayor riqueza de especies, lo que demuestra que en el páramo la lluvia propicia mejores condiciones para la colonización y mantenimiento de las comunidades de diatomeas bentónicas.

- El gradiente observado en la diversidad muestra que los puntos con intervención media propician el establecimiento de la comunidad de diatomeas.

- La diversidad de diatomeas no es un buen indicador de calidad ecológica en los ríos de páramo.

Competencias desarrolladas durante la pasantía

La presente pasantía permitió adquirir habilidades y destrezas en el trabajo con diatomeas perifíticas, desde la colecta de muestras hasta la correcta identificación de las especies encontradas. También se adquirieron habilidades en el manejo de herramientas estadísticas, permitiendo exponer los resultados encontrados de forma clara y sucinta, explicando los posibles factores que intervienen en la relación entre los organismos y el ambiente en donde se desarrollan.

Referencias Bibliográficas

- Adams, F. (1984). Crop response to lime in the southern United States. In: Soil Acidity and Liming. En: Adams, F. (ed.) (pp 211 - 265). Madison, Wisconsin: ASA-CSSA-SSSA.
- Alarcón-Rojas, N. & Peláez-Peláez, F. (2014). Calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú): determinación mediante el uso de diatomeas, 2012. *REBIOL*, 34(2), 29-37.
- Álvarez, S., Benavides-Morera, R., Brenes-Rodríguez, D. & Ballesteros, D. (2018). Estructura del fitoplancton en las épocas seca y lluviosa en el golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 10(2), 9-30.
- Antoniades, D. & Douglas, M. (2002). Characterization of high arctic stream diatom assemblages from Cornwallis Island, Nunavut, Canadá. *Can. J. Bot.* 80: 50-58.
- Arce, M., Quiroz, F. & Romero, L. (2016), Fitodepuración de ortofosfatos del agua del lago de los Reyes Aztecas, Ciudad de México. *Polibotanica*, (46): 221-231
- Baldoncini, A. (2015). *Efecto de la aplicación de fertilizantes sobre el pH de suelos serie Oncativo* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba]
- Bere, T. & Tundisi, J. (2011a). Influence of land-use patterns on benthic diatom communities and water quality in the tropical Monjolinho hydrological basin, São Carlos-SP, Brazil. *Water SA*, 37(1).
- Bere, T. & Tundisi, J. (2011b). Diatom-based water quality assessment in streams influenced by urban pollution: effects of natural and two selected artificial substrates, São Carlos-sp, Brazil. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 15(1), 54-63.

- Biggs, B. & thomsen, H. (1995). Disturbance of stream periphyton by perturbation in shear stress: time to structural failure and differences in community resistance. *Journal Phycology*, 31: 233-241.
- Bixby, R. & Jahn, R. (2005) *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick: lectotypification and nomenclatural history. *Diatom Research* 20: 210-226.
- Buytaert, W., Deckers J., Dercon, G., de Bièvre, B., Poesen, J. & Govers, G. (2004). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. British Society of Soil Science, *Soil Use and Management*, 18(02), 94-100.
- Buytaert, W., Céleri, B., de Bièvre, F., Cisneros, G., Wyseure, J., Deckers, & Hofstede, R. (2006), Human impact on the hydrology of the Andean Páramos, *Earth Sci. Rev.*, 79(1), 53–72.
- Calizaya-Anco, J., Avendaño-Cáceres, M., & Delgado-Vargas, I. (2013). Evaluación de la Calidad del Agua Fluvial con Diatomeas (Bacillariophyceae), una Experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 30(1), 58–63.
- Castro-roa, D., & Pinilla-agudelo, G. (2014). Periphytic diatom index for assessing the ecological quality of the Colombian Andean urban wetlands of Bogotá. *Limnetica*, 33(2), 297–312.
- Carrascal, C., Arroyave, M., Gutiérrez, M & Zapata, J. (2009). Páramos, fabricas naturales de agua bajo condiciones climáticas cambiantes. En Lopez, N. y Arias, S. *Memorias Jornadas de Investigación. Escuela de ingeniería de Antioquia*, 2, 23-29.
- Castaño-Urbe, C. (2002). Colombia altoandina y la significancia ambiental del bioma páramos en el contexto de los Andes tropicales: Una aproximación a los efectos futuros por el

