



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión.

Variación temporal de la diversidad de diatomeas bentónicas, en riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas.

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Biólogo
con mención en Ecología y Gestión**

Autores:

**Adrián Xavier Picón Cajamarca.
Christian Rene Solano Guzmán.**

Director:

Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo MSc.

**Cuenca, Ecuador
2019**

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones, a mi padres José y Ana por todo el esfuerzo realizado que me permitió llegar hasta donde estoy.

A mi hermana Karol por todo el apoyo brindado en este proceso.

A mis profesores por todas las enseñanzas durante este largo camino.

Adrián Picón Cajamarca

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme en el camino, a mi madre por su amor y paciencia, a mi padre por su apoyo, a mi tía Esthela y tíos Gonzalo y Carlos por su ayuda y por darme ánimos siempre para no rendirme.

A mis 4 abuelos por sus sabios consejos, su cariño y su protección.

Christian Solano Guzmán

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por la sabiduría, a nuestros padres por el apoyo y paciencia, y la compañía durante toda la carrera de nuestras amigas Tefa y Mirka.

Agradecemos a nuestro director de tesis Blgo. Edwin Zárate por la oportunidad de trabajar en el laboratorio de Limnología y ser parte de este gran proyecto, al Ecol. David Siddons por el asesoramiento en estadística, a la Doctora Cecilia Palacios por todas las enseñanzas impartidas durante este proceso.

A la Universidad del Azuay por facilitarnos los transportes y el uso de los laboratorios

Índice de Contenidos

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
Resumen	VII
Abstract.....	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
Materiales y Métodos	2
1.1 Área de Estudio.....	2
1.1.1 Ecosistema de Páramo	3
1.2 Toma de Muestras.....	5
1.3 Trabajo de Laboratorio	5
1.4.1 Diversidad de la comunidad de diatomeas	5
1.4.1.1 Diversidad alfa	5
1.4.2 Diversidad Beta	6
CAPÍTULO II	7
Resultados	7
2.1 Curvas de Rango Abundancia.....	7
.....	10
.....	10
.....	10
2.2 Índices de diversidad alfa	11
2.2.1 Índice de Shannon por temporada.....	11
2.2.2 Índice de Simpson por temporada	11
2.3 Boxplot	12
2.4 Diversidad Beta	12
2.4.1 Análisis Cluster	12
2.5 NMDS (Escalamiento multidimensional no métrico).....	14
2.6 ANOVA	15
CAPÍTULO II	15
Discusiones	15
Conclusiones y Recomendaciones.....	18
Bibliografía.....	19
Anexos	23
Registo fotográfico	23

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa con los sitios de muestreo.	3
Figura 2. Curvas de Rango-abundancia por temporada del Río Patococha (RC).	8
Figura 3. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Tengel/Nariguiña (RTN)	8
Figura 4. Curva de Rango - abundancia por temporada del Río Patul (RP).	8
Figura 5. Curva de Rango-abundancia por temporada del Río Chanlud(RM)	9
Figura 6. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Quinuas (RT).	9
Figura 7. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Miguir (RN)	9
Figura 8. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Angas (RB).	10
Figura 9. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Chorreras(RCH)	10
Figura 10. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Yanuncay (RY).	10
Figura 11. Boxplot índice de diversidad Shannon de los nueve riachuelos. (1 representa temporada lluviosa, 2 representa temporada seca).	11
Figura 12. Boxplot índice de diversidad Simpson de los nueve riachuelos. (1 representa temporada lluviosa, 2 representa temporada seca).	11
Figura 13. Boxplot de abundancias de diatomeas de 9 riachuelos de muestreo ubicadas en las temporadas seca y lluviosa.	12
Figura 14. Boxplot de riqueza de diatomeas de 9 riachuelos de muestreo ubicadas en las temporadas seca y lluviosa.	12
Figura 15. Análisis cluster de la riqueza de especies en las estaciones muestreadas, bajo el método de correlación (Rojo: aproximación imparcial, una versión del BP para limitar el sesgo; Verde: bootstrap para aproximar la distribución en el muestreo). Las estaciones con códigos terminadas en _2 pertenecen a la estación lluviosa y las estaciones con códigos terminados en _1, pertenecen a la estación seca.	13
Figura 16. Análisis de similitud cluster de abundancia de los sitios (Rojo: aproximación imparcial, una versión del BP para limitar el sesgo; Verde: bootstrap para aproximar la distribución del muestreo). Las estaciones con códigos terminadas en _2 pertenecen a la estación lluviosa y las estaciones con códigos terminados en _1, pertenecen a la estación seca.	14
Figura 17. Gráfico de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) donde se agrupan las estaciones y temporadas (lluviosa y seca).	14

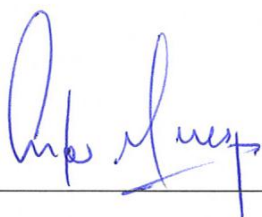
Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas geográficas (UTM) de los puntos de muestreo.	4
Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA).	15

Resumen

El presente trabajo analizó las variaciones estacionales (seca, lluviosa) de la comunidad de diatomeas perifíticas en 9 riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas. Para la obtención de muestras se hizo el raspado de piedras y en laboratorio se realizó la limpieza e identificación de especies. Se encontró un total de 85.195 individuos en la temporada lluviosa pertenecientes a 77 especies, mientras que en la temporada seca se encontró 118.208 individuos pertenecientes a 67 especies. Los resultados obtenidos mediante NMDS mostraron que existe una variación estacional significativa, siendo la época lluviosa la de mayor diversidad.

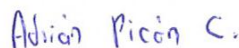
Palabras clave: Diatomeas, riachuelos, variación temporal, páramos.



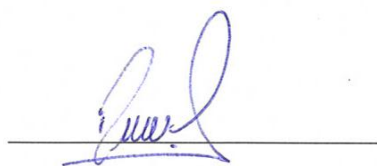
Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD
Coordinador de Escuela



MSc Edwin Javier Zárate Hugo
Director de Tesis



Picón Cajamarca Adrián Picón
Autor

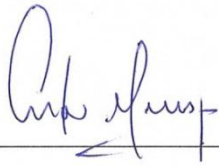


Solano Guzmán Christian Rene
Autor

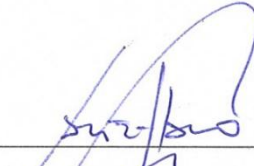
Abstract

This work analyzed the seasonal variations (dry, rainy) of the community of peripheral diatoms in 9 streams of the paramos El Cajas. Stone scraping was done to obtain samples, cleaning and identification of species were performed in the laboratory. A total of 85,195 individuals of 77 species were found in the rainy season, while 118,208 individuals of 67 species were found in the dry season. The results obtained through NMDS showed that there is a significant seasonal variation with the rainy season being the most diverse.

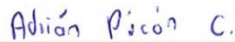
Keywords: Diatoms, streams, temporal variation, paramo.



Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD
Faculty Coordinator



MSc. Edwin Javier Zárate Hugo
Thesis Director



Picón Cajamarca Adrián Picón
Author



Solano Guzmán Christian Rene
Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paúl Arpi

INTRODUCCIÓN

El agua que se produce en los páramos es uno de los principales elementos afectados del deterioro ambiental que estamos presenciando actualmente (Hofstede, 2003). Por lo que desarrollar indicadores para monitorear su estado es una de las tareas que la comunidad científica está desarrollando constantemente, donde se ha determinado que las algas son buenos indicadores biológicos de calidad de agua, de igual manera son los productores primarios que son utilizados por los organismos consumidores (Moreno, et al., 2017). Las algas son utilizadas como indicadoras de calidad de agua ya que muestran una gran sensibilidad a cambios biológicos, físicos y químicos del medio en el que se encuentran (López & Siqueiros, 2011). Tienen una gran capacidad para responder a los cambios en el medio porque tienen ciclos de vidas cortas, estrategias reproductivas y están formados por estructuras especializadas (Bojorge & Cantoral, 2016).

La comunidad de algas bentónicas como las diatomeas son la base energética principal en los sistemas fluviales por su aporte a la producción primaria, además, el gran interés en la ecología por los patrones de su distribución como respuesta a diferentes aspectos ambientales (Harding, Archivald & Taylor, 2005). En relación al estudio de la organización jerárquica de los sistemas fluviales, se ha demostrado que las diatomeas no tienen una distribución aleatoria, sino por el contrario, son producto de la interacciones espaciales y temporales de los factores abióticos (Salmaso & Braioni, 2007). En estudios enfocados en las comunidades de diatomeas en ríos de alta montaña, cuyo fin ha sido poder entender los factores que determinan el funcionamiento de los sistemas lóticos, indica que estos sistemas de alta montaña responden a variables climáticas e hidrológicas, y estas mismas son las responsables del crecimiento y de la estabilidad de las comunidades de diatomeas (Pedraza & Donato, 2011).

La florafitoplanctónica dependen de variaciones estacionales o situaciones espacio-temporales, donde puede existir el predominio de diatomeas fundamentalmente (Gómez, 2007). Las algas del fitoplancton tienen diferentes preferencias en cuanto a ecosistemas se refieren, otras por la preferencia a los compuestos químicos del agua e inclusive algunas son tolerantes a ambientes contaminados (Vázquez et al, 2006).

