



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN

DIVERSIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON Y CONTENIDO DE CLOROFILA EN
RIACHUELOS DE PÁRAMO DEL SUR DEL ECUADOR

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

AUTOR:

DARIO JAVIER VILLALTA ALVARADO

DIRECTOR:

MSc. EDWIN ZARATE HUGO

Cuenca, Ecuador

2021

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Ana por su esfuerzo, cariño y apoyo incondicional durante toda mi carrera,
a Estefanía por motivarme a ser mejor y siempre creer en mí.

Javier Villalta

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis Mgt. Edwin Zárate por la oportunidad de formar parte del laboratorio de Limnología, por la guía y en especial a su ayuda brindada en todo momento.

De igual manera a Daniel Segovia por la ayuda brindada en la estadística, también agradecer a mi compañera Estefanía Matute por la ayuda brindada durante todo el proceso que significo la ejecución de este trabajo.

Javier Villalta

INDICE DE CONTENIDO

OBJETIVOS	2
CAPITULO I.....	3
MATERIALES Y METODOS.....	3
1.1 Área de estudio	3
1.1.1 Clima	3
1.1.2 Precipitación	3
1.1.3 Taxonomía del suelo.....	3
1.1.4 Cobertura vegetal	4
1.1.5 Hidrografía.....	4
1.2 Trabajo de Campo.....	5
1.2.1 Raspado de algas	6
1.3 Trabajo de laboratorio.....	6
1.4 Análisis estadístico.....	7
1.4.1 Curva de acumulación de especies.....	7
1.4.2 Curva de rango abundancia.....	7
1.4.3 Shannon-Weiner.....	7
1.4.4 Índice Whittaker	7
1.4.5 Análisis de Componente Principales (PCA)	8
1.4.6 Modelo lineal simple	8
CAPITULO II.....	9
RESULTADOS	9
2.1 Composición y abundancia de especies.....	9
2.2 Riqueza, Equidad y dominancia	10
2.3 Producción de clorofila	15
2.4 PCA de los ríos con la riqueza y abundancia	16
2.5 Efectos de los PCA en los riachuelos por medio de los modelos de regresión lineal	18
CAPITULO III.....	20
DISCUSIONES	20
3.1 Riqueza y abundancia del Perifiton	20
3.2 Relaciones de las variables de riqueza y abundancia en la producción de clorofila.....	21
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22

BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el Macizo de Cajas.....	5
Figura 2. Riqueza y abundancia del perifiton por cada río.....	10
Figura 3. Curva de acumulación de especies para los siete ríos estudiados.....	10
Figura 4. Curvas de rango abundancia para cada río.....	13
Figura 5. Índice de diversidad Shannon-Weiner para cada río.....	14
Figura 6. Análisis clúster por medio del índice de Whittaker.	15
Figura 7. PCA de la clorofila por río.	17
Figura 8. PCA de la riqueza y abundancia por río.....	18
Figura 9. Efectos de la regresión lineal en los pigmentos de la clorofila en relación a los PCA de la riqueza y abundancia.....	19

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	5
Tabla 2. Numero de Ordenes, Géneros y Especies por cada clase de perifiton.....	9
Tabla 3. Producción de clorofila por río para cada pigmento (Clorofila “a”, “b”, “c” y “carotenoides”).....	16
Tabla 4. Modelos de regresión lineal con la riqueza y abundancia como variables independientes en la producción de clorofila.	18

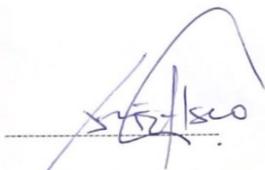
INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. PCA de la clorofila por río.	26
Anexo 2. PCA de la riqueza y abundancia por río.	26
Anexo 3. Registro fotográfico de las especies identificadas.	26

RESUMEN

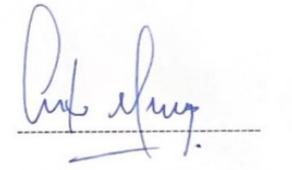
El presente trabajo estudió la influencia de la diversidad de algas del perifiton en el contenido de pigmentos de clorofila (“a”, “b”, “c” y carotenoides) en siete microcuencas del páramo del Macizo del Cajas. La recolección de muestras se realizó mediante la técnica de raspado en sustratos naturales, para este estudio se las obtuvo de piedras escogidas al azar en cada microcuenca estudiada; el trabajo de laboratorio consistió en la identificación de las algas por medio de microscopia, hasta el nivel de especie. Los índices de Shannon-Weaver reflejaron altos niveles de diversidad, teniendo una clara influencia en los pigmentos de clorofila “a”, “c” y “carotenoides”, el único pigmento que sus niveles de producción no presentaron una influencia visible por la diversidad del perifiton fue la clorofila “b”.

Palabras claves: Pigmentos de clorofila, diversidad del perifiton, microcuencas del páramo.



MSc. Edwin Zarate Hugo

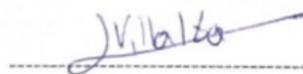
Director de Tesis



PhD. Antonio Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela

Autor:

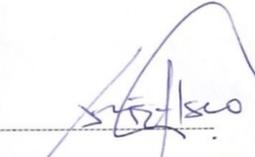


Villalta Alvarado Dario Javier

ABSTRACT

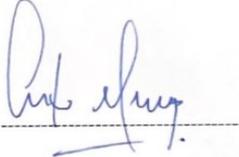
The present work studied the influence of the diversity of periphyton algae on the content of chlorophyll pigments ("a", "b", "c" and carotenoids) in seven micro-watersheds at the paramo "El Cajas". Samples were collected by scraping from natural substrate. The sample stones were obtained from randomly selected ones in each micro-watershed studied. Laboratory work consisted of algae identification by microscopy analysis, down to the species level. The Shannon-Weaver index reflected high levels of diversity, having a clear influence on chlorophyll "a", "c" and "carotenoid" pigments. The only pigment with production levels did not show a visible influence by periphyton diversity was chlorophyll "b".

Key words: Chlorophyll pigments, periphyton diversity, paramo micro-watersheds.



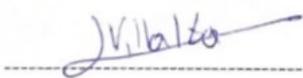
MSc. Edwin Zarate Hugo

Thesis Director



PhD. Antonio Crespo Ampudia

School Coordinator



Villalta Alvarado Dario Javier

Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by



Villalta Darío

INTRODUCCION

Los páramos son ecosistemas húmedos de alta montaña que constituyen “verdaderas esponjas de agua”, gracias a la gran capacidad de retención de sus suelos (Camacho, 2014). La importancia de los páramos radica, entre otras cosas, en su gran valor científico y ecológico. Su flora, en un alto porcentaje endémico y su paisaje tropical montañoso único desempeñan funciones importantes en la regulación de la hidrológica regional constituyendo la fuente de agua para consumo humano, riego y generación de energía hidroeléctrica (Beltrán, et al, 2009). Sin embargo, la alteración de este ecosistema a través de prácticas no sustentables afecta negativamente la disponibilidad de los servicios ambientales que provee.

El aumento de la población humana ha incrementado la presión sobre los ecosistemas y el impacto sobre la calidad del agua (Jacobsen & Encalada 1998). Los estudios de impacto ambiental realizados en Latinoamérica presentan deficiencias debido a que en su mayoría se han centrado solamente en aspecto fisicoquímico del agua; el cual representa solo una de las diferentes variables que se deben utilizar para la determinación de la calidad del agua; por lo que es necesario el uso de herramientas integradoras que resuman el efecto global de los principales componentes que conforman el ecosistema acuático, tal y como lo reconoce la Unión Europea mediante la Directiva Marco del Agua (Acosta, Ríos, Rieradevall & Prat, 2009).

Dentro de los ecosistemas acuáticos la comunidad de perifiton juega un papel fundamental debido a que constituye el principal punto de entrada de energía a estos ecosistemas, gracias a su capacidad fotosintética que les permite capturar la energía lumínica proveniente del sol y transformarla en compuestos orgánicos. Esta comunidad presenta una clara heterogeneidad espacial y temporal, presentando variación en su composición, biomasa y productividad (Roldan, 1992). La caracterización de las comunidades perifíticas y bentónicas es importante porque sus componentes son la base de la cadena alimenticia de muchos ecosistemas lóticos; además, actúan como reductores y transformadores de nutrientes y promueven hábitats para otros organismos (Salas-Tovar, Geovo & Murillo, 2011).

El perifiton cumple el rol de productor primario, mismo que tiene un importante valor en el estudio de ecosistemas acuáticos como bioindicador debido a su sensibilidad a la alteración de hábitats en ambientes lóticos, siendo posible cuantificar la magnitud del estrés, así como las características del hábitat y la respuesta ecológica al daño de un ecosistema (Samanez, et al, 2014). Las microalgas que lo conforman son sensibles a las fluctuaciones internas del cuerpo de agua y a las condiciones ambientales que prevalecen, viéndose afectada su distribución (Margalef 1983).

Wetzel (2012) define al perifiton como la compleja comunidad de microbiota (bacterias, hongos, algas, protozoos y animales), detritos orgánicos e inorgánicos, adheridos a un sustrato sumergido, natural o artificial, vivo o muerto. Esta cubre rocas, madera y otras superficies en

cuerpos de agua, tanto lénticos como lóticos. Para estudiar la respuesta del perifiton a una perturbación, se pueden analizar sus aspectos estructurales o funcionales. Dentro de los estructurales, además de la composición taxonómica y diversidad específica, pueden evaluarse las distintas fracciones de su masa permitiendo inferir aspectos funcionales de la comunidad (Pizarro & Alemanni, 2005).