- cambio climático global (Global Climatic Tensor). *Congreso Mundial de Páramos, Memorias, 1*, 24-49.
- CEN/TC. prEN 13946 Water quality — Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers, *European Standards*. Committee on European Normalization. (2003).
- Chen, X., Qin, Y., Stevenson, M. & McGowan, S. (2014). Diatom communities along pH and hydrological gradients in three montane mires, central China. *Ecological indicators*, 45: 123-129
- Colen, W., Mosquera, P., Hampel, H., & Muylaert, K. (2018). Link between cattle and the trophic status of tropical high mountain lakes in páramo grasslands in Ecuador. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 23(4), 303–311.
- Colparques. (2021) *Páramo de Santurbán, reserva natural regional*.
- Connell, J. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. High diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science, New Series*, 199(1978): 1302-1310.
- Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental. (2008). *Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales “Páramo de Berlín”, departamentos de Santander y Norte de Santander*.
- Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental. (2010). *Páramos: Santurbán, Almorzadero y DMI Berlín*.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2011). *Entorno local del páramo. Componente físico*.

- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2012). *Estudio páramo Santurbán*.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2018). *Santurbán*.
- De la Parra, A. & Rodelo, K. (2012). Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del río Cesar asociado a variables fisico-químicas e hidrológicas durante los meses de febrero-septiembre del año 2011. Cesar, Colombia. [Tesis de grado. Universidad del Atlántico].
- De Miguel-Fernández, C. & Vásquez-Taset, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*. 22(3): 1-9
- Díaz, C. & Rivera, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381–394.
- Díaz-Granados, M., Navarrete, J. & Suárez, T. (2005). Páramos: hidrosistemas sensibles. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. *Revista de Ingeniería*, 22, 64-75.
- Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. (2018). *Páramo Jurisdicciones – Santurbán – Berlín (PJSB)*.
- Domínguez, D. (1999). Hidrología de Páramos, Modelación de la Cuenca Alta del Río Blanco. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Bogotá, Colombia.
- Donato, R. (1991). Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, 489-500.

- Donato, R., González, G. & Rodríguez, M. (1996a). Ecología de dos sistemas acuáticos de paramo. Universidad Javeriana. Santafe de Bogota.
- Donato, R., González, G. & Rodríguez, M. (1996b). Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 9.
- EPA. (2007). Total Nitrogen. No 415, p. 3432
- Estupiñán, L. (2001). Los páramos, ecosistemas para conservar. *UDCA*, 1, 7-12.
- Field, C., Behrenfeld, M., Randerson, J. & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281, 237-240.
- Flores-Stulzer, E., Villalobos-Sandí, N., Piedra-Castro, L. & Scholz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros fisicoquímicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2): 99-109.
- García, R. (2016). *Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) y su uso como indicadores biológicos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Gavilán, R., Donato, J., Serrato, C., Cáceres, M., Plata, Y., & Navarro, G. (2000). Las comunidades bentónicas y perifíticas como base para la evaluación de los sistemas hídricos lóticos del área de jurisdicción de la CDMB.
- Gray, E. & Morgan-Jones, M. (1980). A comparative study of Nitrate levels at three adjacent Ground-Water sources in a Chalk Catchment Area West of London. *Ground Water*. 18(2), 159-167
- Hasle, G. & Fryxell, G. (1995). Taxonomy of diatoms. 339-364. En: Hallegraeff, G., Anderson, D. y Cembella, A. (Eds.). *Manual of harmful marine microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (pp. 339-364), París.

- Hofstede, R., (1997). La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. Conferencia Electrónica “Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Punas en la Ecorregión Andina: Experiencias y Perspectivas”.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. & Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Hsieh, T., Ma, K. & Chao, A. (2020). iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.20. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software-download/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Datos de precipitación, estación Berlín.
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Keck, F., Bouchez, A., Franc, A., & Rimet, F. (2016). Linking phylogenetic similarity and pollution sensitivity to develop ecological assessment methods: a test with river diatoms. *Journal of Applied Ecology*, 53, 856–864.
- Kelly, M., Acs, E., Bertin, V., Bennion, H., Borics, G., Burgess, A., Denys, L., Ecke, F., Kahlert, M., Karjalainen, S., et al. (2014). Water Framework Directive Intercalibration Technical Report: Lake Phyto-benthos ecological assessment methods. Publications Office of the European Union (pp.125), Scientific and Technical Research series, 978-92-79-35468-7. 10.2788/7466. Hal-02599665

