



FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA  
DE POPAYÁN



## PROGRAMA DE ECOLOGÍA

### ACTA DE EVALUACIÓN INTEGRAL DE PROYECTO DE GRADO

#### OPCIÓN DE GRADO: TRAYECTORIA DE INVESTIGACIÓN

**TÍTULO: ESTADO TRÓFICO Y CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA DE DOS LAGUNAS DE ALTA MONTAÑA EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ, POR MEDIO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y PARÁMETROS FÍSICO –QUÍMICOS COMO INDICADORES**

En Popayán a los 14 días del mes de octubre de 2022, se reunió de manera virtual en el enlace <https://meet.google.com/gpp-hypu-xvw> el Jurado Evaluador, integrado por:

**Nicole Ibagón y Arnol Arias**, para evaluar a las estudiantes de Ecología:

**Laura Melissa Muñoz, cc 1061816396 y  
Jency Nathaly Palacio, cc 1123314573**

El jurado evaluador atendiendo a los reglamentos del programa en Ecología y considerando que las estudiantes han demostrado suficiencia de conocimientos, capacidad analítica y deductiva, adaptación a situaciones nuevas, capacidad para la comunicación escrita y oral, aptitud para el desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas, le confiere la calificación de:

APROBADO

REPROBADO

Para optar por el título de Ecólogos.

**Nicole Estefanía Ibagón**  
Docente

**Arnol Arias**

Estado trófico y calidad biológica de dos lagunas alto andinas

Estado Trófico y Calidad Biológica del Agua de dos Lagunas de Alta Montaña en el Parque Nacional Natural Puracé, por medio de Macroinvertebrados Acuáticos y parámetros físico – químicos como indicadores.

Jency Nathaly Palacio Bayer, Laura Melissa Muñoz Burbano

Fundación Universitaria de Popayán

Estado trófico y calidad biológica de dos lagunas alto andinas

Estado Trófico y Calidad Biológica del Agua de dos Lagunas de Alta Montaña en el Parque Nacional Natural Puracé, por medio de Macroinvertebrados Acuáticos y parámetros físico – químicos como indicadores.

Jency Nathaly Palacio Bayer, Laura Melissa Muñoz Burbano

Programa de Ecología

Fundación Universitaria de Popayán

Recursos hidrobiológicos

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Popayán 2022

## Resumen

La trayectoria de investigación emprende desde la participación como integrantes del semillero de Gestión social y ambiental, y posteriormente en el semillero Serendipias con un enfoque formulador e investigativo, permitieron impulsar el pensamiento crítico y poder acceder al conocimiento desde una base científica acorde a la carrera de Ecología; y es a través de productos o resultados donde se pudo dar a conocer nuestros aportes como investigadoras. De los cuales se hablarán a continuación como: 1. La Participación como semilleristas en el proyecto **“Línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lenticos valor objeto de conservación del PNN Puracé”** aprobado en convocatoria interna mediante Resolución 020 del 05 de febrero del 2020. Donde se presentó una propuesta para el componente hidrobiológico titulada **“Evaluar el estado ecológico de la Laguna Magdalena y Laguna Cusiyaku en el Parque Nacional Natural Puracé por medio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y parámetros físico-químicos”**, a partir de la metodología aplicada en la propuesta surgió el producto 2. la generación de informe técnico de investigación el cual fue entregado a la entidad de Parques Nacionales Naturales seccional Puracé, con los resultados obtenidos en los meses de muestreo, dando respuesta a los objetivos planteados en la propuesta del ítem 1. Asimismo la 3. Participación de la Capacitación **“Introducción a la taxonomía de insectos acuáticos, bioindicadores de la calidad del agua”** orientada en Universidad de Caldas sede Manizales, asesorada por la Bióloga Yuli Paulina Ramírez, con la finalidad de corroborar la identificación previamente realizada en el laboratorio de nuestra facultad, así como también el análisis de muestras de insectos con gran dificultad, que hasta el momento no era posible obtener su clasificación taxonómica. Adicionalmente aprendimos técnicas de conservación y organización de muestras para ser depositadas en una colección entomológica, además de obtención de bibliografía digital y física inédita. Seguido a ello en el mes de octubre tenemos el resultado 4. En el que contribuimos como ponentes en el **“I Simposio Regional De Ecología En Popayán”** con la presentación titulada **“Un acercamiento a las condiciones ecológicas y calidad del agua de las lagunas Magdalena y Cusiyaku por medio de la comunidad de macroinvertebrados**

Estado trófico y calidad biológica de dos lagunas alto andinas

acuáticos y parámetros fisicoquímicos como indicadores”. Donde se dieron a conocer resultados preliminares de los dos primeros meses de muestreos (marzo y julio), además del área de estudio y la metodología utilizada en la propuesta del ítem 1. Conjuntamente el 5. Con la participación del curso “Consulta previa en estudios ambientales” que se realizó en el marco del “I simposio regional de Ecología” en Popayán, posterior a ello iniciamos el 6 con el curso “Escritura de artículos científicos” , el cual fue dictado por el centro de escritura javeriano, con una intensidad de 40 horas con el fin de adquirir conocimientos, recursos y herramientas requeridas para la elaboración de artículos científicos que se ajusten a las convenciones propias de la comunidad científica. Con las bases adquiridas en la capacitación de insectos y en el curso de escritura ,surge el producto 6 que fue la creación del artículo científico, en el que se analizaron los resultados de la investigación y que finalmente se tituló: **“Estado Trófico y Calidad Biológica del Agua de dos Lagunas de Alta Montaña en el Parque Nacional Natural Puracé, por medio de Macroinvertebrados Acuáticos y parámetros físico – químicos como indicadores”**, el cual será traducido en ingles nativo y se enviara a la revista indexada “International Journal of Limnology” para su publicación, con el fin de generar nuevos conocimientos y divulgación acerca de los ecosistemas lagunares altoandinos. Y para culminar la trayectoria obtuvimos el producto 7 que consistió en la escritura y publicación de un capítulo de libro titulado **“Influencia De Las Variables Morfológicas Y Poblacionales De *Eichornia Crassipes* Y *Pistia Stratiotes* Sobre La Comunidad De Macroinvertebrados Acuáticos En Una Madre Vieja Del Valle Del Cauca” En El Libro Agrarias: Pesquisa E Inovação Nas Ciências Que Alimentam O Mundo - Vol. Viii** ,en el que el autor principal es el investigador Daniel Feriz y nuestro aporte consistió en la revisión bibliográfica, organización y análisis de resultados, además de la organización del documento en general con los requerimientos de la editorial ARTEMIS – Brasil.

# CAPÍTULO 18

## INFLUENCIA DE LAS VARIABLES MORFOLOGICAS Y POBLACIONALES DE *Eichornia crassipes* Y *Pistia stratiotes* SOBRE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EN UNA MADRE VIEJA DEL VALLE DEL CAUCA

Data de submissão: 20/05/2022

Data de aceite: 08/06/2022

### Daniel Feriz Garcia

Grupo de estudios Unidad de Investigación en Ecosistemas Tropicales UNIET  
Departamento de Ecología  
Fundación Universitaria de Popayán  
Cauca, Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-6290-9688>

### Jency Nathaly Palacio Bayer

Semillero de Investigación SERENDIPIAS  
Ecología  
Fundación Universitaria de Popayán  
Cauca, Colombia

### Laura Melissa Muños Burbano

Semillero de Investigación SERENDIPIAS  
Ecología  
Fundación Universitaria de Popayán  
Cauca, Colombia

**RESUMEN:** El humedal Cucho de Yegua se ubica en el Departamento del Valle del Cauca y se clasifica como un sistema palustre permanente en estado de sucesión ecológica, colonizado por macrófitas acuáticas flotantes, la composición de plantas acuáticas está dada principalmente por las especies *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes* las cuales cubren

la totalidad del espejo de agua. El objetivo de este estudio fue identificar diferencias en la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales asociados a las dos especies de macrófitas dominantes e identificar las variables morfológicas en cada una de ellas que podrían influenciar la distribución de los macroinvertebrados. Se realizaron seis repeticiones, cada una en las zonas dominadas por *E. crassipes* y *P. stratiotes* durante tres meses seguidos. Se midieron múltiples variables como el número de plantas, longitud máxima de raíces, número de hojas, biomasa húmeda y seca y se colectaron los macroinvertebrados acuáticos para su identificación. La relación entre los Macroinvertebrados y las macrófitas se realizó mediante un análisis de redundancia (ADR), empleando el programa CANOCO y un análisis discriminante utilizando Rwizard. Se colectaron 40 géneros, 26 familias, 12 órdenes y seis clases dentro de los Phylum Artrópoda, Mollusca y Annelida. La similitud entre las comunidades de macroinvertebrados encontradas zonas las dos especies de macrófitas fue del 41%, compartiendo un total de 17 géneros entre los cuales están *Odontomia* sp, *Tabanus*, *Chrysops* sp, las subfamilias Tanypodinae, Orthoclaadiinae, Psychodidae, los géneros *Alluadomyia*, *Probezzia* y *Stilobezzia*. De acuerdo al ADR las variables número de hojas y peso fresco de raíces fueron las que influyeron la distribución de géneros como *Probezzia*, *Alluadomyia* y *Psychodidae* (NN); se observó una relación entre *Neochaetina* con *E.*

*crassipes* y su biomasa, y *Pomacea* y *Odontomia* con *P. stratiotes*; al igual que una relación positiva entre el número de plantas y la familia Hyridae.

**PALABRAS CLAVE:** Macrófitas acuáticas. Macroinvertebrados acuáticos. Madre vieja. Humedal. Influencia. Morfología.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Complejo Hidrológico del Valle Geográfico del Cauca ubicado en el suroccidente de Colombia, forma varios tipos de humedales como son las madre viejas, lagunas y ciénagas; entre los que se encuentra el humedal Cucho de Yegua (CVC, 2008). Estos humedales son de gran importancia como reservorio de agua, sumidero de carbono, fuentes de alimento, refugio y zona de alimentación para una gran variedad de animales (Ramos., 2006; Zambrano et al., 2015). Especialmente macroinvertebrados acuáticos, los cuales hacen parte primordial dentro de las cadenas tróficas de los humedales como consumidores secundarios, las que a su vez son consumidos por un gran número de peces los cuales llegan a ser de interés alimenticio para las familias (Thi Nguyen et al, 2015; Kouamé et al, 2010).

La composición y estructura e influencia de factores abióticos en los macroinvertebrados asociados a plantas acuáticas, han sido estudiados en lagos de inundación de grandes ríos como el Orinoco, Cauca y Magdalena en Colombia, la cuenca del río Paraná en Argentina y lagos en África (Bailey y Litterick, 1993; Rivera et al, 2010; Rivera Usme, 2011; Brendonck et al, 2003; Rosado et al, 2009); sin embargo, existen pocos trabajos en los que se comparan los invertebrados fitófilos en diferentes especies de plantas acuáticas y la influencia de sus variables morfológicas y morfométricas sobre las comunidades, esto se debe al tiempo que consume la separación de los invertebrados y a las dificultades que plantea la identificación de los taxa presentes en estadio de larva (Cyr y Downing, 1988; Neiff y Neiff, 2006). El conocimiento de la relación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos con el medio físico y químico aporta bases para desarrollar criterios de calidad y bioindicación aplicables a los sistemas de humedales (Rivera et al, 2010; Rocha et al, 2015).

