



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Biología, Ecología y Gestión.**

**Variación de la diversidad de diatomeas bentónicas en riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas, Sur del Ecuador.**

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

**Autores:**

**Luis Marcelo Zamora Zhiminaicela.**

**Christopher Francisco Zhiminaycela León.**

**Director:**

**Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo MSc.**

**Cuenca, Ecuador**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar mi proyecto de tesis a mami Inés quien ha sido mi pilar fundamental dentro de mi crecimiento tanto personal como profesional y por nunca dejar de creer en mí; a mi papi José por apoyarme día tras día para poder cumplir mi sueño; a mi hermana Ximena por su confianza y paciencia; a mis primas Sandra, Patricia y Verónica por los consejos y apoyo durante mi vida universitaria; a mi novia Andrea Fernanda por su amor, palabras de aliento y apoyo incondicional. Finalmente a mis abuelitos, familiares y amigos que siempre estuvieron a mi lado.

Marcelo Zamora

Este logro se lo dedico primeramente a Dios por brindarme sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios, a mis padres Yudiman y Nohemi por confiar en mí pues sin ellos no sería nada de lo que hoy en día soy, a mis hermanos Yudiman Fernando y Erick pilares fundamentales, a mis abuelitos por su apoyo y cariño, finalmente a mi tía Dalila por acogerme en su hogar, cada uno de ustedes han aportado con algo muy especial que estaré eternamente agradecido.

Christopher Zhiminaycela

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Escuela de Biología, Ecología y Gestión de la Universidad del Azuay por todo el apoyo brindado durante nuestra vida universitaria, principalmente al Blgo. Edwin Zárate por su dirección, asesoramiento y apoyo constante durante la realización de este estudio. A Ecol. David Siddons y Dra. Cecilia Palacios por sus comentarios, sugerencias y observaciones en el anteproyecto y trabajo final. Además al equipo que conforma el Laboratorio de Limnología por todo su apoyo brindado dentro de esta investigación.

Finalmente queremos agradecer de manera especial a Jorge García y Jessica González por su amistad y colaboración durante la fase de laboratorio.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	IV
ÍNDICE DE FIGURA .....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
Resumen.....	VIII
<b>Abstract</b> .....	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Capítulo I</b> .....	3
<b>Materiales y Métodos</b> .....	3
<b>1.1 Área de Estudio</b> .....	3
<b>1.2 Diseño y técnicas de muestreo</b> .....	9
<b>1.3 Trabajo de Laboratorio</b> .....	9
<b>1.4 Análisis estadístico</b> .....	10
<b>1.4.1 Diversidad de la comunidad de diatomeas</b> .....	10
1.4.1.1 Diversidad Alfa .....	10
1.4.1.2 Diversidad Beta, Recambio de especies.....	11
<b>CAPÍTULO II</b> .....	13
<b>Resultados</b> .....	13
<b>2.1 Curvas de Rango Abundancia</b> .....	13
.....	14
.....	15
<b>2.2 Boxplot</b> .....	16
<b>2.3 Índices de diversidad Alfa</b> .....	16
2.3.1 índices de Shannon por punto de muestreo.....	16
2.3.2 índices de Simpson por punto de muestreo.....	17
2.3.3 ANOVA.....	17
<b>2.4 Diversidad Beta</b> .....	18
2.4.1 Análisis Cluster .....	18
.....	19
2.4.2 NMDS (Escalamiento multidimensional no métrico).....	20
<b>CAPÍTULO III</b> .....	21
<b>Discusiones</b> .....	21
.....	22
.....	23
.....	24
.....	25
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	26
<b>Bibliografía</b> .....	27
<b>Anexos</b> .....	32
Registro fotográfico.....	36

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa del Macizo del Cajas con los 16 puntos de muestreo.....	5
Figura 2. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RTAN (Río Pimo), RTN (Río Tenguel), RY (Río Yanuncay), RYA (Río Yanuncay).....	14
Figura 3. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RM(Río Chandul ), RN (Río Miguir), RP( Río Patul), RSF(Río San Francisco), RSIN (Río San Fernando), RT (Río Quinoas).....	15
Figura 4. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RB(Río Balao), RC(Río Patacocha), RCH (Río Dos Chorreras), RCTH(Río Taitachungo ), RE(Río Quimsacocha Derecha), REN(Río Quimsacocha Izquierda).....	15
Figura 5. Boxplot de riqueza de diatomeas de las 32 estaciones de muestreos ubicados en 16 riachuelos.....	16
Figura 6. Boxplot índice de diversidad Shannon de los 32 puntos de muestreo ubicados en 16 riachuelos (1 representa primer punto de muestreo, 2 representa segundo punto de muestreo en cada riachuelo).....	16
Figura 7. Boxplot índice de diversidad Simpson de los dieciséis ríos (1 representa primer punto de muestreo, 2 representa segundo punto de muestreo).....	17
Figura 8. Análisis clúster de la abundancia por punto de muestreo en cada río. En donde tenemos dos tipos de valores p: AU (aproximación imparcial, en rojo) y valor BP (probabilidad de Bootstrap, en verde).....	18
Figura 9. Análisis clúster de riqueza de especies por punto de muestreo en cada río. En donde tenemos dos tipos de valores p: AU (aproximación imparcial en rojo) y valor BP (probabilidad de Bootstrap en verde).....	19
Figura 10. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) donde se agrupan los diferentes puntos muestreados de acuerdo a la gradiente geográfica Noreste, Noroeste, Sureste, Suroeste.....	20

## Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas geográficas (UTM) de los puntos de muestreo.....	5
Tabla 2. Tabla 2. Gradientes geográficos y sus respectivas características ambientales.....	8
Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) Abundancia.....	32
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) Riqueza.....	32
Tabla 5. Agrupaciones formadas al analizar la abundancia entre los puntos de muestreo y la gradiente geográfica.....	23
Tabla 6. Agrupaciones formadas al analizar la riqueza entre los puntos de muestreo y la gradiente geográfica.....	24
Tabla 7. Resultados de cálculos de diversidad beta (NMDS) dependiendo de su disposición según la gradiente Noreste, Noroeste, Sureste, Suroeste.....	33

## Índice de Anexo

Anexo a. Boxplot de abundancia de diatomeas de 16 ríos de muestreos, cada uno representa un punto de muestreo en cada río.....	32
Anexo b. Equipos y Materiales utilizados para la limpieza de Diatomeas Bentónicas.....	36
Anexo c. Fase de identificación de Diatomeas Bentónicas a través del microscopio.....	39

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Muestras listas para la limpieza.....	36
Ilustración 2. Microscopio (OLYMPUS CX21 Y OLYMPUS CH-2) con lente 40x.....	36
Ilustración 3. Muestras de microalgas para la limpieza.....	36
Ilustración 4. Punto de muestreo en el río Quimsacocha.....	37
Ilustración 5. Piedras con las muestras de microalgas listas para su recolección.....	37
Ilustración 6. Toma y etiquetado de muestras. (Trabajo de campo).....	38
Ilustración 7. Recolección de algas mediante la utilización de cepillos.....	38
Ilustración 8. Trabajo de campo. Etiquetado de muestras. Río RSF.....	38
Ilustración 9 <i>Gomphonema acuminatum</i> .....	39
Ilustración 10. <i>Tabellaria flocculosa</i> .....	39
Ilustración 11. <i>Tabellaria flocculosa</i> .....	40
Ilustración 12. <i>Synedra ulna</i> .....	40
Ilustración 13. <i>Cymbella helvetica</i> .....	40
Ilustración 14. <i>Navicula pupula</i> .....	41

## RESUMEN

Analizamos la diversidad alfa y beta de diatomeas bentónicas en una gradiente geográfica en los páramos del Macizo del Cajas. Se muestrearon 32 puntos en 16 riachuelos mediante la metodología de raspado de piedras. Se identificaron 126 especies en un total de 325.794 individuos. Las especies más representativas fueron: Amphipleura pellucida, Achnantidium sp., Nitzschia sp., Navicula sp., Synedra sp. y Tabellaria flocculosa consideradas especies con alta plasticidad ecológica. Mediante el método de ordenación NMDS se identificó que 4 estaciones del extremos sur del área de muestreo presentaron un patrón de diversidad diferente del resto de estaciones.

**Palabras claves:** Diatomeas, Gradiente geográficas, páramos, Punto de muestreo



MS.c Edwin Javier Zárate Hugo  
**Director de tesis**



Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD  
**Coordinador de Escuela**



Luis Marcelo Zamora Zhiminaicela  
**Autor**



Christopher Francisco Zhiminaycela León  
**Autor**



**ABSTRACT**

We analyzed the alpha and beta diversity of benthic diatoms in a geographical gradient in the paramos of the Cajas Massif. While using the stone scraping methodology, 32 points were sampled in 16 streams. There were 26 species identified in a total of 325,794 individuals. The most representative species were: Amphipleura pellucida, Achnantidium sp., Nitzschia sp., Navicula sp., Synedra sp., and Tabellaria floccula are considered species with high ecological plasticity. Using the NMDS sorting method, it was identified that four stations at the southern end of the sampling area presented a pattern of diversity different from the rest of the stations.

**Keywords:** Diatoms, Geographical gradient, Paramos, Sample point



MS.c Edwin Javier Zárate Hugo  
**Thesis Director**



Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD  
**Faculty Coordinator**



Luis Marcelo Zamora Zhiminaicela  
**Author**



Christopher Francisco Zhiminaycela León  
**Author**



**Translated by**

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son considerados humedales alpino neotropicales, que se encuentran en los países de, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Se ubican entre los 3.200 y 4.700 msnm en donde se alberga especies endémicas tanto de plantas como animales, las cuales están adaptadas a las condiciones físico-químicas y climáticas específicas (Luteyn, 1992). La precipitación es variable en espacio y tiempo. Con una intensidad baja de lluvia (llovizna), los vientos suelen ser fuertes y cambian de dirección, debido a las pendientes y la topografía accidentada (Buytaert, 2004). Existen diferentes tipos de páramos los cuales se clasifican en: páramos secos, páramos herbáceos, y páramos de almohadillas. Estos ecosistemas son indispensables por su gran capacidad de regulación de fuentes hídricas, y son la fuente de agua para consumo, riego y generación de energía (Hosftede, Segarra & Mena, 2003). Por estas características es muy importante su estudio y preservación.