Las diatomeas por sus características biológicas y ecológicas tienen una gran importancia como indicadores de cambios hidrológicos, clima, indicadores de acidificación de aguas superficiales, eutrofización de lagos y en la exploración de hidrocarburos (Canizal, 2009).

Se ha logrado evidenciar que la riqueza de diatomeas en comparación con otro grupo de algas, es mayor en el invierno ya que estas se adaptan mejor a temperaturas bajas a diferencia de otras clases de algas (Patrick, 1971). Es importante mencionar que estos resultados no se pueden aplicar de la misma manera en todas las regiones, ya que los cuerpos de agua presentan variaciones tanto bióticas como abióticas, dependiendo de la región (Mengo, 2017).

Existe información biológica y ecológica que permite determinar la situación actual de las comunidades de algas bentónicas, pero posiblemente es insuficiente para los ecosistemas de páramo. No se conoce a fondo la variación de las comunidades de algas con respecto a los diferentes cambios en el ciclo estacional, por lo que se debería realizar estudios a largo plazo que permita valorar eficientemente el estado actual y la salud ecológica de los cuerpos de agua (Moreno, et al., 2017).

Las comunidades de algas bentónicas pueden presentar cambios en relación al tiempo, ya sea debido a la disponibilidad de nutrientes o a la calidad ambiental del medio en que se encuentren, por lo que en la presente investigación se busca demostrar cómo varía la comunidad de algas bentónicas en una escala temporal.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la variación temporal de la diversidad de algas bentónicas presentes en las corrientes de los páramos del Macizo del Cajas.

Objetivos Específicos

Identificar las especies de diatomeas bentónicas que se encuentran en los cuerpos de agua en los Páramos del Macizo del Cajas.

Analizar la diversidad alfa y beta de las comunidades de diatomeas perifíticas.

Determinar la variación estacional de las comunidades de diatomeas bentónicas en riachuelos del Macizo del Cajas.

CAPÍTULO I

Materiales y Métodos

1.1 Área de Estudio

El Macizo del Cajas se encuentra ubicado en la parte más cercana de los Andes ecuatorianos al Océano Pacífico, lo que hace que las estribaciones occidentales de la cordillera reciben en muy poco tiempo los vientos cargados de humedad que se dirigen hacia el este. Posee una gran cantidad de valles, que se fueron originando por el derretimiento de los glaciares. El agua desciende del páramo hacia bosques y ciudades en ambos flancos, originando hacia el oriente los ríos Tomebamba, Mazán y Yanuncay, otros ríos importantes son el Luspa, el Sunincocha, el Jerez, el Atugyacu, el Angas y el Yantahuaico (MAE, 2014).

En esta área se fijaron 18 estaciones, en 9 sitios de muestreo (riachuelos) y dos puntos en cada riachuelo con una distancia aproximada de entre 1 a 2 km. Todos los puntos escogidos fueron ubicados cubriendo la gradiente Norte-Sur y Este-Oeste es decir cubre la parte occidental y oriental, también con las mismas características. Se realizaron dos campañas de

muestreos la primera réplica se dio en la estación lluviosa (Febrero a Junio 2018) y el segundo muestreo se realizó en la estación seca (Julio a Diciembre 2018).

En 2013 la UNESCO estableció la Reserva de la Biosfera Macizo del Cajas, que incluye al Parque Nacional Cajas como una de sus áreas núcleo. Sus límites político-administrativos incluyen 64 parroquias que pertenecen a las provincias de Azuay, Cañar, El Oro y Guayas. El área cubre una extensión total de 976.600,92 ha, de la cuales 892.161,52 ha, pertenecen a territorio continental y 88.439,4 ha, pertenecen a territorio marino (Coello, 2014). Varios ecosistemas están presentes en el Macizo del Cajas, dentro de los cuales está el páramo, el cual cuenta con una área de aproximadamente 207040 ha (Ministerio del ambiente, 2017) en donde se han sacado los puntos de muestreo para este estudio.

1.1.1 Ecosistema de Páramo

Los ecosistemas de páramo forman un corredor casi ininterrumpido entre las fronteras Norte y Sur, en el que va cubriendo las partes más altas de la Cordillera Occidental y Oriental, que se llegan a unir en el Sur con la Cordillera Sabanilla. La precipitación anual varía entre 500 y 2.000 mm, sus suelos son de alta retención de agua, alta permeabilidad, fijación K y densidad baja (Hofstede, et al., 2002).

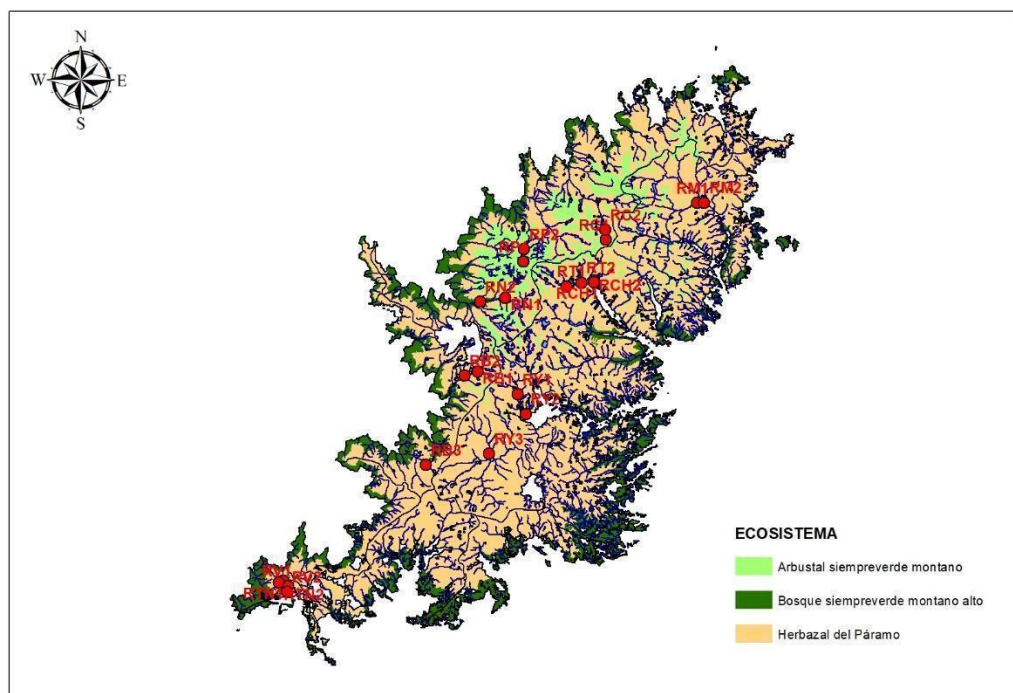


Figura 1. Mapa con los sitios de muestreo.

Tabla 1. Coordenadas geográficas (UTM) de los puntos de muestreo.

ESTACIÓN	SITIO	CÓDIGO	COORDENADAS	
Río Matadero	Río Quinuas	RT1	X: 690381,6126	Y: 9690296,045
Río Matadero	Río Quinuas	RT2	X: 688344,3209	Y: 9690084,378
Nariguiña (Pucará)	Río Tenguel	RTN1	X: 661700,7792	Y: 9652375,465
Nariguiña (Pucará)	Río Tenguel	RTN2	X: 661192,0032	Y: 9652110,882
Dos Chorreras	Río Tomebamba	RCH1	X: 703761,00	Y: 9693019,00
Dos Chorreras	Río Tomebamba	RCH2	X: 705257,8105	Y: 9692758,00
Chanlud	Río Machángara	RM1	X: 717721,00	Y: 9703489,00
Chanlud	Río Machángara	RM2	X: 718672,00	Y: 9703508,00
Patul	Río Patul	RP1	X: 694178,383	Y: 9695535,622
Patul	Río Patul	RP2	X: 694261,0657	Y: 9697214,072
Patococha	Río Cañar	RC1	X: 705337,1855	Y: 9698478,284
Patococha	Río Cañar	RC2	X: 705257,8105	Y: 9699827,659
Angas	Río Balao	RB1	X: 688002,0162	Y: 9680590,797
Angas	Río Balao	RB2	X: 688159,1126	Y: 9680623,87
Miguir	Río Miguir	RN1	X: 691757,4459	Y: 9690573,857
Miguir	Río Miguir	RN2	X: 691439,9459	Y: 9690560,628
Río Yanuncay	Río Yanuncay	RY1	X: 693417,7063	Y: 9677589,43
Río Yanuncay	Río Yanuncay	RY2	X: 693434,2428	Y: 9677490,211

1.2 Toma de Muestras

Para el procedimiento de recolección de muestras se utilizó el método de raspado, con la ayuda de un cepillo y una tapa de superficie circular para todas las muestras, para de esta manera tener la misma área de raspado (50.2 cm²). Se seleccionaron tres piedras de cada estación que tengan las mismas características de corriente de agua y la cantidad de luz.

Cada submuestra fue colocada en frascos de plásticos de 100 ml con agua del mismo río, con la precaución de dejar caer toda la muestra obtenida del raspado de las piedras dentro del frasco; luego se agregó 5 gotas de solución lugol al 1% en cada frasco para su conservación. Finalmente las muestras fueron transportadas en hieleras a los laboratorios de limnología de la Universidad del Azuay para su posterior limpieza e identificación.