Las especies de macroinvertebrados que habitan los ecosistemas de humedales difieren en atributos fisiológicos, morfológicos, conductuales y de historia de vida de los de cuerpos lóticos (Roldan y Ramírez, 2008); estudios de los roles tróficos brindan una imagen de cómo se estructuran las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de acuerdo a los mecanismos de alimentación y puede dar una visión general de la importancia de las macrófitas acuáticas como sustrato, ya sea para dar abrigo, como retenedoras de alimento, sitios de anidación y predación o como alimento directamente (Kouamé et al, 2011; Schmidt et al, 2015).



En este estudio se compara la composición y estructura de los generos de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y *Pistia stratiotes* L. en relación con las variables morfológicas de cada especie de planta.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La madre vieja Cucho e Yegua se encuentra ubicada en el municipio de Jamundí, corregimiento de Quinamayó bajo las coordenadas N: 03° 50 16,0 W: 076° 23 17,0. Este ecosistema se localiza en una zona de vida de bosque seco tropical (bs-T), a una altura de 965,2 msnm. Se puede clasificar como un sistema palustre permanente en estado de sucesión terminal; las tierras están dedicadas a la agricultura mecanizada (caña de azúcar, arroz, maíz) y agricultura con el sistema de producción denominado Finca Tradicional (cítricos, papaya y cacao, entre otros) y la ganadería extensiva usando pastos naturales y mejorados (CVC, 2005 y 2008). Éstas condiciones han generado la colonización excesiva de *E. crassipes*, *P. stratiotes*, las cuales han invadido gran parte del humedal alcanzando cobertura de la totalidad del espejo de agua en el área de muestreo (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de la madre vieja Cucho é Yegua en el municipio de Jamundí, Valle del Cauca-Colombia.





## 2.2 CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS HÍDRICAS DEL HUMEDAL

No se registró diferencia en los valores de los parámetros físicos y químicos en el agua ni entre macrófitas ni entre meses ( $p \geq 0,05$ ), sin embargo, hubo cambios en los valores entre los diferentes meses de muestreo, evidenciando la influencia de las temporadas de lluvia y sequía sobre las condiciones físicas y químicas bajo las cuales se desarrollan, siendo las aguas características de ecosistemas acuáticos con un elevado nivel de alteración y eutrofización, con valores muy bajos de oxígeno ( $< 2 \text{ mg/l}$ ) (Tabla 1) lo cual se considera un factor limitante para los macroinvertebrados acuáticos, problema que se incrementa por la temperatura cálida del agua ( $> 25 \text{ }^\circ \text{C}$ ) (Roldan y Ramírez, 2008).

La madre vieja presenta valores bajos de carbonatos lo que sumado al dióxido de carbono libre sugieren problemas en la capacidad buffer del sistema. De acuerdo al pH registrado se puede considerar el agua en la zona de muestreo como levemente ácida producto del  $\text{CO}_2$  libre. Los niveles de nutrientes registrados en el sistema acuático (Amonio y Nitratos) son típicos de ecosistemas contaminados lo cual limita el desarrollo de comunidades complejas de macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos analizados dentro de cada cobertura vegetal en los diferentes meses de muestreo.

| Parámetro                            | Unidades                    | <i>P. stratiotes</i> |     |     |      | <i>E. crassipes</i> |     |     |      |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----|-----|------|---------------------|-----|-----|------|
|                                      |                             | Sep                  | Oct | Nov | ̄    | Sep                 | Oct | Nov | ̄    |
| Temperatura Ambiental                | $^\circ \text{C}$           | 28                   | 30  | 28  | 28,7 | 28                  | 30  | 28  | 28,7 |
| Temperatura del Agua                 | $^\circ \text{C}$           | 26                   | 27  | 27  | 27,0 | 27                  | 26  | 28  | 27   |
| Oxígeno Disuelto $\text{O}_2$        | mg $\text{OD/L}$            | 0,5                  | 2,1 | 0,7 | 1,1  | 0,5                 | 0,3 | 0   | 0,2  |
| Saturación $\text{O}_2$ Disuelto (%) | %                           | 6                    | 28  | 8   | 14   | 6                   | 5   | 0   | 3,6  |
| Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) | mg $\text{CO}_2/\text{L}$   | 10                   | 5   | 8   | 7,7  | 12                  | 10  | 12  | 11,3 |
| pH                                   | Unidades                    | 6                    | 6,2 | 6,5 | 6,2  | 6                   | 5,5 | 6,4 | 6,0  |
| Alcalinidad Total                    | mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ | 1                    | 0,5 | 1   | 0,8  | 0,6                 | 0,7 | 1   | 0,8  |
| Dureza Total                         | mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ | 36                   | 25  | 90  | 50,3 | 31                  | 34  | 80  | 48,3 |
| Dureza Carbonácea                    | mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ | 1,1                  | 0,8 | 0,9 | 0,9  | 1,6                 | 0,9 | 1   | 1,2  |
| Amonio                               | mg ( $\text{NH}_4^+$ )/L    | 0,2                  | 0,2 | 1   | 0,5  | 0,4                 | 0,6 | 2   | 1,0  |
| Nitratos                             | mg ( $\text{NO}_3^-$ )/L    | 50                   | 30  | 25  | 35,0 | 75                  | 50  | 50  | 58,3 |
| Variable de agrupación               | Prueba estadística          | sig                  |     |     |      |                     |     |     |      |
| Meses                                | Kruskal-Wallis              | 1.00                 |     |     |      |                     |     |     |      |
| Macrófitas                           | U de Mann Withney           | 1.00                 |     |     |      |                     |     |     |      |

## 2.3 MUESTREO DE LAS MACRÓFITAS ACUÁTICAS FLOTANTES Y DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES (MAE)

Los muestreos se llevaron a cabo durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2011 lo que corresponde a la época de transición de sequía a lluvias respectivamente.

- **Fase de campo:** comprendió la colecta de las especies de macrófitas flotantes *E. crassipes* y *P. stratiotes*; éstas fueron colectadas con un tamiz de marco de madera de 50 cm x 50 cm con una maya de abertura de poro de 376  $\mu\text{m}$ . Esta metodología fue tomada y modificada de la aplicada por Alba-Tercedor et al, (2005) e investigaciones como Darrigran et al, (2007), Saccò et al, (2020) y Pinna et al, (2014). Se tomaron 5 muestras por cada cobertura de macrófita por mes. A cada muestra se le determinó el número de plantas (NP), el número de hojas (Nh) y la longitud máxima de las raíces (Lr).
- **Fase de laboratorio:** Las plantas fueron lavados en un balde agitando vigorosamente sus partes para desprender los MAE; el residuo del balde fue cernido con un tamiz de poro de 376  $\mu\text{m}$  para la recolección de los organismos atrapados en ellas Pinna et al (2014). Las muestras de MAE fueron identificadas hasta el menor nivel taxonómico posible; a cada organismo se le determinó el grupo funcional teniendo en cuenta las categorías propuestas por Merritt y Cummins (2008): a) trituradores, b) colectores-recolectores, c) colectores- filtradores d) raspadores y e) depredadores. Adicionalmente se estimó la abundancia relativa y porcentual de los individuos, la densidad (ind/ $\text{m}^2$ ), la riqueza, diversidad de Shannon, la dominancia de Simpson y la similitud de Jaccard. Adicionalmente se midió la biomasa de los plantas por medio del peso fresco y seco tanto de raíces como de hojas de acuerdo a lo propuesto por Elozegi y Sabater (2009).

## 2.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los valores de los parámetros fisicoquímicos, Morfológicos y ecológicos se compararon por medio de la prueba estadística de Kruskal-Wallis para meses y U de Mann-Withney para macrófitas. Para verificar la existencia de relaciones entre las variables morfológicas vegetales y la distribución de los géneros de MAE, se aplicó el análisis de redundancia canónica (ADR), empleando el programa CANOCO 3,12 (TerBraak y Šmilauer, 2002) Todas las variables fueron transformados por la función  $\log(x+1)$  antes

del análisis. Los análisis de aplicaron a los géneros cuyas abundancias representaron el 95% de la densidad total.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS MACRÓFITOS ACUÁTICOS COLECTADOS

Se registraron diferencias significativas entre el número de plantas promedio por unidad de muestreo (U Mann-Withney,  $p < 0,05$ ) presentando *E. crassipes* el mayor número de plantas por unidad de área (10,8 ind/50 cm) con un valor máximo de 15 plantas y mínimo de 6; mientras que *P. stratiotes* presentó 8,1 ind/0,5m<sup>2</sup> en promedio con un máximo de 11 ind/0,5m<sup>2</sup> y un mínimo de 5 ind/0,5m<sup>2</sup> (Tabla 2). El promedio de biomasa total de *E. crassipes* fue significativamente mayor que el de *P. stratiotes* (U Mann-Withney,  $p < 0,05$ ) aportada principalmente por las diferencias en peso de la raíz. Las demás variables morfológicas no mostraron diferencias significativas entre plantas (U Mann-Withney,  $p > 0,05$ ).

Todas las variables morfológicas mostraron diferencias significativas entre ellas al pasar los meses de muestreo, incrementando sus valores hacia el final del muestreo (Kruskall-wallis,  $p > 0,05$ ) a excepción del número de hojas, quien aumenta en el mes de octubre y decae en el mes de noviembre. El aumento del tamaño de las plantas se atribuye al incremento de la pluviosidad lo que genera una reacción de la planta preparándose para el incremento de la profundidad de la columna de agua y el aumento de nutrientes (Fernández et al, 2005).

Tabla 2. Variables morfológicas medidas en los muestreos de macrófitas acuáticas; Ps= *Pistia stratiotes*, Ec= *Eichhorna crassipes*, Sep= Septiembre, Oct= octubre, Nov= Noviembre.

| Variables                  | Ps |          | Ec  |          | Sep |          | Oct |          | Nov |          |
|----------------------------|----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
|                            | N° | Rango    | N°  | Rango    | N°  | Rango    | N°  | Rango    | N°  | Rango    |
| <b>Morfológicas</b>        |    |          |     |          |     |          |     |          |     |          |
| <b>N° plantas</b>          | 8  | (5-11)   | 11  | (6-15)   | 9   | (5-14)   | 8   | (6-15)   | 11  | (8-15)   |
| <b>N° hojas por planta</b> | 18 | (15-23)  | 19  | (11-28)  | 18  | (12-25)  | 21  | (16-28)  | 17  | (11-20)  |
| <b>Longitud raíz (cm)</b>  | 22 | (12-26)  | 21  | (12-28)  | 21  | (12-25)  | 19  | (12-25)  | 24  | (20-28)  |
| <b>Biomasa hojas (g)</b>   | 62 | (30-100) | 81  | (26-134) | 48  | (26-80)  | 70  | (30-100) | 92  | (64-124) |
| <b>Biomasa raíz (g)</b>    | 28 | (17-48)  | 53  | (20-95)  | 25  | (17-40)  | 38  | (20-75)  | 56  | (30-95)  |
| <b>Biomasa total (g)</b>   | 90 | (50-125) | 133 | (46-229) | 70  | (46-120) | 108 | (55-175) | 149 | (99-129) |

\* Los valores dentro de paréntesis representan los valores máximos y mínimos registrados tanto para las coberturas como para los meses de muestreo.