Los ríos son ecosistemas muy dinámicos en el cual una de sus principales variables que inciden sobre el establecimiento y permanencia de las comunidades autótrofas es la disponibilidad lumínica; dicha exposición de energía ha permitido que las algas desarrollen pigmentos accesorios (clorofila *b*, *c*, *d* y ficobiliproteínas) que les permiten captar la radiación a intervalos de luz fotosintéticamente activas (400-700 nm) que la clorofila *a* no absorbe, lo que les permite establecerse en un mayor número de microhábitats que las plantas vasculares. Sumado a esto, las algas bentónicas tienen una gran capacidad para responder rápidamente a los cambios ambientales gracias a sus historias de vida cortas, estrategias reproductivas y estructuras especializadas (Bojorge-García & Cantoral, 2016).

Relacionado a su sensibilidad y pronta capacidad de respuesta ante la eutroficación de las aguas de los ríos, se han desarrollado una serie de índices que permiten valorar la respuesta de algún grupo de algas específico, por ejemplo, el índice trófico de diatomeas (TDI), o de varios grupos como el índice trófico del perifiton (PIT). Este último, relaciona la concentración de fósforo en las aguas y la presencia de algas en un gradiente de condiciones que van de oligotróficas a eutróficas (Bojorge-García & Cantoral, 2016).

Todas estas características mencionadas presentan variaciones según las condiciones ambientales (clima, vegetación, geología) de los ecosistemas o paisajes. Particularmente la información de las algas perifíticas en los páramos ecuatorianos es escasa por lo cual surge la necesidad de realizar estudios para entender mejor sus dinámicas y procesos, lo que nos motivó a plantearnos la siguiente pregunta ¿Cómo varía la relación clorofila-diversidad (riqueza, abundancia) de algas del perifiton en los riachuelos en los páramos del Macizo del Cajas?

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la diversidad de perifiton y su contenido de clorofila en los riachuelos de los páramos del Macizo del Cajas.

Objetivos específicos

- Identificar y documentar las especies de algas del perifiton presentes en los riachuelos del Macizo del Cajas
- Determinar la diversidad alfa y beta del perifiton en los riachuelos de páramo dentro del macizo del Cajas.

- Relacionar los resultados de diversidad del perifiton con los valores del contenido de clorofila.

CAPITULO I

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área de estudio

El estudio fue realizado dentro de algunas microcuencas que componen los páramos del Macizo del Cajas (MC), con un área de 976.600,92 ha de las cuales 892.161,52 ha corresponden a territorio continental y 88.439 ha a territorio marino y en un rango altitudinal que va desde los 3.152msnm a los 4.445msnm (MAE, 2014).

1.1.1 Clima

El clima de la zona del Macizo, se encuentra influenciado por los vientos cálidos del Pacífico que chocan con flancos occidentales de la cordillera, dando paso a condiciones de alta humedad en los páramos y a su vez zonas semiáridas en algunos valles interandinos (Comité Promotor, 2012). En los páramos la temperatura mínima va desde los -2°C y la máxima durante el día de 18°C, aunque presenta variaciones a lo largo del año, siendo julio el mes más frío y diciembre el más cálido (Minga, Ansaloni, Verdugo & Ulloa, 2016).

1.1.2 Precipitación

En la zona norte y central del país, los páramos son mucho más húmedos debido a los vientos húmedos de la Amazonía, en tanto que los páramos del sur, en donde se encuentran los páramos del MC, son más secos por la influencia de la corriente fría de Humboldt del océano Pacífico. Los patrones de precipitación en los páramos pueden ser muy complejas, su cantidad y distribución espacio temporal varía mucho con la elevación y latitud pudiendo tener una media anual de 1200 mm (Minga, et al, 2016; Mena & Hofstede, 2006).

1.1.3 Taxonomía del suelo

Esta zona cuenta con suelos ricos en materia orgánica, con alta porosidad a manera de esponja; pH ácido o muy ácido, con pocas cantidades de fósforo y potasio disponible. La topografía y la vegetación determinan la profundidad del suelo, siendo mayor en valles bajos de vegetación leñosa y menor en las cimas con vegetación herbácea. Estos suelos poseen una gran capacidad de retención hídrica volviéndolos reservorios de agua (Minga, et al, 2016).

1.1.4 Cobertura vegetal

El Macizo de Cajas presenta una mayor extensión de paramos herbáceos, con parches de bosque de *Polylepis* y con varias lagunas de origen glaciar. La cobertura vegetal es fundamental para la producción del agua, almacenamiento de carbono y a la vez son abundantes en biodiversidad (Rodríguez, Rodas, Schubert & Vasco, 2014). Dentro de los ecosistemas de páramo encontramos: Bosque de Quinoa (*P. reticulata*, *P. incana*, *P. weberbaueri*), Paramo de Almohadillas (*Plantago rigida*), Herbazal Lacustre (*G. cyperacea E*) y Páramo Herbáceo (hierbas en penacho de los géneros: *Calamagrostis* y *Festuca*) (Minga, et al, 2016).

1.1.5 Hidrografía

El “Macizo del Cajas” se encuentran distribuidos en dos vertientes oceánicas; la perteneciente al Pacífico con una ocupación del 33.22%, y la correspondiente al Amazonas con una extensión de 66.78%. La subcuenca con mayor superficie corresponde al río Paute, seguida del río Cañar, río Balao y por último río Patul (MAE, 2018). Adicionalmente cuenta con alrededor de 165 lagunas con más de 1 hectárea de superficie y 621 con menos de 1 hectárea; son en total 786 cuerpos de agua (SNAP, 2014).

Métodos

Para este estudio se seleccionaron siete microcuencas independientes dentro del Macizo del Cajas, mediante la utilización de sistemas de información geográfica, imágenes de satélite y cartografía digital, intentando cubrir la mayor parte de la gradiente altitudinal, y adicionalmente que estos presenten las mismas condiciones, durante el periodo de febrero a marzo de 2020. Posterior a esto se procedió con las salidas de campo para reconocer y establecer los sitios de muestreo; dentro de cada microcuenca se ubicaron dos puntos de muestreo, que para el efecto fueron juntadas y consideradas como submuestras para su posterior análisis como una microcuenca; uno en la parte alta y otro en la parte baja del riachuelo con 1 km de separación entre estos. Dentro de cada sitio se tomaron dos muestras de algas, una para diversidad y la otra para determinación de clorofila. Los puntos de muestreo fueron ubicados para cubrir la gradiente geográfica de los páramos como se observa en la Figura 1. Los muestreos se realizaron en el mes de febrero e inicios de marzo de 2020 y la fase de laboratorio se la realizo en diferentes periodos entre el 2020 y 2021.

Cabe recalcar que la información sobre la producción de clorofila fue proporcionada por el proyecto de Tipología de Ríos Andinos que lleva adelante el Laboratorio de Limnología de la UDA.

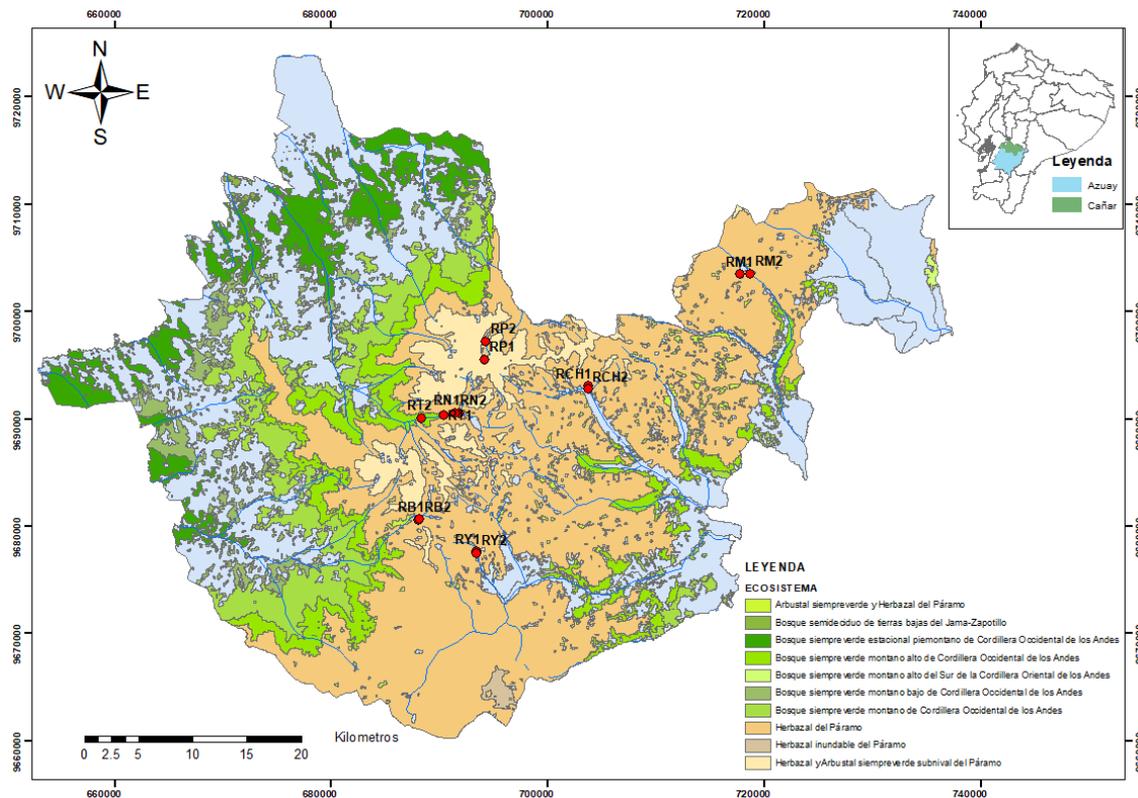


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el Macizo de Cajas.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Subcuenca	Microcuenca	Código	Coordenadas - UTM (Datum WGS84) x	Coordenadas - UTM (Datum WGS84) y
Río Tomebamba	Río Quinoas	RT1	690381 m E	9690296 m S
		RT2	688344 m E	9690084 m S
Río Patul	Río Miguir	RN1	691757 m E	9690560 m S
		RN2	691439 m E	9690560 m S
Río Balao	Río Angas	RB1	688002 m E	9680590 m S
		RB2	688159 m E	9680623 m S
Río Yanuncay	Río Soldados	RY1	693417 m E	9677589 m S
		RY2	693434 m E	9677490 m S
Río Tomebamba	Río Chorreras	RCH1	703761 m E	9693019 m S
		RCH2	703698 m E	9692758 m S
Río Machangara	Río Machangara	RM1	717721 m E	9703489 m S
		RM2	718672 m E	9703508 m S
Río Patul	Río Patul	RP1	694178 m E	9695535 m S
		RP2	694261 m E	9697214 m S

1.2 Trabajo de Campo

Dentro de cada punto se estableció un transecto de 50 m a lo largo del riachuelo tanto en la parte alta como baja del mismo.