1.3 Trabajo de Laboratorio

Para el conteo e identificación de algas, en primer lugar se realizó un proceso de limpieza que consistió en colocar 10 ml de muestra de cada frasco en dos Erlenmeyer; a estos se agregó 20 ml de peróxido de hidrógeno; posteriormente, se calentaron las muestras a 90°C por el lapso de 3 horas (este procedimiento se realizó en una campana extractora de olores), pasada las 3 horas se colocó 5 gotas de ácido clorhídrico para dejar reposando las muestras por 3 horas más; después las muestras de cada Erlenmeyer se depositaron en tubos de plástico con tapa (dos por cada Erlenmeyer), por último se realizó el proceso de centrifugado por cuatro veces en intervalos de 5 minutos por cada muestra, para las cuatro repeticiones: de la primera a la tercera se debió aforar hasta los 15 ml y en la cuarta repetición solo hasta 11ml. Para la manipulación e identificación de las muestras se usó: placas, portaobjetos y cubreobjetos; las placas se observaron por medio de un microscopio (OLYMPUS CX21 Y OLYMPUS CH-2) con lente 40x y para la identificación de las algas se tomó las claves de fitoplancton de Bicundo & Meneses, (2006) y en el catálogo de fitoplancton de Merchán & Sparer, (2015).

1.4 Análisis Estadístico

Para los análisis estadísticos se utilizó el software Rproject (R Core Team, 2019) con el paquete *BiodiversityR* (Kindt & Coe, 2005) y el paquete *Vegan* para el análisis clúster (Suzuki & Shimodaira, 2019; Oksanen et al., 2019). Para las curvas de rango abundancia y los ggplot2 fueron realizados con el paquete *Graphics*, incluido por defecto en Rproject (R Core Team, 2019).

1.4.1 Diversidad de la comunidad de diatomeas

1.4.1.1 Diversidad alfa

Curvas de rango abundancia

Para hacer una comparación de la comunidad de especies de diatomeas en cada estación, se realizaron curvas de rango abundancia, con las que se puede evidenciar los cambios en la distribución de las especies de cada estación. En estas figuras se puede observar la diferencia de abundancia entre especies de las dos temporadas en un mismo sitio (Medina, Leirana, & Navarro, 2016).

Índice de Shannon (H')

A partir de este índice se intentó demostrar la diferencia de las comunidades en cuanto al número de especies y la abundancia entre ambas temporadas. Valores entre 3 y 5 significa alta diversidad de diatomeas, mientras que valores por debajo del 3 representan una baja diversidad de las mismas (Pla, 2006).

Índice de Simpson

Por medio de este índice se manifiesta la probabilidad de que dos individuos de una misma especie tomados al azar, sean extraídos de una comunidad. Este índice se enfoca en la medida de la riqueza de organismos donde los más comunes tienen mayor peso que los menos comunes. Los valores oscilan entre 0 y 1, donde una mayor cantidad de especies representan valores bajos (Ferriol & Merle, 2013).

Boxplots

Un gráfico simple pero eficaz que nos permitió visualizar la distribución de los datos (en cuanto a riqueza y abundancia), sus características y a la vez hacer una comparación simultánea de estos, donde las líneas que sobresalen son llamadas bigotes y la caja con sus lados mas extensos indican el recorrido intercuartílico (Correa & González, 2002).

1.4.2 Diversidad Beta

Análisis Clúster

Es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos o variables (independiente: temporalidad y dependiente: riqueza y abundancia) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos, clasifica automáticamente los datos, a partir de una tabla de casos-variables y trata de situar los casos en grupos homogéneos, conglomerados o clusters no conocidos de antemano, pero sugeridos por la propia esencia de los datos, y de esta manera los individuos que puedan ser considerados similares asignados a un mismo cluster, mientras que por otro lado los individuos diferentes se agrupan en cluster distintos (De la Fuente, 2011).

Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

Es una técnica multivariante de interdependencia que trata de explicar en el espacio geométrico de pocas dimensiones a las proximidades existentes entre un conjunto de objetos. El NMDS es un método de ordenación adecuado para datos que no son normales o que están en una escala discontinua o de manera arbitraria, se basa en rangos de distancias, tiende a linealizar la relación entre las distancias ambientales y las biológicas (Ramírez, 2016).

ANOVA DE UN FACTOR

Anova de un factor es una técnica estadística que señala si dos variables una independiente (temporalidad) y otra dependiente (abundancia), están relacionadas en base a si las medias de la variable dependiente son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente, lo que quiere decir que señala si las medias entre dos o más grupos son iguales o diferentes (Cárdenas, 2015).

CAPÍTULO II

Resultados

Se observaron un total de 85.195 individuos de algas diatomeas en el época lluviosa, pertenecientes a 77 especies, mientras en la época seca se encontró un total 118.208 individuos pertenecientes a 67 especies, dentro de 33 géneros. Las más abundantes en la época lluviosa fueron del género *Tabellaria* (13.750) individuos, seguido del género *Melosira* (10.794) y por último el género *Achnanthidium* (9.962). En la época seca la especie más abundantes fue *Amphipleura pellucida* (28.975), seguido de la especie *Tabellaria flocculosa* (25.216) y por último el género *Achnanthidium* (10.362).

2.1 Curvas de Rango Abundancia

Como se puede observar en las Figuras 2 a la 10 de las curvas de rango abundancia, las especies dominantes analizadas por río fueron diferentes entre temporadas. Los ríos que mayor diferencias presentaron entre temporadas fueron: RC (Patococha) en donde *Amphipleura pellucida* con 35,2% fue la especie con una amplia dominancia en la temporada seca, mientras que *Achnanthidium* sp fue más abundante con 18,1% en la temporada lluviosa. Otro resultado que llama la atención fueron los encontrados en las estaciones RT (río Quinuas) en donde *Synedra* sp presentó un mayor porcentaje de abundancia en la temporada lluviosa con 41,5%, mientras que *Navicula* sp1 con 16.6% fue dominante en el temporada seca, y RCH (río Dos Chorreras) fue dominante *Tabellaria flocculosa* con 36.3% y *Amphipleura pellucida* con 24%, mientras que *Tabellaria* sp1 con 20,3% fue la dominante en la temporada seca.

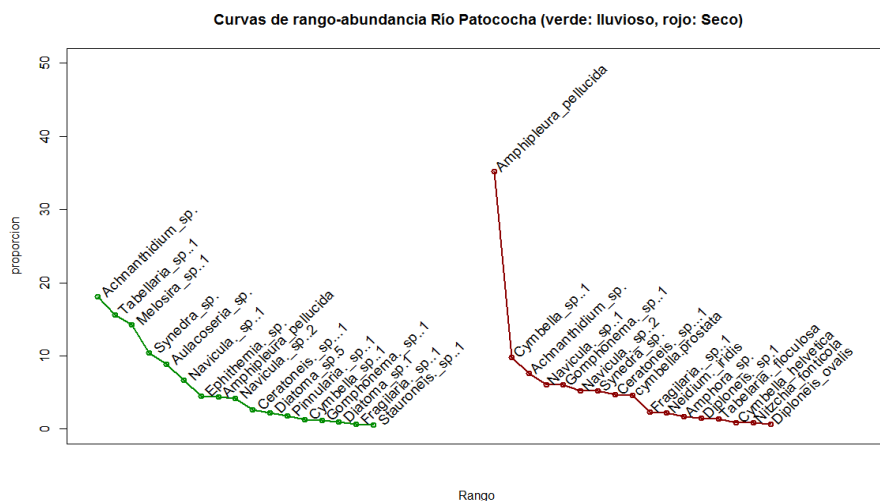


Figura 2. Curvas de Rango-abundancia por temporada del Río Patococha (RC).

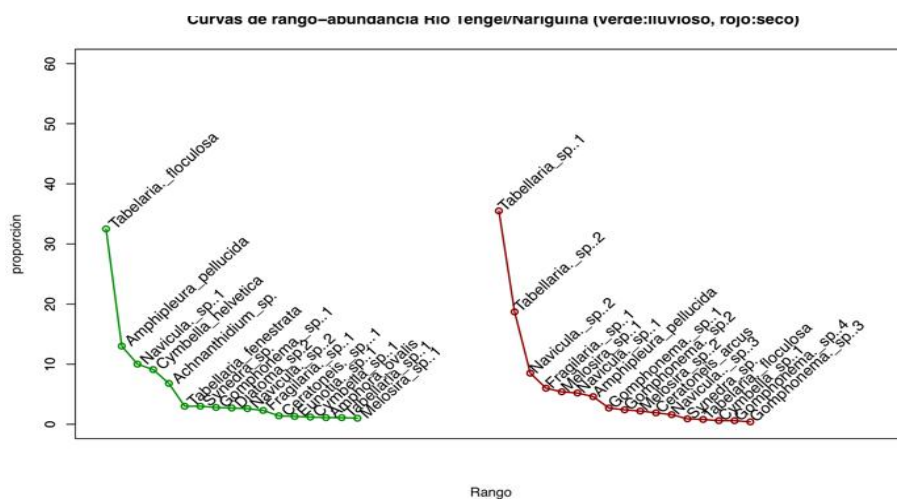


Figura 3. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Tengel/Nariguña (RTN)

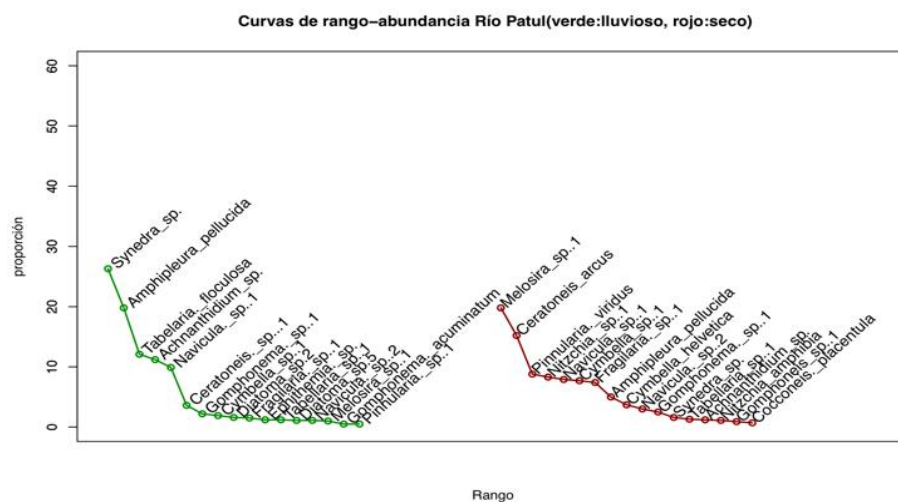


Figura 4. Curva de Rango - abundancia por temporada del Río Patul (RP).