- Kim, Y. & Lee, O. (2017). A study of low-temperature and mountain epilithic diatom community in mountain stream at the Han River system, Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 41(28).
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1986–1991. Bacillariophyceae. En: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds.). *Freshwater Flora of Central Europe* (pp 1-876). Stuttgart, Alemania
- Kociolek, P. (2010). *Hannaea arcus*. In *Diatoms of North America*. Retrieved from https://diatoms.org/species/hannaea_arcus
- Kolkwitz, R. & Marson. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Ver. Deutsche. Bot Ges., 26, 505-519.
- Lamers, L., Loeb, R., Antheunisse, A., Miletto, M. & Lucassen, E. (2006). Biogeochemical constraints on the ecological rehabilitation of wetland. En: Leuven, R., Ragas, A., Smits, A. & van der Velde, G (eds), *Living Rivers: Trends and Challenges in Science and Management. Hydrobiologia* 565, 165–186.
- Lavoie, I., Vincent, W., Pienitz, R., & Painchaud, J. (2004). Benthic algae as bioindicators of agricultural pollution in the streams and rivers of southern Québec (Canada). *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 7(1), 43–58.
- Lavoie, I., Morin, S., Laderriere, V., & Fortin, C. (2018). Freshwater diatoms as indicators of combined long-term mining and urban stressors in Junction Creek (Ontario, Canada). *Enviroments*, 5(30), 1–17.
- Le, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18.

- Leira, M., Filippi, M., & Cantonati, M. (2015). Diatom community response to extreme water-level fluctuations in two Alpine lakes: a core case study. *Journal of Paleolimnology*, 53, 289–307.
- Leiva, D., Coronel, E. & Corroto, F. (2015). Uso de diatomeas para medir el impacto de la extracción de agregados en ríos altoandinos, Amazonas, Perú. *INDES*, 31(1): 33-42.
- León, J., Bacca, P. & Paredes, J. (2017). Distribución de macroinvertebrados del suelo en el Parque Natural Regional Páramo Paja Blanca, Nariño, Colombia. *Revista UNIMAR*, 35(1)
- Licursi, M & Gómez, N. (2003). Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas loticos de la llanura pampeana argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática*, 21, 31-48.
- Llambí, L., Soto, A., Celleri, R., de Bievre, B., Ochoa, B. & Borja, P. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo andino.
- Lora-Vilchis M., López F. & Pérez C. (2020). Algas de cristal; diatomeas. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1), 25-42.
- Loza del Carpio, A., & Cancapa, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Rev. Int. Contam. Ambie*, 36(1): 33-44.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. & Navas, G. (2010). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR*, 39(1), 83-116.
- Luís, A., Durães, N., Fernandes, S., Almeida, P., & Ferreira, E. (2015). Integrating geochemical (surface waters, stream sediments) and biological (diatoms) approaches to assess AMD

- environmental impact in a pyritic mining area: Aljustrel (Alentejo, Portugal). *Journal of Enviromental Sciences*, 20, 1–12.
- Malagón, D. & Pulido, C. (2000). Suelos del Páramo Colombiano. En: Rangel, J. (Ed.). *Colombia Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna* (pp. 37-84). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia.
- Mangadze, T., Bere, T., & Mwedzi, T. (2016). Choice of biota in stream assessment and monitoring programs in tropical streams: A comparison of diatoms, macroinvertebrates and fish. *Ecological Indicators*, 63, 128–143.
- Marquardat, G., Costa, L., Bicudo, D., Bicudo, C., Blanco, S., Wetzel, C. & Ector, L. (2017). Type analysis of *Achnantheidium minutissimum* and *A. catenatum* and description of *A. tropicocatenatum* sp. nov. (Bacillariophyta), a common species in Brazilian reservoirs. *Plant Ecology and Evolution*, 150, 313-330.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (1998). Tropical diatoms of South America I: About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. En: Lange-Bertalot, H. (ed.). *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Vol. 5. Diversity-Taxonomy-Geobotany* (pp. 1-695). Königstein, Germany: Koeltz Scientific Books.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (2007). Tropical diatoms of South America II: Special remarks on biogeographic disjunction. En: Lange-Bertalot, H. (ed.). *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Vol. 18. Diversity-Taxonomy-Biogeography* (pp. 1-887). Liechtenstein, Germany: Koeltz Scientific Books.

- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: Páramos*.
- Mirzahasanlou, J., Ramezanpour, Z., Nejadiattari, T., Imanpour, J. & Asri, Y. (2019). Temporal and spatial distribution of diatom assemblages and their relationship with environmental factors in Balikhli River (NW Iran). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 245.
- Molina, H. (2020). *Calidad de agua en los rios de alta montaña del volcan Antisana usando a las diatomeas como bioindicadores*. [Tesis de maestria, Universidad Internacional SEK].
- Molina, C., Gibon, M., Pinto, J., & Rosales, C. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*, 7(2).
- Montoya-Moreno, Y. & Aguirre-ramírez, N. (2013). Knowledge to Ecological Preferences in a Tropical Epiphytic Algae to Use with Eutrophication Indicators. *Journal of Enviromental Protection*, 4: 27-35.
- Mora-Osejo, L., Becerra, N., & Coba, B. (1995). Anatomía foliar de plantas de páramo, en Mora-Osejo, L. y Strum, H. (ed) Estudios Ecológicos del Páramo y del Bosque Altoandino, Cordillera Oriental de Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Morales, M., Otero J., Van der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J.C., Olaya E., Posada E. & Cárdenas L. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C.
- Morales, E., Wetzel, C., Haworth, E. & Ector, L. (2019). Ending a 175-year taxonomic uncertainty: Description of *Staurosirella neopinnata* sp. nov. (Bacillariophyta) to

- accommodate *Fragilaria pinnata*, a highly misconstrued taxon with a purported worldwide distribution. *Phytotaxa*, 402(2), 75-87
- Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P., O'Hara, R., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., & Wagner, H. (2020). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Paradis E. & Schliep K. (2019). *ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R*. *Bioinformatics* 35: 526-528.
- Pedraza-Garzón, E. & Donato-Rondón, J. (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los andes colombianos. *Caldasia*, 33(1): 177-191
- Picón, A & Solano, C. (2019). *Variación temporal de la diversidad de diatomeas bentónicas en riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas*. [Tesis de grado. Universidad del Azuay].
- Potapova, M. (2009). *Odontidium mesodon*. In *Diatoms of North America*. Retrieved from https://diatoms.org/species/odontidium_mesodon
- Poulenard, J. (2000). Les sols des Páramos d'Équateur sur couverture pyroclastique: diversité, genèse et propriétés physiques (Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré, Nancy, Francia).
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, A., & Plata, Y. (2008). Diatomeas Perifíticas en Diferentes Tramos de dos Sistemas Lóticos de Alta Montaña (Páramo de Santurbán, Norte De Santander, Colombia) y su Relación con las Variables Ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, 13(1), 199–215

- Rangel, J. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En: Rangel, J. (ed.). *Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna*. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá.
- Retnaningsih, T., Agung, S. & Hadiyanato. (2016). Diatoms and Water Quality of Telaga Warna Dieng, Java Indonesia. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 55.
- Reyes, P., Molano, J., Gonzales, F., Cortés, A., Rangel, O., Flórez, A., Iriarte, P. & Graus, E. (2005). El páramo: ecosistema de Alta montaña. Biblioteca Virtual del Banco de la República.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. & Rumrich, M. (2000). Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland und zwei weitere Beiträge. Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. And two additional contributions. En: Lange-Bertalot, H. (ed.). *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Vol. 9* (pp. 1-671). Königstein, Germany: Koeltz Scientific Books.
- Sabater, S., Sabater, F. & Armengol, J. (1988). Relationships between Diatom Assemblages and Physico-chemical Variables in the River Ter (NE Spain). *Int. Revue ges. Hydrobiol* 73(2), 171-179.
- Sáenz, A. (2001). Modelo computacional de hidrología de Páramos. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Sala, S., Duque, S., Nuñez-Avellaneda, M. & Lamaro, A. (2002a). Diatoms from the Colombian Amazonia. *Cryptogamie Algologie*, 23, 75–99.
- Sala, S., Duque, S., Núñez-avellaneda, M., & Lamaro, A. (2002b). Diatoms from the Colombian Amazon: some species of the genus *Eunotia* (Bacillariophyceae). *Acta Amazonica*, 32(4), 589–603.