### 3.2 COMPOSICIÓN DE MAE

La comunidad de macroinvertebrados colectados en el humedal reportó 40 taxa distribuidos en 26 familias, 12 órdenes y 6 clases, dentro de las cuales Insecta fue la más rica (77,5%) y abundante (95,4%). En las plantas de *P. stratiotes* se registraron 28 géneros en 18 familias y 9 órdenes, dentro de los cuales *Probezzia*, *Alluadomyia*, *Psychodidae*, *Odontomia*, las subfamilias Orthocladiinae y Tanypodinae (Familia Chironomidae), los generos *Tabanus sp*, *Chrysops sp.* y *Pomacea sp.*, contribuyen con las mayores densidades registradas. En *E. crassipes* se registraron 29 géneros, 15 familias y 8 ordenes; los géneros dominantes fueron de mayor a menor *Neochetina sp.*, *Probezzia*, *Alluadomyia*, *Psychodidae*, *Tabanus*, Tanypodinae, la familia Hyriidae, Orthocladiinae, *Pomacea*, *Histrycosoma*, *Chrysops* (Tabla 3). Algunos macroinvertebrados colectados fueron identificados apenas a nivel de familia

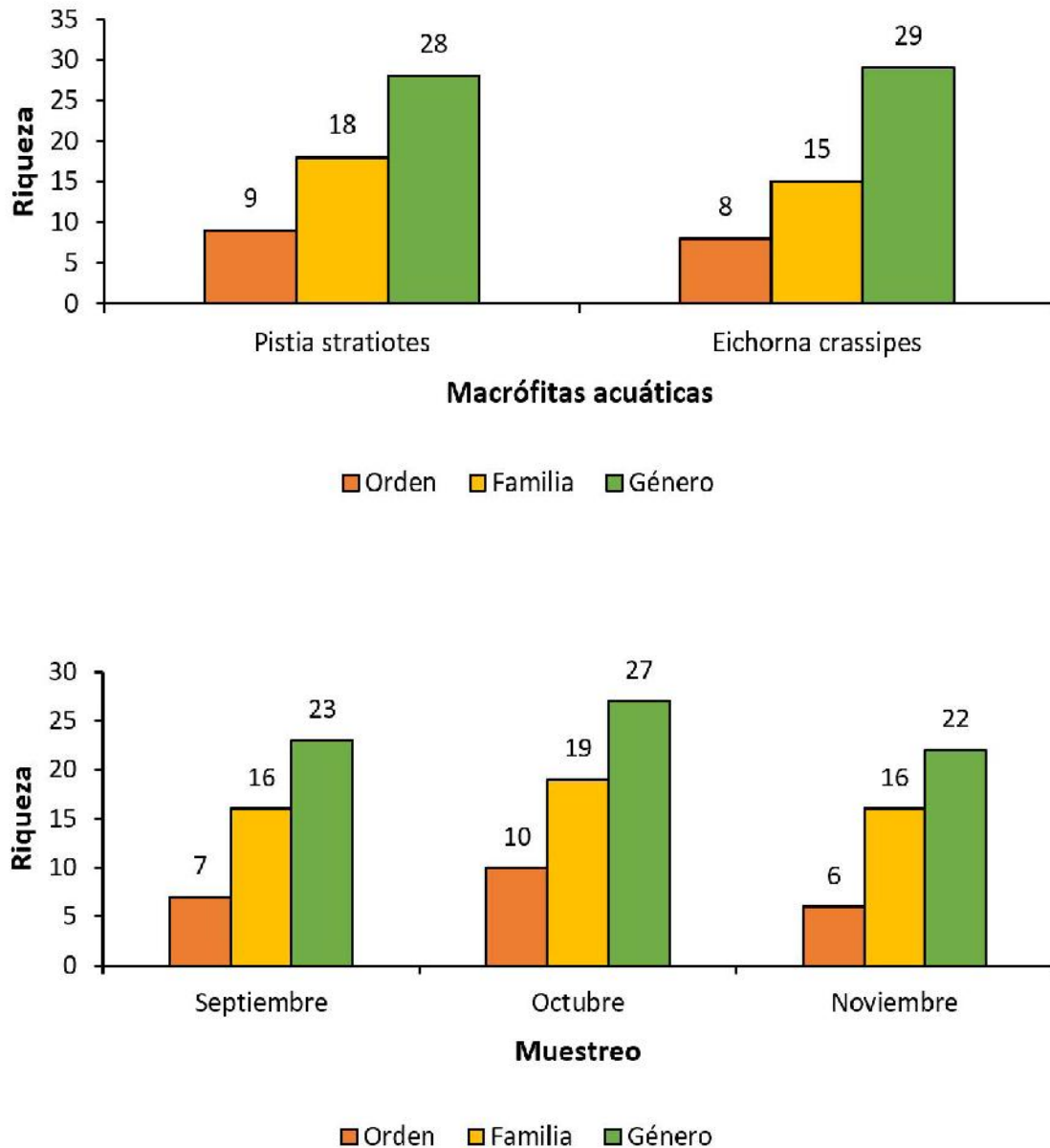
Con respecto a las variables comparadas, estas no mostraron diferencias significativas de composición de macroinvertebrados entre especies de macrófitas (Kruskall-wallis,  $p > 0,05$ ) pero si entre los meses colectados (U Mann-Withney,  $p < 0,05$ ), aumentando la abundancia, la dominancia y la diversidad hacia el mes de octubre debido al aumento en la cantidad de agua en el sistema y al incremento progresivo en el número de plantas flotantes y sus biomásas (Rivera et al, 2010; Rivera-Usme, 2011), sin embargo no se registraron cambios en el número de géneros colectados (U Mann-Withney,  $p > 0,05$ ) (Figura 3).

Tabla 3. Composición y abundancia de macroinvertebrados colectados en el Humedal Cucho de Yegua. Ps: *Pistia stratiotes*; Ec: *Eichornia crassipes*; n= abundancia total.

| TAXA                |                 |                       | Abundancia de macroinvertebrados en las diferentes coberturas |     |      |      |
|---------------------|-----------------|-----------------------|---|-----|------|------|
| Orden               | Familia         | Taxa                  | Ps  | Ec  | n    | %    |
| Diptera             | Stratiomyiidae  | <i>Odontomia</i>      | 259   | 11  | 270  | 7,5  |
|                     |                 | <i>Tabanus</i>        | 67  | 38  | 105  | 2,9  |
|                     | Chironomidae    | <i>Chrysops</i>       | 53  | 13  | 66   | 1,8  |
|                     |                 | <i>Tanypodinae</i>    | 101   | 22  | 123  | 3,4  |
|                     |                 | <i>Orthocladiinae</i> | 145   | 35  | 180  | 5,0  |
|                     | Psychodidae     | <i>Psychodidae NN</i> | 284   | 53  | 337  | 9,4  |
|                     | Ceratopogonidae | <i>Alluadomyia</i>    | 402   | 66  | 468  | 13,0 |
|                     |                 | <i>Probezzia</i>      | 1151  | 184 | 1335 | 37,2 |
|                     |                 | <i>Stilobezzia</i>    | 16  | 7   | 23   | 0,6  |
|                     | Muscidae        | <i>Lispe</i>          | 0   | 2   | 2    | 0,1  |
| <i>Hemerodromia</i> |                 | 0                     | 4   | 4   | 0,1  |      |

| TAXA                    |                 |                     | Abundancia de macroinvertebrados en las diferentes coberturas |      |      |      |
|-------------------------|-----------------|---------------------|---|------|------|------|
| Orden                   | Familia         | Taxa                | Ps  | Ec   | n    | %    |
|                         | Syrphidae       | <i>Eristalis</i>    | 0   | 4    | 4    | 0,1  |
|                         | Culliciade      | <i>Culex</i>        | 0   | 2    | 2    | 0,1  |
|                         | Tipulidae       | <i>Tipula</i>       | 0   | 7    | 7    | 0,2  |
|                         |                 | <i>Molophilus</i>   | 1   | 0    | 1    | 0,0  |
|                         | Sciomyzidae     | <i>Sepedon</i>      | 4   | 0    | 4    | 0,1  |
| Lepidóptera             | Pyralidae       | <i>Nymphula</i>     | 2   | 0    | 2    | 0,1  |
|                         |                 | <i>NN</i>           | 1   | 1    | 2    | 0,1  |
| Coleóptera              | Hydrophilidae   | <i>Berosus</i>      | 2   | 4    | 6    | 0,2  |
|                         |                 | <i>Tropisternus</i> | 0   | 1    | 1    | 0,0  |
|                         |                 | <i>Helophorus</i>   | 1   | 0    | 1    | 0,0  |
|                         |                 | <i>Sphaeridium</i>  | 0   | 4    | 4    | 0,1  |
|                         | Dytiscidae      | <i>Laccophilus</i>  | 0   | 5    | 5    | 0,1  |
|                         |                 | <i>Agabus</i>       | 0   | 4    | 4    | 0,1  |
|                         | Curculioniidae  | <i>Neochetina</i>   | 1   | 459  | 460  | 12,8 |
|                         | Scirtidae       | <i>Cyphon</i>       | 0   | 1    | 1    | 0,0  |
|                         |                 | <i>Elodes</i>       | 1   | 0    | 1    | 0,0  |
|                         | Noteridae       | <i>Hydrocanthus</i> | 2   | 0    | 2    | 0,1  |
| Hemíptera               | Belostomatidae  | <i>Lethocerus</i>   | 0   | 2    | 2    | 0,1  |
| Odonata                 | Coenagrionidae  | <i>Acanthagrion</i> | 1   | 0    | 1    | 0,0  |
|                         |                 | <i>Telebasis</i>    | 2   | 0    | 2    | 0,1  |
| Acari                   | Hydrachnidae    | <i>Hydracarina</i>  | 3   | 0    | 3    | 0,1  |
| Mesogastrópoda          | Ampullariidae   | <i>Pomacea</i>      | 44  | 24   | 68   | 1,9  |
|                         | Thiaridae       | <i>Melanoides</i>   | 8   | 4    | 12   | 0,3  |
| Basommatóphora          | Ancylidae       | <i>Ferrissia</i>    | 2   | 3    | 5    | 0,1  |
|                         | Planorbidae     | <i>Gyalus</i>       | 10  | 0    | 10   | 0,3  |
| Unionoida               | Hyriidae        | <i>NN</i>           | 5   | 29   | 34   | 0,9  |
| Glossiphoniiphórmes     | Glossiphoniidae | <i>NN</i>           | 0   | 10   | 10   | 0,3  |
| Haplotáxida             | Aelosomatidae   | <i>Histrycosoma</i> | 2   | 20   | 22   | 0,6  |
|                         |                 | <i>Aelosoma</i>     | 3   | 0    | 3    | 0,1  |
| <b>Abundancia total</b> |                 |                     | 2573  | 1019 | 3592 | 100  |
| <b>Riqueza</b>          |                 |                     | 28  | 29   | 40   |      |

Figura 3. Distribución de la riqueza de grupos taxonómicos entre macrófitas y meses muestreados.