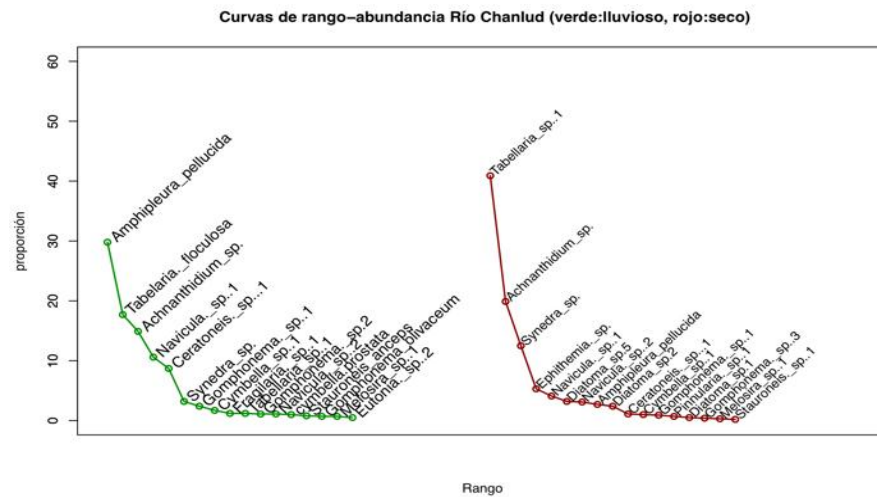


Figura 5. Curva de Rango-abundancia por temporada del Río Chanlud(RM)

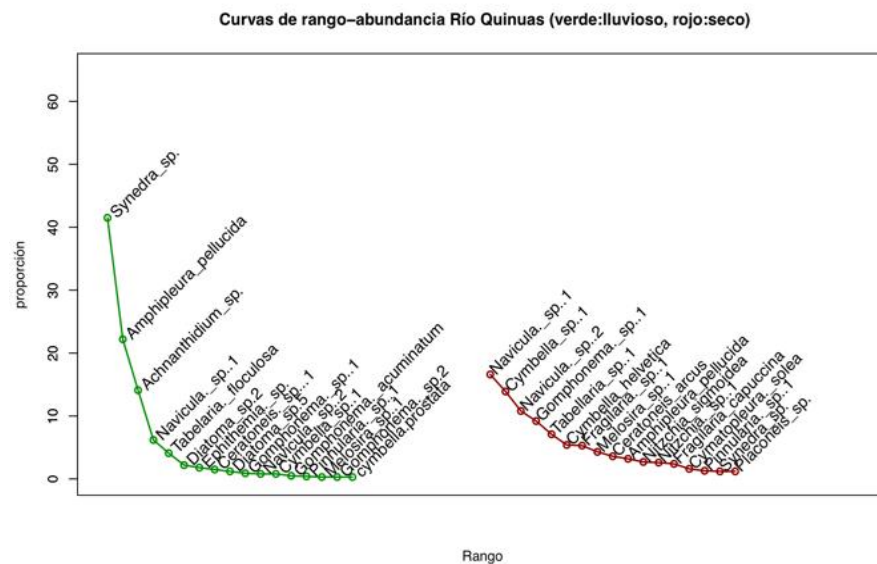


Figura 6. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Quinuas (RT).

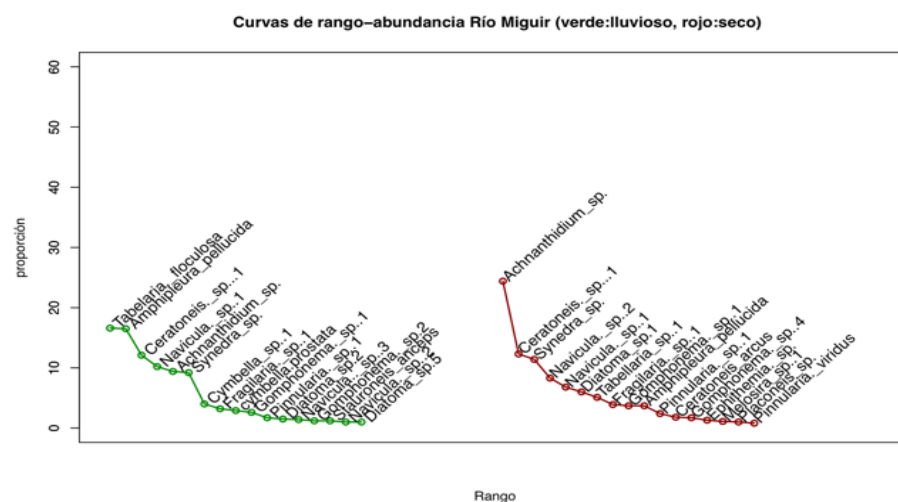


Figura 7. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Miguir (RN)

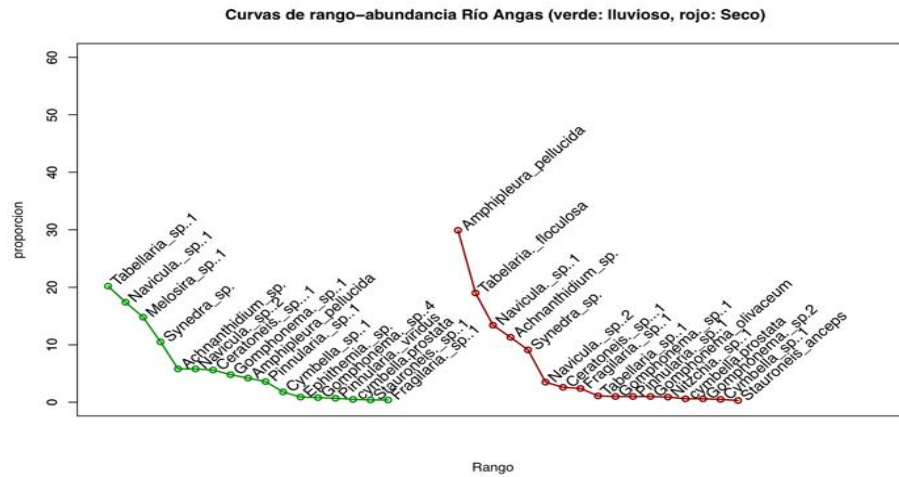


Figura 8. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Angas (RB).

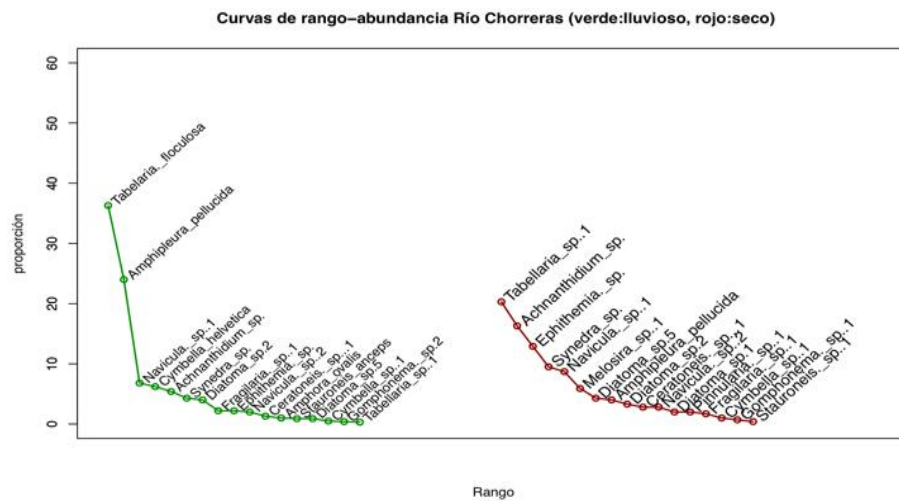


Figura 9. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Chorreras(RCH)