- Sala, S., Ramírez, J., & Plata, Y. (2008). Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander Departments in Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1159–1178.
- Salamanca, B. & Camargo, G. (2000). Protocolo distrital de restauración ecológica. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Sardi, C. (2018). *La diversidad de algas diatomeas como herramientas de monitoreo para la gestión de la calidad de recursos hídricos en los páramos del macizo del cajas*. Universidad del Azuay
- Sarmiento, C. & Ungar, P. (2014). Aportes a la delimitación del páramo mediante la identificación de los límites inferiores del ecosistema a escala 1:25000 y análisis del sistema social asociado al territorio: Complejo de Páramos Jurisdicciones - Santurbán - Berlín Departamentos de Santander y Norte de Santander. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Seckbach, J. & Kociolek, P. (Eds). (2011). *Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology. The diatom world*. Springer Science & Business Media. Dordrecht. Holanda.
- Severiche, C., Luna, J., & González, H. (2013). Evaluación analítica para determinación del fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico. *Ingenium*, 7(17), 37-41.
- Simal-Lozano, J., Lage, M. & Iglesias, L. (1984). Los nitritos y nitratos en las aguas: su origen, propiedades y toxicología. *Boletín informativo del COF de La Coruña*. 23-30

- Stevenson, R. & Pan, Y. (1999). Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. En: Stoermer, F. y Smol, J. (eds.). *The diatoms: applications for the Environmental and Earth Sciences* (pp 11-41). Cambridge University press. Londres. UK.
- Strahler, A. (1964) Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. En: Chow, V. (ed.), *Handbook of Applied Hydrology* (pp 439-476), McGraw Hill, New York.
- Suárez, T. (2005). Impacto del cambio del uso de la tierra en la respuesta hidrológica de un ecosistema de páramo. Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental
- Taylor, J., Archibald, C. & Harding, W. (2007). An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. *Water Research Comision*.
- Teply, M & Bahls L. (2006). Interpretation of periphyton simples for Montana streams- Middle Rockies Ecoregion. The Montana Department of Enviromental Quality.
- Tomas, C. (Ed.). (1997). Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press.
- van Damm, H., Mertens, A. & Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 28: 117-133.
- Vásquez, A. & Buitrago, A. (2011). El gran libro de los páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá, D. C. Colombia.
- Vasselon, V., Rimet, F., Tapolczai, K., & Bouchez, A. (2017). Assessing ecological status with diatoms DNA metabarcoding: Scaling-up on a WFD monitoring network (Mayotte island, France). *Ecological Indicators*, 82, 1–12.

- Venables, W. & Ripley, B. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York.
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 42(5): 1072-1086.
- Wetzel, R. (1983). Opening remarks. En: Wetzel, R (Ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystems* (3-4 pp). Dr. W. Junk. The Hague.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Yang, J., Ji, Y., Yan, R., Liu, X., Zhang, J., Wu, N. & Wang, K. (2020). Applicability of benthic diatoms indices combined with water quality valuation for dish lake from Najishan Nature Reserve, Lake Poyang. *Water*, 12.

Apéndices

Apéndice A.

Taxonomía de las especies encontradas y sus respectivas abreviaciones

Clase	orden	Familia	Género	Especie	Abreviación
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Achnanthidium</i>	<i>Achnanthidium minutissimum</i>	<i>ACHmin</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Adlafia</i>	<i>Adlafia aff muscora</i>	<i>Amus</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Aulacoseirales</i>	<i>Aulacoseiraceae</i>	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira sp 1</i>	<i>AULsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Cavinulaceae</i>	<i>Cavinula</i>	<i>Cavinula pseudoscutiformis</i>	<i>CAVpse</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Cocconeidaceae</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis aff placentula</i>	<i>Cpla</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Cymbopleura</i>	<i>Cymbopleura naviculiformis</i>	<i>CYMnav</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Diadesmidaceae</i>	<i>Diadesmis</i>	<i>Diadesmis sp1</i>	<i>DIAsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Diploneidaceae</i>	<i>Diploneis</i>	<i>Diploneis aff subovalis</i>	<i>Dsub</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Encyonema</i>	<i>Encyonema aff minutiforme</i>	<i>ENCminut</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Encyonema</i>	<i>Encyonema aff silesiacum</i>	<i>ENCsil</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Encyonema</i>	<i>Encyonema minutum</i>	<i>ENCmin</i>