### 3.3 ABUNDANCIA

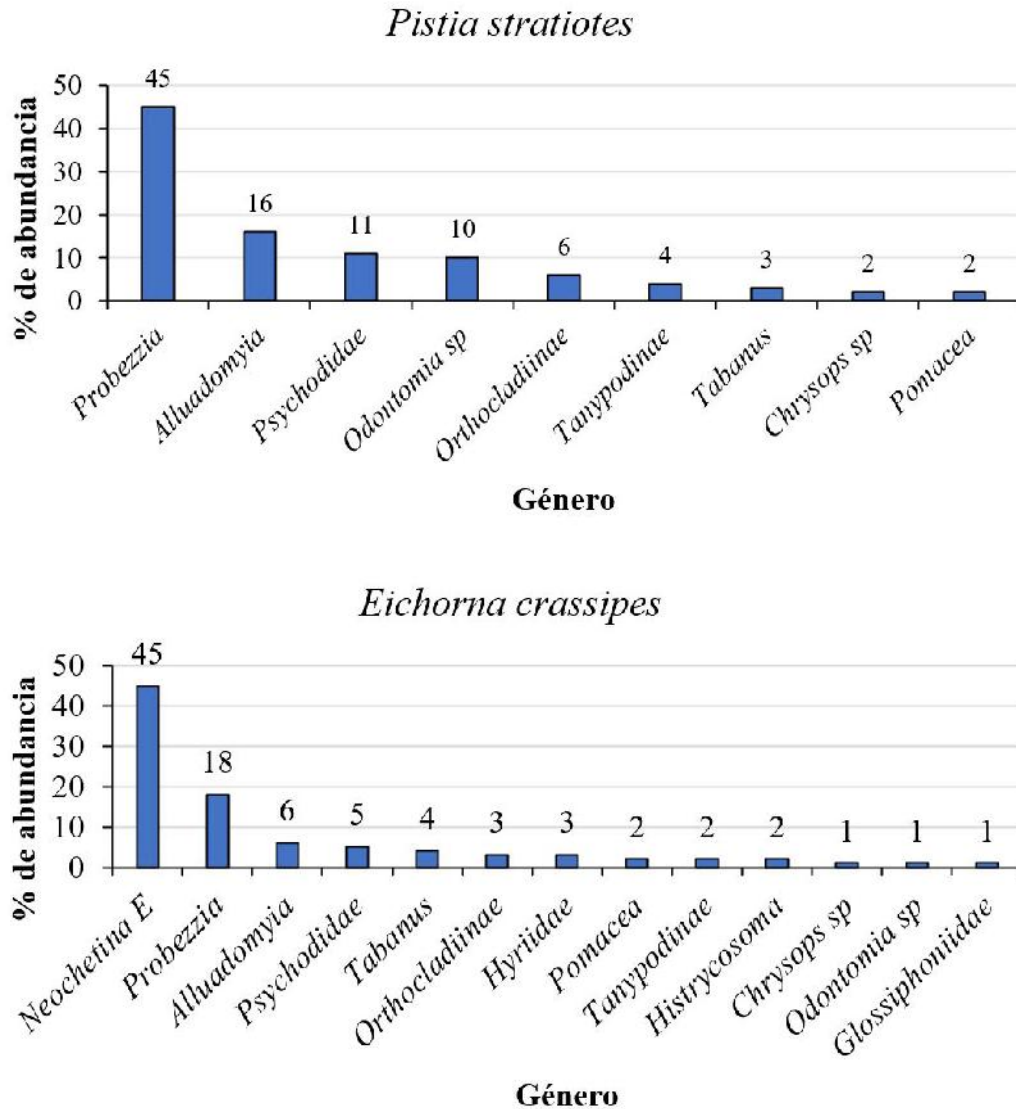
En total se colectaron 3 593 individuos de los cuales el 97% pertenecen a 14 géneros (Tabla 3, Figura 4) siendo el orden Diptera el más representativo con el 76% de la abundancia total, distribuida en los géneros *Probezzia* sp., *Alluadomia* sp., la familia Psychodidae, el género *Odontomia* sp. y la familia Chironomidae. Dentro del orden Coleóptera la familia Curculionidae con el género *Neochaetina* sp representa el 12% del total de la densidad colectada (Figura 4).

Los resultados indican que hay una diferencia significativa entre las abundancias colectadas en los tres meses de muestreo, pero no entre las coberturas de macrófitas,



(U Mann Withney,  $p > 0,05$ ) por lo que las diferencias morfológicas (Biomasa, número de hojas y longitud máxima de raíz) que presentaron las macrófitas proporcionan las mismas condiciones para el establecimiento de un número alto de individuos.

Figura 4. Abundancias porcentuales de los géneros más representativos en las poblaciones de Ps y Ec muestreadas.



### 3.4 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS VEGETALES

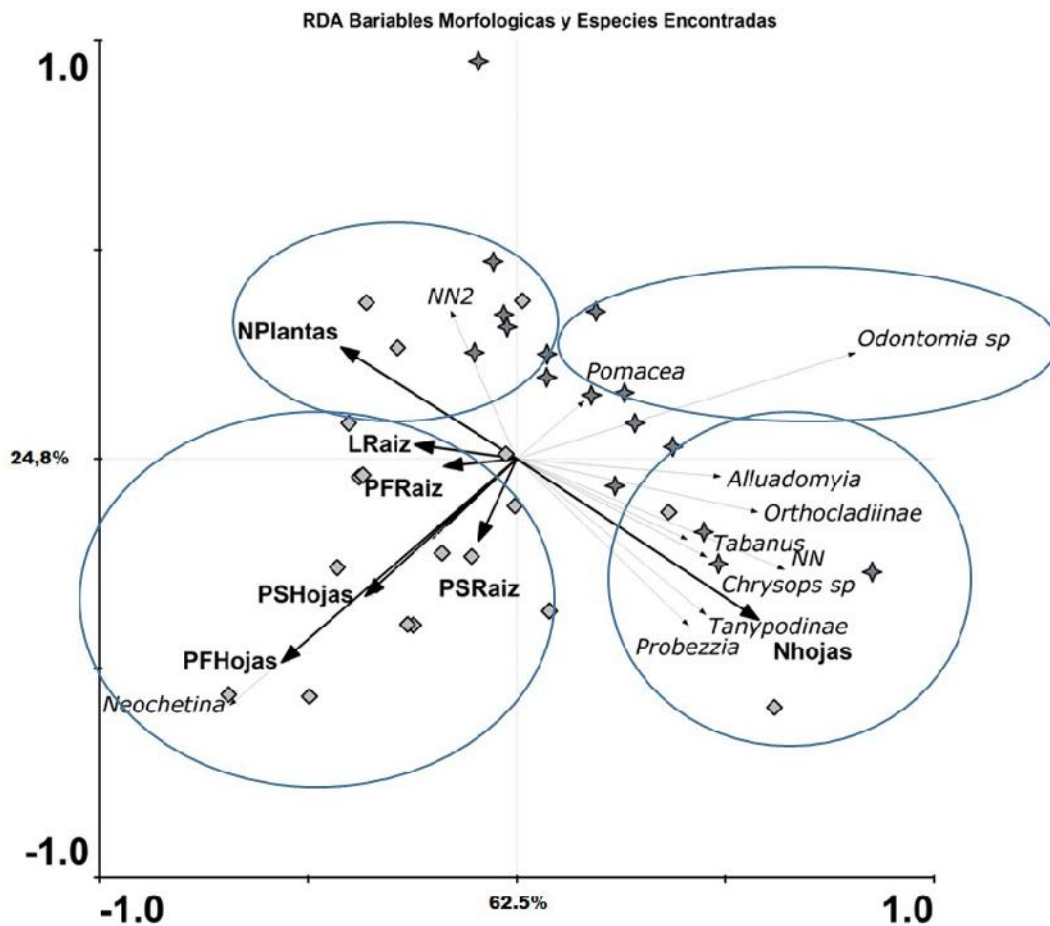
El análisis de redundancia canónica (ADR) explicó 87% de la varianza total con los dos primeros ejes, al relacionar las variables morfológicas de las plantas, con la abundancia de los géneros de MAE encontrados (Figura 5).

Se pudo determinar que el número de hojas es la variable vegetal que más influye en la presencia y abundancia de 7 géneros entre los cuales se encuentran tres de los más abundantes del muestreo. A su vez los cambios en los valores de biomasa se correlacionaron con la macrófita *E. crassipes* lo cual a su vez influencia los cambios



en la abundancia del coleóptero *Neochetina*. De los géneros colectados tres mostraron preferencia por una especie de macrofitas; *Odontomyia* y *Pomacea* se asociaron con la especie *Pistia stratiotes*, mientras que el género *Neochaetina* parece ser casi exclusivo de *Eichhornia crassipes*. El Bivalvo Hyriide no se relacionó con un tipo en especial de planta, sino por el número de plantas por unidad de área, independientemente de la especie, es una característica que influencia la abundancia de este molusco.

Figura 5. Análisis de redundancia canónica calculada entre los géneros de MAE colectados y las variables Morfológicas registradas en las macrofitas flotantes. Las estrellas son *P. stratiotes* y los rombos son *E. Crassipes*, NN= Psychodidae; NN2= Hyriidae.



#### 4 CONCLUSIONES

La comunidad de macroinvertebrados colectada en las dos especies de macrofitas acuáticas flotantes estuvo compuesta por 40 géneros distribuidos en 26 familias, 12 órdenes y 6 clases, dentro de los cuales la clase Insecta fue la más rica (77,5%) y abundante (95,4%). Dentro de *Pistia stratiotes* se registraron 28 géneros en 18 familias y 9 órdenes, dentro de los cuales *Probezzia*, *Alluadomyia*, *Psychodidae*, *Odontomyia*, las subfamilias *Orthoclaadiinae* y *Tanypodinae* (Familia *Chironomidae*), los generos *Tabanus*

*sp*, *Chrysops sp* y *Pomacea sp*, contribuyen con las mayores densidades registradas. En *Eichhorna crassipes* se registraron 29 géneros, 15 familias y 8 ordenes; los géneros más importantes colectados dentro del buchón de agua (*Eichhorna crassipes*) fueron de mayor a menor *Neochetina sp*, *Probezzia*, *Alluadomyia*, *Psychodidae*, *Tabanus*, *Tanypodinae*, la familia *Hyriidae*, *Orthocladinae*, *Pomacea*, *Histrycosoma*, *Chrysops*.

Se encontraron diferencias en la composición de macroinvertebrados colectados en las macrófitas; de los 40 géneros reportados en el trabajo, las macrofitas acuáticas compartieron un 41% (17 géneros) dentro de los cuales el 60% fueron dípteros. Sin embargo se presentaron 12 géneros exclusivos de *Eichhorna crassipes* y 11 géneros de *Pistia stratiotes*. Aunque el número de géneros compartidos es alto, la estructura de las poblaciones dentro de cada planta es similar dominando en ambas plantas los Dípteros y Coleópteros.