1.2.1 Raspado de algas

Para la recolección de algas se tomaron muestras de sustratos naturales, en este caso de la superficie de las piedras. Para cada muestra se recolectó el material de una superficie definida de tres piedras escogidas al azar y con dimensiones similares, esto para la diversidad de algas, mientras que para la producción de clorofila se recolectó el material de dos piedras al azar, se tomó en cuenta que estas deben encontrarse en la parte central del cauce y en los márgenes de esta, además, estas deben estar completa y permanentemente sumergidas. La extracción del material se realizó mediante un raspado de la superficie de las rocas, en donde se estableció un área de 45cm² y todo el material que quede fuera de este límite se remueve con un cepillo de dientes dejando únicamente lo que queda dentro del área establecida, posteriormente se realizó la recolección de este material con otro cepillo de dientes; el material recolectado se depositó dentro de un recipiente estéril con 100ml de agua del río. A las muestras se les adicionó cinco gotas de Lugol al 10%, y se las etiquetó y selló con cinta aislante (Elosegi, 2009).

Finalmente, las muestras etiquetadas, fueron colocadas en un cooler y trasladadas a los laboratorios de Limnología de la Universidad del Azuay.

1.3 Trabajo de laboratorio

Para el trabajo de laboratorio solo se trabajó con las muestras de diversidad de perifiton, los resultados de las muestras de clorofila tomadas en los mismos sitios fueron analizadas por personal del proyecto de "Tipología de ríos Andinos II" fueron determinadas mediante el método de Wetzel (1991), quienes entregaron los resultados para el análisis realizado en esta investigación.

1.3.1 Identificación de algas

Luego de homogenizar la muestra se extrajo un volumen de 0.3 ml lo que equivale a una gota de muestra. La gota se deposita en un portaobjetos y se cubrió con un cubreobjetos. La observación de la muestra fue realizada con un microscopio marca Leica modelo DM750 con aumentos x60 y x100 (Gari & Corigliano, 2006).

Para el conteo en cada placa se adaptó la metodología propuesta por Villafañe & Reid (1995) que consiste en establecer tres transectos horizontales equidistantes evitando efectos de borde y realizando un conteo de tres placas por muestra.

Las especies de fitoplancton fueron identificadas a través de guías taxonómicas como: Atlas de los microorganismos de agua dulce (Streble & Krauter, 1987) y Diversidad de diatomeas en los lagos de Pyrenees: una referencia iconográfica (Rivera & Catalan, 2017).

1.4 Análisis estadístico

1.4.1 Curva de acumulación de especies

Al construir la curva de acumulación de especies lo primero que se decidió fue la manera en la que se va a cuantificar el esfuerzo de muestreo. Se evaluará esta curva en base a los puntos de muestreo, medido en número de ríos muestreados en toda la campaña y al número total de especies registradas para cada río. La curva de acumulación de especies representa gráficamente la forma como las especies van apareciendo en las unidades de muestreo, o de acuerdo con el incremento en el número de individuos (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

1.4.2 Curva de rango abundancia

Se utilizó las curvas de rango abundancia para graficar el valor “pi” de cada especie y el rango de dicha especie, el cual disminuirá directamente con valores menores de la variable “pi”, es decir que entre más elevado la riqueza de especies sea, más se aproxima la curva de rango-abundancia a un pendiente plano ($m = 0$), y entre más pobre la riqueza de especies más empinado se vuelve la pendiente de la curva ($m < 0$). En las curvas se presentaron las especies más representativas (65% de la proporción más alta) y las especies menos representativas del total (conjunto del 5% final de la proporción) (Carmona-Galindo & Carmona, 2013).

1.4.3 Shannon-Weaver

Este índice cuantifica la biodiversidad específica, derivado de la teoría de información como una medida de la entropía. El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2006). La diversidad máxima se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes. Un índice de homogeneidad asociado a esta medida de diversidad puede calcularse como el cociente, que será uno si todas las especies que componen la comunidad tienen igual probabilidad. Los valores en los ecosistemas naturales van de 0.5 a 5, teniendo valores normales entre 2 el cual se considera diversidad baja y 3 considerados altos en diversidad.

1.4.4 Índice Whittaker

Lo que se buscó con este índice fue conocer es la diversidad existente entre diferentes hábitats o la diversidad entres sitios de muestreo, es decir, cuál será el recambio de especies que existe entre muestras, gradientes, distancias ecológicas y si estas se traslapan o complementan en la composición de las especies en un área mayor (Whittaker, 1972).

1.4.5 Análisis de Componente Principales (PCA)

Se aplicó un PCA en el software R con la función *prcomp*, dentro del paquete “stats”. Lo que nos permitió la disminución de las variables originales a uno menor (Baev & Penev, 1995). A partir de esto se pudo evaluar entre la variable dependiente (Clorofila) y las independientes (Riqueza y Abundancia), para así determinar su incidencia en la producción de los pigmentos de la clorofila (Maćkiewicz & Ratajczak, 1993).

1.4.6 Modelo lineal simple

Para explicar la relación existente entre la variable dependiente o de respuesta (producción de clorofila) y las variables independientes o predictoras (diversidad de perifiton), se aplicó un modelo lineal; de este se representó la relación entre la riqueza del perifiton y la disposición de la clorofila. Para esto se usó el software “RStudio” con la función *lm* dentro del paquete “BiodiversityR” (Carrasquilla, Chacon, Nuñez, Gómez, Valverde y Guerrero, 2016)

CAPITULO II

RESULTADOS

2.1 Composición y abundancia de especies

En todo el muestreo realizado en el estudio se registró un total de 13.803 individuos de perifiton, pertenecientes a 146 especies diferentes, los cuales se distribuyeron dentro de 81 géneros, 59 familias, 35 órdenes y 13 clases. El grupo con mayor riqueza de especies correspondió a la clase Bacillariophyceae, seguida de Cyanophyceae y Chlorophyceae (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Numero de Ordenes, Géneros y Especies por cada clase de perifiton.

Clase	Nº Ordenes	Nº Familias	Nº Géneros	Nº Especies
Bacillariophyceae	11	21	31	65
Chlorophyceae	4	9	14	21
Chrysophyceae	1	1	1	1
Coleochaetophyceae	1	1	1	2
Coccinodiscophyceae	1	1	1	2
Cyanophyceae	5	11	13	22
Eustigmatophyceae	2	2	2	2
Florideophyceae	1	1	1	1
Mediophyceae	2	2	1	2
Trebouxiophyceae	1	2	3	5
Ulvophyceae	1	1	1	2
Xanthophyceae	2	4	4	4
Zygnematophyceae	3	3	8	17

En la Figura 2 se puede observar los resultados de riqueza y abundancia de especies, teniendo que en el río Quinoas (87 especies) presentó la diversidad de especies más alta, seguido de este los ríos Balao (80 especies) y Yanuncay (68 especies), los ríos Miguir (53 especies), Patul (45 especies) y Chanlud (39 especies) presentaron un menor número de especies en comparación a los primeros; en cuanto a la abundancia el río Quinoas presentó la más alta en contraste del resto de ríos estudiados con 4.985 individuos, seguida de Miguir y Balao, se presentó la riqueza y abundancia de especies más baja en el río 2 Chorreras con un registro de 24 especies y un total de 683 individuos.

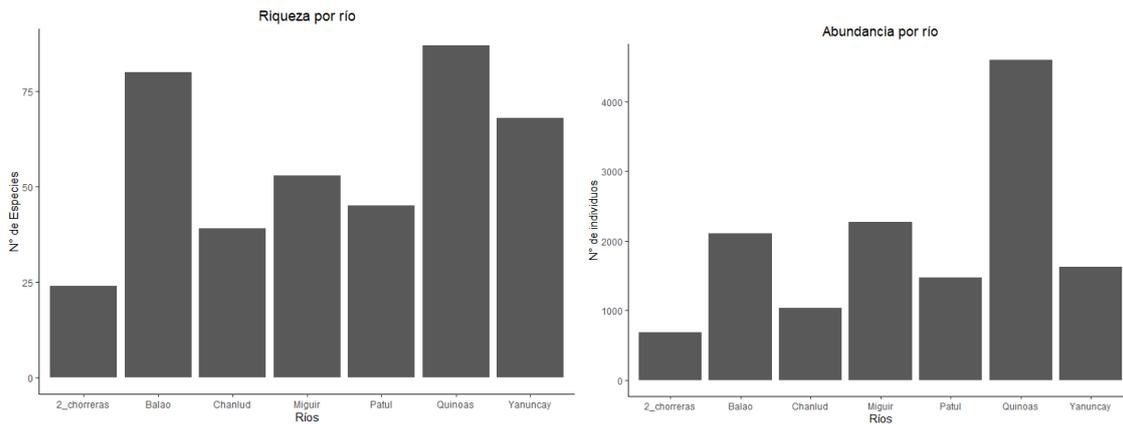


Figura 2. Riqueza y abundancia del perifiton por cada río.