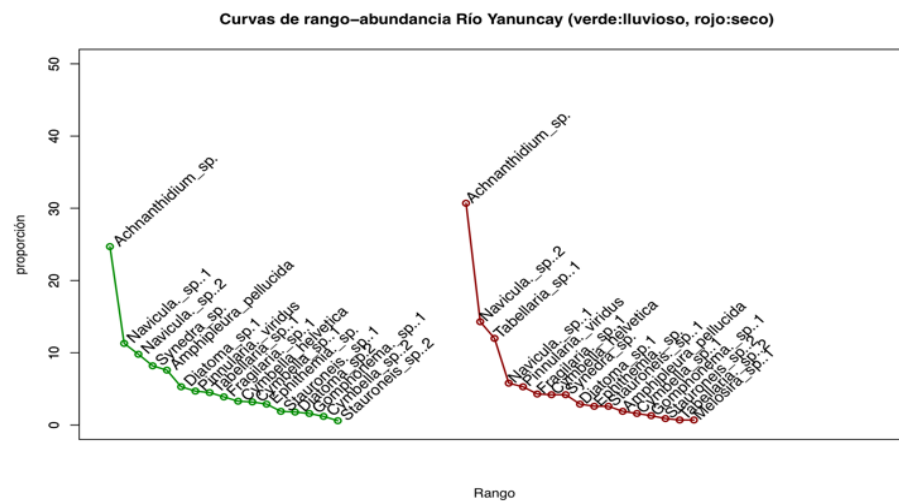


Figura 10. Curvas de Rango - abundancia por temporada del Río Yanuncay (RY).

2.2 Índices de diversidad alfa

2.2.1 Índice de Shannon por temporada

Como podemos observar en el índice de Shannon en la Figura 11, las estaciones que presentan mayor variación en su diversidad según las medianas son RC1 y RC2, RP1 y RP2, RTN1 y RTN2 (lluviosa y seca) mientras que las estaciones restantes no tienen mucha variación en su diversidad.

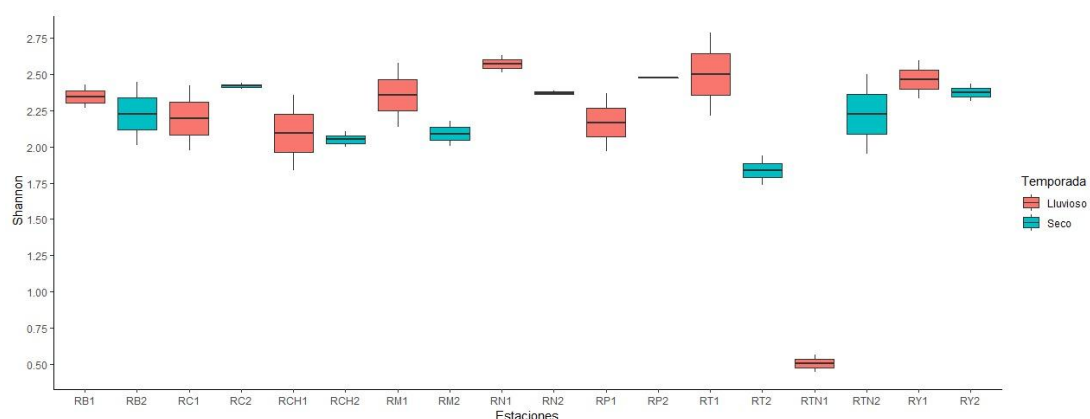


Figura 11. Boxplot índice de diversidad Shannon de los nueve riachuelos. (1 representa temporada lluviosa, 2 representa temporada seca).

2.2.2 Índice de Simpson por temporada

Como podemos observar en el índice Simpson en la Figura 12, las estaciones que presentan mayor variación según las medianas son RCH1 y RCH2, RT1 y RT2, RTN1 y RTN2 (lluviosa y seca) mientras que por otra parte las otras estaciones tienen muy poca variación en la diferencia de las medias.

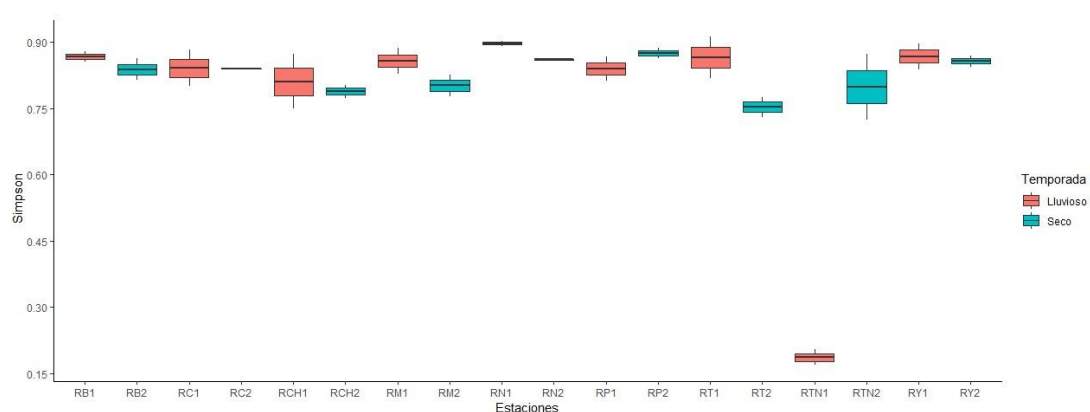


Figura 12. Boxplot índice de diversidad Simpson de los nueve riachuelos. (1 representa temporada lluviosa, 2 representa temporada seca).

2.3 Boxplot

Las diferencias entre la abundancia y también la riqueza de los ríos en diferentes temporadas se representan en el Figura 13 y Figura 14 respectivamente, donde la diferencia más amplia de abundancia media se ve entre RC1y2, RCH1y2 y RTN1y2, mientras que la riqueza muestra una diferencia significativa entre RC1y2, RCH1y2, RN1y2 y RTN1Y2; ya sea por especies dependientes de factores variables en la temporalidad.

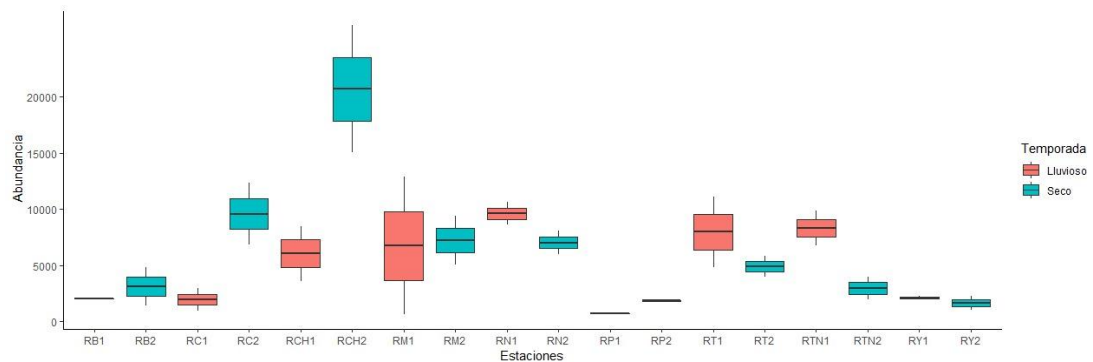


Figura 13. Boxplot de abundancias de diatomeas de 9 riachuelos de muestreo ubicadas en las temporadas seca y lluviosa.

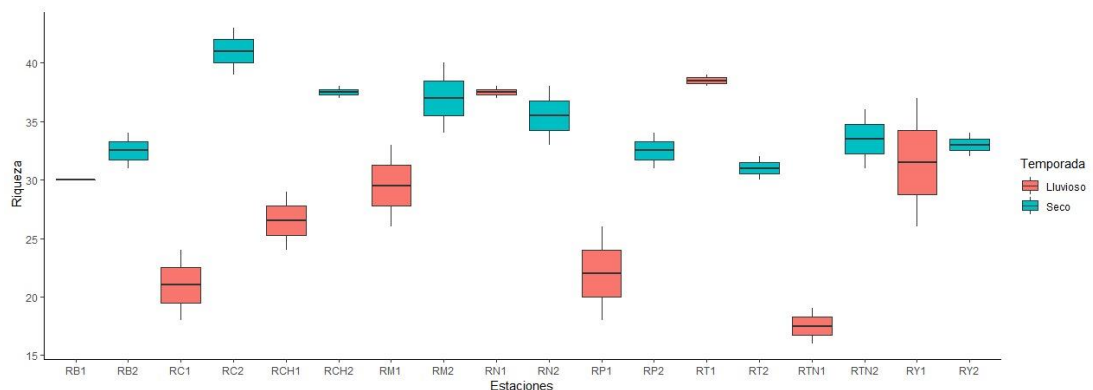


Figura 14. Boxplot de riqueza de diatomeas de 9 riachuelos de muestreo ubicadas en las temporadas seca y lluviosa.

2.4 Diversidad Beta

2.4.1 Análisis Cluster

En la figura 15 del análisis cluster por riqueza, se puede observar como un grupo de seis sitios del temporal lluvioso se aíslan dado que la similitud del conjunto es mas familiar que el resto de las estaciones. El resto de estaciones se van agrupando también por temporadas es este caso en el grupo _2 que pertenece a la época seca. De los estaciones mencionadas se aíslan RY1 y RY2 que no tiene similitud con otras estaciones por el recambio de especies.

