

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo relacionar la diversidad de diatomeas con el gradiente altitudinal del río Bermejo. El muestreo se realizó en septiembre, octubre y diciembre del año 2022, en 20 puntos distribuidos en un tramo de 24,5 km, con altitudes que varían entre 182 y 585 msnm. Las muestras se recolectaron raspando rocas y macrófitas. Posteriormente, las muestras fueron tratadas en laboratorio con peróxido de hidrógeno al 30 % y luego selladas con resina Naphrax®, para su observación microscópica. De esta manera, en el río Bermejo se identificaron 10318 individuos que corresponden a 313 especies y a 52 géneros diferentes. La diversidad fue media ($H' = 2,43$) a alta ($H' = 3,93$) con baja dominancia ($1-D > 0,67$) y una comunidad homogénea ($J' > 0,59$). La prueba de significancia ANOSIM no mostró relaciones estadísticamente significativas ($p = 0,098$) entre la abundancia y gradiente altitudinal. Esto se confirmó el índice de Bray-Curtis, que reveló similitudes entre las estaciones de la zona baja (ZB), siendo la mayor similitud entre P4-P1 (62 %) y la menor entre P8-P15 (42 %). Asimismo, el análisis de ordenamiento mediante la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) mostró que la abundancia de las especies de la ZB (P17 y P19) son similares a las de la zona alta (ZA). Por otro lado, para la provincia de Sucumbíos existieron 308 nuevos registros de diatomeas. Finalmente, no existió relación entre la diversidad de diatomeas y el gradiente altitudinal, lo cual sugiere que otros factores ambientales o antropogénicos podrían influir en la distribución de las especies de diatomeas.

Palabras clave

Bacillariophyceae; epilíticas; epifíticas; abundancia; riqueza

Abstract

The aim of this study was to relate diatom diversity to the altitudinal gradient of the Bermejo River. Sampling was carried out in september, october, and december 2022, at 20 points distributed over a 24.5 km stretch, with altitudes varying between 182 and 585 masl. Samples were collected by scraping rocks and macrophytes. Subsequently, the samples were treated in the laboratory with 30% hydrogen peroxide and then sealed with Naphrax® resin for microscopic observation. Thus, 10318 individuals corresponding to 313 species and 52 different genera were identified in the Bermejo River. Diversity was medium ($H' = 2.43$) to high ($H' = 3.93$) with low dominance ($1-D > 0.67$) and a homogeneous community ($J' > 0.59$). The ANOSIM significance test did not show statistically significant relationships ($p = 0.098$) between abundance and altitudinal gradient. This was confirmed by the Bray-Curtis index, which revealed similarities between stations in the low zone (ZB), with the highest similarity between P4-P1 (62 %) and the lowest between P8-P15 (42 %). Likewise, the ordination analysis using the non-metric multidimensional scaling technique (NMDS) showed that the abundance of species in the ZB (P17 and P19) are like those in the high zone (ZA). On the other hand, for the province of Sucumbíos there were 308 new diatom records. Finally, there was no relationship between diatom diversity and the altitudinal gradient, which suggests that the diversity of diatoms is not related to the altitudinal gradient.

Keywords

Bacillariophyceae, epilithic, epiphytic, abundance, richness

Direcciones ¹ Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. el.solanoa@uea.edu.ec; jp.moyond@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia Erika Lucero Solano Alulema. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: el.solanoa@uea.edu.ec

Como citar SOLANO ALULEMA, Erika Lucero and MOYÓN DÁVILA, Jennifer Paola, 2024. Relación de la diversidad de diatomeas con el gradiente altitudinal del río Bermejo, provincia de Sucumbíos, Ecuador. PrePrint UEA. 2024. Vol. BLGEL2324, p. ep05-59. DOI <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBLGEL2324ep05-59>

Editores Académicos Jorge Lenin León Arcos

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica
2025

Copyright: Derechos de autor 2023-2025 UEA | PrePrint UEA

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. 
Los autores del artículo autorizan a PrePrint UEA, a que este artículo se distribuya y sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0)

1. Introducción

La diversidad de diatomeas está representada en aproximadamente 12,000 especies, las cuales se distribuyen en más de 250 géneros (Morales, Fernández, Chávez 2010). Las diatomeas son algas eucariotas unicelulares pertenecientes a la clase

Bacillariophyceae que habitan en ecosistemas terrestres y acuáticos (Blanco et al. 2010). Esta clase presenta dos clasificaciones según su simetría (centrales y pennadas), las primeras tienen simetría radial y la segunda simetría bilateral (Blanco et al. 2010; Round, Crawford, Mann 1990). En ecosistemas acuáticos se desarrollan libremente en la columna de

agua (plantónicas) o permanecen fijadas a sustratos tales como arena (episámicas), rocas (epilíticas) o macrófitas (epífitas) mediante *biofilm* (Bafu 2007).