2.2 Curva de acumulación de especies, rango–abundancia e índices de diversidad.

En la Figura 3, se observa la acumulación de especies reflejando que la curva se empieza a suavizar, pero no se alcanza la asíntota con un número de especies de 150; el esfuerzo aplicado al estudio indica que no se consiguió llegar a la riqueza total de especies, esto refleja que se requiere aumentar el número de ríos al estudio o el de réplicas temporales.

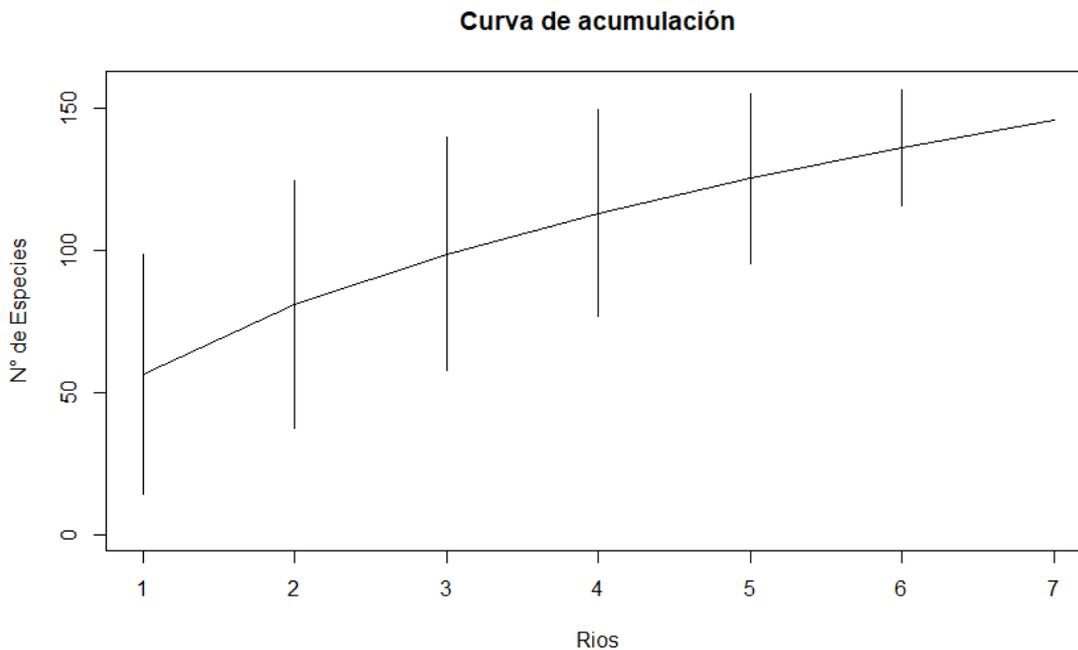


Figura 3. Curva de acumulación de especies para los siete ríos estudiados.

En la Figura 4 se puede establecer la equitatividad y dominancia del perifiton para cada río estudiado por medio de las curvas de rango abundancia, en el cual se utilizó la abundancia de ciertas especies que representaron la proporción más alta de los datos en contraste con otras que su abundancia no es tan representativa en el total de los resultados.

En los resultados obtenidos para el río Yanuncay se puede observar que existe una dominancia de la especie *Tabellaria flocculosa* representando una proporción relativa de casi el 20% , seguida de esta se encuentra *Synedra ulna* con casi el 10%, *Melosira varians* y *Achnanthes minutissima* con más del 5% y *Gomphonema montanum*, *Gomphonema acuminatum*, *Nitzschia palea*, y *Ceratoneis arcus* con menos del 5% cada una; todas estas representan el 65% del total de los datos, teniendo que el resto de especies registradas no poseen una abundancia muy alta en comparación a estas 7 especies dominantes en el estudio.

Para el río Quinoas la especie dominante fue *Melosira varians* representado casi el 40%. Se debe mencionar que esta es la abundancia relativa más alta en todos los ríos para una especie, representando una clara dominancia respecto al resto de especies registradas; el resto de especies que representan el 65% de los datos de las más abundantes se encuentran *Achnanthes minutissima* con casi el 10% y *Gomphonema acuminatum*, *Gomphonema ventricosa*, *Synedra ulna*, *Ceratoneis arcus*, *Rhoicosphenia curvata* y *Gomphonema montanum* con menos del 5%.

En el río Dos Chorreras la proporción del 65% de los datos de dominancia se encuentran las especies *Tabellaria flocculosa* con casi el 25%, *Synedra ulna* con más del 20%, *Achnanthes minutissima* con menos del 15% y *Diatoma elongatum* con menos del 10%. En este río se puede observar que existe una distribución más equitativa en relación a otros ríos como Yanuncay y Quinoas que poseen un mayor número de especies que representan la proporción restante de los datos. En este caso la dominancia de pocas especies es más notoria debido a la poca riqueza de especies que presentó el río.

En Chanlud la especie dominante fue *Tabellaria flocculosa* teniendo una proporción de los datos de casi el 30%, y como segunda especie más representativa se encuentra *Achnanthes minutissima* que representa casi el 10%; si bien estas dos especies representan casi el 40% de los datos el porcentaje restante se distribuye en un mayor número de especies presentando una mayor equidad en la proporción de su conjunto en el río.

En el río Patul se observa una clara dominancia de *Tabellaria flocculosa* y *Synedra ulna* con una proporción de más del 25% y 20% respectivamente, si bien presenta otras especies que también son dominantes en menor proporción estas no son tan marcadas del resto de especies como a las dos primeras. Se debe remarcar que la diferencia en la dominancia convierte a la mayoría de especies en poco representativas en el total de los datos registrados para este río, lo que disminuye su equidad.

En Miguir se observa que la dominancia se encuentra repartida en un mayor número de especies, siendo *Tabellaria flocculosa* y *Synedra ulna* las más representativas, teniendo una proporción de

más del 15% y 10% respectivamente. En general se observa que este tiene una mayor equidad en comparación al resto de ríos estudiados.

El río Balao presenta una alta dominancia de dos especies, *Tabellaria flocculosa* y *Synedra ulna* con una proporción de más del 25% y 20%, al igual que los ríos Yanuncay, Quinuas y Patul su equidad es baja, teniendo un gran número de especies poco representativas.

Las especies que presentaron una alta dominancia en casi todos los ríos fueron *Tabellaria flocculosa* y *Synedra ulna*, solo en el río Quinuas la especie *Melosira varians* presentó una dominancia alta, lo que indicaría que las dos primeras son altamente generalistas y de distribución amplia.

Los resultados del índice de diversidad Shannon-Weiner muestran que todos los ríos del estudio poseen valores superiores a 2 teniendo al río Yanuncay con el valor más alto siendo de 3.171559, seguido de los ríos Miguir y Balao con un valor de 2.957455 y 2.795302 respectivamente, el río 2 Chorreras presento el valor de diversidad Shannon más bajo como se observa en la figura 5. Al ser un índice que nos permite visualizar la heterogeneidad debido a la presencia de todas las especies por igual proporción, los valores obtenidos reflejan que en 2 Chorreras la proporción del total de especies disminuyo, por el contrario, en Yanuncay esta proporción de presencia aumento.

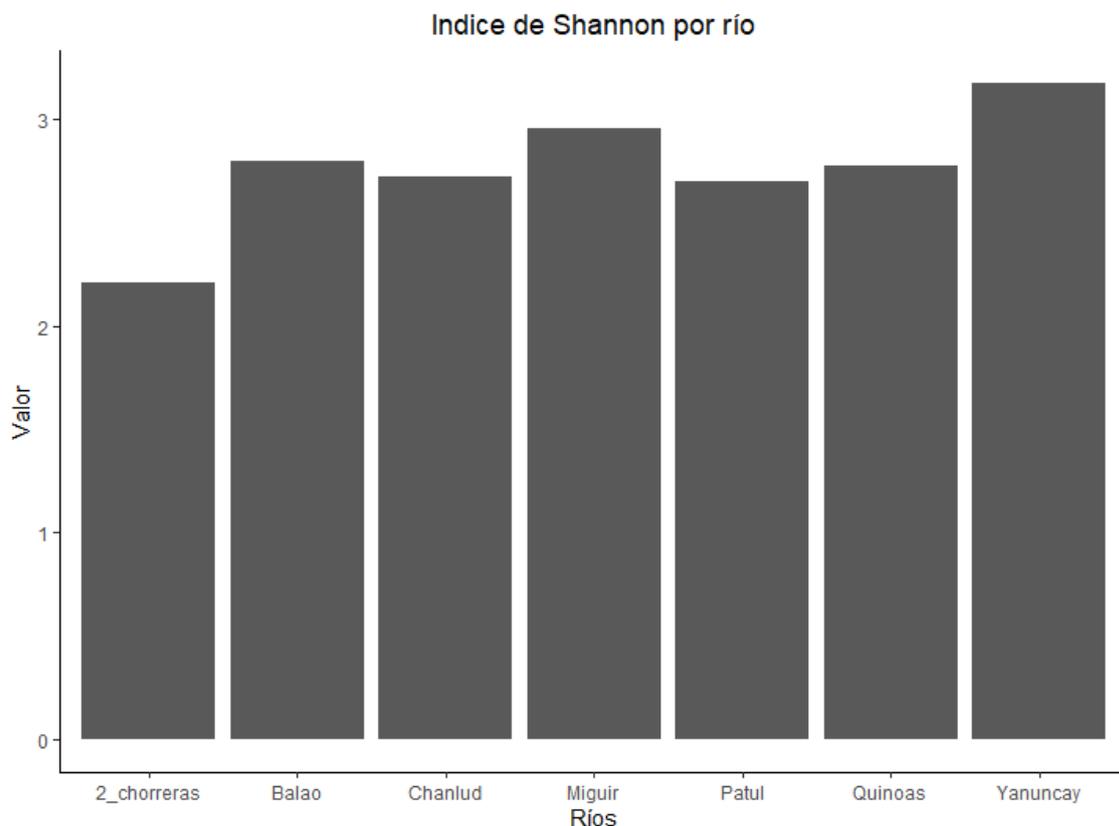


Figura 5. Índice de diversidad Shannon-Weiner para cada río.