Los páramos presentan variaciones ambientales que dependen de factores geográficos, geológicos, climáticos y antrópicos que influyen la flora, fauna y ecosistemas acuáticos (Cottenie, 2005). Particularmente estos últimos, por las variaciones ambientales mencionadas, las características biológicas que presentan cada uno de los cuerpos de agua varían naturalmente.

La importancia de los ecosistemas acuáticos para las poblaciones humanas ha impulsado el desarrollo de métodos para estudiarlos, la mayoría destinados a conocer su estado de conservación. La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, recomienda utilizar organismos de peces, macroinvertebrados y microalgas como herramienta en la evaluación del estado ecológico de aguas superficiales (Calizaya, Avendaño & Delgado, 2013).

En este contexto, en nuestra región la mayoría de los estudios se han enfocado en los macroinvertebrados como indicadores de la calidad o integridad ecosistémica de ríos, siendo las algas un grupo poco estudiado en ríos de páramo, a pesar de que cumplen funciones muy importantes para mantener el equilibrio en los cuerpos de

agua, debido a que fijan entre el 20 a 25% del carbono inorgánico y oxígeno atmosférico (Mann 1999). También producen materia orgánica para los organismos consumidores y sirven como indicadores biológicos de calidad de agua.

Las diatomeas (Bacillariophyta) son un grupo fotosintético que habitan en ambientes acuáticos, poseen un exoesqueleto se le conoce como frústula el cual proporciona una riqueza de caracteres ultraestructurales en los que se basa la clasificación de las diatomeas (Round et al. 1990). Han demostrado ser un grupo muy útil como indicadores de calidad en toda la variedad de ecosistemas acuáticos. Las algas llegan a formar colonias que se adhieren al sustrato con facilidad (Parmesan, 1996). Son un grupo que presenta una heterogeneidad espacio-temporal, la cual está representada en variaciones de la composición, biomasa y productividad respondiendo a factores ambientales como corriente, luz, temperatura, tipo de sustrato, concentración de nutrientes, conductividad y pH (Wilderman 1987, Sabater et al. 1998, Salmaso & Braioni 2007). La comunidad de algas bénticas son parte importante de la base energética en los sistemas fluviales por su contribución a la producción primaria. Razón por la cual se le ha prestado interés en la ecología y patrones de respuesta a las condiciones ambientales. Las diatomeas son importantes dentro de la biota y son utilizados como indicadores de los ambientes acuáticos. Se ha podido observar que las diatomeas no tienen una distribución al azar, sino que son el producto de interacciones tanto espaciales como temporales dentro de los factores abióticos (Ibelings et al. 1998).

Las diatomeas tienden a aumentar en condiciones favorables, mientras que cuando están expuestas a cambios la abundancia tiende a disminuir. Por ejemplo, se ha logrado comprobar que la riqueza de diatomeas depende de la variación de temperatura, presentando la mayor presencia de estos individuos en épocas de invierno (Patrick, 1971).

Actualmente existe poca información tanto biológica como ecológica acerca de las comunidades de algas, y de los factores que impulsan la diversidad de especies de diatomeas y su distribución geográfica (Mann 1999; Chepurnov et al 2004). Lo que nos genera la interrogante de cómo cambian las comunidades de diatomeas

bentónicas en ríos de páramo en una gradiente geográfica para tratar de interpretar esta información en relación a diferentes parámetros.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar la diversidad de algas bentónicas presentes en los páramos del Macizo del Cajas en relación a las gradientes geográficas.

### **Objetivos Específicos**

Analizar la riqueza y abundancia de la comunidad de diatomeas bentónicas de los riachuelos de páramo del Macizo del Cajas.

Realizar análisis del cambio de las comunidades de diatomeas bentónicas en relación a las gradientes geográficas.

## **CAPÍTULO I**

### **Materiales y Métodos**

#### **1.1 Área de Estudio**

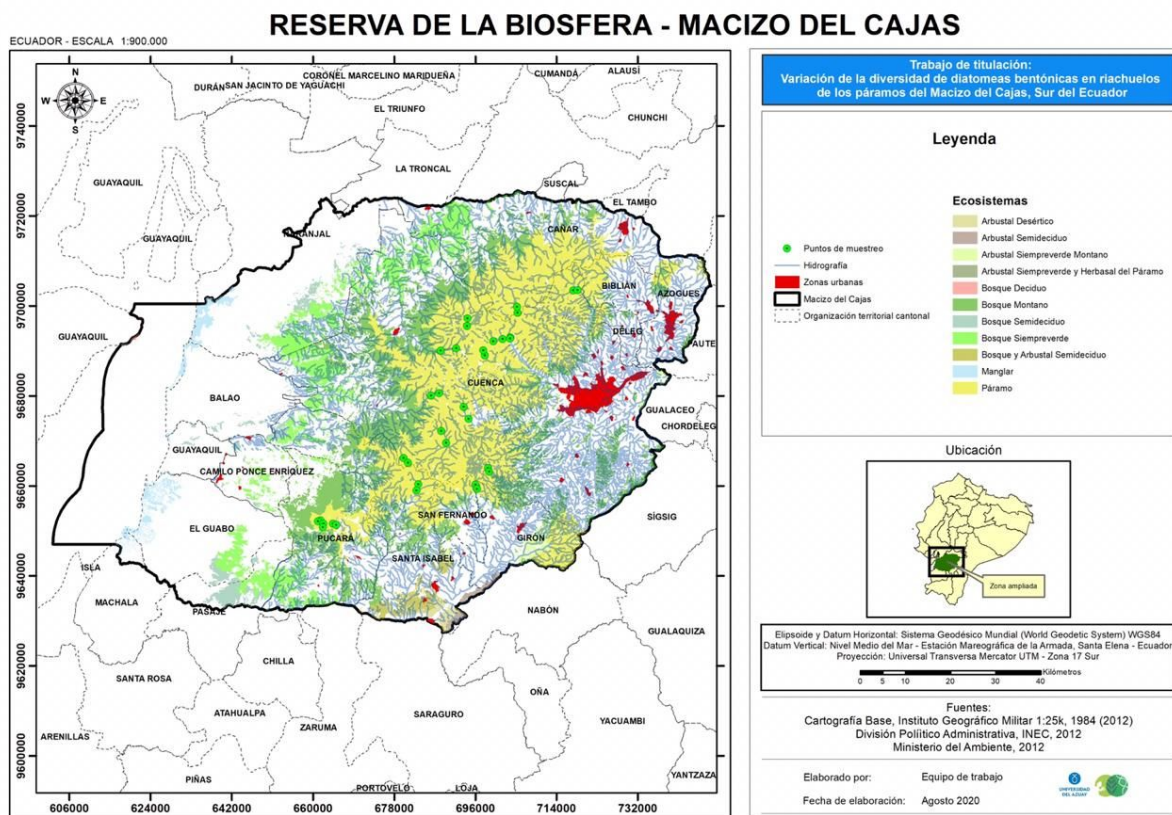
El presente estudio fue realizado en los páramos del Macizo del Cajas ubicado entre cuatro provincias: Azuay, Cañar, El Oro y Guayas, 15 cantones y 64 parroquias con un mosaico ecosistémico desde el páramo hasta una franja marino-costera en el golfo de Guayaquil (Etapa, 2013). Tiene una área total aprox. de 976.600,92 ha, en donde 892.161.52 ha, corresponden a territorio continental y 88.439,4 hectáreas corresponden a territorio marino (Coello, 2014). Posee una característica única en cuanto representa el punto más cercano de los Andes de nuestro país al Océano Pacífico. El Macizo del Cajas se encuentra ubicado al Sur

del Ecuador, su temperatura oscila entre los  $-2^{\circ}\text{C}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ , su rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 4.445 m.s.n. m. La precipitación presenta una media anual de 1072 mm, en donde el valor mínimo es de 829 mm y el valor máximo es de 1343 mm (Buytaert, 2004). Está compuesto por varios ecosistemas que son: Bosque de neblina, Bosque siempre verde montano alto y páramo siendo este último en el cual nos enfocaremos con una área aprox. de 207040 hectáreas (MAE, 2014).

Es un sitio de gran abundancia de cuerpos de agua se han contabilizado 786 aproximadamente, se encuentra distribuido entre dos vertientes oceánicas: la unidad hidrográfica del río Amazonas, cubriendo el 66.78% del área, mientras que la vertiente del Pacífico ocupa el 33.22% (MAE, 2018).

Del páramo baja agua hacia bosques y ciudades, originando ríos como Tomebamba, Mazán y Yanuncay, además otros ríos importantes son: el Luspa, el Sunincocha, el Jerez, el Atugyacu, el Angas y el Yantahuico (MAE, 2014). En la actualidad el Macizo del Cajas es fundamental para el desarrollo de actividades como turismo, pesca deportiva, y además aporta con más del 50% del agua que se usa para la generación de energía eléctrica para nuestro país (Rodríguez et. al, 2014). Nuestros puntos de muestreo se encuentran distribuidos dentro de los ríos del páramo del Macizo del Cajas abarcando las gradientes geográficas: Noreste, Noroeste, Sureste y finalmente Suroeste (Tabla 1). Las cuales poseen diferentes características ambientales como: el clima, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, su precipitación, la temperatura y su altitud, entre otros (Tabla 2).

Los páramos en el Ecuador representan un área aproximada de 1337.119 ha, estos se encuentran a lo largo de las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes, su extensión va desde el norte con Colombia y al sur con Perú (Calles et al., 2013). Su precipitación anual va en un rango entre 500 y 2000 mm, con una gran capacidad de retención de agua y fijación de Carbono; su vegetación en gran parte está conformada por gramíneas como la paja (*Stipa ichu*), y poseen una gran diversidad de fauna silvestre (Camacho, 2013).