La pared celular conocida como frústulo les otorga rigidez, debido al sílice (SiO_2) que lo conforma en un 60 % (Hassan 2010). Esta a su vez cuenta con diversas ornamentaciones que permiten la identificación taxonómica de especies y variedades infraespecíficas (Blanco et al. 2010; Round, Crawford, Mann 1990). En términos ecológicos este grupo taxonómico contribuye del 20 al 40 % del oxígeno atmosférico (O_2), así como del 20 al 25 % de la productividad primaria de la Tierra (Gaxiola-Castro et al. 1997; Jiménez 2014; Margalef 1965; Kumar, Baweja, Sahoo 2015). Además, al estar influenciadas por la variación de los parámetros ambientales y geográficos son utilizadas como bioindicadores debido a su sensibilidad y tolerancia (Seckbach, Gordon 2019; Blanco et al. 2010; Seeligmann, Maidana 2019).

El gradiente altitudinal considerado como un parámetro geográfico tiende a generar límites ambientales, de esta manera, influye en la diversidad de organismos fotosintéticos (Murga-Orrillo et al. 2021; Cueva, Lozano, Yaguana 2019). Como se menciona en Bere et al. (2013) y Plata-Díaz, Núñez-Avellaneda (2020), la riqueza, abundancia y la uniformidad se incrementa conforme al rango altitudinal, ya que está relacionada con otros parámetros ambientales. El río Bermejo y su entorno, cuenta con una diferencia altitudinal, una gran diversidad y endemismo (Ministerio del Ambiente 2014).

En la Amazonía ecuatoriana y por ende para el río Bermejo no se encontró estudios de diversidad de diatomeas entorno al gradiente altitudinal. De este modo, se plantea como hipótesis de investigación la existencia de variación de diversidad de diatomeas a lo largo del gradiente altitudinal en el río Bermejo. Para lo cual, se propone relacionar la diversidad de diatomeas con el gradiente altitudinal del río Bermejo, provincia de Sucumbíos, Ecuador. Se planteó como objetivos específicos; identificar taxonómicamente las especies y variedades de diatomeas epilíticas y epífíticas por punto de muestreo; registrar nuevas especies de diatomeas para la provincia de Sucumbíos; determinar la diversidad de especies y variedades infra específicas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el río Bermejo, en el tramo de 24,5 km con coordenadas correspondientes al datum WGS 84: 0264978N; 0033253E y 0256431N; 0024752E (Figura 1), desde 182 a 585 msnm en la provincia de Sucumbíos, cantón Cascales, parroquia

el Dorado de Cascales. El sitio cuenta con precipitaciones que varían de 3000 a 4000 mm, según la temporada de enero-febrero y julio-octubre con menor precipitación y la temporada de marzo-junio y noviembre-diciembre con mayor precipitación (PDOT 2015).

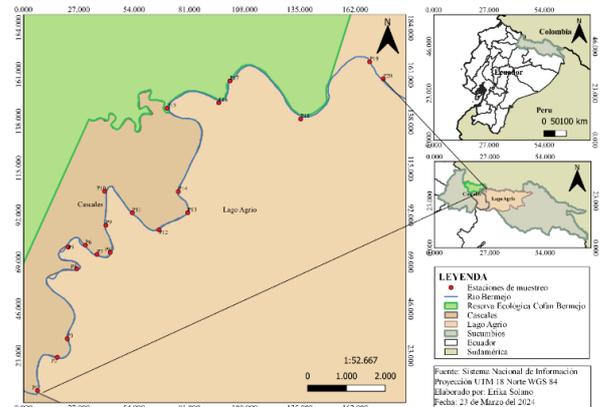


Figura 1 | Sitio de estudio del río Bermejo y sus estaciones de muestreo

2.2. Metodología

2.2.1 Fase de muestreo

La toma de muestras se realizó en 20 estaciones de muestreo, durante tres periodos de muestreo en los meses de septiembre, octubre y diciembre del 2022 (Tabla 1). La altitud en cada estación de muestreo se registró con un GPS Garmin Montana 680. La recolección de las muestras de diatomeas epilíticas y epífíticas se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por AENOR (2004), que consiste en el raspar 3 a 5 rocas y raíces de macrófitas, con presencia de *biofilm* y con un tamaño no inferior a 10 cm^2 . Posteriormente, las muestras se almacenaron en recipientes de 100 mL, debidamente etiquetados, y se preservaron con formaldehído al 2 %. Finalmente, las muestras fueron transportadas en un cooler a 4 °C al laboratorio de la Universidad Estatal Amazónica, sede Sucumbíos.

2.2.2 Fase de laboratorio

2.2.2.1 Preparación de las placas permanentes de diatomeas

Para la preparación de placas permanentes, se tomaron 30 mL de muestra y 30 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30 %), se colocaron en tubos de ensayo previamente etiquetados. Luego, se aplicó una temperatura constante de 90 °C para la oxidación de materia orgánica, se repitió el proceso hasta obtener un precipitado de coloración amarillenta (AENOR 2004; Battarbee 1986; Battarbee et al. 2001; ECS-European Committee for Standardization 2003). Además, se prepararon las placas permanentes utilizando la resina Naphrax® como medio de montaje, que posee un índice de refracción de 1,74.