Los resultados de beta-diversidad de acuerdo al índice de Whittaker muestran la similitud en la composición de especies la cual disminuye conforme aumenta la distancia entre las comunidades; de acuerdo a los resultados de la Figura 6 se observa que existen dos grandes grupos que presentan una composición de especies diferentes. El primer grupo está constituido por los ríos Dos Chorreras y Chanlud, su composición es la que más se diferencia del resto, por otro lado, el grupo conformado por los otros ríos se subdividen en dos grupos, siendo los ríos Yanuncay, Miguir y Patul, con una composición similar entre sí y el último grupo se conformó de los ríos Balao y Quinoas. Se puede notar que estos ríos a pesar de estar distantes entre sí

presentan composiciones similares, como es el caso de los ríos Chanlud - Dos Chorreras y Balao – Quinuas.

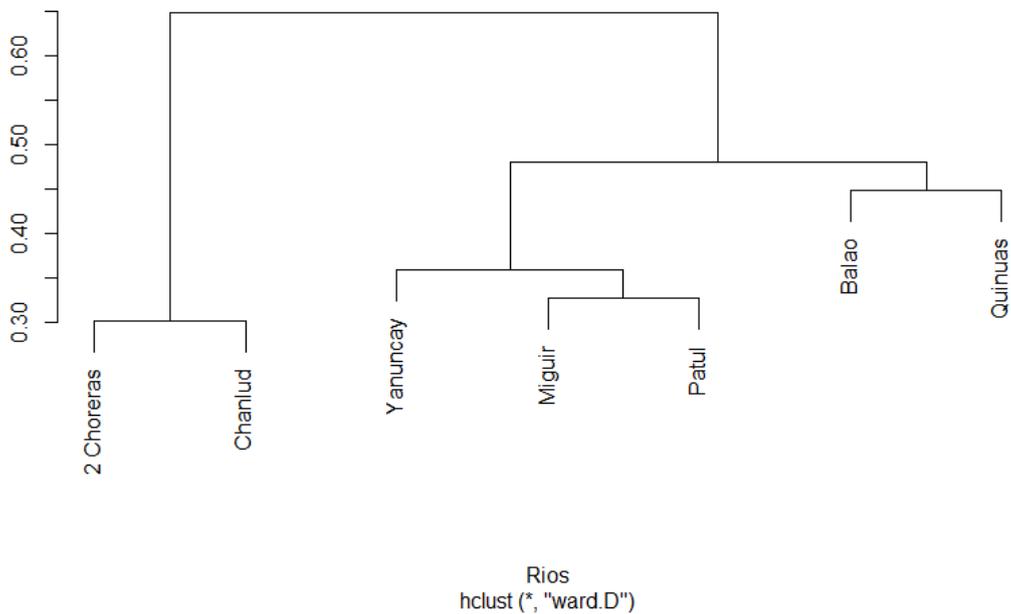


Figura 6. Análisis clúster por medio del índice de Whittaker.

2.3 Producción de clorofila

En la Tabla 3 se puede observar los resultados de clorofila para cada uno de los pigmentos, es importante mencionar que los resultados fueron proporcionados por el proyecto “Tipología de ríos Andinos II”; en cuanto a la clorofila-a los ríos que presentan la mayor producción fueron Quinuas, Balao y Miguir respectivamente, en la clorofila-b Yanuncay presentó el valor más alto, para la clorofila-c se presentaron los valores más bajos en general, siendo Quinuas el río con los niveles más altos y por último en los carotenoides, los ríos Quinuas y Balao presentaron los niveles de producción de clorofila más elevados.

Tabla 3. Producción de clorofila por río para cada pigmento (Clorofila “a”, “b”, “c” y “carotenoides”).

Ríos	Chl a	Chl b	Chl c	Carotenoides
2_Chorreras	0.213641792	0.014223986	0.018145301	0.276124339
Balao	1.187263283	0.303061251	0.370801459	1.444095385
Chanlud	0.313507587	0.075479957	0.025328483	0.292291299
Miguir	0.618458076	0.162507073	0.043452565	0.639146091
Patul	0.469827307	0.122865961	0.02831092	0.453226044
Quinuas	1.811673005	0.701898000	0.432265487	2.212760876
Yanuncay	0.10485941	1.172646105	0.04345256	1.003637566

2.4 Análisis de componentes principales (PCA) de la clorofila, riqueza y abundancia

Dentro del PCA realizado a las muestras se encontró que las relaciones más significativas en los datos obtenidos de la clorofila responden a dos modelos; en cuanto al primer modelo (PC1) presenta un porcentaje del 75.07%. En cuanto al modelo 2, (PC2) este nos predice un 23.70% (Anexo 1). En cuanto a la Figura 7, se puede observar las relaciones de cada pigmento en cada río, teniendo que Balao y Quinuas se encuentran dentro del primer cuadrante con una clara agrupación de la clorofila “a” y “c” lo que sugiere que existe una similitud entre los niveles de producción de estos, en el segundo cuadrante se ubican ríos como Chanlud, Dos Chorreras, Patul y Miguir con una gran disimilaridad entre el resto de ríos en la producción de los mismos y por último se observa al río Yanuncay entre el tercero y cuarto cuadrante con relativa influencia en la clorofila “b”, y carotenoides en el último cuadrante, se debe mencionar que la producción de la clorofila “b” se diferencia claramente en los niveles del resto de pigmentos y en menor medida los carotenoides de la clorofila “a” y “c”.

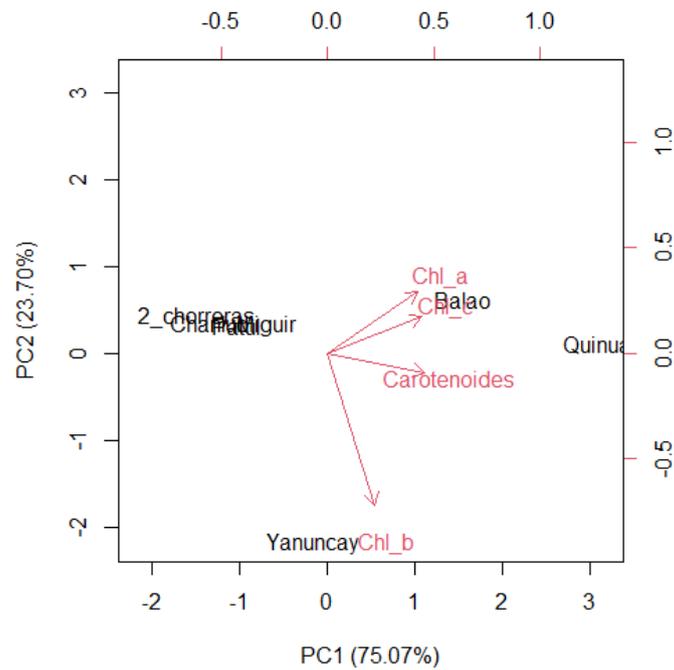


Figura 7. PCA de la clorofila por río.

En cuanto al PCA realizado a los datos obtenidos de la riqueza y abundancia responden a dos modelos; el primer modelo (PC1) presenta un porcentaje del 39.34%. En cuanto al modelo 2, (PC2) este nos predice un 29.11% (Anexo 2). En la Figura 8 se observa la riqueza y abundancia del perifiton, teniendo una clara agrupación de los ríos Dos Chorreras, Miguir, Chanlud, Patul y Yanuncay en el tercer cuadrante, en este cuadrante se concentra una gran diversidad del perifiton identificado, por otro lado, los ríos Quinuas y Balao se ubica en el primero y segundo cuadrante; es importante mencionar que la mayor diversidad le pertenece a Quinuas siendo un

solo río a diferencia del tercer cuadrante en el que la diversidad se concentra con un mayor número de ríos.