Se pudo determinar que el número de hojas es la variable vegetal que más influye en la presencia y abundancia de 7 géneros entre los cuales se encuentran tres de los más abundantes del muestreo. A su vez los cambios en los valores de biomasa se correlacionaron con la macrofita *E. crassipes* lo cual a su vez influencia los cambios en la abundancia del coleóptero *Neochetina*. De los géneros colectados tres mostraron preferencia por una especie de macrofita; *Odontomyia* y *Pomacea* se asociaron con la especie *Pistia stratiotes*, mientras que el género *Neochaetina* parece ser casi exclusivo de *Eichhorna crassipes*. El Bivalvo *Hyriide* no se relacionó con un tipo en especial de planta, pero si el número de plantas por unidad de área, que se constituye en una característica que influencia la abundancia de este molusco.

## REFERENCIAS

1. Alba-Tercedor, J; Pardo, I; Prat, N; Pujante, A, (2005). Protocolo de muestreo y análisis de Invertebrados acuáticos, en: Metodología para el establecimiento del estado ecológico. Directiva marco del agua. Ministerio del medio ambiente.
2. Elozegi, A y Sabater, S., (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial, capítulo 13 La biota de los ríos: Los Macrófitos. Fundación BBVA. Pp 243-250. ISBN 978-84-96515-87-1. [https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE\\_2009\\_conceptos\\_ecologia\\_fluvial.pdf](https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2009_conceptos_ecologia_fluvial.pdf).
3. Bailey, R.G., Litterick, M.R. The macroinvertebrate fauna of water hyacinth fringes in the Sudd swamps (River Nile, southern Sudan) (1993) *Hydrobiologia*, 250 (2), pp. 97-103. Cited 24 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027803493&doi=10.1007%2fBF00008231&partnerID=40&md5=aad2b26188de005a25b75fa8338c578d>. DOI: 10.1007/BF00008231.
4. Brendonck, L., Maes, J., Rommens, W., Dekeza, N., Nihwatiwa, T., Barson, M., Callebaut, V., Phiri, C., Moreau, K., Gratwicke, B., Stevens, M., Alyn, N., Holsters, E., Ollevier, F., Marshall, B. The impact of water hyacinth (*Eichhorna crassipes*) in a eutrophic subtropical impoundment (Lake Chivero, Zimbabwe). II. Species diversity (2003) *Archiv fur Hydrobiologie*, 158 (3), pp. 389-405. Cited 87 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0347495347&doi=10.1127%2f0003-9136%2f2003%2f0158-0389&partnerID=40&md5=992c830b5c94203bd00202918e41b131>. DOI: 10.1127/0003-9136/2003/0158-0389.

5. Cajo ter Braak, C, J; P. Smilauer, (2002). CANOCO Manual de referencia y Guía del usuario de CanoDraw para Windows: Software para la ordenación comunitaria canónica (versión 4.5).
6. Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca (CVC), (2008). Caracterización geológica y biológica y ordenamiento de los humedales del valle alto del río Cauca y diagnóstico del estado de la franja forestal protectora. Estudio de la dinámica del complejo de humedales en el valle alto del río Cauca, Convenio Interadministrativo 0144. Universidad del Valle. Vol 4.
7. Corporación Autónoma del valle del Cauca, CVC. (2005). Formulación del plan de manejo ambiental del humedal El Avispal o Carabalo corregimiento de Quinamayó, municipio de Jamundí. Orden de trabajo 1297.
8. Cyr, Downing, (1988) The abundance of phytophilus invertebrates on different species of submerged macrophytes. Freshwat. Biol. vol. 20: 365-374.
9. Darrigran, Vilches, Legarralde & Damborenea, (2007). Guía para el estudio de macroinvertebrados- Métodos de colecta y técnicas de fijación. Argentina, ProBiota. Serie técnica didáctica No 10.
10. Fernández, García, & Villarroya, (2005). Propuesta de una clasificación de humedales para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos: aplicación al complejo de humedales de Coca-Olmedo (Segovia). Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, vol 3. [http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_002.pdf).
11. Kouamé, M.K., Diétoa, M.Y., Da Costa, S.K., Edia, E.O., Ouattara, A., Gourene, G. Aquatic macroinvertebrate assemblages associated with root masses of water hyacinths, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach, 1883 (Commelinales: Pontederiaceae) in Taabo Lake, Ivory Coast (2010) Journal of Natural History, 44 (5-6), pp. 257-278. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34250830872&doi=10.3923%2fjbs.2007.309.314&partnerID=40&md5=986c32e858d9bd7eb4ef00bcb9c9863e>. DOI: 10.3923/jbs.2007.309.314.
12. Merritt, & Cummins, (2008). An introduction to the aquatic insect of North America. Kendall/Hunt. 4ta edición.
13. Muñoz Solarte D. M. Alejandra Ante L. Estandarización de un protocolo in vitro para el control biológico de *Eichhornia crassipes* con *Nechetina* (Coleoptera: Curculionidae). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial (2017) Edición Especial(1) 40. DOI: 10.18684/bsaa(15)40-48.
14. Pinna, M., Marini, G., Mancinelli, G., Basset, A. Influence of sampling effort on ecological descriptors and indicators in perturbed and unperturbed conditions: A study case using benthic macroinvertebrates in Mediterranean transitional waters (2014) Ecological Indicators, 37 (PART A), pp. 27-39. Cited 13 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84887264310&doi=10.1016%2fj.ecolind.2013.09.038&partnerID=40&md5=41629e2c92c882f1cd55f9fe7cb57900>. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.09.038.
15. Poi De Neiff, A., Neiff, J.J. Species richness and similarity of the invertebrates which live in floating plants on the floodplain of the River Parana Argentina [Article@Riqueza de especies y similaridad de los invertebrados que viven en plantas flotantes de la planicie de inundación del Río Paraná Argentina] (2006) Interciencia, 31 (3), pp. 220-225. Cited 54 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33749052091&partnerID=40&md5=f48a260081dc6eac08e7a82fd16e9f7>.
16. Ramos Ortega, L., Fontalvo, E., & López-Forment, W. (2006). Aproximación a las condiciones limnológicas de un plano de inundación del bajo río Magdalena durante un ciclo diario. Intropica, 3(1), 87-100. <https://doi.org/10.21676/23897864.130>.

17. Rivera, Zapata, Pérez, Morales, Ovalle & Alvarez, (2010). Caracterización Limnológica de humedales de la planicie de inundación del Río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta biol. Colomb.*, Vol. 15 (1): 145 – 166.
18. Rivera Usme, (2011). Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, 110p.
19. Roldan, P; Ramírez, J, (2008). Fundamentos de limnología Neotropical. Editorial universidad de Antioquia. Vol 2. Pp 231.
20. Rosado, Moura, Werneck, Colpas, Rodrigues, & Carballido, (2009). influência da complexidade estrutural da vegetação flutuante na fauna de invertebrados aquáticos predadores no lago camaleão, ilha da Marchantaria. Brasil.
21. Rocha, F.C., Andrade, E.M., Lopes, F.B. Water quality index calculated from biological, physical and chemical attributes (2015) *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (1), art. no. 4163, 15 p. Cited 17 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84957411611&doi=10.1007%2fs10661-014-4163-1&partnerID=40&md5=b770f4dce2560c603036f2b718ac535f>. DOI: 10.1007/s10661-014-4163-1
22. Saccò, M., Gómez, V.G., Sevilla, J.R., Fortunato, R.C., Eugenia Rodrigo Santamalia, M., Durà, V.B. Exploratory study on the optimisation of sampling effort in a non-vegetated lagoon within a Mediterranean wetland (Albufera Natural Park, Valencia, Spain)
23. (2020) *Ecological Indicators*, 117, art. no. 106538,. Cited 1 time. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085735354&doi=10.1016%2fj.ecolind.2020.106538&partnerID=40&md5=886ed321dda4fcc245156f588a553d50>. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106538.
24. Schmidt-Kloiber, A., Hering, D. *Www.freshwaterecology.info* - An online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences (2015) *Ecological Indicators*, 53, pp. 271-282. Cited 182 times. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923812255&doi=10.1016%2fj.ecolind.2015.02.007&partnerID=40&md5=5993e24609fed50b3f652b73292142a2>. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.02.007.
25. Thi Nguyen, T.H., Boets, P., Lock, K., Damanik Ambarita, M.N., Forio, M.A.E., Sasha, P., Dominguez-Granda, L.E., Thi Hoang, T.H., Everaert, G., Goethals, P.L.M. (2015). Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir (2015) *Limnologica*, 52, pp. 67-74. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84930043147&doi=10.1016%2fj.limno.2015.03.006&partnerID=40&md5=>. DOI: 10.1016/j.limno.2015.03.006.
26. Zambrano Polanco, Leonidas., Zamora González, Hildier. Vásquez Zapata, Guillermo León., López Anaya, Alejandro (2015). Determinación del estado sucesional de humedales en la cuenca alta del río Cauca, departamentos del Cauca y Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal – RECIA*. Vol 7.

**Estado Trófico y Calidad Biológica del Agua de dos Lagunas de Alta Montaña en el Parque Nacional Natural Puracé, por medio de Macroinvertebrados Acuáticos y parámetros físico – químicos como indicadores.**

**Trophic Status and Water Quality of two High Mountain Lagoons in the Puracé National Park, by means of Aquatic Macroinvertebrates.**

**Jency N. Palacio<sup>1</sup>, Laura M. Muñoz<sup>1</sup> y Daniel Feriz<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Fundación Universitaria de Popayán, Cauca, Colombia.**

**Resumen**

Se presenta un acercamiento a las condiciones del estado trófico de dos lagunas altoandinas; La laguna Cusiyaku y La Magdalena ubicadas en el Macizo colombiano, sector de Valencia las cuales son consideradas por el Parque Nacional Natural Puracé-Colombia, como valores objetos de conservación, además de tener una importancia histórica y religiosa en el territorio además de ser de gran valor de conservación por sus funciones ecológicas en la oferta de bienes y servicios ecosistémicos y culturales.

Para determinar el estado trófico y la calidad del agua de las lagunas se utilizó los parámetros físicos y químicos del agua y las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, los cuales fueron colectados mediante redes surber y red D utilizando la técnica de multihabitat durante 4 muestreos no consecutivos iniciando en marzo y terminando en noviembre del 2021. Los macroinvertebrados se identificaron en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán; se determinó la composición y estructura de organismos, el estado trófico se determinó a través del carácter bioindicador de los macroinvertebrados y la calidad del agua se determinó a través de los índices de calidad biológica del agua BMWP y el índice Biótico de familias IBF.

**Abstract**

An approach to the trophic state conditions of two high Andean lagoons is presented; the Cusiyaku and La Magdalena lagoons located in the Colombian Massif, Valencia



sector, which are considered by the Puracé-Colombia National Natural Park as conservation values, in addition to having a historical and religious importance in the territory and being of great conservation value for their ecological functions in the supply of ecosystemic and cultural goods and services.