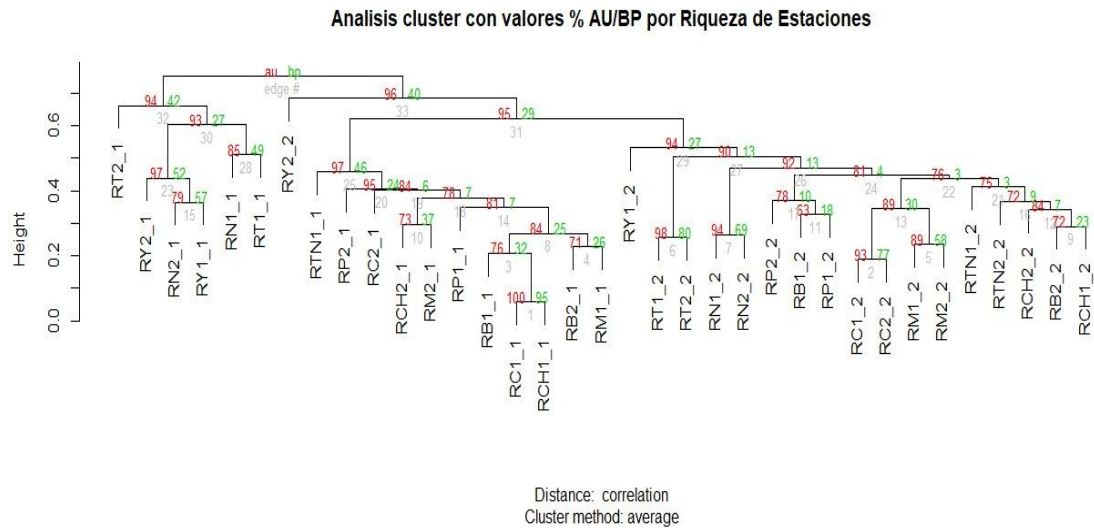


Figura 15. Análisis cluster de la riqueza de especies en las estaciones muestreadas, bajo el método de correlación (Rojo: aproximación imparcial, una versión del BP para limitar el sesgo; Verde: bootstrap para aproximar la distribución en el muestreo). Las estaciones con códigos terminadas en _2 pertenecen a la estación lluviosa y las estaciones con códigos terminados en _1, pertenecen a la estación seca.

En la Figura 16 del análisis cluster por abundancia, se puede observar cuatro grupos, dos de los cuales agrupan la mayoría de las estaciones analizadas. Básicamente las estaciones se agruparon por temporada (las estaciones con códigos terminadas en _2 pertenecen a la estación lluviosa y las estaciones con códigos terminados en _1, pertenecen a la estación seca). Llama también la atención que las estaciones RN1, RTN1 y RY2 formaron un grupo y la estación RP2 se aisló del resto de estaciones.

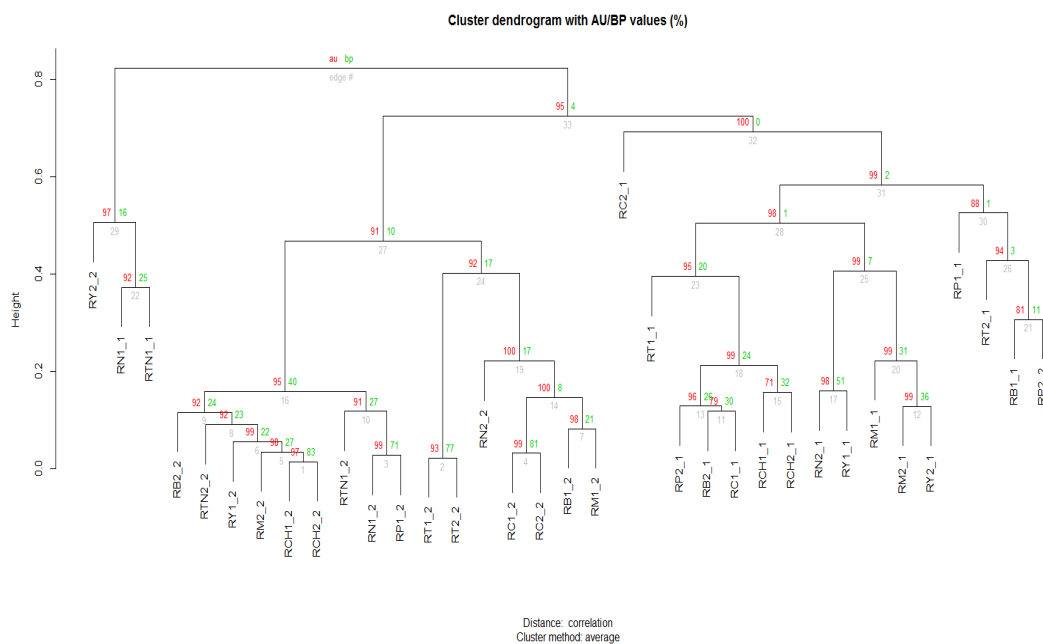


Figura 16. Análisis de similitud cluster de abundancia de los sitios (Rojo: aproximación imparcial, una versión del BP para limitar el sesgo; Verde: bootstrap para aproximar la distribución del muestreo). Las estaciones con códigos terminadas en _2 pertenecen a la estación lluviosa y las estaciones con códigos terminados en _1, pertenecen a la estación seca.

2.5 NMDS (Escalamiento multidimensional no métrico)

Como se puede observar en la Figura 17 las estaciones se agrupan según la temporada (lluviosa y seca), lo que demuestra una influencia de la temporalidad en la comunidad de especies de diatomeas. La mayor homogeneidad entre estas se presenta en la temporada seca, a excepción de RY2 que es la única que no se agrupa. Por otro lado la temporada lluviosa presenta una heterogeneidad de la mayoría de las estaciones, a excepción de RB y RCH.

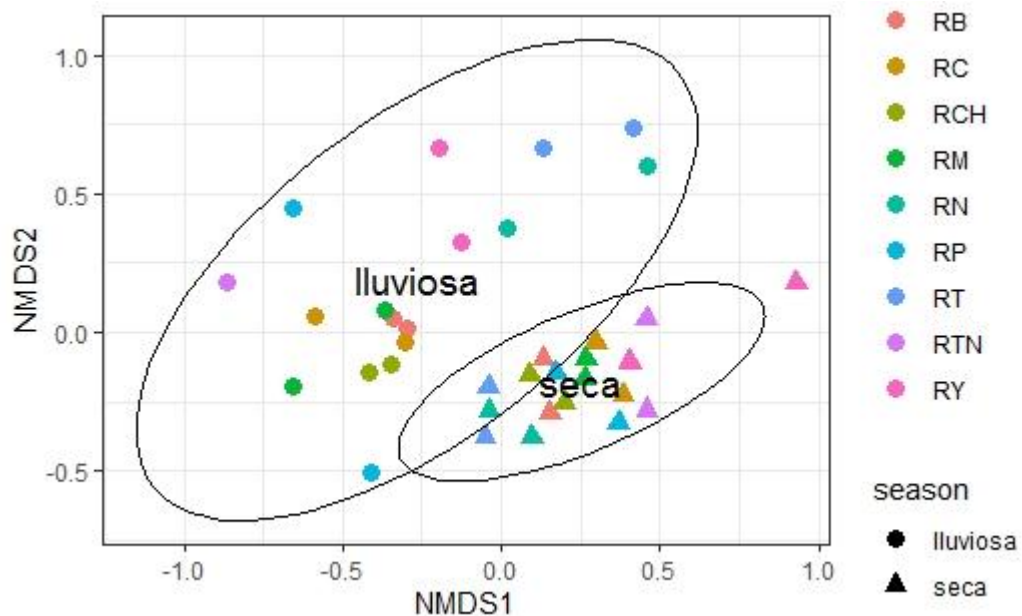


Figura 17. Gráfico de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) donde se agrupan las estaciones y temporadas (lluviosa y seca).

2.6 ANOVA

El análisis ANOVA se enfoca en demostrar la diferencia entre sitios, basándose en una variable de respuesta en nuestro caso sería la abundancia. Como podemos observar en la Tabla 2 el ANOVA se realizó en todas las estaciones y sus puntos de muestreo y la abundancia presente en cada uno de ellos donde se puede ver claramente la diferencia significativa ($f=14.92 < 2e-16$) que demuestra el valor de significancia entre las estaciones.

Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
temporada	34	40252149	1183887	14.92	<2e-16 ***
Residuals	805	63856690	79325		

CAPÍTULO II

Discusiones

Se encontró una diferencia significativa de la abundancia entre las dos temporadas, siendo la seca la que tuvo mayor número de individuos (118.208) a diferencia de la lluviosa (85.195), por otra parte en la temporada lluviosa se registró una mayor riqueza de especies (77) que en la temporada seca (67), sin embargo esta variación no fue significativa. En cuanto a la diversidad de las estaciones con el índice de Shannon se encontró que de las 9 estaciones muestreadas 4 de ellas tuvieron mayor diversidad en la temporada lluviosa (RB, RM, RTN y RY), dos estaciones tuvieron la misma diversidad (RC y RN) y las 3 restantes (RCH, RP y RT) tuvieron mayor diversidad en la temporada seca; estas variaciones se puede deber al caudal, debido a que según la temporada este varía por lo que influye mucho en las comunidades de algas (Montoya-M, Ramírez-Restrepo, & Segecin-Moro, 2008).