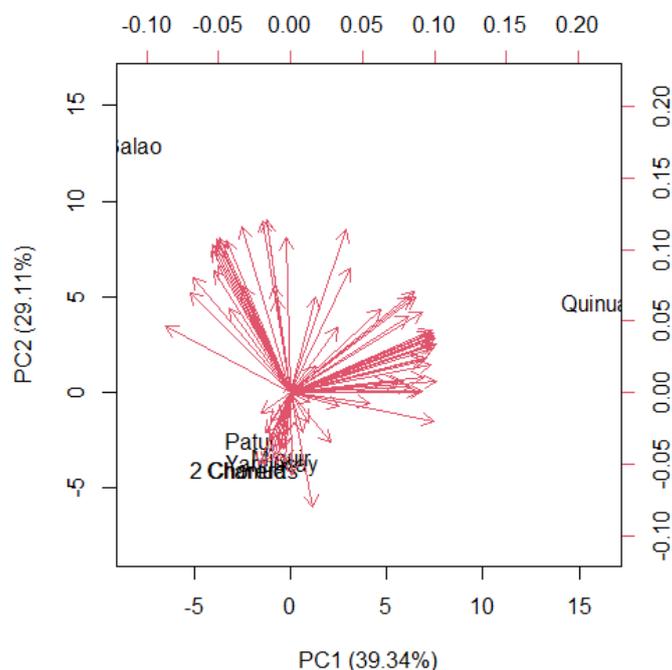


Figura 8. PCA de la riqueza y abundancia por río.

2.5 Efectos de los PCA en los riachuelos por medio de los modelos de regresión lineal

En cuanto a los resultados del modelo de regresión lineal con las variables independiente del PCA de la riqueza y abundancia (Tabla 7), se obtuvo en la clorofila “a” que los valores tanto del PC1 como del PC2 presentan una relación positiva, teniendo el modelo un valor $p = 0.000521$; para la clorofila “b” el PC1 y PC2 presentan una relación positiva, el modelo obtuvo un valor $p = 0.113$, es importante mencionar que el modelo no es significativo para explicar la producción de clorofila; en la clorofila “c” tanto el PC1 como el PC2 presentan una relación positiva, el modelo obtuvo un valor $p = 0.0000149$; en los carotenoides al igual que en el resto de modelos se obtuvo una relación positiva en el PC1 y PC2 con un valor $p = 0.00083$. Se debe mencionar que los modelos obtuvieron un $R^2 = 0.9461$, $R^2 = 0.1535$, $R^2 = 0.9958$ y $R^2 = 0.9086$ respectivamente.

Tabla 4. Modelos de regresión lineal con la riqueza y abundancia como variables independientes en la producción de clorofila.

Pigmento	PC1	PC2
Clorofila a	0.049808	0.071150
Clorofila b	0.021226	0.006228

Clorofila c	0.0109810	0.0246821
Carotenoides	0.06004	0.07757

Comparando los resultados en los modelos de la influencia de la riqueza y abundancia sobre los diferentes pigmentos en la Figura 11, tenemos que la clorofila “a” y “c” presentan un efecto más marcado en el aumento de los niveles de producción respecto a los carotenoides y la clorofila “b”, siendo que en esta ultima la riqueza y abundancia no sea suficiente para explicar su producción; por lo cual la producción de los dos primeros pigmentos corresponden a que si la diversidad es alta su producción será mucho mayor que la de los otros dos.

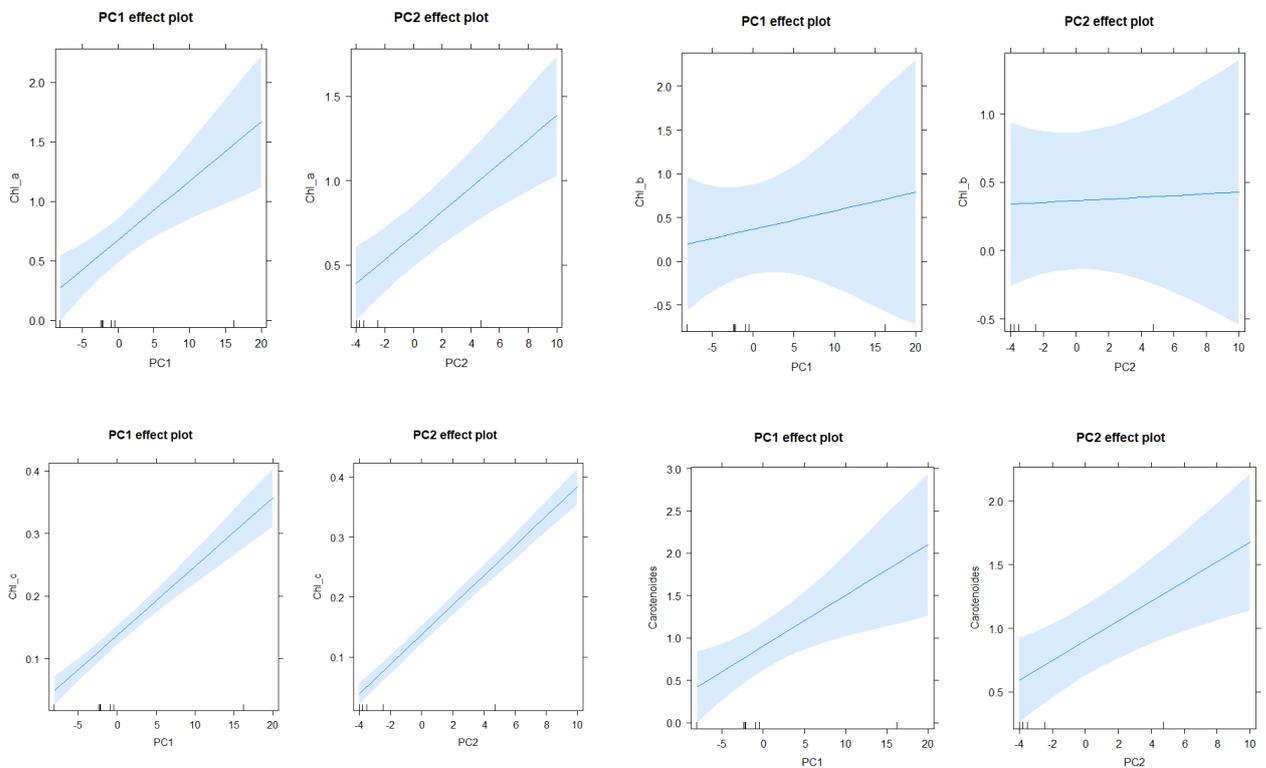


Figura 9. Efectos de la regresión lineal en los pigmentos de la clorofila en relación a los PCA de la riqueza y abundancia.

CAPITULO III

DISCUSIÓN

3.1 Riqueza y abundancia del Perifiton

De acuerdo a los resultados obtenidos para la riqueza y abundancia tenemos una riqueza alta en la mayoría de los ríos del estudio, como también una abundancia elevada; se debe remarcar que la clase Bacillariophyceae fue la más abundante en todos los ríos muestreados, esto se debe a que este grupo de perifiton es altamente tolerante a cambios en las condiciones físicas ambientales; esto explicaría la alta dominancia de especies como *T.floculosa*, *S.ulna* y *M.varians* frente a otras especies pertenecientes a clases menos abundantes en todo el muestreo. Si bien se presenta una clara dominancia por un grupo, se debe mencionar que dichas especies son muy sensibles a la calidad del agua, esto indicaría que los ríos durante la campaña de muestreo presentaron condiciones favorables para el desarrollo de dichas comunidades de perifiton (Bellinger & Siegee, 2010).

La riqueza de especies analizada a través de la curva de acumulación, sugiere las especies registradas en este estudio aun no refleja la riqueza total del área. Esto se puede explicar debido a fluctuaciones temporales de las comunidades relacionadas con los cambios en las condiciones propias de los ríos, como un aumento o disminución en su caudal, entre otras; las condiciones cambiantes de los ciclos hidrológicos de la zona pueden proporcionar una abundancia temporal alta de ciertas especies y a su vez una disminución y ausencia de otras (Becerra & Tavera, 2003).

La composición en las comunidades perifíticas presentan dos grandes grupos, dichas agrupaciones pueden verse influenciadas por factores físico-químicos propios de cada localidad y también por la cobertura vegetal; según Stevenson (1996) condiciones de lluvias que deriven en un aumento del caudal y por consiguiente arrastres de sedimentos y aumento de la materia orgánica de los ríos influyen en las comunidades temporales perifíticas. Si bien entre algunos ríos existe una barrera espacial y geográfica, algunos presentaron comunidades similares (2 Chorreras y Chanlud), lo que hace pensar que las condiciones climáticas parecidas en el momento de la toma de muestras pudieron influir en la presencia de especies similares.

Middleton (2010) encontró que la influencia del ganado sobre los cuerpos de agua afecta la composición de las comunidades perifíticas, es decir, que los sitios donde no hay presencia de ganado o la actividad ganadera no es tan extendida la riqueza de perifiton es mayor a la de los sitios con ganadería. Esto se ve reflejado en 2 Chorreras que presentó actividad ganadera extendida, por lo cual, el río obtuvo la diversidad más baja en relación al resto; por el contrario, ríos como Balao y Quinuas presentaron una actividad ganadera inferior, teniendo una diversidad elevada.

3.2 Relaciones de las variables de riqueza y abundancia en la producción de clorofila

En la producción de clorofila para cada pigmento (“a”, “b”, “c” y “carotenoides”) se puede observar un patrón que se repite en todos los ríos, en el cual, la mayor producción de clorofila se encuentra en los ríos con la riqueza más alta; esto se puede observar mejor en la producción de clorofila-a y carotenoides, en los cuales, se presentó los niveles de producción más altos; según Vilches (2012) la mayor riqueza de especies proporciona un mejor aporte en la producción de clorofila en especial en los niveles de clorofila-a. En cuanto a la clorofila-b la riqueza y abundancia no es suficiente para explicar la producción, posiblemente puede estar relacionado con otros factores aun no determinados.