**Fig.1. Mapa del Macizo del Cajas. Los páramos están resaltados en color amarillo. Puntos de muestreo ubicados en los riachuelos están diferenciados según la gradiente geográfica.**

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

SITIO	CÓDIGO	COORDENADAS		GRADIENTE
Río Quinoas	RT1	X: 7000100	Y: 9692173	NOROESTE
Río Quinoas	RT2	X: 7020460	Y: 9692667	NOROESTE
Río Tenguel	RTN1	X: 6617007	Y: 9652375	SUROESTE
Río Tenguel	RTN2	X: 6611920	Y: 9652110	SUROESTE

Río Dos Chorreras	RCH1	X:7037610	Y: 9693019	NORESTE
Río Dos Chorreras	RCH2	X: 7036980	Y: 9692758	NORESTE
Río Chandul	RM1	X: 7177210	Y: 9703489	NORESTE
Río Chandul	RM2	X: 7186720	Y: 9703508	NORESTE
Río Patul	RP1	X: 6941780	Y: 9695535	NOROESTE
Río Patul	RP2	X: 6942610	Y: 9697214	NOROESTE
Río Patacocha	RC1	X: 7053370	Y: 9698478	NOROESTE
Río Patacocha	RC2	X: 7052580	Y: 9699828	NOROESTE
Río Balao	RB1	X: 6880020	Y: 9680591	NOROESTE
Río Balao	RB2	X: 6862160	Y: 9680103	NOROESTE
Río Miguir	RN1	X: 6917570	Y: 9690574	NOROESTE
Río Miguir	RN2	X: 6883440	Y: 9690084	NOROESTE
Río Yanuncay	RY1	X: 6934180	Y: 9677589	SURESTE
Río Yanuncay	RY2	X: 6945270	Y: 9674899	SURESTE
Río Taitachungo	RCTH1	X: 6977830	Y:6990130	NORESTE
Río Taitachungo	RCTH2	X: 6980830	Y:9689015	NORESTE
Río San Francisco	RSF1	X: 6644250	Y: 9651620	SUROESTE
Río San Francisco	RSF2	X :6651650	Y: 9651337	SUROESTE
Río Pimo	RTAN1	X:6810510	Y: 9665139	SUROESTE
Río Pimo	RTAN2	X: 6800770	Y:9666165	SUROESTE
Río San Fernando	RSIN1	X:6833520	Y: 9660386	SURESTE
Río San Fernando	RSIN2	X:6829670	Y: 9658969	SURESTE

Río Quimsacocha Derecha	RE1	X:6988060	Y: 9663976	SURESTE
Río Quimsacocha Derecha	RE2	X:6990550	Y:9663157	SURESTE
Río Quimsacocha Izquierda	REN1	X:6960220	Y:9660295	SURESTE
Río Quimsacocha Izquierda	REN2	X:6963640	Y:9659314	SURESTE
Río Yanuncay	RYA1	X:6884320	Y:9672187	SURESTE
Río Yanuncay	RYA2	X:6895480	Y: 9669553	SURESTE

Tabla 2. Gradientes geográficos y sus respectivas características ambientales.

Gradiente Geográfica	Características Ambientales
<b>Noreste</b>	Está formada por los ríos: RCH1, RCH2, RM1, RM2, RCTH1, RCTH2 con un clima: Ecuatorial de alta montaña, poseen un tipo de suelo: Inceptisol, tienen un tipo de cobertura: Vegetación arbustiva herbácea, con precipitaciones: 750 a 1500 mm, su temperatura oscila entre: 4 °C y 10 °C además su altitud va desde 3460 m.s.n.m a 4168 m.s.n.m. (MAGAP, 2002).



<b>Sureste</b>	Está formada por los ríos: RY1, RY2, RSIN1, RSIN2, RE1, RE2, REN1, REN2, RYA1, RYA2 con un clima: Ecuatorial de alta montaña, poseen un tipo de suelo: Inceptisol, tienen un tipo de cobertura: Vegetación arbustiva herbácea, con precipitaciones: 1000 a 1500 mm, su temperatura oscila entre: 2 °C y 8 °C, poseen una altitud entre 3533 m.s.n.m a 3771 m.s.n.m. (MAGAP, 2002).
<b>Noroeste</b>	Está formada por los ríos: RT1, RT2, RP1, RP2, RC1, RC2, RB1, RB2, RN1, RN2 con un clima: Ecuatorial de alta montaña poseen un tipo de suelo: Inceptisol, tienen un tipo de cobertura: Vegetación arbustiva herbácea, con precipitaciones: 750 a 1500 mm, su temperatura oscila entre 4 °C y 10 °C, y con una altitud que va entre 3487 m.s.n.m a 4168 m.s.n.m. (MAGAP, 2002).
<b>Suroeste</b>	Está formada por los ríos: RTN1, RTN2, RSF1, RSF2, RTAN1, RTAN2 con un clima: Ecuatorial mesotérmico semi húmedo, poseen un tipo de suelo: Inceptisol, tienen un tipo de cobertura: Vegetación arbustiva herbácea, con precipitaciones: 1250 a 1500 mm su temperatura oscila entre 2 °C y 10 °C, con una altitud que va entre 3487 m.s.n.m a 3810 m.s.n.m. (MAGAP, 2002).

## 1.2 Diseño y técnicas de muestreo

En cada riachuelo escogido se ubicaron dos puntos de muestreo separados al menos 2 km uno del otro, para garantizar su independencia, teniendo 32 puntos en total. Cada punto consta de un tramo de aproximadamente de 50m en donde se raspó las piedras. Además se realizó una réplica temporal.

En cada punto las muestras se tomaron mediante el método de raspado, a través de un cepillo y un objeto de superficie conocida (25 cm<sup>2</sup> aprox.). Se escogió tres piedras en cada punto de muestreo, es decir se tomaron tres submuestras tomando en cuenta que tengan características similares como: localización, anchura,

profundidad, tipo de sustrato, presencia y abundancia de macrófitos y cantidad de luz (Cambra, Ector, Sabater, 2005).

El raspado de cada piedra se depositó en frascos de plástico de 100 ml con agua del mismo río. Las muestras fueron conservadas agregando 5 gotas de Lugol al 1% en cada frasco (en cada submuestra). Finalmente, las muestras fueron transportadas en una hielera al laboratorio de Limnología de la Universidad del Azuay para su posterior limpieza e identificación.

### **1.3 Trabajo de Laboratorio**

En el laboratorio previo a la identificación y conteo de algas, las muestras fueron sometidas a un proceso de limpieza que consiste en poner 10 ml de muestra de cada frasco y colocar en tres erlenmeyer, luego se procedió a colocar 20 ml de peróxido de hidrógeno, y se calientan las muestras a 90°C durante tres horas, este paso se lo realiza dentro de la campana extractora debido a que existe emisiones. Transcurrido el tiempo especificado se agrega 5 gotas de ácido clorhídrico con una concentración al 10% y se deja tres horas más en reposo, luego las muestras de cada Erlenmeyer se dividen en dos tubos Falcon; finalmente se realizó un proceso de centrifugación por cuatro veces en periodos de 5 minutos por cada muestra, cabe resaltar que después de centrifugar se debe eliminar el sobrenadante de la primera a la tercera centrifugada las muestras en los tubos se debe echar el sobrenadante en las tres veces aforar haciendo uso de un auxiliar de pipeteado hasta el volumen de 15ml. en la cuarta vez del centrifugado en cambio se afora hasta un volumen de 11ml.

Para la manipulación e identificación de algas se observó mediante un microscopio (OLYMPUS CX21 Y OLYMPUS CH-2) con lente 40x, se utilizó placas portaobjetos y cubreobjetos. La identificación de algas se realizó a nivel de especie, basados en las claves de fitoplancton de Bicundo Carlos & Meneses Mariágela (2006) y en el catálogo de fitoplancton de Merchán D. & A. Sparer (2015).

## 1.4 Análisis Estadístico

Analizamos la diversidad tanto a nivel local (alfa) cómo el recambio de esta en el área de estudio (beta). Consideramos como base del análisis la riqueza y la abundancia de las especies identificadas.

Todos los análisis fueron realizados mediante el software Rproject (R Core Team, 2019); específicamente utilizamos los paquetes *BiodiversityR* (Kindt & Coe, 2005) para análisis de la diversidad alfa; el paquete *Vegan* para los análisis de diversidad beta (Suzuki & Shimodaira, 2019) y el paquete *Graphics* para realizar las figuras.

### 1.4.1 Diversidad de la comunidad de diatomeas

#### 1.4.1.1 Diversidad alfa

##### Riqueza y la abundancia

- **Curvas de rango abundancia**

Mediante las curvas de rango abundancia se logró comparar la diversidad de diatomeas en punto de muestreo de cada río, en donde se puede observar los cambios que existen en la distribución de especies. Con estas figuras se puede visualizar la abundancia de especies en cada río (Medina, Leirana & Navarro, 2016).

- **Boxplots**

Representa un gráfico muy eficiente que nos permite observar la distribución de datos en donde se considera la riqueza y la abundancia de especies. La línea central representa a la mediana, es decir el 50% de la distribución de la variable en estudio; la parte superior e inferior de la caja representa el segundo y tercer cuartil, es decir el 75 y 25% de los casos respectivamente. La caja demarca el 50% de los casos. Los bigotes, tanto superior como inferior, marcan el 25% de casos más y menos elevados respectivamente (Field, Miles and Field, 2012; Correa & González, 2002).

- **Índice de Shannon**

Mediante este índice se pretendió mostrar la diferencia de las comunidades tomando en cuenta el N° de especies y la abundancia entre los diferentes puntos de muestreo. Sus valores van entre 1 y 5, donde los valores entre 3 y 5 presentan alta diversidad, y aquellos valores menores a 3 representan baja diversidad (Pla, 2006).

- **Índice de Simpson**

Este índice nos indica cual es la probabilidad de que dos individuos tomados al azar en una comunidad sean de la misma especie. Cabe resaltar que este índice considera la riqueza, en donde aquellas especies más comunes poseen mayor probabilidad en comparación a las menos dominantes. Sus valores van entre 0 y 1, donde aquellos valores más cercanos a cero representan una mayor cantidad de especies (Ferriol & Merle, 2013).