2.2.2.2 Recuento e identificación taxonómica de diatomeas

Para el conteo y registro fotográfico de valvas se utilizó un microscopio óptico CNOPTec con cámara adaptada AmScope, operando un aumento de 1000x. Las fotografías fueron capturadas mediante el

software AmScope versión 4.11. Posteriormente, para la lectura de las placas permanentes se adoptó la metodología propuesta por AENOR (2005), que sugiere realizar un barrido para compensar la escasez de valvas encontradas y maximizar la detección de individuos.

Tabla 1 | Coordenadas de muestreo del río Bermejo

Zona de altitud	Estación de muestreo	Coordenadas geográficas		Altitud	Sustrato
		X	Y		
Baja (ZB)	P18	18N 0263205	UTM 0031774	182m	Roca
	P15	18N 0259766	UTM 0032053	267m	Roca
					Euphoria sp1
	P20	18N 0265327	UTM 0032813	296m	Roca
	P14	18N 0260056	UTM 0029897	297m	Roca
					Euphoria sp1 sp4
	P8	18N 0258303	UTM 0028325	311m	Macrófita
					Hygrophylla sp1
	P19	18N 0264978	UTM 0033253	318m	Roca
					Euphoria sp1
	P1	18N 025694	UTM 0025613	421m	Roca
					Roca
	P9	18N 0258190	UTM 0029027	352m	Roca
					Euphoria sp1
P17	18N 0261386	UTM 0032769	396m	Roca	
				Roca	
P10	18N 0258159	UTM 0029907	384m	Macrófita	
				Hygrophylla sp1	
P11	18N 0258873	UTM 0029349	402m	Roca	
				Euphoria sp1	
Alta (ZA)	P4	18N 0257444	UTM 0027902	404m	Hygrophylla sp1
					Roca
	P5	18N 0257221	UTM 0028463	404m	Roca
					Roca
	P12	18N 0259557	UTM 0028907	407m	Roca
					Euphoria sp1
	P6	18N 0257665	UTM 0028510	410m	Roca
					Roca
	P7	18N 0257964	UTM 0028270	410m	Roca
					Roca
	P3	18N 0257197	UTM 0026094	413m	Roca
					Roca
	P13	18N 0260301	UTM 0029352	420m	Euphoria sp1
					Roca
P2	18N 025694	UTM 0025613	421m	Roca	
				Roca	
P16	18N 0261095	UTM 0032194	585m	Roca	

Para analizar la variabilidad inter e intraespecífica de las diatomeas y garantizar una correcta identificación taxonómica se empleó el editor de fotos CorelDraw Graphics Suite 2019. En primer lugar, las fotografías se redujeron a una escala de 10µ y luego se organizaron las poblaciones de diatomeas en orden descendente según su tamaño y variabilidad morfológica.

La identificación taxonómica de especies y variedades se realizó mediante el análisis de material tipo y la consulta de bibliografía especializada, incluyendo Ehrenberg (1838); Krammer (1997a); (1997b); (2002); Krammer, Lange-Bertalot (1985); (1986); (1987); (1989); (1991a); (1991b); Lange-Bertalot (1996); (2001); Lange-Bertalot et al. (2003); Metzeltin (2007); Metzeltin, Lange-Bertalot, García-Rodríguez (2005); Metzeltin, Lange-Bertalot (1998); Reichardt (1984); Rumrich, Lange-Bertalot, Rumrich (2000). Además, se usaron recursos en línea como DiatomBase

(<https://www.diatombase.org/>), AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>), Diatoms of North America (<https://diatoms.org/>) y Academy of Natural Sciences Philadelphia: ANSP (<http://symbiont.ansp.org/dntf/>).

2.2.3 Análisis de datos

Se realizó una base de datos en el programa Excel 2019 en la que se calculó la abundancia absoluta (Ai) y relativa (Ai%) de las especies y variedades identificadas taxonómicamente. Posteriormente, con estos valores se determinaron los índices de diversidad: riqueza (S), Shannon (H'), dominancia de Simpson (1-D) y equitatividad de Pielou (J') utilizando el software PAST versión 4.04.

2.2.3.1 Relación entre diversidad de diatomeas y gradiente altitudinal

En primer lugar, se dividió la muestra en dos grupos según la zona altitudinal de los puntos de muestreo (Tabla 1). Luego, se empleó el índice de similitud de Bray-Curtis para analizar la relación entre las zonas de altitud y la abundancia de especies y variedades. Adicionalmente, se aplicó un análisis de agrupamiento (Clúster) para visualizar gráficamente estas relaciones. Para explorar más a fondo la relación entre la abundancia de diatomeas y el gradiente altitudinal, se llevó a cabo un análisis de ordenamiento con la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). Finalmente, se empleó un análisis ANOSIM para determinar la significancia de las relaciones establecidas.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis de variabilidad inter e intraespecífica e identificación taxonómica