De acuerdo a los modelos de regresión lineal, se obtuvo una mayor influencia en los pigmentos de la clorofila “a” y “c”; esto se puede explicar debido a que la mayor concentración de biomasa que aportan el mayor número de individuos esta influenciado en su producción, es decir, que a una mayor cantidad de biomasa (individuos) la producción de clorofila presenta una tendencia creciente mayor (Rocha, Thomas, Carvalho & Gomes, 2009). Como es el caso de Quinuas en el que se presentó la abundancia de individuos más alta con niveles elevados de producción de los dos pigmentos.

Se observa una influencia entre los niveles de clorofila con la riqueza y abundancia de algas, aunque no fue objeto de esta tesis, es importante mencionar que otros factores pueden contribuir en el aumento o disminución en estos niveles de clorofila, variables químicas como la concentración de fósforo pueden aumentar los niveles de la clorofila-b, la determinación de esta influencia sobre este pigmento puede ser interesante considerarla en estudios futuros; también influencias meteorológicas alteran la sedimentación de varios nutrientes que modifican las variables biológicas, esto se verá reflejado en las comunidades perifíticas de cada río (FAO, 2019).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los ríos presentaron una alta diversidad con comunidades perifíticas que se dividen en dos grades grupos; teniendo los resultados más altos de diversidad para Quinuas y los más bajos en 2 Chorreras; los niveles de riqueza bajos están influenciados por la presencia de actividades ganaderas. Es importante tener en cuenta factores como la temporalidad, que determinaran la mayor diversidad de especies en el área de estudio. Ya que es sabido y ha sido mencionado por autores como Codony (2003) y Becerra y Tavera (2003) que las comunidades perifíticas cambiarán a lo largo del año debido a alteraciones en las características de los ríos.

La riqueza y abundancia de perifiton influencia los niveles de producción en los pigmentos de la clorofila, esta relación es más marcada en pigmentos como la clorofila "a", "c" y en menor medida en los carotenoides; una alta diversidad influencia la mayor producción de estos pigmentos. La clorofila "b" no presenta una influencia ante estas variables y su producción no se ve afectada por una baja o alta diversidad del perifiton.

En futuros estudios se recomienda continuar con el monitoreo de estas microcuencas considerando factores como la temporalidad, esto ayudara a caracterizar mejor los patrones de riqueza y abundancia en una escala de tiempo mayor.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 035-64.

Becerra Absalón, I., & Tavera, R. (2003). Cambios de la comunidad algal (Perifiton) relacionados con el ciclo hidrológico en un tinal anegable en Quintana Roo. *Mexican Studies/Estudios Mexicanos*, 19(2), 263–275. <https://doi.org/10.1525/msem.2003.19.2.263>.

Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., ... & Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*.

Bellinger, E., & Siegee, D. (2010). *Freshwater algae: Identification and use as bioindicators*: Wiley-Blackwell.

Bojorge-García, Miriam G., & Cantoral Uriza, Enrique A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000100002&lng=es&tlng=es.

Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. In *Revista Anales* (Vol. 1, No. 372, pp. 77-92).

Carrasquilla, A; Chacón-Rodríguez, A; Núñez, K; Gómez-Espinoza, O; Valverde, J; Guerrero, M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. *Tecnología en Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión*. Pág 33-45.

Carmona-Galindo, V.D., & Carmona, T.V. (2013). La Diversidad de los Análisis de Diversidad. *Bioma*, 14, 20-28.

Codony, F., Miranda, A., & Mas, J. (2003). *Persistence and proloferation of some unicellular algae in drinkin water systems as result of their heterotrophic metabolism*.

Comité Promotor para la nominación ante UNESCO (2012). Propuesta para la Declaratoria de la Reserva de Biosfera en el Macizo del Cajas. Ministerio del Ambiente. Ministerio de Relaciones Exteriores Comercio e Integración, SENPLADES, Municipalidad de Cuenca. ETAPA, GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional.

Elosegui, A. (Ed.). (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVa.

ETAPA EP, (2012). Propuesta para la declaratoria de la Reserva de Biósfera dirigida a la UNESCO denominada: Área de Biósfera Macizo del Cajas. Cuenca, Ecuador.

FAO. (2019). *La producción primaria en los ríos. El concepto de continuum fluvial*. <http://www.fao.org/3/T0537S/T0537S04.htm>

Gari, N., & Corigliano, M. D. C. (2006). El efecto de arroyos tributarios de menor orden sobre el perifiton de un río de llanura. *Biología Acuática*.

Jacobsen, D., & Encalada, A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. *Archiv fur Hydrobiologie*, 142, 53-70.

Jiménez-Valderde, A & Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, (Vol. 8, 31-XII-2003: 151 – 161). ISSN: 1576 – 9518.

MAE. (2018). *Actualización del Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas*. Ministerio del Ambiente.

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones Omega. SA, Barcelona.

Mena, P., & Hofstede, R. (2006). *Los Páramos Ecuatorianos*. Botánica Económica de los Andes Centrales.

Middleton, R. 2010 Cattle access affects periphyton community structure in Tennessee farm ponds. Master's Thesis, University of Tennessee. 103pp.

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas*. Cuenca: Don Bosco-Centro Grafico Salesiano.

Ministerio del Ambiente (MAE). (2014). *Actualización del Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas*.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.

Pizarro, H. A. Y. D. É. E., & Alemanni, M. E. (2005). Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). *Ecología austral*, 15(1), 73-88.

Rivera Rondón, Carlos A. & Catalan, Jordi. (2017). Diatom diversity in the lakes of the Pyrenees: An iconographic reference. *Limnetica*. 29. 127-395. 10.23818/limn.36.10.

Rocha, R., Thomas, S., Carvalho, P & Gomes, L. (2009). *Modeling chlorophyll-a and dissolved oxygen concentration in tropical floodplain lakes (Paraná River, Brazil) Journal of Biology*, 69(2, suppl.), 491-500.

Roldán, P. G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Rodríguez, S., Schubert, A., & Vasco, S. (2014). Área de Biosfera Macizo del Cajas, Experiencias de Desarrollo Sostenible para el Buen Vivir.
- Salas-Tovar, Y., Geovo, S., & Murillo, S. A. (2011). Caracterización de las comunidades perifíticas y de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Pacurita, corregimiento de Pacurita, Quibdó, Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 1(2), 98-104.
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., Arana, J., Ortega, H., Correa, V., & Hidalgo, M. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. *Ministerio del Ambiente, Lima*.
- SNAP. (2014). *Parque Nacional Cajas*. Sistema Nacional de Areas Protegidas de Ecuador.
- Stevenson, R.J., M.L.Bothwell & R.L., LOWE. 1996. *Algal Ecology*. Academic Press. California. USA. 753pp
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- Torres Guzmán, O. N. (2015). *La declaratoria del Macizo del Cajas como reserva de la biosfera y la minería a gran escala: posibilidades y contradicciones en el caso de Quimsacocha* (Master's thesis, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador).
- Vilches, C. (2012). Efectos de la contaminación difusa sobre el perifiton de arroyos. Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- Villafañe, V. E., & Reid, F. M. H. (1995). Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. *Manual de métodos ficológicos*, 169-185.
- Wetzel, R., & Likens, G. (1991). *Limnological Analyses*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- Wetzel, R. G. (Ed.). (2012). *Periphyton of Freshwater Ecosystems: Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems Held in Växjö, Sweden, 14–17 September 1982* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- Whittaker, R.H. (1972). Evolution and Measurement of Species Diversity. *Taxon*. 21(2/3): 67.
- Zhunio, N. A. C. (2018). Estimación del nivel de desarrollo sostenible de los territorios rurales del área de biosfera Macizo del Cajas, a partir de las dimensiones del sistema territorial. *Killkana sociales: Revista de Investigación Científica*, 2(3), 33-42.

ANEXOS

Anexo 1. PCA de la clorofila por río.

Río	PC1	PC2
% acumulado	75.07%	23.70%
Dos Chorreras	- 1.4995537	0.4254405
Balao	1.5530234	0.6306283
Chanlud	-1.3374166	0.3608859
Miguir	-0.6812432	0.3241510
Patul	-1.0320594	0.3312372
Quinuas	3.1638792	0.1076752
Yanuncay	-0.1666298	-2.1800180

Anexo 2. PCA de la riqueza y abundancia por río.

Río	PC1	PC2
% acumulado	39.34%	29.11%
Dos Chorreras	-2.3737927	-3.976554
Balao	-8.0997512	12.981404
Chanlud	-2.2382659	-3.975567
Miguir	-0.4490404	-3.496151
Patul	-2.1369793	-2.475211
Quinuas	16.2102103	4.719402
Yanuncay	-0.9123807	-3.777323

Anexo 3. Registro fotográfico de las especies identificadas.