To determine the trophic state and water quality of the lagoons, the physical and chemical parameters of the water and the aquatic macroinvertebrate communities were used as bioindicators, which were collected by means of surber nets and D-net using the multihabitat technique during 4 non-consecutive samplings beginning in March and ending in November 2021. The macroinvertebrates were identified in the laboratory of the Fundación Universitaria de Popayán; the composition and structure of organisms was determined, the trophic state was determined through the bioindicator character of the macroinvertebrates and the water quality was determined through the biological water quality index BMWP and the biotic index of families IBF.

***Palabras clave:*** Estado trófico, lagunas altoandinas, macroinvertebrados acuáticos, bioindicadores, calidad del agua, carácter bioindicador, multihabitat.

## **Introducción.**

Colombia es rica en lagunas de alta montaña donde el factor principal es la altura sobre el nivel del mar y características que dependen de patrones ecológicos y ambientales. Se confirma que al interior del Parque Nacional Natural Puracé (PNNP) existe un conjunto importante de lagunas de páramo (Hofstede et al., 2003). En el Macizo colombiano, exactamente en el sector de Valencia dentro del PNN Puracé, se encuentran situadas la laguna Cusiyaku y Magdalena, las cuales son de gran valor de conservación por sus funciones ecológicas en la oferta de bienes y servicios ecosistémicos y culturales, además, porque son de vital importancia para Colombia, pues, en ellas nacen los principales ríos, como el Magdalena y el Cusiyaku que además de satisfacer las necesidades hídricas de la comunidad de este sector, también alimenta al río Caquetá.

De acuerdo con (Gunkel, 2003), los lagos tropicales de alta montaña son un tipo especial de ecosistema acuático de los cuales existe poco conocimiento, además, (Castro y Urrea, 2018), afirman que en Colombia los estudios sobre la composición

de los macroinvertebrados acuáticos en los ecosistemas de páramo son muy pocos y se requiere de ampliación, debido a que estos organismos son de alta importancia, pues reflejan de forma inmediata las condiciones del cuerpo de agua gracias a su sensibilidad o tolerancia a la contaminación orgánica, además se encuentran en uno de los primeros eslabones de la cadena trófica, lo que permite a través del muestreo biológico, en el cual evaluando su riqueza y abundancia se puede conocer el estado trófico de los ecosistemas acuáticos (Roldan y Ramírez, 2008, Cuaran y Ruiz, 2019); el cual según (Fia et al., 2009), se utiliza para clasificar los cuerpos de agua según la concentración de nutrientes en oligo, meso y eutrófico, lo que determina a su vez la productividad biológica de las lagunas.

A pesar de la importancia de las dos lagunas mencionadas, hay poca información sobre el comportamiento de estas comunidades a través de un ciclo hidrológico es por esto que se estableció una alianza entre la Fundación Universitaria de Popayán, el parque Nacional Natural de Purace, el SENA y la Universidad del Cauca para desarrollar el proyecto "línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lénticos valor objeto de conservación del PNN Purace, en el sector de Valencia en el macizo colombiano, del cual se derivan los resultados presentados en el presente trabajo, que tienen como fines además de establecer el estado trófico y la calidad del agua de las lagunas objeto de conservación, busca promover estrategias de monitoreo y conservación de las lagunas de alta montaña.

## **Materiales y métodos.**

### ***Área de estudio.***

El presente trabajo se desarrolló en el Departamento del Cauca, municipio de San Sebastián, corregimiento de Valencia, en el corazón del macizo colombiano, sobre el Páramo de las Papas dentro del territorio ancestral del resguardo indígena Papayakta del pueblo Nasa, se encuentran los ecosistemas lénticos, Laguna La Magdalena y la Laguna Cusiyaku, las cuales se encuentran dentro de las áreas de manejo y conservación del PNN Puracé que correspondientes a la zona del Alto Magdalena y el Alto Caquetá, en las coordenadas geográficas: N 1°53'46.52" W 76°37'10.45" para la Laguna Cusiyaku ubicada a una altitud de 3199 m.s.n.m, (Figura 1-a) y La



Magdalena en las coordenadas N 1°56'4.69" W 76°36'31.24", a una altitud de 3460 m.s.n.m (Figura 1-b).

Ambas lagunas presentan un clima frío con temperaturas promedio de 14°C (Cusiyaku) y 13°C (Magdalena), con aguas frías que fluctúan de 5 a 9°C respectivamente, en los diferentes meses y lagunas. Estas lagunas se encuentran ubicadas en ecosistemas de subpáramo, siguiendo la clasificación de zonas de vida propuesto por Cuatrecasas (1958).

La cobertura vegetal está representada por pastos, frailejones, pajonales, arbustos, bromelias, musgos y líquenes, así como también se encuentran coberturas importantes como bosques riparios, los cuales son asociados a los humedales y turberas que conforman grandes complejos de cuerpos de agua que desempeñan un papel importante en la regulación del recurso hídrico (Rangel, 2000)

Las características físicas y morfológicas de las lagunas están relacionadas a un relieve escarpado suave, colinado y encañonado que abraza la cuenca de la laguna de Cusiyaku, caso contrario en La Magdalena la cual se encuentra en un relieve suave y poco escarpado, sin embargo ambas presentan bajas temperaturas y alta humedad relativa (IDEAM, 2003)



Figura 1. Localidades visitadas. a) Laguna Cusiyaku, - Municipio de San Sebastián – Cauca b) Laguna La Magdalena – municipio de San Agustín – Huila.

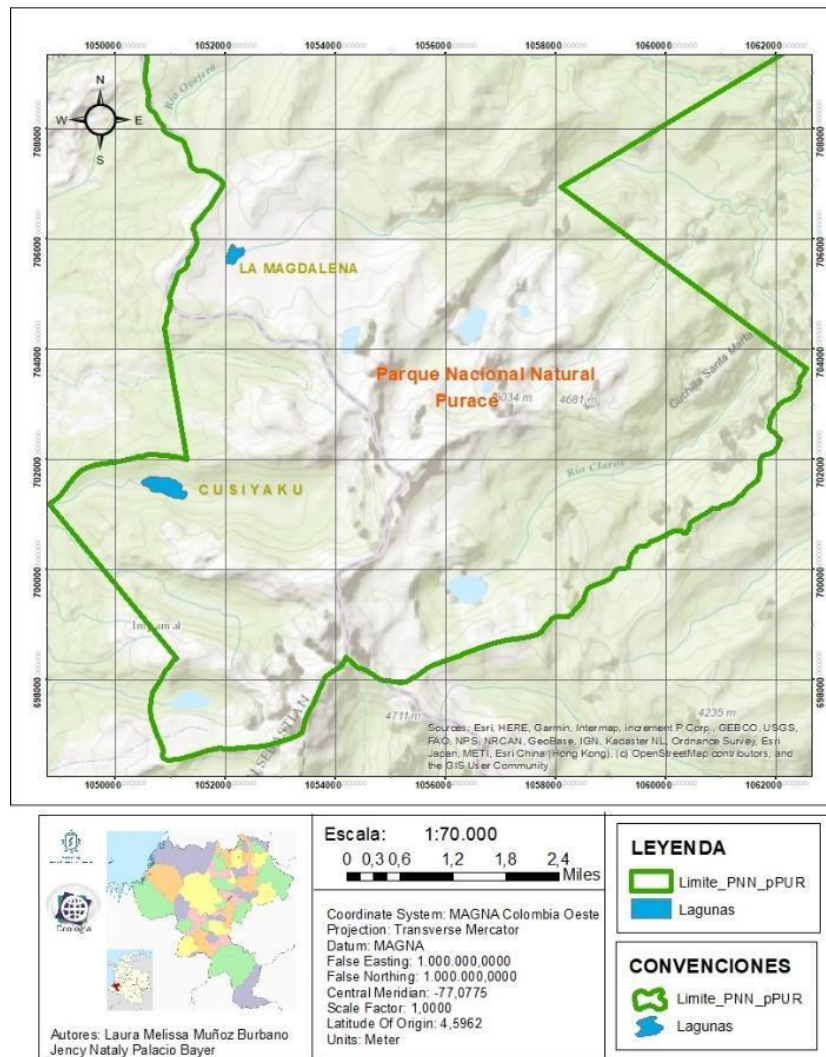


Figura 2. Ubicación del área de estudio dentro del Parque Nacional Natural Puracé.

## Análisis Hidrobiológico

Los muestreos de macroinvertebrados acuáticos y parámetros físicos y químicos se realizaron en los meses de marzo, julio, septiembre y noviembre del 2021 tratando de abarcar diferentes condiciones hidrológicas de pluviosidad, escorrentía y humedad.

## Parámetros físico-químicos

Los parámetros físicos y químicos del agua se tomaron “*in situ*” dentro del área de colecta de los macroinvertebrados acuáticos en cada laguna. Se midió el % oxígeno disuelto, la demanda biológica de oxígeno-DBO (mg/L), los coliformes totales (UFC),

la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ), la turbidez ( $\text{mg}/\text{L}$ ), la temperatura hídrica ( $^{\circ}\text{C}$ ), la temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ ), el pH, los sólidos disueltos ( $\text{mg}/\text{L}$ ), el amonio ( $\text{mg}/\text{L}$ ), los nitritos ( $\text{mg}/\text{L}$ ) y nitratos ( $\text{mg}/\text{L}$ ), y el cloro, por medio del uso de las sondas multiparamétricas marca HACH SENSION MM156 y el laboratorio portátil marca Aquasafe.

### ***Muestreo de macroinvertebrados acuáticos***

Para la captura de Macroinvertebrados acuáticos en cada laguna se estableció un tramo de muestreo de 100 metros en donde se identificaron los distintos hábitats donde los macroinvertebrados se puede desarrollar como: macrófitas acuáticas, acumulación de hojarasca y materia orgánica en descomposición, sustratos inorgánicos como rocas, grava y arenas; a cada hábitat se le asignó un porcentaje de 1% a 100% dependiendo de su representatividad en el tramo; se tomaron 10 muestras distribuidas entre los diferentes hábitats de acuerdo al método de multihabitat recomendado por (Elosegi y Sabater, 2009). los organismos se colectaron utilizando redes Surber para las zonas someras y una Red D para las zonas más profundas de las lagunas; posteriormente los especímenes se separaron en campo en recipientes plásticos y se conservaron en alcohol al 96% y se transportaron al laboratorio de ciencias naturales de la Fundación Universitaria de Popayán en donde se identificaron hasta nivel de género y se contaron empleando un estereoscopio Nikon Zoom SMZ-445; para la identificación se utilizaron las claves taxonómicas especializadas de (Roldan, 1996) Guía para el estudio de los Macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia; (Domínguez y Fernández, 2001, 2009) Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos sistemática y biología; (Merrit y Cummins, 2008) An introduction to the aquatic insect of North America. Kendall/Hunt. 4ta edición; (Gaviria y Gaviria Melo, 2013) Guía De Laboratorio Sobre Los Oligochaeta Se determinó su riqueza, abundancia y el carácter bioindicador de cada género identificado.