A partir del análisis de la variabilidad inter e intraespecífica, se identificaron 313 especies y variedades que correspondieron a 52 géneros con una abundancia total (A_i) de 10318. Entre las especies con mayor abundancia relativa ($A_i\%$) fueron: *Luticola goeppertiana* (10,52%), *Navicula erifuga* (7,52%), *Geissleria decussis* (5,77%), *Kobayasiella parsubtilissima* (3,86%), *Navicula cryptotenella* (3,51%), *Rhoicosphenia abbreviata* (2,81%), *Humidophila contenta* (2,56%), *Achnantheidium anastasiae* (2,55%), *Cyrosigma obtusatum* (2,51%) y *Gomphonema parvulum* (2,27%). Finalmente, las especies con menor $A_i\%$ fueron: *Stauroneis gracilis*, *Surirella engleri var. constricta*, *Synedra aff. jogensis*, *Tryblionella levidensis*, *Tryblionella perversa*, *Ulanria acus* y *Ulanria lanceolata* con (0,01%) (Figura 2).

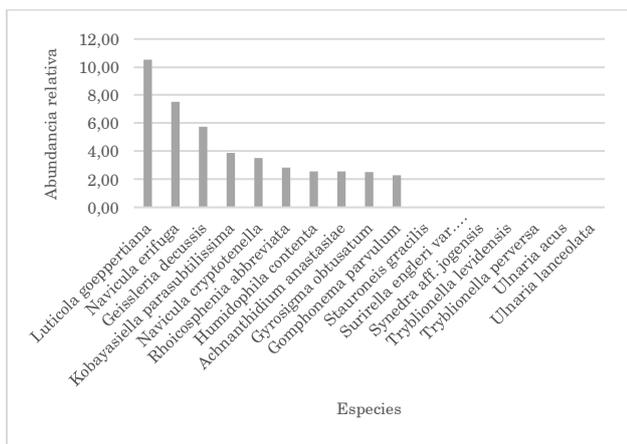


Figura 2 | Especies y variedades de diatomeas con mayor y menor abundancia relativa.

A nivel taxonómico de diatomeas para Ecuador continental no se han registrado alrededor de 273 especies (Anexo 3) según las publicaciones de Ballesteros et al. (2020); Castillejo et al. (2018); (2022); Cevallos, Gallegos, Muñoz (2022); Chamorro et al. (2021); Jiménez (2014); Quevedo et al. (2021);

Yaguana, Cartuche (2022). Por otro lado, para la Amazonía ecuatoriana se encontraron 303 nuevos registros, existiendo previamente en base de datos de Quevedo et al. (2021) y Oliveira, Kannan (1993a) únicamente a: *Achnantheidium minutissimum*, *Caloneis bacillum*, *Eunotia arcus*, *Eunotia monodon*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula lanceolata*, *Navicula recens*, *Navicula tripunctata*, *Pinnularia interrupta*, *Pinnularia major*, *Planothidium lanceolatum*, *Rhoicosphenia abbreviata* y *Sellaphora rectangularis*. Mientras que para la provincia de Sucumbíos se encontraron 308 nuevos registros, existiendo previamente en el estudio realizado por Oliveira, Kannan (1993b) únicamente a: *Eunotia arcus*, *Eunotia monodon*, *Pinnularia interrupta*, *Pinnularia major* y *Sellaphora rectangularis*.

3.2 Diversidad de diatomeas del río Bermejo

Los puntos de muestreo con mayor riqueza (S) fueron en la zona baja (ZB) en las estaciones P6 (S=104), P8 (S=93) y P1 (S=80), y en la zona alta (ZA) en la estación P20 (S=92). Mientras que los puntos con menor "S" se ubicaron en la ZB en las estaciones P5 (S=33), P14 (S=47) y P3 (S=53) (Figura 3).

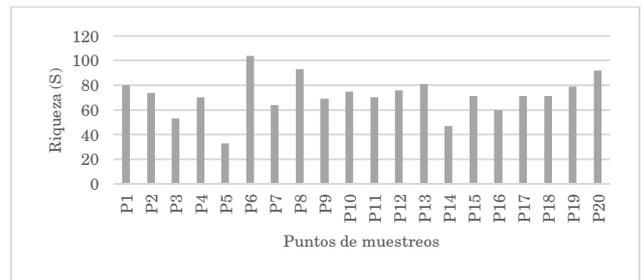


Figura 3 | Riqueza por puntos de muestreo del río Bermejo.

Por otro lado, los puntos de muestreo con mayor A_i se encontraron en la ZB en los sitios P4 ($A_i=745$), P13 ($A_i=800$) y P6 ($A_i=815$), mientras que los puntos con menor A_i en la ZB fueron P3 ($A_i=175$) y P15 ($A_i=310$), y en la ZA con el P17 ($A_i=349$) (Figura 4).

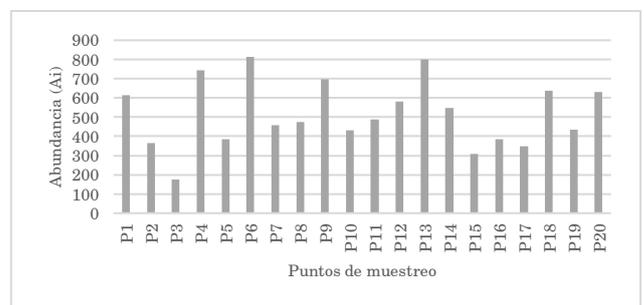


Figura 4 | Abundancia por puntos de muestreo del río Bermejo.