#### **1.4.1.2 Diversidad Beta, Recambio de especies**

- **Análisis Clúster**

El método clúster es un procedimiento estadístico multivariante que tiene como objetivo ordenar las observaciones en grupos, tales que el grado de asociación natural es alta entre los miembros del mismo grupo y bajo entre miembros de diferentes grupos (Gutiérrez et al., 1994). Ayudándonos a reducir una compleja cantidad de información en pequeños grupos o clusters, donde los individuos de cada uno de ellos comparten características similares (Lin & Chen, 2006). La idea es simular pseudo - muestras con las que se repetirá el clúster y después evaluar la frecuencia con la que se repite cada clúster. Para esto el algoritmo calcula dos tipos de valores: Los valores p AU (Aproximación imparcial, en rojo) y valor BP (probabilidad de Bootstrap, en verde), siendo el primero mejor y el recomendado por los creadores del paquete. En cualquiera de los dos casos, cuando los clusters con valores de p iguales o mayores al 95% nos quiere decir que poseen mayor fiabilidad, es decir es más válido el grupo (Amat, 2017).

- **Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)**

Es un método estadístico multivariante adecuado para ordenar espacialmente estaciones en función de datos de comunidades o datos ambientales. Se usa cuando los datos se presentan de manera discontinua, arbitraria o cuando no son normales, basándose en las distancias, lo que pretende es linealizar la relación entre las distancias ambientales y biológicas, la ventaja es que nos permite reducir la dimensionalidad de nuestros datos, permitiéndonos relacionar los ejes resultantes de dicha ordenación con distintas variables ambientales (Ramírez, 2016). El NMDS se diferencia de otros métodos debido a que los valores de estrés (Pr) representan la cantidad de varianza que no se ajustó. Por lo tanto cuando nuestros valores sean  $>0.05$  proporciona una representación excelente en las dimensiones reducidas,  $>0.1$  es muy bueno,  $>0.2$  es bueno con valores de estrés  $>0.3$  se dice que la ordenación proporciona una pobre representación de la variación de los datos (Borcard et al., 2011).

- **Anova de un factor**

Representa una técnica estadística multivariante de dependencia, en donde toma dos variables: una dependiente y otra independiente, y de acuerdo a sus medias compara en qué grados existe alguna similitud o diferencia entre éstas (Cárdenas, 2015). En nuestro caso, la hipótesis nula nos indica que la media de la población son similares, mientras que la hipótesis alternativa nos señala que son diferentes (Boqué, 2014).

## **CAPÍTULO II**

### **Resultados**

## Riqueza y abundancia

Se observaron un total de 325.794 individuos de algas diatomeas, pertenecientes a 126 especies. Las diatomeas más abundantes a nivel de especie fueron *Tabellaria flocculosa* (54507), *Amphipleura pellucida* (41826), *Navícula sp1.* (16069), *Synedra sp1.* (27614) y *Achnanthidium sp1.* (22553) individuos.

### 2.1 Curvas de Rango-Abundancia

De la figura 2 a la figura 4 se presentan las curvas de rango-abundancia, en donde nos explica la dominancia de las especies por punto de muestreo. En donde el color verde llega a representar nuestro primer punto de muestreo y el color rojo nos indica el segundo punto de muestreo en cada una de nuestros gráficos.

En cada punto muestreado existió una dominancia de diferentes especies de diatomeas bentónicas alcanzando valores máximos en los puntos: RTN1 con el 70 de proporción en *Melosira sp1*, en RE1 con un 40% de *Melosira varians*, en REN1 con un 39 de proporción de *Melosira varians*, finalmente en los puntos RCTH1 y RCTH2 existe una proporción entre el 30 y 32 de las especies *Synedra sp* y *Tabellaria flocculosa*. Otros puntos de muestreo presentaron curvas más suavizadas, en donde el valor de dominancia fue menor en los siguientes puntos: RN1, RN2, REN2, RB2 con una proporción de 15 en *Tabellaria flocculosa*, *Amphipleura pellucida* y *Synedra sp*, *Tabellaria sp1* respectivamente, en RY2 con una proporción de 14 en *Achnanthidium sp*.

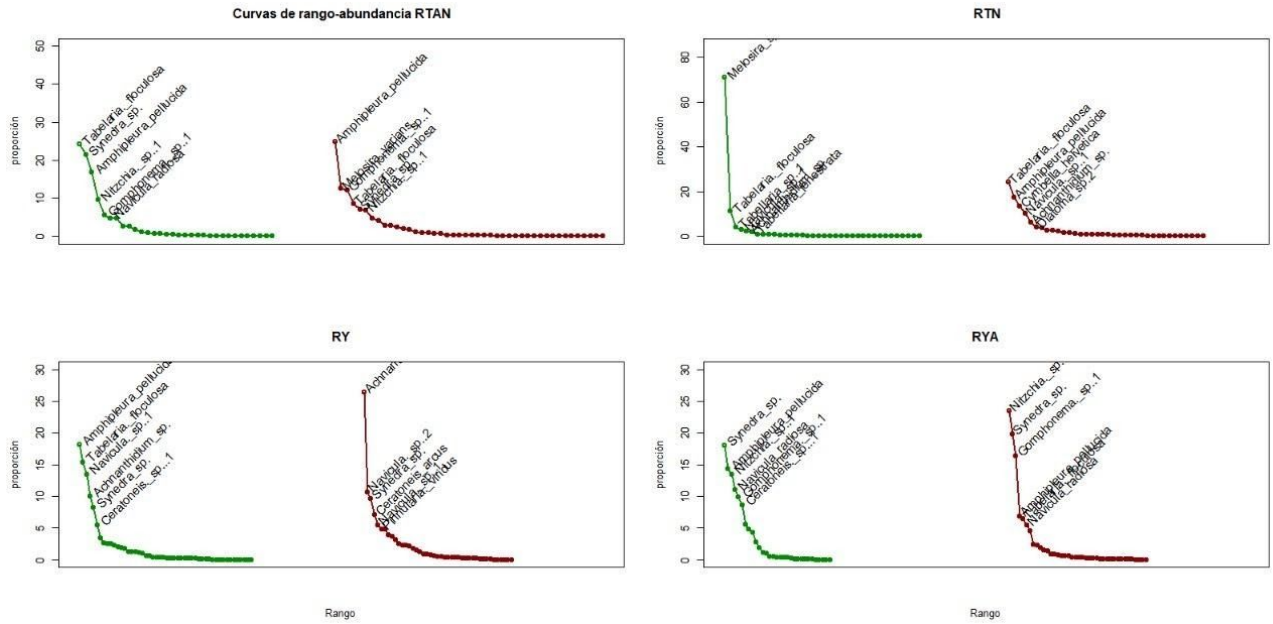


Figura 2. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RTAN (Río Pimo), RTN (Río Tenguel), RY (Río Yanuncay), RYA (Río Yanuncay).

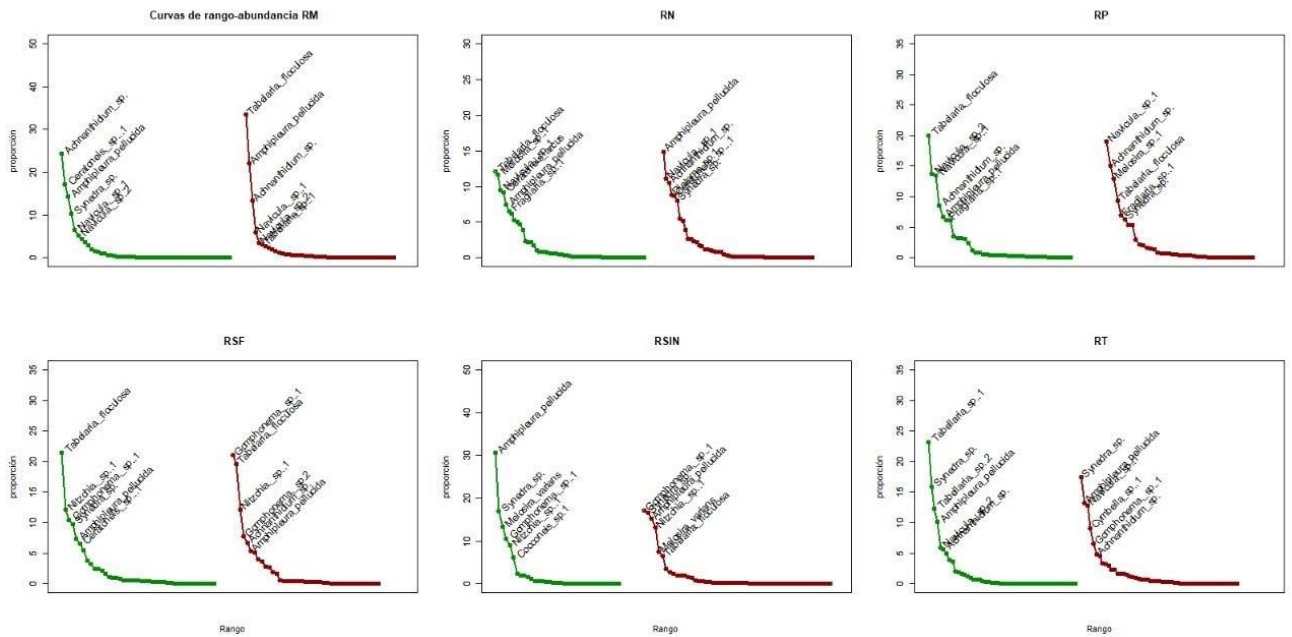


Figura 3. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RM (Río Chandul), RN (Río Miguir), RP( Río Patul), RSF(Río San Francisco), RSIN (Río San Fernando ), RT (Río Quinoas).