<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Eolimna</i>	<i>Eolimna minima</i>	<i>EOLmin</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Eolimna</i>	<i>Eolimna sp1</i>	<i>EOLsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Eunotiales</i>	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia aff andinofrequens</i>	<i>Eand</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Eunotiales</i>	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia aff naegeli</i>	<i>Enae</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Eunotiales</i>	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia aff parasiolii</i>	<i>Epar</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Eunotiales</i>	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia minor</i>	<i>Emin</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Eunotiales</i>	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia sp1</i>	<i>Esp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Fragilariales</i>	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	<i>FRAvau</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Fragilariales</i>	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria capuccina</i>	<i>FRAcap</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Amphipleuraceae</i>	<i>Frustulia</i>	<i>Frustulia crassinervia</i>	<i>Fcra</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	<i>Gacu</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema aff affine</i>	<i>Gaff</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema lagenula</i>	<i>Glag</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gpar</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema gracile</i>	<i>Ggra</i>

<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema Sp2</i>	<i>Gsp2</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema subclavatum</i>	<i>Gsub</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Fragilariales</i>	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Hannaea</i>	<i>Hannaea arcus</i>	<i>Harc</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Diadesmidaceae</i>	<i>Luticola</i>	<i>Luticola sp1</i>	<i>Lsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Diadesmidaceae</i>	<i>Luticola</i>	<i>Luticola sp3</i>	<i>Lsp3</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Mayamaea</i>	<i>Mayamaea aff atomus</i>	<i>MAYato</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Melosirales</i>	<i>Melosiraceae</i>	<i>Melosira</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Mvar</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula aff angusta</i>	<i>Nang</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula aff erifuga</i>	<i>Neri</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula aff menisculus</i>	<i>Nmen</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula aff metareichardtiana</i>	<i>Nmet</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula aff rynchocephala</i>	<i>Nryn</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula sp1</i>	<i>Nsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Neidiaceae</i>	<i>Neidium</i>	<i>Neidium aff neotropicum</i>	<i>NEIneo</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Neidiaceae</i>	<i>Neidium</i>	<i>Neidium sp1</i>	<i>NEIsp1</i>

<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia aff commutata</i>	<i>NITcom</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia aff palea</i>	<i>NITpal</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	<i>NITlin</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Fragilariales</i>	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Odontidium</i>	<i>Odontidium mesodon</i>	<i>Omes</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff clevisformis</i>	<i>Pcle</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff cuneatiformis</i>	<i>Pcun</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff divergens</i>	<i>Pdiv</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff microstauron</i>	<i>Pmic</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff obstickuneata</i>	<i>Pobs</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff pisciculus var angusta</i>	<i>Ppis</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia aff subgibba</i>	<i>Psub</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia borealis</i>	<i>Pbor</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia sp1</i>	<i>Psp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia sp4</i>	<i>Psp4</i>

<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Planothidium</i>	<i>Planothidium lanceolatum</i>	<i>PLAlan</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Planothidium</i>	<i>Planothidium sp1</i>	<i>PLAsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Cymbellales</i>	<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Reimeria</i>	<i>Reimeria aff sinuata</i>	<i>Rsin</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>SELpup</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora</i>	<i>Sellaphora sp1</i>	<i>SELsp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora</i>	<i>Sellaphora sp2</i>	<i>SELsp2</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis aff blanda</i>	<i>STAbLa</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis aff conspicua</i>	<i>STAcon</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis aff subgracilis</i>	<i>STASub</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis sp2</i>	<i>STASp2</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Fragilariales</i>	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Staurosirella</i>	<i>Staurosirella aff neopinnata</i>	<i>STASImar</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Surirellales</i>	<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella</i>	<i>Surirella aff biseriata</i>	<i>Sbis</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Surirellales</i>	<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella</i>	<i>Surirella sp1</i>	<i>Ssp1</i>
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Rhabdonematales</i>	<i>Tabellariaceae</i>	<i>Tabellaria</i>	<i>Tabellaria aff floclulosa</i>	<i>Tflo</i>