El índice de diversidad de Shannon-Weiner, mostró 4 puntos de muestreo con diversidad alta, siendo estos en la ZB con el P8 ($H'=3,93$), P15 ($H'=3,78$), P19 ($H'=3,71$) y P20 ($H'=3,81$). El resto de los puntos de muestreo obtuvieron una diversidad media ($H' \geq 2$; $\leq 3,5$). En este sentido, la diversidad fue de media a alta en los puntos de muestreo (Figura 5).

El índice de Simpson (1-D), indicó una dominancia baja en todos los puntos de muestreo, teniendo valores superiores a 0,67 (Figura 5). Finalmente, el índice de equitatividad de Pielou (J), mostró valores cercanos a $J=1$, siendo una comunidad homogénea en los puntos de muestreo (Figura 5).

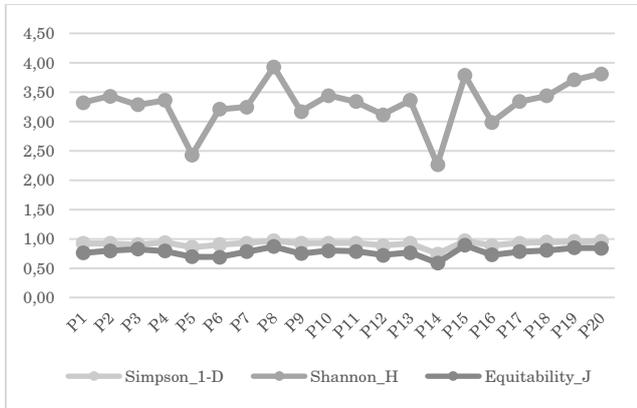


Figura 5 | Índices de diversidad de diatomeas por puntos de muestreo del río Bermejo Abundancia por puntos de muestreo del río Bermejo.

3.3 Relación de las diatomeas con el gradiente altitudinal

El índice de similitud de Bray-Curtis mostró relaciones débiles entre los puntos de muestreo con su zona altitudinal y diversidad de especies (Figura 6). En este sentido, en la ZA los puntos P12-P13 tuvieron una similitud del 52 % y con especies compartidas como: *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia amphibia*, *Geissleria schmidiae*, entre otras. En la misma zona P2-P3 obtuvieron una similitud del 49% con especies como: *Eolimna mínima*, *Sellaphora pseudoarvensis*, *Achnantheidium anastasiae*, entre otras.

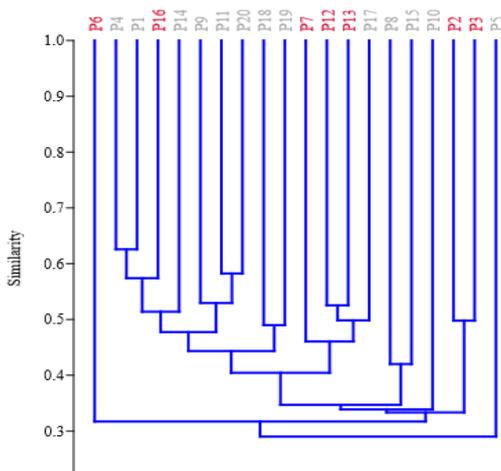


Figura 6 | Análisis Clúster entre los puntos de muestreo y presencia de diatomeas. Nota: El color gris corresponde a la zona altitudinal baja y el color rojo a la zona altitudinal alta.

Por otro lado, en la ZB se encontró a los P4-P1 con similitud del 62% siendo la más alta, con especies compartidas como: *Naviculadicta nanogomphonema*, *Navicula cryptotenella*, *Gomphonema pumilum var. rigidum*, entre otras. Los puntos P11-P20 (58 %) con

especies compartidas como: *Caloneis bacillum*, *Gyrosigma obtusatum*, *Kobayasiella parasubtilissima*, entre otras. Los puntos P8-P15 (42 %) con especies como: *Rhopalodia gibberula*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema affine*, entre otras. Finalmente, los puntos P18-P19 con una similitud del 49 %, compartiéndose especies como: *Gomphonema costei*, *Diademsis confervacea*, *Nitzschia palea*, entre otras.

El análisis de ordenamiento NMDS, mostró el agrupamiento de las variables de diversidad de especies y zona altitudinal. Sin embargo, los puntos de muestreo P17 y P19, estuvieron superpuestos con la ZA (Figura 7), teniendo especies compartidas como: *Luticola goeppertiana*, *Navicula erifuga* y *Achnantheidium anastasiae*, entre otras.