### ***Determinación del estado trófico de las lagunas***

El estado trófico de las dos lagunas se determinó por medio de los parámetros físicos y químicos y su comparación con los valores guía para ecosistemas naturales de acuerdo a (Roldan y Ramírez, 2008), (Ramírez y Viña, 1993). Adicionalmente por

medio del carácter bioindicador de cada género de macrorinvertebrados colectados se determinó el porcentaje de organismos dentro de cada categoría de nivel trófico (Oligotrófico, mesotrófico y eutrófico), la distribución de la riqueza y la abundancia de organismos dentro de cada Nivel dan un reflejo de las condiciones del ecosistema acuático.

### **Calidad Biológica el agua**

La calidad biológica del agua se determinó utilizando el método BMWP/c propuesto por (Zamora, 2009), también se empleó el índice Biótico de Familia IBF propuesto por (Figuerola, *et al.*, 2007) y (Rosas Acevedo, 2014), tomando como referencia los valores de tolerancia propuestos por (Zamora, 2009). Se aplicó los valores de IBF propuestos por (Hilsenhoff, 1988). ver en anexo 2

### **Análisis de Datos**

Mediante matrices de Excel se determinó la riqueza y el porcentaje de abundancia de los organismos colectados, al mismo tiempo se trabajaron los datos físicos y químicos mediante un análisis descriptivo exploratorio usando el SPSS (versión 25); mediante este mismo software se compararon entre los diferentes meses y lagunas los valores de riqueza y abundancia; los parámetros físicos y químicos, de esta misma forma se compararon los valores BMWP e IBF para ver si había diferencias estadísticas por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para meses y U de Mann-Whitney para lagunas.

## RESULTADOS

### **Condiciones físicas y químicas de las lagunas**

Como se indica en la tabla 1, con respecto a la temperatura ambiental, las dos lagunas cuentan con un clima frío, con temperaturas que variaron entre los 6 grados en el mes de septiembre y 22 grados en el mes de octubre (Cusiyaku). Con respecto a la temperatura hídrica, ésta tuvo un promedio de 5,5 °C en ambas lagunas, fluctuando entre 5 y 6 grados en los diferentes meses y lagunas, catalogándolas como de aguas frías.

Estas bajas temperaturas permiten una menor tasa de descomposición, favoreciendo el contenido de oxígeno en el agua, el cual se mantuvo dentro de los rangos óptimos para ecosistemas naturales (80%-100%) a excepción de la laguna La Magdalena en el mes de octubre, la cual registró condiciones oxigenicas pobres, por debajo del rango óptimo.

Los valores de pH para las dos lagunas se encuentran dentro de los rangos tolerables para la fauna acuática (6,5-8) (Roldan y Ramírez, 2015) con un promedio de 7,9 para Cusiyaku y 7,5 para La Magdalena cualificando las aguas como neutras con tendencia a alcalinas, incrementando los valores para el mes de octubre, producto del arrastre de iones por las altas precipitaciones, caso contrario en el mes de septiembre en donde se obtuvo valores más bajos cualificando las aguas como ácidas con tendencia a la neutralidad, principalmente debido al dióxido de carbono libre producto de la descomposición de la materia orgánica acumulada en la temporada de baja pluviosidad y mayores temperaturas.

*Tabla 1. Características físicas y químicas de las Lagunas Cusiyaku y La Magdalena.*

| PARÁMETRO                               | Cusiyaku |      |      |      |          | Magdalena |      |      |       |          | Prueba de hipótesis para lagunas Ude Mann-Withney | VALORES GUIA                |                     |
|---|----------|------|------|------|----------|-----------|------|------|-------|----------|---|-----------------------------|---------------------|
|   | Sept     | Oct  | Nov  | X    | $\sigma$ | Sept      | Oct  | Nov  | X     | $\sigma$ |   | Roldan y Ramírez, 2015      | Resol. 2115 de 2007 |
| T ambiente °C                           | 6        | 22   | 19   | 15,6 | 8,5      | 6         | 20   | 17   | 14,33 | 7,37     | p=0,70  |                             | NA                  |
| T agua °C                               | 5        | 6    | 7    | 6,00 | 1,0      | 5         | 6    | 6    | 5,67  | 0,58     | p=0,70  | ≤15 °C                      | NA                  |
| %OD                                     | 97,3     | 99   | 61,2 | 85,8 | 21,4     | 92,4      | 55   | 75,3 | 74,23 | 18,72    | p=0,40  | Optimo (80%-100%)           | NA                  |
| pH                                      | 7        | 8,86 | 7,74 | 7,87 | 0,9      | 6,72      | 8,24 | 7,48 | 7,48  | 0,76     | p=0,70  | 7                           | 6,5-9,0             |
| Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ | 13,7     | 10   | 15,8 | 13,1 | 2,9      | 4,5       | 4,1  | 0,04 | 2,88  | 2,47     | p=0,10  | ≥10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 1000                |
| Turbidez NTU                            | 0,01     | 1    | 0,01 | 0,34 | 0,6      | 0,01      | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,00     | p=0,70  | Baja                        | 2                   |

|                      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |        |                |         |
|----------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|--------|----------------|---------|
| <b>Amonio mg/L</b>   | 0,02 | 0,05 | 0,54 | 0,20 | 2,7 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | p=0,70 | ≥0,05mg<br>/L  | NA      |
| <b>Nitritos mg/L</b> | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | p=0,40 | ≥0,025m<br>g/L | 0.1     |
| <b>Nitratos mg/L</b> | 0,08 | 0,69 | 0,09 | 0,29 | 0,3 | 0,08 | 0,29 | 0,09 | 0,15 | 0,12 | p=1,0  | ≥10<br>mg/L    | 10      |
| <b>Cloro mg/L</b>    | 0,01 | 0,15 | 0,04 | 0,07 | 0,1 | 0,05 | 0,01 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | p=1,0  | ≥10<br>mg/L    | 0,3-2,0 |

La cantidad de iones disueltos en el agua, medidos a través de la conductividad fue baja, lo cual es característicos de cuerpos de agua alto andinos en estado oligotróficos, sin embargo, valores superiores a 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indican presencia de iones producto de la descomposición de materia orgánica. La conductividad fue mayor en la Laguna Cusiyaku, debido a una mayor cantidad de afluentes que ingresan a la laguna por la escorrentía de las laderas de la montaña y una mayor cantidad de movimiento producto de los vientos, además del ingreso y salida de la quebrada Cusiyaku, lo que genera a su vez una mayor turbidez en el agua (Tabla 1) por el arrastre de sedimentos y material vegetal.

Con respecto al contenido de nutrientes, estos están por debajo de los valores limitantes para la fauna acuática, siendo característicos de ecosistemas oligotróficos. Sin embargo, se registró valores de amonio y nitritos, relacionados con los procesos de nitrificación natural de la materia orgánica que caen a la laguna por escorrentía. La cantidad baja de nutrientes presente en el agua, puede ser una limitante para la productividad primaria de las lagunas, disminuyendo la posibilidad de redes tróficas amplias y el desarrollo de comunidades diversas.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los parámetros físico químicos de las dos lagunas (U de Mann-Withney,  $p \geq 0,05$ ) registrando parámetros físico químicos similares no obstante las condiciones físicas tan disímiles.



## **Calidad biológica de las lagunas**

En total se colectó 2.950 individuos distribuidos en 4 phylums (Artropoda, Mollusca, Anellida, Plathielminthes), 8 clases, 19 órdenes, 33 familias y 61 géneros, de los cuales 7 no se pudieron identificar plenamente (Curculionidae nn1, Psicodidae nn1, Mesovelidae nn1, Acari nn1, Acari nn2, Aelosomatidae nn, y Planariidae nn).

### **Laguna Cusiyaku**

Esta Laguna presentó las condiciones más conservadas y diversas en términos de hábitats en el litoral muestreado, albergando un total de cuatro Phylum, diez clases, 17 órdenes, 27 familias y 53 géneros (Anexo 1), los que representaron el 89.2% de la riqueza de taxones colectados en el estudio. Esta riqueza varió de acuerdo a los diferentes meses, aumentando el número de taxa hacia el mes de Noviembre, tiempo en el que empiezan a cesar las lluvias y se estabiliza el ecosistema (Figura 3).

El dentro de los órdenes colectados el más rico fue Díptera con un total de 20 géneros distribuidos dentro de las familias Chironimidae, Ceratopogonidae, Limonidae, Psicodidae y Tabanidae aportando el 16,3% de la abundancia colectada en la laguna; sigue en riqueza el grupo de los Coleópteros con 9 géneros dentro de 6 familias: Dytiscidae, Elmidae, Scirtidae, Curculionidae, Dryopidae y Crysomelidae, sin embargo, solo aportaron el 3,1% de la abundancia total.

El grupo de las sanguijuelas (orden Glossiphoniphormes) fue muy diverso, registrándose 4 morfoespecies dentro de la familia Glossiphoniidae: *Helobdella stagnalis*, *Alboglossiphonia*, *Helobdella triserialis*, *Helobdella elongata sp1* y *H. elongata sp2*, aportando el 7,6% de la abundancia colectada. El grupo de los moluscos fue muy representativo con cuatro órdenes, cuatro familias y seis géneros en total *Sphaerium* y *Pisidium* dentro del orden Bivalvia; *Pyrgopharus* y *Aroapyrgus* dentro del orden Basommatophora; *Galba* y *Biomphalaria* dentro del orden Mesogastropoda; estos tres órdenes con sus familias y géneros aportaron el 33% de la abundancia reportada para la laguna.

Otro grupo importante en la laguna fue el orden Acari, con 3 géneros y tres familias de las cuales se identificó el género *Hydrozetes* de la familia Hydrozetidae, mientras que las otras 2 familias con sus géneros no fue posible su identificación, este grupo aportó el 22,2% de la abundancia registrada. Dentro del orden Turbellaria se registraron 2 géneros de los cuales se identificó *Dugesia*, sin embargo, el segundo



género no fue posible su identificación; este grupo aportó el 5,5% de los organismos colectados. El resto de órdenes solo presentaron una familia cada uno (Anexo 1)

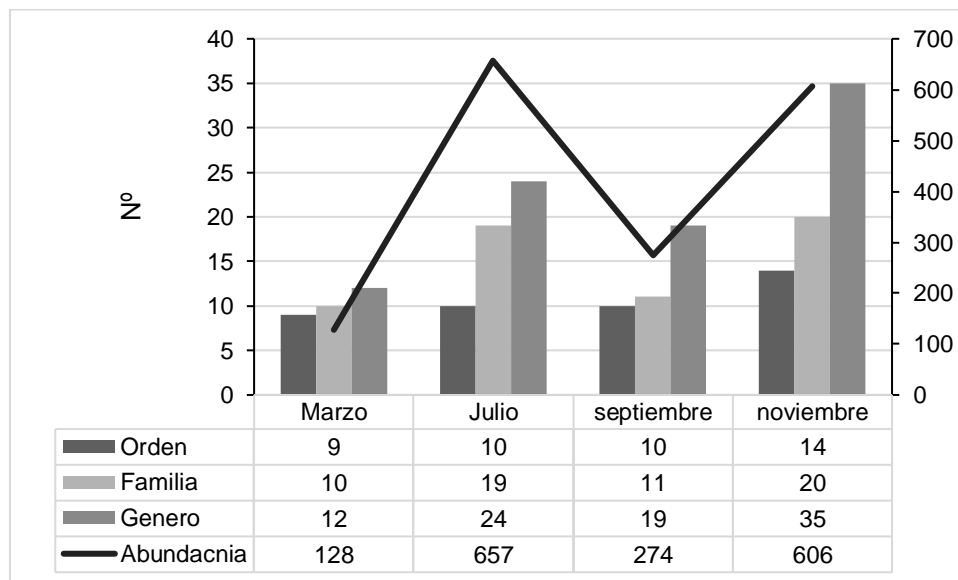


Figura 3. Riqueza de taxa colectados en los diferentes meses de muestreo en la laguna Cusiyaku.