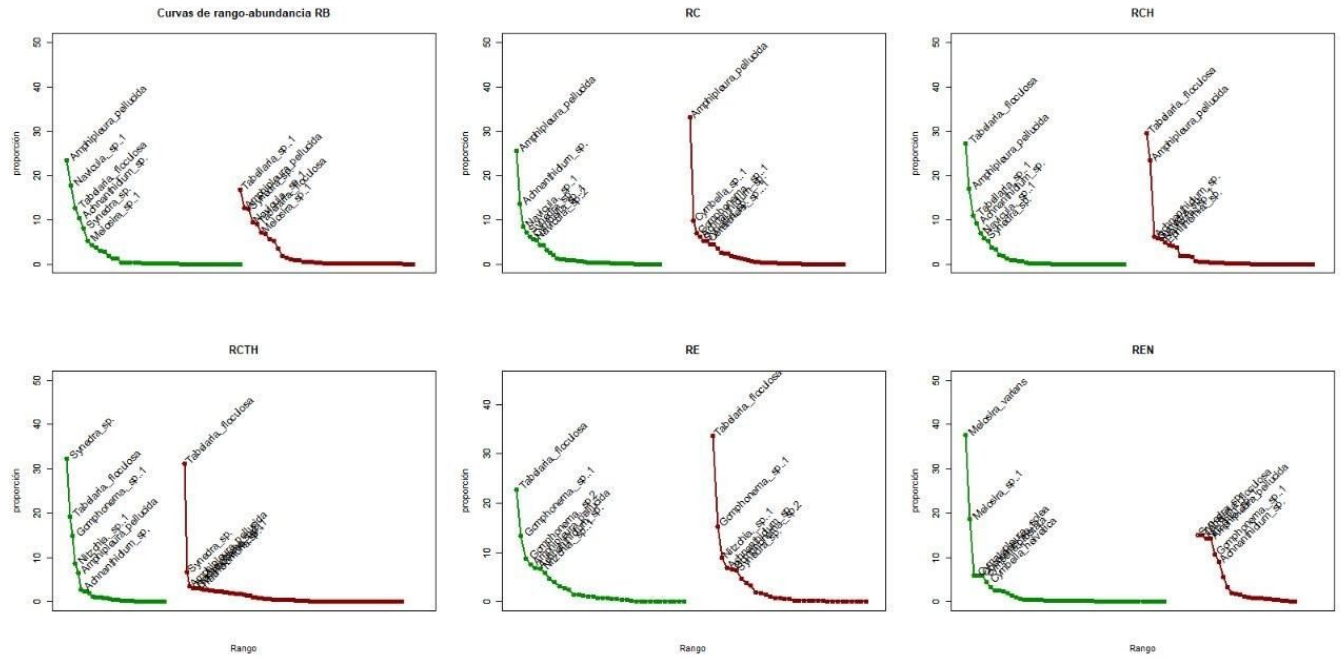


Figura 4. Curva de rango- abundancia de los siguientes ríos: RB(Río Balao ), RC(Río Patacocho), RCH (Río Dos Chorreras), RCTH(Río Taitachungo ), RE(Río Quimsacocha Derecha), REN(Río Quimsacocha Izquierda).

La Figura 5 representa los valores más altos de la mediana de riqueza de especies se encontraron en las estaciones RCTH1 y RCTH2, RTAN1 y RTAN2, finalmente RYA1 y RYA2. En el Anexo2 se puede observar el detalle de la abundancia de diatomeas por punto de muestreo, llama la atención la gran variación entre los puntos RCTH1 y RCTH2, siendo del mismo río.



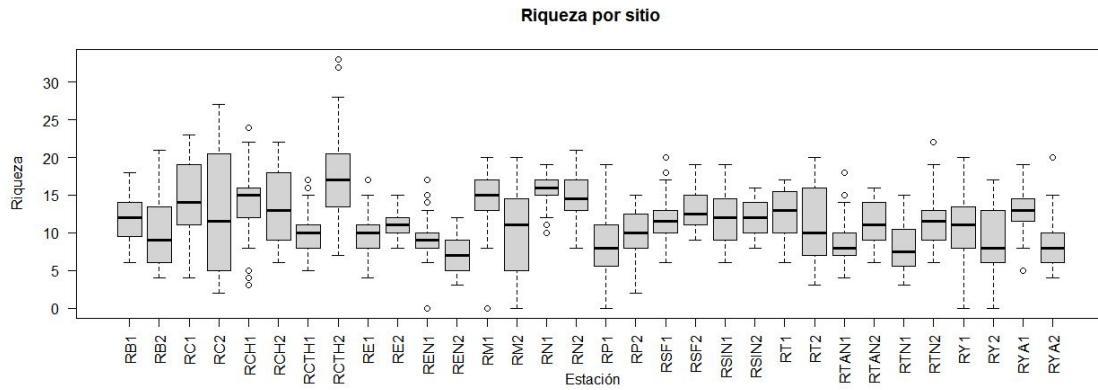


Figura 5. Boxplot de riqueza de diatomeas de las 32 estaciones de muestreo ubicado en 16 riachuelos.

## 2.2 Índices de diversidad alfa

### 2.2.1 Índice Shannon por punto de muestreo

Se puede observar en la Figura 6 del índice de Shannon, los puntos de muestreo que indican en base a sus medianas mayor diferencia en la diversidad son: RCTH1, RCTH2, REN1, REN2, RYA1, RYA2. Entretanto los demás puntos de muestreo no llegaron a representar una variación significativa.

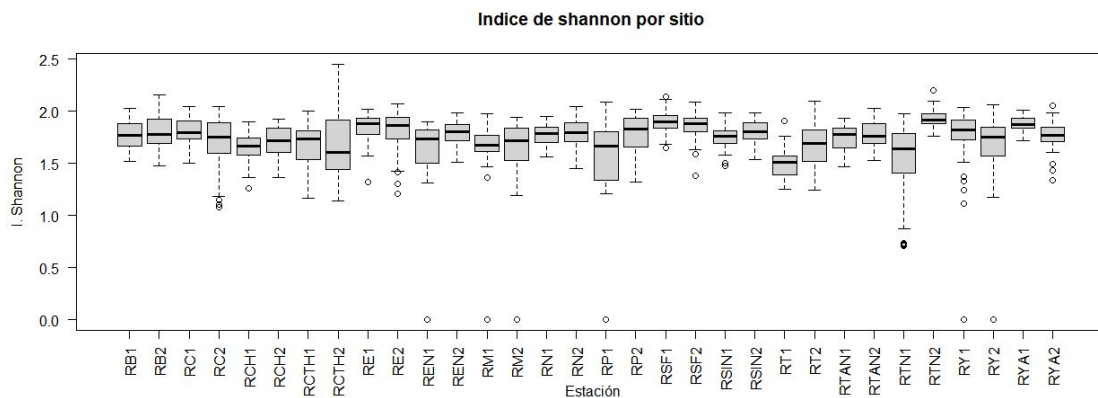


Figura 6. Boxplot índice de diversidad Shannon de los 32 puntos de muestreo ubicados en 16 riachuelos (1 representa primer punto de muestreo, 2 representa segundo punto de muestreo en cada riachuelo).

## 2.2.2 Índice Simpson por punto de muestreo

Se puede observar en la figura 7 del índice de Simpson, los puntos de muestreo que muestran mayor diferencia de acuerdo a sus medianas fueron: RCTH1 y RCTH2, REN1 y REN2, RYA1 y RYA2. En cuanto a los demás puntos de muestreo no llegaron a representar una variación significativa.

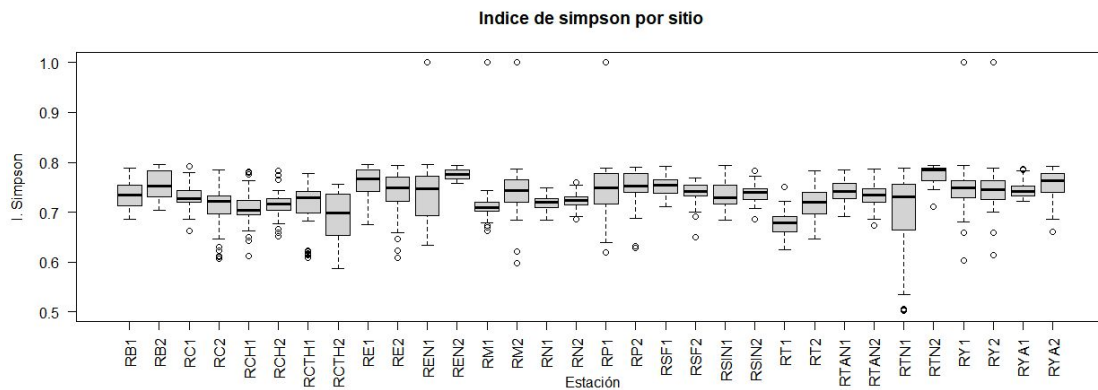


Figura 7. Boxplot índice de diversidad Simpson de los dieciséis ríos (1 representa primer punto de muestreo, 2 representa segundo punto de muestreo).

## 2.2.3 Anova

El análisis de varianza (ANOVA) de medias repetidas entre los diferentes puntos de muestreo nos indicó que existió una diferencia estadística significativa entre las medias de los diferentes sitios de estudio cuando analizamos la abundancia se obtuvo un valor de ( $p=0.0119$ ,  $F=4.385$ ) Anexo 3, también realizamos el análisis de varianza (ANOVA) riqueza donde se obtuvo un valor de ( $p=0.0209$ ,  $F=3.804$ ) Anexo 4.

## 2.4 Diversidad Beta

### 2.4.1 Análisis Clúster

En la Figura 8 se muestra los resultados del análisis clúster de abundancia según nuestros puntos de muestreo, el cual nos demuestra la similitud entre cada uno de ellos, se evidenció tres grupos, en donde los puntos REN1, RTN1 y RY2

pertencientes al primer grupo marcaron una tendencia hacia la gradiente Sureste, mientras que el grupo 2 y 3 no presentan un patrón geográfico.

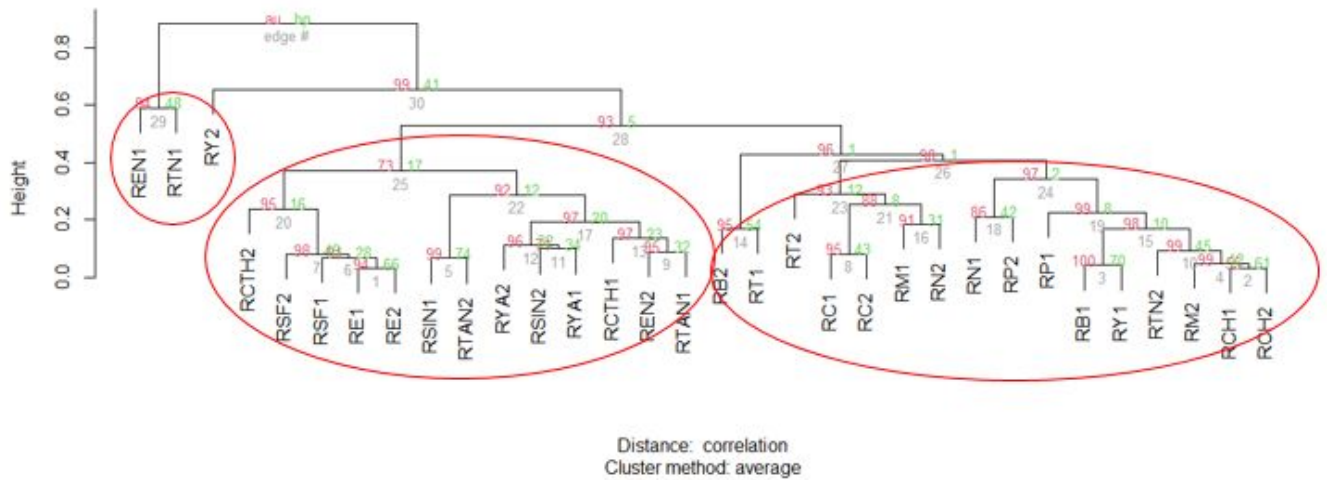


Figura 8. Análisis clúster de la abundancia por punto de muestreo en cada río. En donde tenemos dos tipos de valores p: AU (aproximación imparcial, en rojo) y valor BP (probabilidad de Bootstrap, en verde).