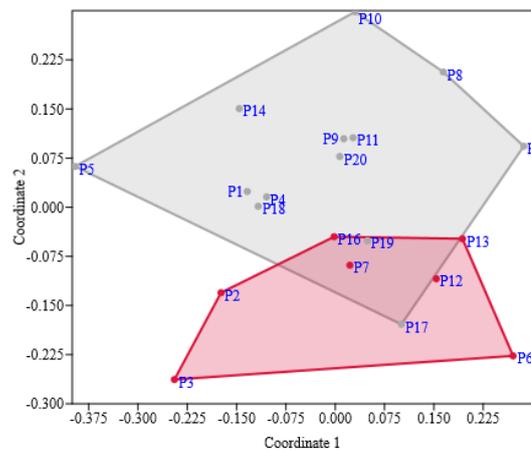


Figura 7 | NMDS del gradiente altitudinal y la diversidad de especies y variedades de diatomeas. Nota: El color gris corresponde a la zona altitudinal baja y el color rojo a la zona altitudinal alta.

Finalmente, la prueba de significancia ANOSIM indicó no haber una diferencia significativa ($p=0,098$) con relación a la diversidad de especies con el gradiente altitudinal, de tal manera, se rechaza la hipótesis de investigación para este estudio.

3.4. Discusión

Las condiciones de baja riqueza y abundancia de los puntos de muestreo de ZB y ZA pueden atribuirse probablemente a la escasa disponibilidad de *biofilm* en las rocas y actividades antropogénicas. Estas características, según Peterson (1996) y Baylón Coritoma et al. (2018) se relaciona con la diversidad de diatomeas. Por otro lado, existió mayor diversidad en varios puntos de ZB en contraste con lo mencionado por Bere et al. (2013), en donde se registró mayor diversidad en todos los puntos de ZA.

Los resultados de los índices de diversidad (H' y 1-D) se complementaron entre sí, ya que se mantienen una relación inversa. Esto significa que una alta diversidad está asociada con una baja dominancia y viceversa (Siqueiros Beltrones, Argumedo Hernández

2012; Zhiminaycela León, Zamora Zhiminaicela 2020). Asimismo, el índice de J' al tomar los valores de H' guardan relación en sus análisis (Valdez et al. 2018).

La mayor similitud obtenida por los puntos P4 y P1 podría deberse a que ambos están ubicados en el mismo gradiente altitudinal (ZB). Además, presentan especies con una abundancia relativa mayor que en estos puntos, tales como *Geissleria decussis*, *Navicula erifuga*, *Achnanthydium anastasiae* y *Luticola goeppertiana*.

Por otra parte, los puntos P17 y P19 se agruparon en la ZA debido a que fueron los únicos puntos de ZB en tener a *Luticola goeppertiana* y *Navicula erifuga* como sus especies con mayor abundancia, una situación que se repite en la mayoría de los puntos de ZA. Esto sugiere que la relación de estos puntos de ZA puede responder a otros factores ambientales que influyen en la diversidad (Seeligmann, Maidana 2019) o antropogénicos desarrollados en el área de estudio, tales como minería.

Sin embargo, no se observó una diferencia significativa entre el gradiente altitudinal y la diversidad de especies, posiblemente debido al bajo rango entre las altitudes (182-585 m). En otros estudios realizados por Murga-Orrillo et al. (2021); Carrero, Sánchez Montaña, Tobar (2013) y Cueva,

Lozano, Yaguana (2019) se ha encontrado relación entre estas dos variables, presentaron una diferencia altitudinal más amplia

4. Conclusión

En el río Bermejo, la prueba de ANOSIM realizada no estableció relaciones significativas entre la diversidad y el gradiente altitudinal. De esta manera, los análisis complementarios como la similitud de Bray Curtis y el NMDS, demostraron que no existió una diferencia en la abundancia de las especies de diatomeas entre los puntos de la zona alta y baja, debido al agrupamiento entre los puntos de muestreo con menor y mayor altitud. Asimismo, la riqueza de especies no fue determinante en las estaciones, debido a que tanto la zona alta como baja presentó variadamente mayor riqueza.

La ausencia de relación entre la diversidad de especies y el gradiente altitudinal podría atribuirse a la influencia de otros parámetros ambientales o antropogénicos, así como al limitado rango altitudinal en el estudio. Sin embargo, se determinó una alta diversidad en la ZB en los puntos P8, P15, P19 y P20. Además, el índice de Simpson mostró una baja dominancia para todos los puntos de muestreo, indicando una comunidad homogénea en dichos puntos.

Contribuciones de los autores **Erika Lucero Solano Alulema:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Jennifer Paola Moyón Dávila: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Conflicto de intereses de los autores Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias bibliográficas

AENOR, 2004. Norma española UNE-EN 13946–2004. Calidad del agua. Guía para el muestreo en rutina y el pretratamiento de diatomeas bentónicas de ríos. AENOR Madrid.

AENOR, 2005. Norma española UNE-EN 14407 Calidad del agua. Guía para la identificación recuento e interpretación de muestras de diatomeas bentónicas de ríos. . AENOR Madrid.

BAFU, B F U, 2007. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselgen Stufe F (Flächendeckend).