En un estudio realizado por Pedraza & Donato (2011) en los arroyos de los Andes colombianos se encontró que la temporada donde había mayor caudal, aumentaba la diversidad de diatomeas, por lo que esto coincide con los resultados de esta investigación y con las características del área de estudio, ya que los ríos que presentaron mayor diversidad pertenecen a la temporada lluviosa en donde el caudal fue mayor.

Otro de los factores que pudiera estar influenciando en la variación temporal de la diversidad es la fuerza de la corriente. Según Soininen (2004) esta afecta en la composición de las comunidades de algas, sobre todo en ríos cristalinos donde la morfología de las algas juega un papel importante en la adhesión a las piedras. Por lo que estas características tanto de

corriente como de cristalinidad fueron tomadas en cuenta al momento de recolectar las piedras en este estudio.

La distribución de plantas acuáticas en pequeños ríos son controlados por ciertos factores dentro de ellos uno de los más importantes es la luz, por lo que hay evidencia en que la intensidad de luz es un factor discriminante en la composición de la comunidad de algas (De la Parra & Rodelo, 2011). Lo cual, al ser nuestra área de estudio páramo, es decir no existe un dosel de árboles que haga sombra sobre los cursos de agua, podrían explicar la alta diversidad de diatomeas en las dos estaciones de muestreo. En un estudio realizado en los Andes Colombianos por Pedraza & Donato (2011) se encontró 123 especies correspondientes a 34 géneros, en la temporada de lluvias se registró un mayor porcentaje de diversidad que en la temporada seca, siendo las más abundantes los géneros *Navícula*, *Nitzschia* y *Synedra* en la temporada seca mientras que en la temporada lluviosa las más abundantes fueron *Rhoicosphenia*, *Synedra*, *Reimeira* y *Nitzschia*.

Por otro lado y aunque no fue objetivo de este estudio, las características fisicoquímicas pueden variar con la temporalidad, por aumento o disminución del caudal. Al existir un pH básico se van a desarrollar mejor las comunidades de perifiton ya que con estas condiciones nutrientes como: NO_3 , NO_2 y PO_4 están relacionados con la abundancia y están disponibles al igual que los carbonatos y bicarbonatos que son fuente principal de CO_2 en el agua (De la Parra & Rodelo, 2011). Matute (2019) que realizó un estudio complementario a éste en relación a los niveles de clorofila del perifiton en las mismas estaciones de muestreo, encontró una correlación positiva entre la conductividad del agua y mayores niveles de pigmentos. Lo que podría significar que a mayores niveles, la conductividad es un reflejo de los niveles de sólidos y nutrientes disueltos en el agua y estaría a su vez influyendo en la composición de la comunidad de diatomeas del perifiton, ya que en este estudio uno de los ríos con mayor abundancia fue RCH (Río Chorreras) coincidiendo que en el trabajo realizado por Matute (2019) el contenido de fluoruros y nitratos tuvieron los valores más altos además de tener un pH muy alcalino lo que podría explicar nuestros resultados en cuanto a abundancia de diatomeas y podría ser estos parámetros influyentes en las comunidades.

Existen dos estrategias de crecimiento para las diatomeas, el primero consiste en formas unicelulares adheridas a un sustrato de forma fija, así teniendo una mayor resistencia al flujo de agua y a las variaciones en el caudal, la segunda estrategia de crecimiento trata de especies de mayor tamaño que poseen estructuras de adhesión y son encontradas en zonas de menor corriente (De la Parra & Rodelo, 2011). Lo que podría explicar cómo cambia la abundancia de especies en cada estación, por lo que puede que las especies dominantes en cada estación tengan estas estructuras mencionadas y por lo tanto por su abundancia dependen del caudal. *Tabellaria flocculosa* fue una de las especies más abundantes y se podría justificar por su ecología ya que crece en condiciones pobres en nutrientes, son sensibles a la contaminación tiene amplia tolerancia al pH, es una especie global muy común

en regiones templadas. Como también *Tabellaria fenestrata* que se encontró en menor proporción porque al contrario de la anterior se encuentra en estanques y lagos meso-eutróficos, esta especie puede ser planctónica o crecer adheridas a la vegetación u otros sustratos (Leira, 2017).

En las curvas de rango abundancia se observó que las especies más abundantes fueron *Amphipleura pellucida*, *Tabellaria flocculosa*, *Achnanthesidium* sp, *Navicula* sp y *Synedra* sp, siendo estas también las especies que dominaban las estaciones donde había mayor abundancia en la temporada seca lo que podría explicar la causa de que la temporada seca tenga mayor abundancia. Al tener forma alargada centrales y naviculiformes estas especies pueden también dominar en temporadas en donde el caudal es bajo por que su tamaño es mayor y no se adhiere fuertemente a las piedras, (Rivera & Donato, 2008), es decir en la temporada seca.

En un estudio realizado por De la Parra y Rodelo (2011) encontraron que *Cocconeis placentula*, *Navicula* spp, *Nitzschia* spp fueron las abundantes en época de mayor caudal, mientras que por otro lado especies como *Synedra ulna*, *Gomphonema* spp, *Pinnularia* spp, *Surirella* spp fueron las más abundantes en la época seca donde disminuye el caudal en los ríos. En nuestro caso y relacionado con lo encontrado en las curvas de rango-abundancia, los resultados coinciden que *Navicula* spp fue una de las especies más abundantes en la temporada lluviosa en las estaciones RN, RP, RT, RCH, RY, RB y RM, por otra parte en la temporada seca coinciden *Gomphonema* spp y *Synedra* spp en la estación RC, en RN *Synedra* spp, en la estación RP y RY *Pinnularia* spp, *Gomphonema* spp en RT, *Synedra* spp en RCH, RB y RM.

La dinámica del ensamblaje de algas perifíticas y la variación de la abundancia en el tiempo indica que las lluvias son un dinamizador de las condiciones físicas y químicas del río que junto con los efectos mecánicos de arrastre de los a los altos caudales influyen en la composición de las comunidades (De la Parra & Rodelo, 2011). Por esta razón podría variar nuestra comunidad de diatomeas en las dos temporadas muestreadas debido al arrastre de sedimentos de las partes altas.

Lo que nos muestra claramente el análisis NMDS es que se agrupan las dos estaciones, por una parte en la temporada lluviosa se unen pero están más separadas no tienen una clara correlación, mientras que en la temporada seca se juntan de una manera más homogénea, lo que según Conody et al. (2003) demuestra que en las temporadas donde existe menor precipitación las comunidades de algas tienen mayor correlación lo que coincide con los resultados en el análisis. Con el análisis de varianza (ANOVA) que se aplicó para todas las estaciones se encontró una diferencia significativa entre las estaciones muestreadas, lo que coincide con el análisis de varianza realizado en el estudio de Pedraza & Donato (2011), donde este muestra una diferencia de la diversidad entre temporadas.

Para futuras investigaciones se podría tomar en cuenta como afecta de manera directa en la diversidad de diatomeas factores como el caudal que fue uno de los más relevantes que se encontró en este y varios estudios. Además de otros factores que podrían afectar la diversidad de las algas como el pH, los nitritos, el oxígeno en el agua que podrían afectar en la riqueza y diversidad.

Conclusiones y Recomendaciones

Se puede concluir que la temporada que presentó mayor diversidad fue la lluviosa. De los 9 riachuelos estudiados, la mayoría presentó una diferencia significativa en cuanto a la diversidad de las diatomeas, sin embargo esta diferencia fue más notoria en la abundancia, mientras que la riqueza no fue tan significativa. La estructura de comunidades presentó una diferencia mas notoria entre temporadas.

Las estaciones se agruparon según la temporalidad (seca/lluviosa), lo que significó que esta influye en la comunidades de diatomeas, pero ciertas estaciones como RY se aislaron mostrando claramente un recambio de especies. Ciertas algas poseen características que las ayuda en su proliferación dependiendo la temporada, mientras que otras tuvieron la mayor abundancia en las dos temporadas.

Sin embargo para futuras investigaciones y con toda la literatura revisada se recomienda tomar en cuenta otros factores como el pH ya que ciertas especies de diatomeas se acoplan mejor a pH alcalino mientras que en otras especies este factor no influye en su comunidad. También se debe tomar en cuenta la eutrofización del agua porque de la misma manera existen especies tolerantes y otras sensibles.