La Figura 9, nos presenta el análisis clúster de riqueza en donde existen dos grupos. El cual el primero está compuesto por 18 puntos, mientras que el segundo grupo está integrado por 14 puntos no existiendo una diferencia marcada al analizar la riqueza de diatomeas bentónicas entre los puntos de muestreo y las gradientes geográficas.

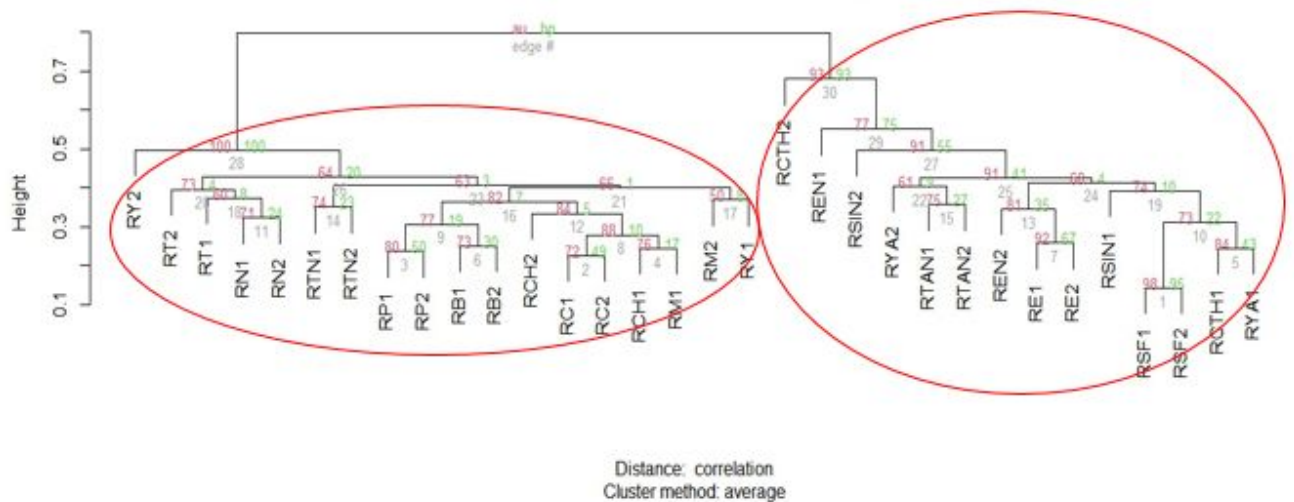


Figura 9. Análisis clúster de riqueza de especies por punto de muestreo en cada río. En donde tenemos dos tipos de valores p: AU (aproximación imparcial en rojo) y valor BP (probabilidad de Bootstrap en verde).

## 2.5 Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

Se puede observar que en los centroides de cada polígono correspondientes a los diversos puntos de muestreo analizados de acuerdo a la gradiente geográfica Noreste, Sureste, Noroeste y Suroeste. Nuestros valores  $r^2 = 0.3219$  nos indica que a pesar que los puntos llegan a solaparse no tienden a ser similares entre ellos. En cuanto al valor de Stress: 0.1004238 el cual nos proporciona una representación muy buena de centroides de acuerdo a la regla general, puesto que todos nuestros ríos están dentro del Macizo del Cajas (Borcard et al., 2011).

### Interpretación gráfica de los NMDS

En la Figura 10 se puede observar las áreas marcadas por la composición de especies, en donde existen zonas de traspale demostrándonos que existen características en la composición que son comunes. Los puntos de muestreo que no llegan a solaparse representan una composición de especies diferentes, las estaciones que más se diferencian fueron las de la gradiente Sureste marcada por tres puntos de muestreo que se diferencian, esto quiere decir que la estructura de la comunidad de diatomeas en las diferentes estaciones representan características que no se encuentran en otras estaciones RY2, REN1 y RSIN1. En el Suroeste se puede observar que existe una dimensión que no se traslapa con las otras formas en donde las estaciones RTN1 y RSF1 son las que más se diferencian en esta



## CAPÍTULO III

### Discusión

En nuestro estudio se analizó la diversidad alfa y beta de diatomeas bentónicas en el páramo del Macizo del Cajas en donde se registró una abundancia total de 325.794 individuos de algas diatomeas las cuales fueron clasificadas en 126 especies en 32 puntos muestreados. En cuanto a la diversidad beta a través del análisis clúster de abundancia se identificaron 3 grupos siendo el grupo más diferenciado aquel conformado por los puntos: RTN1 y REN1. Mientras que el análisis clúster de riqueza identificó 2 grupos observándose que RY2 y RCTH2 son puntos que presentaron una composición diferente de especies dentro de cada uno de los grupos identificados. Mediante el análisis NMDS se intentó revelar las diferencias en la composición de las comunidades de diatomeas en base las gradientes geográficas.

La diversidad y la composición taxonómica de las comunidades de diatomeas bentónicas resultan del balance entre procesos que operan a escala regional como la especiación y la dispersión geográfica que suman especies a las comunidades y de los procesos capaces de promover depredación, exclusión competitiva, extinciones locales entre otras (Ricklefs, 1987). Por otro lado, la variación de diversidad puede deberse también a factores ambientales como: la gradiente geográfica que va acompañada con la variación de la temperatura y el aumento o disminución de la radiación UV que podría afectar directamente la actividad fotosintética, disminuyendo en la abundancia de especies que no son capaces de adaptarse a estas condiciones (Lukavsky, 1994).

En los resultados obtenidos en nuestro estudio se puede notar que existe una gran riqueza y abundancia de especies de acuerdo a las curvas rango - abundancia en donde reflejaron una dominancia de las siguientes especies: *Amphipleura pellucida*, *Achnantidium sp.*, *Nitzschia sp.1*, *Navícula sp. 1*, *Synedra sp.* y *Tabellaria flocculosa*. En un estudio realizado por Hurtado & Morales en 2016, en los ríos Ishcayrumi-Yanuncay y Matadero del Parque Nacional Cajas encontraron 70

géneros de algas perifíticas siendo los géneros más abundantes *Achnanidium*, *Ghomphonema*, *Synedra*, *Nitzschia* y *Tabellaria*. Esto debe a que ciertas algas tienen afinidad a diferentes parámetros fisicoquímicos como: Conductividad ( $\mu\text{s}$ ), Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Nitratos (ppm), pH, Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), Sulfatos (ppm), Oxígeno Disuelto ( $\text{mg/l}$ ), Turbiedad (NTU) y Cloruros (ppm). Otro estudio de diversidad realizado por Ramírez (2008) en la región de Saturbán en los páramos de Colombia donde encontró 157 especies de diatomeas perifíticas distribuidas en 16 familias y 30 géneros esta diversidad y riqueza se debe a la similitud de hábitat y a la baja fluctuación de las variables físicas, químicas e hidrológicas, Sin embargo, esta diversidad también podría estar relacionada con el efecto de la interacción biológica que se da con los herbívoros, debido a la eficiencia diferencial en el consumo de algas y a la importancia de la herbivoría en el mantenimiento de la diversidad y en el control sobre las poblaciones (McCauley y Briand, 1979; Cuker, 1983). La diferencia en cuanto a la diversidad y abundancia de algas perifíticas (diatomeas) puede deberse al número de ríos analizados y por la cantidad de réplicas ejecutadas entre nuestro estudio y los trabajos anteriormente mencionados. En un estudio realizado en la microcuenca del río Chibunga observó una diversidad de 62 especies de diatomeas, las especies más dominantes fueron: *Navícula cryptotenella*, *Nitzschia inconspicua*, *Staurosira brevistriata*, *Brachysira neglectissima*, *Pinnularia borealis* var. *Scalari*, *Navícula riediana*, *Mayamaea permitis*, *Cocconeis placentula* y *Eolimna subminuscula*, estas diatomeas se han encontrado principalmente en fuentes hídricas contaminadas con materia orgánica y con metales (Pb, Cr, Hg y Cd) un ejemplo claro es el Cadmio, el cual limita el crecimiento de algas a nivel de población (Serrano, 2018).

Las especies menos abundantes encontradas en nuestro estudio dentro del páramo del Macizo del Cajas fueron: *Anabaena* sp. 1, y *Stephanodiscus* sp.1 con 3 individuos, mientras *Chlamydomales* sp.1 tuvo 2 individuos y finalmente especies del género *Coleneis* sp, *Planktosphaeria* sp.1 con tan solo un individuo. Esta disminución de especies puede deberse a la combinación de factores hidráulicos, fisicoquímicos y geológicos de la cuenca de cada río (Bustamante et al., 2008). Según Rautio (2000) dicha diversidad puede deberse a que las diatomeas se caracterizan por presentar pocas especies en alta abundancia esto se debe a la

disponibilidad de recursos y a las condiciones extremas las cuales permiten el desarrollo de pocas especies dominantes.