BALLESTEROS, Isabel et al., 2020. Genetic barcoding of Ecuadorian epilithic diatom species suitable as water quality bioindicators. *Comptes Rendus. Biologies*. Vol. 343, no. 1, pp. 41–52.

BATTARBEE, R W, 1986. Diatom analysis. In: Berglund B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp. 527–570. BERGLUND, B.E. (ed.).

BATTARBEE, R W et al., 2001. Diatoms. In: Smol, J.P.; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. London: Kluwer Academic Publishers. V.3. p. 155-203.

BAYLÓN CORITOMA, Maribel et al., 2018. Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú) . *Ecología Aplicada* 17. ISBN 1726-2216 UL - http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162018000100013&nrm=iso.

BERE, Taurai et al., 2013. Benthic diatom assemblages in mountain streams: community

- structure in relation to environmental and human pressures. *African journal of ecology*. Vol. 51, no. 4, pp. 625–634.
- BLANCO, Saul et al., 2010. *Guía de diatomeas de la cuenca del Duero*. Universidad de León. p. 210.
- CARRERO, Diego Armando, SÁNCHEZ MONTAÑO, Luis Roberto and TOBAR, Diego Enrique, 2013. *Diversidad y distribución de mariposas diurnas en un gradiente altitudinal en la región nororiental andina de Colombia*. *Boletín Científico*. Centro de Museos. Museo de Historia Natural. Vol. 17, no. 1, pp. 168–188.
- CASTILLEJO, Pablo et al., 2018. *Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River*. *Comptes rendus biologiques*. Vol. 341, no. 4, pp. 256–263.
- CASTILLEJO, Pablo et al., 2022. *DIATOMEAS EPILÍTICAS DE LOS ANDES ECUATORIANOS*. 2022.
- CEVALLOS, Manuel Patricio Clavijo, GALLEGOS, Diana Carolina and MUÑOZ, Cinthia Vilela, 2022. *Diatomeas epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Illuchi, Latacunga, Ecuador*. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*. Vol. 5, pp. e158–e158.
- CHAMORRO, Susana et al., 2021. *The ecology of diatoms inhabiting cryoconite holes in Antisana Glacier, Ecuador*. *Journal of Glaciology*. 2021/10/14. Vol. 68, no. 267, pp. 204–208. DOI DOI: 10.1017/jog.2021.108.
- CUEVA, Eduardo, LOZANO, Deicy and YAGUANA, Celso, 2019. *Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador*. *Bosque (Valdivia)*. Vol. 40, no. 3, pp. 365–378.
- ECS-EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003. *Water quality–Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*. [online]. Retrieved from : [http://www.safrass.com/partners_area/BSI Benthic diatoms.pdf](http://www.safrass.com/partners_area/BSI_Benthic_diatoms.pdf)
- EHRENBERG, Christian Gottfried, 1838. *Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen. Ein Blick in das tiefere organische Leben der Natur*. L. Voss.
- GAXIOLA-CASTRO, G et al., 1997. *Biomasa y producción del fitoplancton. Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California*. Vol. 2007, pp. 59–85.
- HASSAN, Gabriela S, 2010. *Paleoecological significance of diatoms in Argentinean Estuaries: What do they tell us about the environment. Estuaries: Types, Movement Patterns and Climatological Impacts*. Nova Science Publishers, New York. pp. 71–147.
- JIMÉNEZ, Roberto, 2014. *Diatomeas y silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil*.
- KRAMMER, K., 1997a. *Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1. Allgeneines und Encyonema part.* *Bibliotheca Diatomologica*. Vol. 36, pp. 1–382.
- KRAMMER, K., 1997b. *Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis*. *Bibliotheca diatomologica*. Vol. 37, pp. 1–469.
- KRAMMER, K., 2002. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. *Cymbella*. ARG Gantner Verlag KG. ISBN 3904144847.
- KRAMMER, K. and LANGE-BERTALOT, H, 1989. *Achnanthes eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung Cocconeis und Nachträgen zu den Naviculaceae*. *Bibliotheca Diatomologica*. Vol. 18, pp. 1–393.
- KRAMMER, K. and LANGE-BERTALOT, Horst, 1986. *Bacillariophyceae: 1. Teil: Naviculaceae; 206 Tafeln*. Fischer.
- KRAMMER, K. and LANGE-BERTALOT, Horst, 1987. *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*.
- KRAMMER, K and LANGE-BERTALOT, Horst, 1985. *neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen*. U: *Bibliotheca Diatomologica*. Vol. 9.
- KRAMMER, K and LANGE-BERTALOT, Horst, 1991a. *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 02/3: Bacillariophyceae: Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Springer. ISBN 382740827X.
- KRAMMER, K and LANGE-BERTALOT, Horst, 1991b. *Bacillariophyceae Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen Zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York.
- KUMAR, Savindra, BAWEJA, Pooja and SAHOO, Dinabandhu, 2015. *Diatoms: Yellow or Golden Brown Algae BT - The Algae World*. In: SAHOO, Dinabandhu and SECKBACH, Joseph (eds.). Dordrecht : Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-7321-8. DOI 10.1007/978-94-017-7321-8_8.
- LANGE-BERTALOT, Horst, 1996. *Indicators of oligotrophy*. *Iconographia Diatomologica*. 2.
- LANGE-BERTALOT, Horst, 2001. *Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Vol. 2. . Gantner Verlag. KG.