Bibliografía

- Bojorque, M. & Cantoral, E. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. Scielo. México. Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000100002#B26
- Cárdenas, J.(2015). Anova de un factor. Networkianos. Obtenido de: <http://networkianos.com/anova-de-un-factor-que-es-como-analizar>
- Carrasquilla, A., Chacón, A., Nuñez, K., Gómez, O., Valverde, J., & Guerrero, M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: aplicación en la predicción de variables naturales relacionados con el crecimiento microalgal Simple and multiple regression: application in the prediction of natural variables related to microalgae growing process. Obtenido de: <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2983>
- Codony, F., Miranda, A., & Mas, J. (2003). Persistence and proliferation of some unicellular algae in drinkin water systems as resul of their heterotrophic metabolism. Obtenido de: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/4953/12580>
- Coello, F. (2014). Reservas de Biosfera-Ecuador. Ministerio del Ambiente. Obtenido de: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/BRESEP_BRs_Ecuador_dec14.pdf
- Correa, J., & González, N. (2002). Gráficos estadísticos con R, 18. Obtenido de: <https://doi.org/10.1109/mis.2017.2421500>
- De la Fuente, S. (2011). Análisis Conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid. Obtenido de: http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis_Cluster.pdf
- De la Parra, A., & Rodelo, K. (2011). Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del río César asociado a variables físico-químicas e hidrológicas durante los meses de febrero-septiembre del año 2011. Universidad del Atlántico. Colombia. Obtenido de: <http://www.corpocesar.gov.co/files/Anexo%20Tesis%20algas.pdf>
- Ferriol, M., & Merle, H. (2013). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad., 10. Obtenido de: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/MicrosoftWord – articulo docente def.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/MicrosoftWord%20articulo%20docente%20def.pdf?sequence=1)
- Gómez, L. (2007). Microalgas: Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos. Revista Cubana de Química. Cuba. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/html/4435/443543707001/>

- Harding, W., Archivald, C., & Taylor, J. (2005). The relevance of diatoms for water quality Assessment in South Africa: A position paper Water S.A. Obtenido de: www.wrc.org.za.
- Hosftede, R. (2003). Gestión de servicios ambientales y manejo de áreas naturales en Cuenca Andinas. Universidad de Amsterdam. Obtenido de: http://www.uvm.edu/jfarley/UFSC/literatura%20em%20portugues/gestao_sa_manejo_ap_cuenca_andina.pdf
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi. ISBN 92-9059-179-X
- Leira, M. (2017). Diatomeas género tabellaria. Obtenido de: <https://www.printfriendly.com/p/g/av3Csx>
- López, F., & Siqueiros D. (2011). Las diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur. México. Biodiversitas. Obtenido de: <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7264.pdf>
- MAE(2014). Áreas Protegidas. Ministerio del Ambiente. Obtenido de: http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/sites/default/files/GUIA_PARQUES_37-2014.pdf
- Matute, E. (2019). Variación de clorofila del perifiton en riachuelos de los páramos en el Macizo del Cajas, sur del Ecuador. Universidad del Azuay. Cuenca-Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9473/1/15109.pdf>
- Medina, R., Leirana, J., & Navarro, J. (2016). Métodos gráficos para la explotación de patrones de diversidad en Ecología. Bioagrociencias, 9(1965), 11–18.
- Mengo, L. (2017). Composición taxonómica y riqueza de diatomeas en el río Suquía-Córdoba (Argentina). Revista de la facultad ciencias exactas, físicas y naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Obtenido de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFN/article/view/16626/17864>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, Equipo técnico interinstitucional, & GIZ. PLAN DE GESTIÓN BIOSFERA MACIZO DEL CAJAS-Un territorio para el ser humano, la producción y la conservación. Ministerio. (GIZ, Ed.). Cuenca-Ecuador.

- Montoya, M., Ramírez, J., & Segecin, R. (2008). DIATOMEAS PERIFÍTICAS DE LA ZONA DE RITRAL DEL RÍO MEDELLÍN (ANTIOQUÍA), Actualidades Biológicas. COLOMBIA.
- Moreno, F., Caro, C., Pinilla, G., & Osorio, D. (2017). Estado actual sobre el conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v22n3/0120-548X-abc-22-03-00274.pdf>
- Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Michin, P., O'Hara, R., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2019). *Vegan: Community Ecology Package*. R package versión 2.5-4. Obtenido de: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia Basada En El. *Interciencia*, 31(8), 583–590. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
- Patrick, R. (1971). The effects of increasing light and temperatura on the structure of diatom communities. Limnology department, academy of natural sciences of Philadelphia. Pennsylvania. Obtenido de: <https://sci-hub.tw/10.4319/lo.1971.16.2.0405>
- Pedraza, E., & Donato, G. (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los andes colombianos. *Limnología. Icn*. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n1/v33n1a11.pdf>
- Ramírez, O. (2016). Análisis Multivariante. *RPubs*. Obtenido de: <https://rpubs.com/osoramirez/221493>
- Rivera, C., & Donato, J. (2008). Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ryota, S., & Hidetoshi, S. (2015). *pvclust: Hierarchical Clustering with P-Values via Multiscal Bootstrap Resampling*. R package version 2.0-0. <https://CRAN.R-project.org/package=pvclust>.
- Salmaso, N., & Braioni, M., (2007) Factors controlling the seasonal development and distribution of the phytoplankton community in the lowland course of a large river in Northern Italy (River Adige). *Researchgate*. Obtenido de:

https://www.researchgate.net/profile/Nico_Salmaso/publication/225450576_Factors_controlling_the_seasonal_development_and_distribution_of_the_phytoplankton_community_in_the_lowland_course_of_a_large_river_in_Northern_Italy_River_Adige/links/54bf7ad50cf2acf661ce0626/Factors-controlling-the-seasonal-development-and-distribution-of-the-phytoplankton-community-in-the-lowland-course-of-a-large-river-in-Northern-Italy-River-Adige.pdf?origin=publication_detail

Sánchez, C. (2008). Análisis multivariante. Análisis de componentes principales. Obtenido de: http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMaster/Mat_14_master0809multi-tema5.pdf

Soininen, J. (2004). Assessing the current related heterogeneity and diversity patterns of benthic diatom communities in a turbid and a clear water river. *Aquatic Ecology*.

Suzuki, R., Shimodaira, H. (2015). pvclust: Hierarchical Clustering with P-Values via Multiscale Bootstrap Resampling. R package version 2.0-0. <https://CRAN.R-project.org/package=pvclust>

Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., & Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ResearchGate. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Gabriela_Vazquez_Silva/publication/325975794_Bioindicadores_como_herramientas_para_determinar_la_calidad_del_agua/links/5b312aaba6fdcc8506ccb9a7/Bioindicadores-como-herramientas-para-determinar-la-calidad-del-agua.pdf

Anexos

Registro fotográfico



Ilustración 1. *Tabellaria flocculosa*.

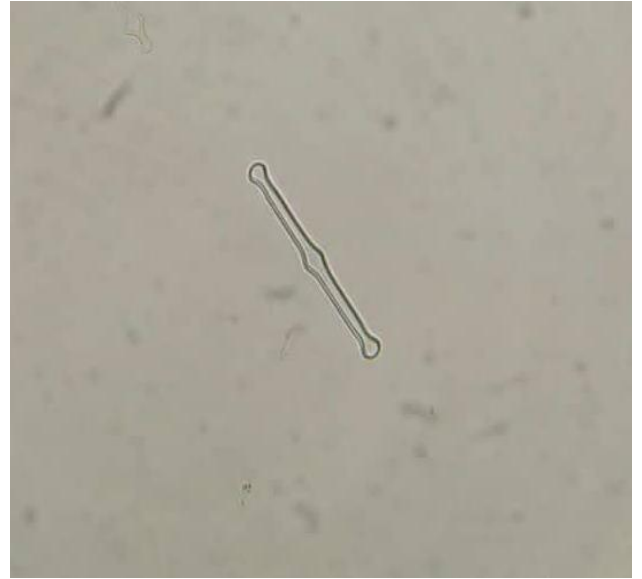


Ilustración 2. *Tabellaria fenestrata*.



Ilustración 3. *Pinnularia viridis*.

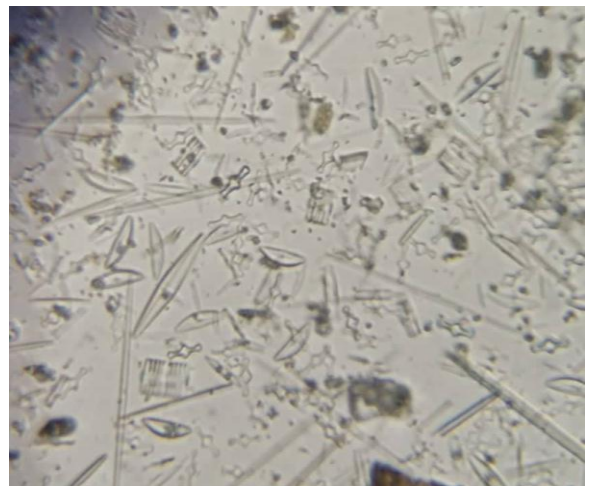


Ilustración 4. Diatomeas varias

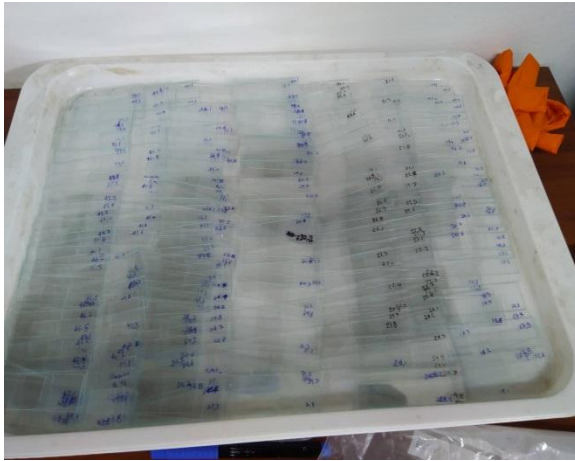


Ilustración 5. Placas barridas.



Ilustración 6. Limpieza de diatomeas.



Ilustración 7. Diatomeas listas para identificación.



Ilustración 8. Preparación de las muestras.