En el análisis de varianza (ANOVA) de abundancia y riqueza obtuvimos un valor ( $p=0.0209$  y  $p=0.0119$ ) rechazando nuestra hipótesis nula la cual nos indica que las medias entre los puntos muestreados y las gradientes geográficas son iguales. Al realizar el análisis (ANOVA) de abundancia de diatomeas las gradientes (Sureste-Noreste) y (Suroeste-Noreste) fueron las que más diferencia presentaron. Passy (2009) nos explica que estas diferencias podrían estar entendidas por las diferentes gradientes ambientales que atraviesan por varios fenómenos físicos, químicos y ambientales; postulando de esta manera a la gradiente ambiental como un factor con alto grado de influencia en la composición de las comunidades de diatomeas bentónicas, con lo que se confirma la complejidad ambiental de las regiones montañosas. Se ha demostrado que la variación espacial en la composición de diatomeas es mayor que la variación estacional, aún si se presentan cambios estacionales en ciertos factores ambientales (Lamb y Lowe, 1987; Stevenson y Hashim, 1989; Sherwood et al., 2000).

De acuerdo al análisis clúster de abundancia se observó que en base a la composición de especies por punto muestreado, se dividieron en tres grupos (Tabla 5) existiendo diferencia entre ciertos puntos de muestreo y las gradientes geográficas; llama la atención la exclusividad del Grupo 1, perteneciente exclusivamente al Sureste (REN1, RTN1, RY2), lo que sugiere la existencia de un patrón diferenciado en esta región. Sierra 2014 en su estudio sugiere que la gradiente geográfica podría ser un factor determinante en la agrupación de las comunidades de diatomeas bentónicas debido a que cada gradiente posee diferentes características como: el tipo de clima, la temperatura, la precipitación, rango altitudinal, el tipo de suelo y el tipo de cobertura vegetal.

Tabla 5. Agrupaciones formadas al analizar la abundancia entre los puntos de muestreo y la gradiente geográfica.



GRADIENTE	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
NORESTE		RCTH1 y RCTH2	RM1, RM2, RN1, RN2, RCH1, RCH2
SURESTE	REN1, RTN1, RY2	RSF1, RSF2, RE1, RE2, RSIN1, RSIN2, RYA1, RYA2, REN2	RY1
NOROESTE			RB1, RB2, RT1, RT2, RC1, RC2, RTN2
SUROESTE		RTAN1, RTAN2	

Al analizar el clúster de riqueza se identificó dos grupos (Tabla 6) en donde no existió un patrón de riqueza en función de las gradientes geográficas. Dichas similitudes puede deberse a factores químicos que no fueron objetivos en nuestro estudio pero que pueden estar influenciando en las similitudes de comunidades de diatomeas bentónicas como nos explica Rivera y Díaz (2004) en donde consideraron variables como: el pH, conductividad y sólidos disueltos obteniendo una similaridad de 80% entre las comunidades de diatomeas bentónicas presentes en sus estudios realizados en la Cuenca alta del río Bogotá. Ramírez y Plata Díaz (2008) en su estudio realizado en el páramo de Santurbán concluyó que cuando existe la ausencia de condiciones químicas extremas como: la conductividad, el pH, la similitud en la composición de especies entre zonas es mayor.

Tabla 6. Agrupaciones formadas al analizar la riqueza entre los puntos de muestreo y la gradiente geográfica. Llama la atención la ausencia de estaciones del Noroeste en el Grupo 2.

GRADIENTE	Grupo 1	Grupo 2
NORESTE	RCH1, RCH2, RM1, RM2	RCTH1, RCTH2
SURESTE	RY1, RY2	REN1, REN2, RSIN1, RSIN2, RYA1, RYA2, RSF1, RSF2
NOROESTE	RT1, RT2, RN1, RN2, RP1, RP2, RB1, RB2, RC1, RC2	
SUROESTE	RTN1, RTN2	RTAN1, RTAN2,

Mediante el análisis multidimensional no métrico (NMDS) se pudo observar que la composición de especies de la comunidad de diatomeas se agrupó de acuerdo a las gradientes geográficas en donde ciertos puntos muestreados demostraron diferencias significativas. Jongman, (1995) explica que las variaciones pueden estar relacionadas con parámetros ambientales no medidos y que estaban estructuradas espacialmente, otra posible explicación es la similitud ambiental en sitios cercanos al tener una homogeneidad en la cobertura vegetal o climática. También se encontró similitud en la gradiente Noroeste y Suroeste en la composición de especies, esto puede a que algunas diatomeas bentónicas requieren de temperaturas específicas y poseen una baja dispersión limitando su colonización (Krammer & Lange, 1986). Según Nodine y Gaiser, (2013) las diferentes agrupaciones que se formaron pueden ser analizadas como producto de la influencia de la gradiente ambiental, como ya se menciona en otros estudios a diferente altitud y latitud. En otro estudio realizado por Pan (2000) en comunidades de diatomeas bentónicas son consideradas tradicionalmente más reguladas por las condiciones ambientales locales que por factores climáticos, vegetativos y geográficos a gran escala. Sin embargo, los patrones de distribución de cada región pueden llegar a ser bastante similares, por lo tanto se ha demostrado que los individuos de diatomeas bentónicas no poseen una distribución al azar, sino que son el producto de las interacciones espaciales (Pedraza & Donato, 2011). Según Hernández- Atilano (2005) concluyó que la intensidad lumínica alta combinada con la disponibilidad de sustratos duros y nutrientes pueden influenciar en la densidad de diatomeas bentónicas.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

Analizando las diferentes gradientes geográficas (Noreste, Sureste, Noroeste y Suroeste) se puede concluir que la gradiente Sureste con 98 especies presentó mayor riqueza, mientras que la gradiente Noroeste con 153.746 individuos marcó la mayor abundancia. De acuerdo a los datos y análisis realizados en nuestra área de estudio, se detectó en el Sureste un patrón diferente de diversidad de especies. Estas diferencias se determinaron analizando por abundancia mediante el análisis Cluster y por la composición de especies mediante el NMDS. Esto sugiere que en los páramos del Sureste del Macizo del Cajas existen condiciones ambientales diferentes al resto del área del Macizo del Cajas.

Estos hallazgos permiten plantearse nuevas preguntas en relación a la variabilidad de las condiciones ambientales en este sistema montañoso, que estarían influenciando los parámetros bióticos, lo cual es muy importante tomar en cuenta al momento de realizar programas de monitoreo de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Para futuros estudios y luego de nuestra experiencia obtenida tanto en el trabajo de campo, como de laboratorio y analizando nuestros datos. Se recomienda profundizar estudios localizados de los patrones de biodiversidad de diatomeas en la gradiente Sureste complementando nuestro estudio con parámetros ambientales y físico químicos, para determinar las razones de estas diferencias.

## Bibliografía

Amat, J. (2017). Clustering y heatmaps: aprendizaje no supervisado. RPubS. Obtenido de: [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/310338\\_427f88c686914aaea28636ff38d0fe71.html#](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/310338_427f88c686914aaea28636ff38d0fe71.html#)

Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universitat Rovira i Virgil*.

Borcard, Daniel, Francois Gillet, and Pierre Legendre. 2011. Numerical Ecology with R. doi:10.1007/978-0-387-78171-6.

Bustamante, C., S. Torres y L. Zapata. 2008. Composición y estructura de la comunidad de microalgas perifíticas del Río Quindío. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 35 pp.

Buytaert, W., 2004. The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven

Cambra, J., Ector, L., y Sabater, S. (2005). Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva del MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para Fitobentos Microalgas Bentónicas. Confederación Hidrológica de EBRO, URS. Recuperado de: [http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual\\_fitobentos.pdf](http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual_fitobentos.pdf)

Calles Juan., Ulloa Janette., & Victor López (2013). El estado de conocimiento y avance de investigación del impacto del cambio climático en páramos ecuatorianos.

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 pública*, 30, 58-63.

Camacho, M. (2013). Los páramos Ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible.

Cárdenas, J. (2015). Anova de un factor. Networkianos. Obtenido de: <http://networkianos.com/anova-de-un-factor-que-es-como-analizar>

Correa, J., & González, N. (2002). Gráficos estadísticos con R, 18. Obtenido de: <http://doi.org/10.1109/mis.2017.2421500>.

Cottenie, K. 2005. Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecology Letters*8: 1175–1182.

Chepurnov VA, Mann DG, Sabbe K et al (2004) Experimental studies on sexual reproduction in diatoms. *IntRev Cytol* 237:91–154.

CUKER B. Grazing and nutrient interactions in controlling the activity and composition of the epilithic algal community of an arctic lake. *Limnol. Oceanogr.*1983; 28(1):133-141.

Ferriol, M., & Merle, H. (2013). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad., 10. Obtenido de: [https://riune.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft World- articulo docente def. Pdf?sequence=1](https://riune.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft%20World-2013-01-10-articulo_def.Pdf?sequence=1)

Field, Andy, Jeremy Miles, and Zoe Field. 2012. *Discovering Statistics Using R*. Edición: 1. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications Ltd.

Greenacre, M. (2008). *La práctica del análisis de correspondencias*. Fundación BBVA.

Gómez y Ortega (2007), *Biocomercio sostenible, biodiversidad y desarrollo en Colombia*. Fondo Biocomercio. Bogotá

Gutiérrez, R.; González, A.; Torres, F. y Gallardo, J.A (1994). *Técnicas de Análisis de datos multivariable. Tratamiento computacional*.

Hofstede, R., Segarra, P. and Mena, P. V., 2003. *Los Páramos del Mundo*. GlobalPeatland Initiative/ NC-IUCN/Eco Ciencia, Quito.

Hurtado, M & Morales, L. (2016). Influencia de las variables físico-químicas sobre la estructura de la comunidad de algas perifíticas en las cuencas altas de los ríos Ishcayrumi-Yanuncay y Matadero del Parque Nacional Cajas. Tesis Biólogo con mención en Ecología y Gestión Cuenca-Ecuador.

Koppen J. 1975 A morphological and taxonomic consideration of tabellaria (Bacillariophyceae) from the north central United States. *Journal of Phycology*, 11: 236-244.

Klindt, 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.

Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986) Bacillariophyceae. 1. Tael: Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1 (eds J. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer), pp. 1–876.

Lin, G. y L. Chen. (2006). Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology* 324, pp 1-9.

Luteyn, J. L., 1992. Páramos: why study them? In: Balslev, H. and Luteyn, J. L. (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press London, pp. 1-14.