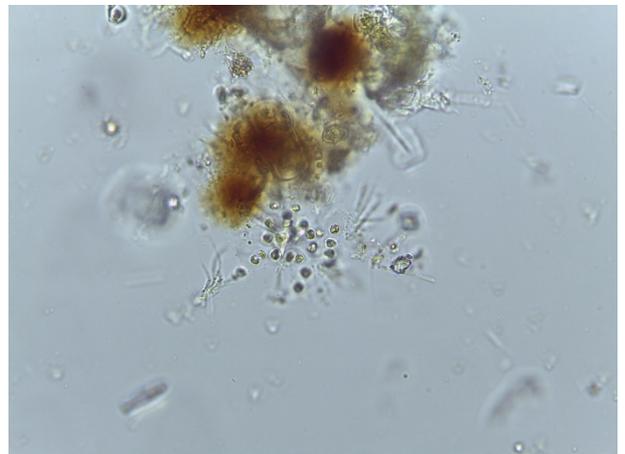
Achnanthes microcephala



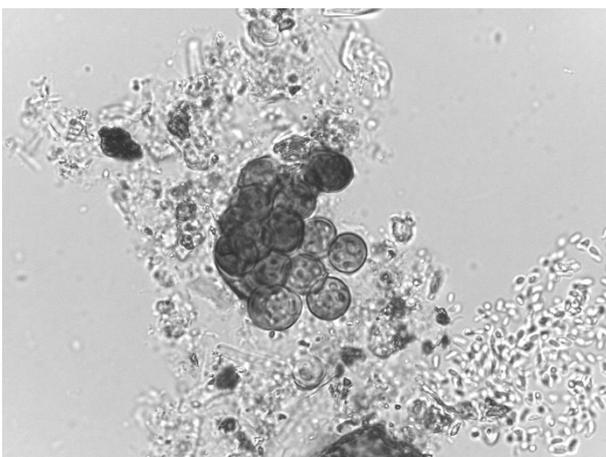
Achroasma uncum



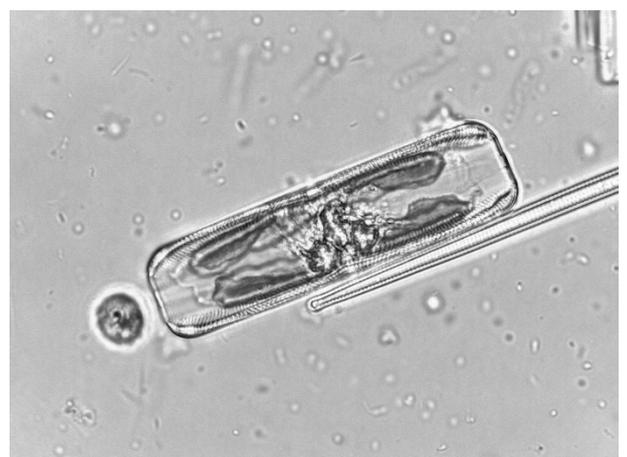
Anomoeoneis esphaerophora



Aphanothece sp1.



Botryochloris minia



Biremis ambigua



Audionella violacea



Bulbochaete eliator



Ceratoneis arcus



Calothrix braunii



Chaetopeltis sp1.



Caloneis bacillum



Chodatella subsalsa



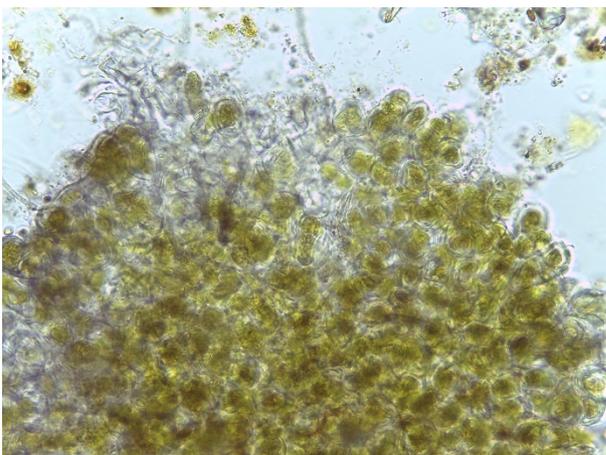
Chroococcus turgidus



Cocconeis placentula



Coleochaete scutata



Coleochaete sp1.



Cymbella lanceolata



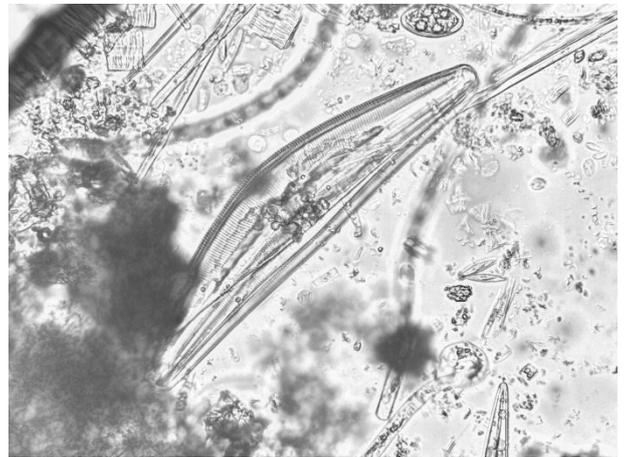
Cymatopleura solea



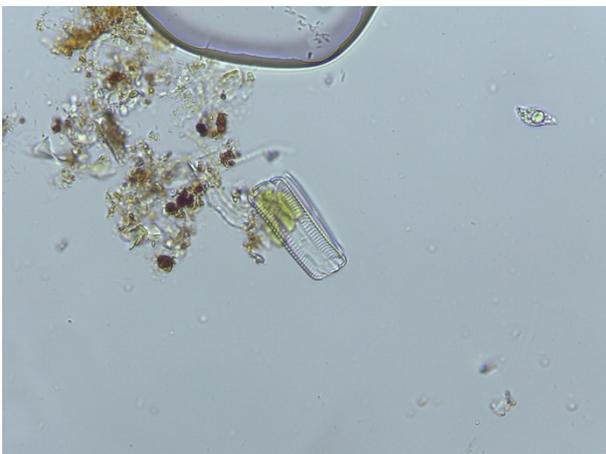
Cymbella bentricosa



Cymbella prostata



Cymbella cymbiformis



Denticula pelagica



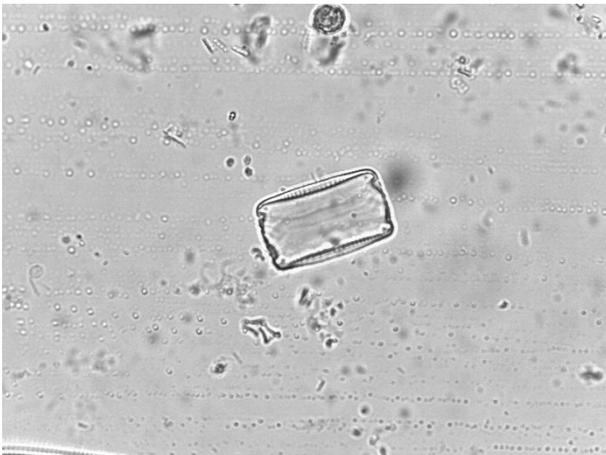
Cymbella tumida



Diploneis eliptica



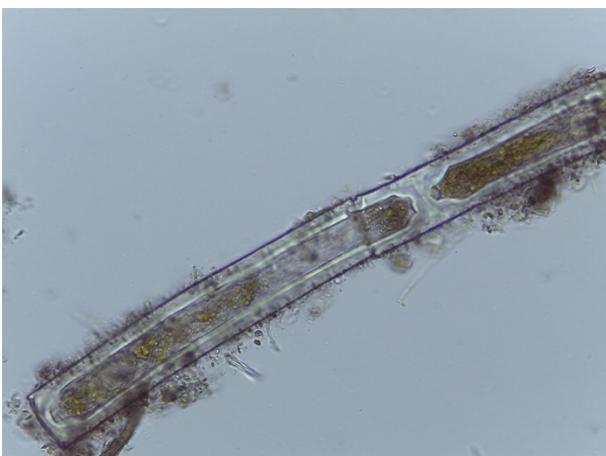
Epithemia argus



Eunotia biseratoides



Synedra ulna



Geminella minor



Gomphonema acuminatum



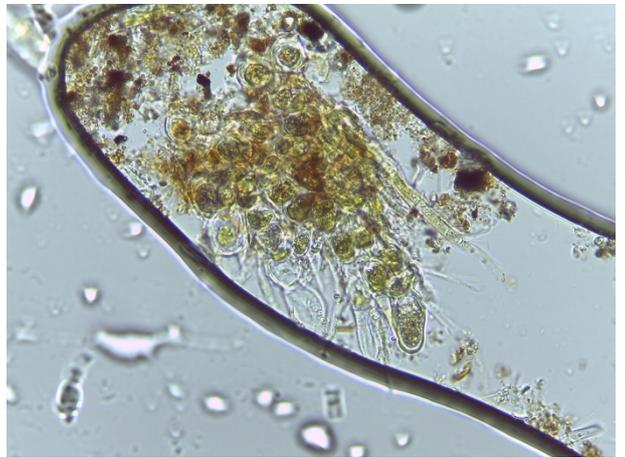
Spirulina platensis



Gomphonema brebisoni



Gomphonema montanum



Gomgrosira sp1.



Hyalotheka dissilens



Scenedesmus bijugatus



Melosira varians



Surirella angustata



Mougetia sp1.



Microspora amoena



Navicula cryptocephala



Navicula gracilis



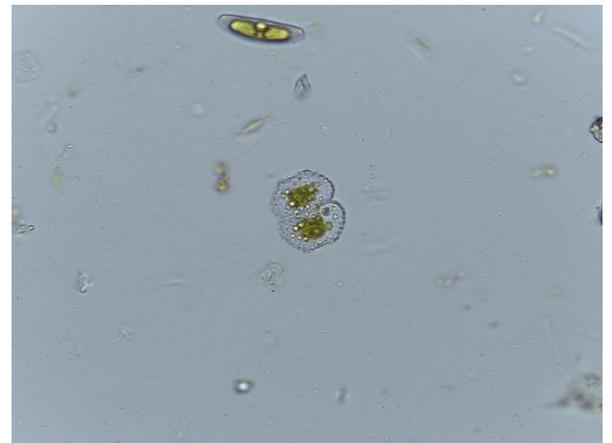
Navicula radiosa



Rhopalodia gibba



Staurastrum gracile



Cosmarium ornatum