- LANGE-BERTALOT, Horst et al., 2003. Diatoms of Sardinia: rare and 76 new species in rock pools and other ephemeral waters. In: *Diatoms of Sardinia: Rare and 76 New Species in Rock Pools and Other Ephemeral Waters*, pp. 1–438. ARG GANTNER. ISBN 3906166015.
- MARGALEF, Ramón, 1965. *Composición y distribución del fitoplancton*.
- METZELTIN, Ditmar, 2007. *Tropical Diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction*. *Iconogr. Diatomol.* Vol. 18, pp. 1–877.
- METZELTIN, Ditmar and LANGE-BERTALOT, Horst, 1998. *Tropische Diatomeen in Südamerika I*. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 5.
- METZELTIN, Ditmar, LANGE-BERTALOT, Horst and GARCÍA-RODRÍGUEZ, F, 2005. *Diatoms of Uruguay, Compared with Other Taxa from South America and Elsewhere*. *Iconographia Diatomologica*. . ARG Gantner Verlag KG.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2014. *Guía informativa de las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador*. Quito.
- MORALES, Eduardo A, FERNÁNDEZ, Erika and CHÁVEZ, Vania S, 2010. Diatomeas (Bacillariophyta): ¿ Por qué debemos incorporarlas en estudios de la biodiversidad boliviana. In: *Biodiversidad y Ecología en Bolivia. Simposio XXX Aniversario Instituto de Ecología Universidad Mayor de San Andrés*. Plural Editores, La Paz, pp. 31–54. 2010.
- MURGA-ORRILLO, Hipolito et al., 2021. *Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. Madera y bosques*. Vol. 27, no. 3.
- OLIVEIRA, Paulo and KANNAN, Miriam, 1993a. The diatom flora (Bacillariophyceae) of the Cuyabeno Faunistic Reserve, Ecuadorian Amazonia. *Nova-Hedwigia*. Vol. 54, pp. 515–552.
- OLIVEIRA, Paulo and KANNAN, Miriam, 1993b. The diatom flora (Bacillariophyceae) of the Cuyabeno Faunistic Reserve, Ecuadorian Amazonia. *Nova-Hedwigia*. Vol. 54, pp. 515–552.
- PDOT, Cascales, 2015. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Cascales*.
- PETERSON, Christopher G, 1996. Response of benthic algal communities to natural physical disturbance. *Algal ecology*. pp. 375–402.
- PLATA-DÍAZ, Yasmín and NÚÑEZ-AVELLANEDA, Marcela, 2020. *Algas perifíticas de los ríos del piedemonte de la transición Andino-Amazonica: Camino Andakí Caquetá, Colombia*.
- QUEVEDO, Luis et al., 2021. *Ecological assessment and water quality using benthic diatom communities in an Ecuadorian amazon river*.
- REICHARDT, Erwin, 1984. *Die Diatomeen der Altmuhl. Bibliotheca diatomologica*. Vol. 6, pp. 1–169.
- ROUND, Frank Eric, CRAWFORD, Richard M and MANN, David G, 1990. *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge university press. ISBN 0521363187.
- RUMRICH, U, LANGE-BERTALOT, H and RUMRICH, M, 2000. *Diatoms of the Andes (from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego)*, *Iconographia Diatomologica* Vol. 9: Koenigstein, Hesse, Alemania. . Koeltz Scientific Books.
- SECKBACH, Joseph and GORDON, Richard, 2019. *Diatoms: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons. ISBN 1119370213.
- SEELIGMANN, Claudia T and MAIDANA, Nora I, 2019. Consideraciones sobre la comunidad de diatomeas en relación a gradientes de altitud y salinidad en humedales de la Puna y los Altos Andes (Catamarca y Jujuy, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Vol. 54, no. 4, pp. 1–10.
- SIQUEIROS BELTRONES, David A and ARGUMEDO HERNÁNDEZ, Uri, 2012. *Diversidad de diatomeas en la dieta in situ de Chiton virgulatus (Mollusca: Polyplacophora) de Baja California Sur, México*. *Hidrobiológica*. Vol. 22, no. 3, pp. 267–281.
- VALDEZ, Carlos Gerardo et al., 2018. *Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México*. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 66, no. 4, pp. 1674–1682.
- YAGUANA, Roberth and CARTUCHE, Victor, 2022. *Variación de diatomeas (Bacillariophyta) en un gradiente del estado de conservación de ribera del río Malacatos, Loja-Ecuador*. *CEDAMAZ*. Vol. 12, no. 2.
- ZHIMINAYCELA LEÓN, Christopher Francisco and ZAMORA ZHIMINAYCELA, Luis Marcelo, 2020. *Variación de la diversidad de diatomeas bentónicas en riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas, Sur del Ecuador*. Universidad del Azuay.