Mann DG (1999) the species concept in diatoms. *Phycologia* 38:437–495

MAE (2014). Parque Nacional El Cajas. Ministerio del Ambiente. Obtenido por: <http://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-cajas/>

MAGAP. (2002). Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra (Caracterización de uso del suelo), escala 1:250.000.

Medina, R., Leirana, J., & Navarro, J. (2016). Métodos gráficos para la explotación de patrones de diversidad en Ecología. *Bioagrocencias*, 9(1965), 11-18.

Moschini, C. (1996). Importancia, Estructura o Dinámica de Comunidad de Perifítica nos Ecosistemas Aquáticos Continentais. Sao Luis, Maranhao, Brasil. Recuperado de: <https://www.ib.usp.br/limnologia/perspectivas/arquivo%20pdf/capitulo%206.pdf>.

McCauley E, BRIAND F. Zooplankton grazing and phytoplankton species richness: Field tests of the predation hypothesis. *Limnol Oceanogr.* 1979; 24(2):243-252.

Nodine, E. R., & Gaiser, E. E. (2013). *Distribution of Diatoms along Environmental Gradients in the Charlotte Harbor, Florida (USA), Estuary and Its Watershed: Implications for Bioassessment of Salinity and Nutrient Concentrations*. *Estuaries and Coasts*, 37(4), 864–879. Doi: 10.1007/s12237-013-9729-6

Pan, Y., R.J. 2000. Eco regions and benthic diatom assemblages in Mid- Atlantic Highlands streams, USA. *Journal of the North American Benthological Society* 19:518–540.

Parmesan, C. (1996). Climate and species' range. *Nature*, 382, 765-766.

Passy, S. I. (2009). *The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. Global Ecology and Biogeography*, 18(3), 383–391. doi:10.1111/j.1466-8238.2009.00453.x

Pedraza, E., & Donato, G. (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los andes colombianos. *Limnología. Icn.* Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/236031047\\_Pedraza\\_Donato\\_DIVERSIDAD\\_Y\\_](https://www.researchgate.net/publication/236031047_Pedraza_Donato_DIVERSIDAD_Y_)

Potapova M. 2011. *Tabellaria vetteri*, a new diatom (Bacillariophyceae; Tabellariaceae from Pennsylvania, USA. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 161: 35-41.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia Basada en EI. *Interciencia*, 31(8), 583-590. Obtenido de: <http://redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>.

Ramírez, A. (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. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia.

Ramírez, L. (2016). Análisis Multivariante. RPubs. Obtenido de: <https://rpubs.com/osoramirez/221493>

Ramírez, A. y Plata-Díaz. 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): 199-216.

RAUTIO M, S SORVARI & A KORHOLA (2000) Diatom and crustacean zooplankton communities, their seasonal variability and representation in the sediments of subarctic Lake Saanajärvi. *Journal of Limnology* 59: 81-96.

RCore Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rodríguez, S., Rodas, F., Schubert, A y S. Vasco. 2014. Áreas de Biosfera Macizo del Cajas, Experiencias de Desarrollo Sostenible para el Buen Vivir. ETAPA EP, Municipio de Cuenca, Ministerio del Ambiente, SENPLADES, Ministerios de Relaciones Exteriores, Cooperación Alemana GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional, Cuenca, Ecuador. [http://www.biosferacajas.org/documentos/biosfera\\_es.pdf](http://www.biosferacajas.org/documentos/biosfera_es.pdf).

RICKLEFS, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235: 167-171.

Round FE, Crawford RM, Mann DG (1990) *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge Univ. Press, Cambridge

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. Cuenca- Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8324>

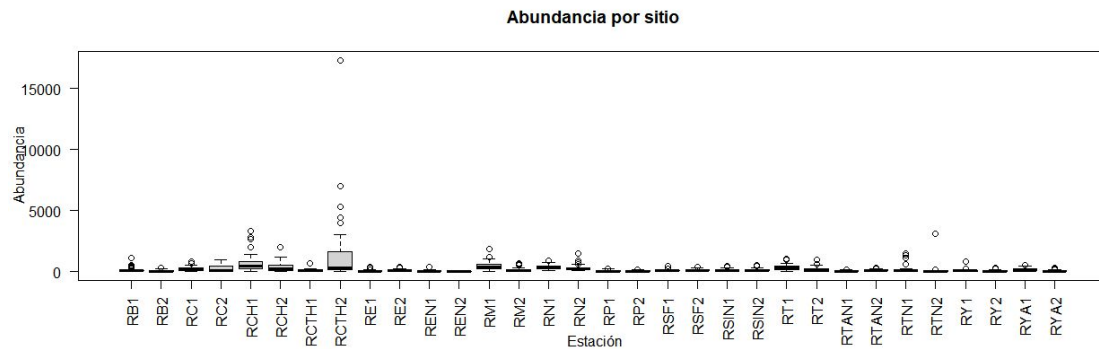
Serrano, P. (2018). DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA, CHIMBORAZO. Universidad Internacional SEK. Quito- Ecuador. Obtenido de: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2885/1/DIVERSIDAD%20Y%20RIQUEZA%20DE%20ESPECIES%20DE%20DIATOMEAS%20EPIL%C3%8DTICAS%20DE%20LA%20MICROCUENCA%20DEL%20R%C3%8DO%20CHIBUNGA,%20CHIMBORAZO.pdf>

Suzuki, R., Shimodaira, H. (2015). Pvcust: Hierarchical Clustering with P-values Multiscale Bootstrap Resampling. R package versión 2,0-0. [https:// CRAN.R-project.org/package=pvcust](https://CRAN.R-project.org/package=pvcust)

VILA I & H MÜHLHAUSER (1987) Dinámica de lagos de altura, perspectivas de investigación. *Archivos de Biología y Medicina Experimentales (Chile)* 20: 95-103.



## ANEXOS



Anexo a. Boxplot de abundancia de diatomeas de 16 ríos de muestreos, cada uno representa un punto de muestreo en cada río.

Tabla 3. Análisis de varianza de Abundancia (ANOVA).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Gradiente</b>	3	1.65E+09	550270809	4.385	0.0119
<b>Residuals</b>	28	3.51E+09	125503548		

Tabla 4. Análisis de varianza de Riqueza (ANOVA).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>var\$GRADIENTE</b>	3	832.7	277.58	3.804	0.0209
<b>Residuals</b>	28	2043	72.96		

**Tabla 7.** Resultados de cálculos de diversidad beta (NMDS) dependiendo de su disposición según la gradiente Noreste, Noroeste, Sureste, Suroeste.

	NMDS1	NMDS2
RCH1	-0.46338	-0.05402603
RCH2	-0.4416965	-0.05845466
RCTH1	0.5867851	-0.06787422
RCTH2	0.5485039	0.66700129
RM1	-0.3943762	-0.04954966
RM2	-0.4317377	-0.08593465
RSIN2	0.6093923	0.07473096
RB1	-0.4407127	-0.10475369
RB2	-0.4189152	-0.03330263
RC1	-0.491618	-0.04576709
RC2	-0.381161	0.08540238
RN1	-0.4608112	0.0553311
RN2	-0.4617784	0.00510685
RP1	-0.3799008	-0.12083338
RP2	-0.3819079	-0.17291357
RT1	-0.5297848	0.01965269
RT2	-0.4638277	0.1660448
RE1	0.5201727	-0.27612647
RE2	0.6290515	-0.17049171

REN1	0.2946791	0.87130873
REN2	0.5661978	-0.2211991
RSIN1	0.692369	0.09643527
RY1	-0.4378685	0.03533778
RY2	-0.6972287	0.1419619
RYA1	0.6128363	-0.12518816
RYA2	0.588985	-0.03315121
RSF1	0.609059	-0.08975404
RSF2	0.6184984	-0.14598905
RTAN1	0.6094462	-0.20365351
RTAN2	0.6923213	-0.07434326
RTN1	-0.5118355	-0.20416547
RTN2	-0.3897569	0.11915781



Anexo c. Equipos y Materiales utilizados para la limpieza de Diatomeas Bentónicas.



Ilustración 1. Muestras listas para la limpieza.



Ilustración 2. Microscopio (OLYMPUS CX21 Y OLYMPUS CH-2) con lente 40x.



Ilustración 3. Muestras de microalgas para la limpieza.

## FASE DE CAMPO



Ilustración 4. Punto de muestreo en el río Quimsacocha.



Ilustración 5. Piedras con las muestras de microalgas listas para su recolección.



Ilustración 6. Toma y etiquetado de muestras. (Trabajo de campo).



Ilustración 7. Recolección de algas mediante la utilización de cepillos.



Ilustración 8. Trabajo de campo. Etiquetado de muestras. Rio RSF

Anexo d.Fase de identificación de Diatomeas Bentónicas a través del microscopio.



Ilustración 9. *Gomphonema acuminatum*.

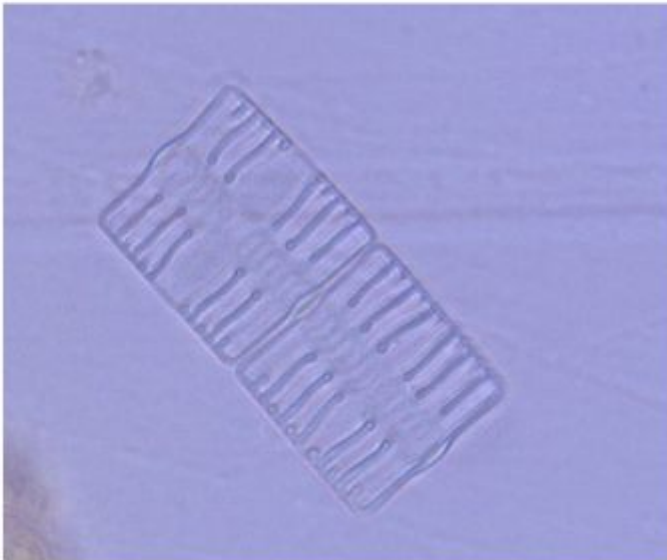


Ilustración 10. *Tabellaria flocculosa*.





Ilustración 11. *Tabellaria flocculosa*.



Ilustración 12. *Synedra ulna*



Ilustración 13. *Cymbella helvetica*.



Ilustración 14. *Navicula pupula*.