Se colectaron en total dentro de la laguna 1665 individuos, los cuales variaron en su abundancia de acuerdo a los diferentes meses muestreados siendo los menos abundantes marzo y septiembre (4,8% y 9%), y los más abundantes julio y noviembre los mayores (21,9%-19,7%) (Figura 3). De los 53 géneros colectados, el 90% de la abundancia reportada se distribuye en sólo 18 de ellos, donde los más abundantes fueron *Hydrozetes* (Hydrozetidae, 20,8%), *Galba* (Lymnaeidae, 13%), *Tubifex* (Naididae, 8,5%), *Pyrgopharus* (Cochliopidae, 8,2%), *Harnischia* (Chironomidae, 5,8%), *Aroapyrgus* (Cochliopidae, 5,6%), *Alboglosiphonia* (Glossiphoniidae, 5,4%), *Pisidium* (Spheriidae, 4%), Digesiidae (5,2%), *Polypedillum* (Chironomidae, 3,2%), *Hydroporus* (Dytiscidae, 2,3%) entre otros. (Tabla 1, Figura 4).

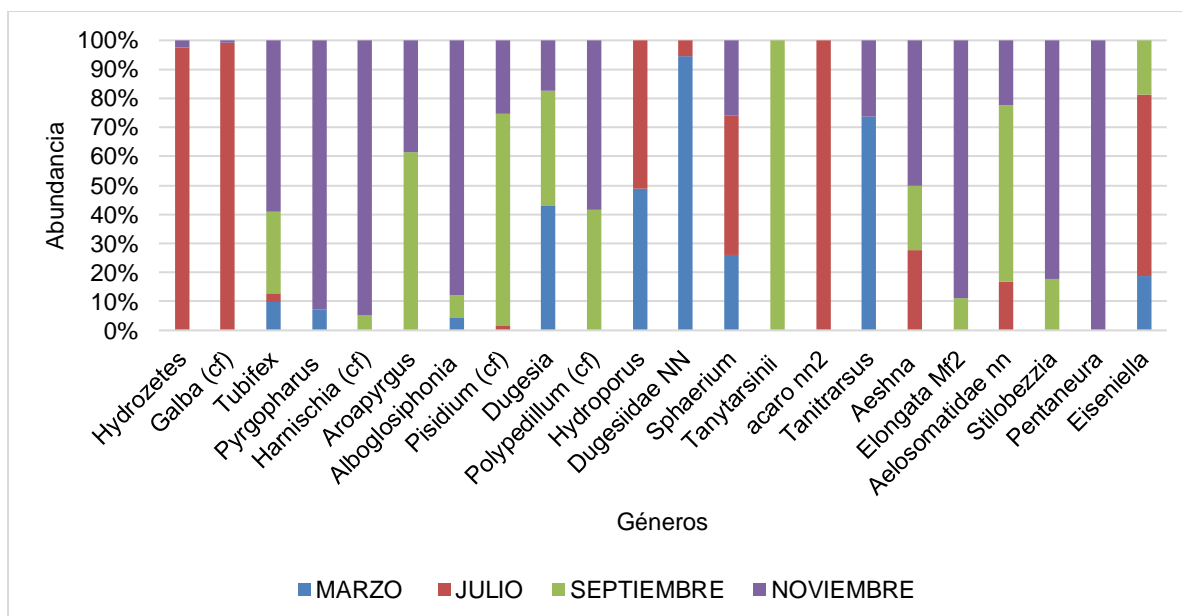


Figura 4. Distribución de las abundancias de los principales géneros colectados en la laguna Cusiyaku entre los diferentes meses de muestreo.

Del total de organismos colectados en la laguna Cusiyaku, el 39% de la abundancia colectada correspondió a poblaciones típicas de ecosistemas Oligotróficos como la familia Aeshnide (Odonata), con el género *Aeshna*; la Familia Dytisidae (Coleòptera) con los géneros *Hydroporus*, la familia Hydrozetidae (Acari) con el género *Hydrozetes*; y la familia Cocliopidae (Mesogastropoda) con los géneros *Pyrgopharus* y *Aroapyrgus*. El otro 35% correspondió a organismos muy tolerantes a la contaminación orgánica, característicos de ecosistemas de Meso-Eurofícos a Eutrófico como las familias Tubificidae con el género *Tubifex*; la sub familia Chironimini (Diptera) con los géneros *Polypedillum* y *Harnischia*; y la familia Glossiphoniidae (Glossiphoniformes) con los géneros *Alboglosiphonia* y *Helobdella triserialis*. El resto de taxones (25%) fueron organismos medianamente tolerantes, característicos de ecosistemas Mesotróficos como la familia Lymnaeidae con el género *Galba*, la familia Dugesiidae con el género *Dugesia* y la familia Spheriidae con los géneros *Sphaerium*, *Pisidium* (Figura 7). Las diferencias en los valores de la riqueza y abundancia de los organismos de aguas meso-eutrófico fueron estadísticamente diferentes (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0,03$ ), teniendo la mayor variedad de géneros y mayores abundancias.

La composición de familias de macroinvertebrados de acuerdo al índice BMWP/c, evidenciaron marcadas diferencias en la calidad biológica del agua en los diferentes meses de muestreo; para el mes de marzo y septiembre se obtuvieron los valores más bajos (48 y 43 respectivamente), calificando las aguas para el primer mes como de calidad “Dudosa” y para el segundo como “Crítica”, ambos reportando familias tolerantes a la contaminación como Chironomidae, Glossiphonidae, Naididae y Lombriculidae, que dominan en relación a las otras familias encontradas.

Para el mes de julio y noviembre las aguas se calificaron como “Aceptables” con características de aguas medianamente contaminadas orgánicamente (Tabla 2), pues se encontraron 17 y 19 familias respectivamente, donde la mayoría tienen puntajes que se relacionan con familias de agua mesotróficas y oligotróficas como los coleópteros Dytiscidae, Scirtidae, Dryopidae, Hydroptilidae y la familia de ácaros Hydrozetidae.

Al mismo tiempo el índice biótico de familias-IBF para los meses de Marzo y Julio calificó la calidad como “Malsana” y “Excelente” respectivamente, conjuntamente en septiembre y noviembre, calificó la calidad del agua como “Nocivas” a “muy Nocivas” con una fuerte contaminación orgánica a severa (Tabla 3).

### **Laguna Magdalena**

Esta laguna presentó condiciones más uniformes en términos de sustratos, siendo el dominante las macrófitas arraigadas, sobre un sustrato de fango. Aunque las condiciones físicas no aportan gran variedad de microhábitat, se reportaron un total de 4 phylums, 10 clases, 14 órdenes, 21 familias y 40 géneros en este estudio correspondiendo al 61% de los géneros colectados (Figura 5).

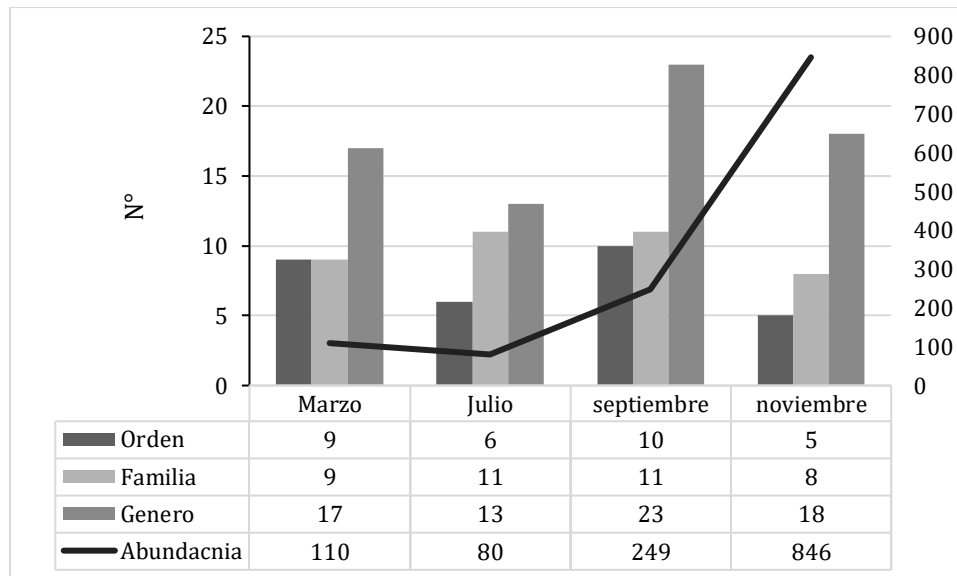


Figura 5. Cambio de la riqueza de taxa y la abundancia en los diferentes meses de muestreo.

Del total de órdenes colectados, los dípteros fueron los más representativo con 6 familias como Chironimidae, Tipulidae, Limonidae, Dolichopodidae, Ceratopogonidae, Tabanidae y 18 géneros como Tanypodinae, *Pentaneura*, *Macropelopini*, Orthocladinae, Tanytarsinii, *Tanitarsus*, *Chironomus*, *Polypedillum*, *Harnischia*, *Tipula*, *Limnophilia*, *Limonia*, *Rhaphium*, *Stilobezzia*, *Probezzia*, *Dasytheinae*, *Alluadomyia* y *Tabanus*. En orden de riqueza sigue el orden coleóptero con 3 familias: Dytiscidae, Elmidae y Crysomelidae y 5 géneros: *Antiporus*, *Hydroporus*, *Leuronectes*, *Heterelmis* y *Helichus*. Por último en términos de riqueza se encuentra el grupo de las sanguijuelas, representada por la familia Glossifonidae y tres géneros identificados *Helobdella stagnalis*, *Alboglosiphonia*, *Helobdella triserialis*, *Helobdella Elongata sp1*, *Helobdella Elongata Mf2*; los demás ordenes registrados presentaron una familia y un género cada una a excepción de Unionoidea que presentó 2 géneros (Anexo 1).

Del total de organismos colectados en el estudio, la laguna La Magdalena aportó el 44,5% (1285 ind) de la abundancia total; ésta abundancia varió, aumentando hacia el final de los muestreos (septiembre a noviembre) pasando de 110 individuos (36%) en el mes de marzo, a 846 individuos en el mes de noviembre. El 80% de la abundancia reportada en esta laguna la aportaron los géneros *Pentaneura*, *Polypedillum*, *Tanytarsus*, *Stilobezzia*, *Macropelopini*, *Alluadomyia*, *Tubifex*, *Aeshna* y *Chironomus*, *Hydrozetes*, *Harnischia* y *Hyaella* (Figura 6).

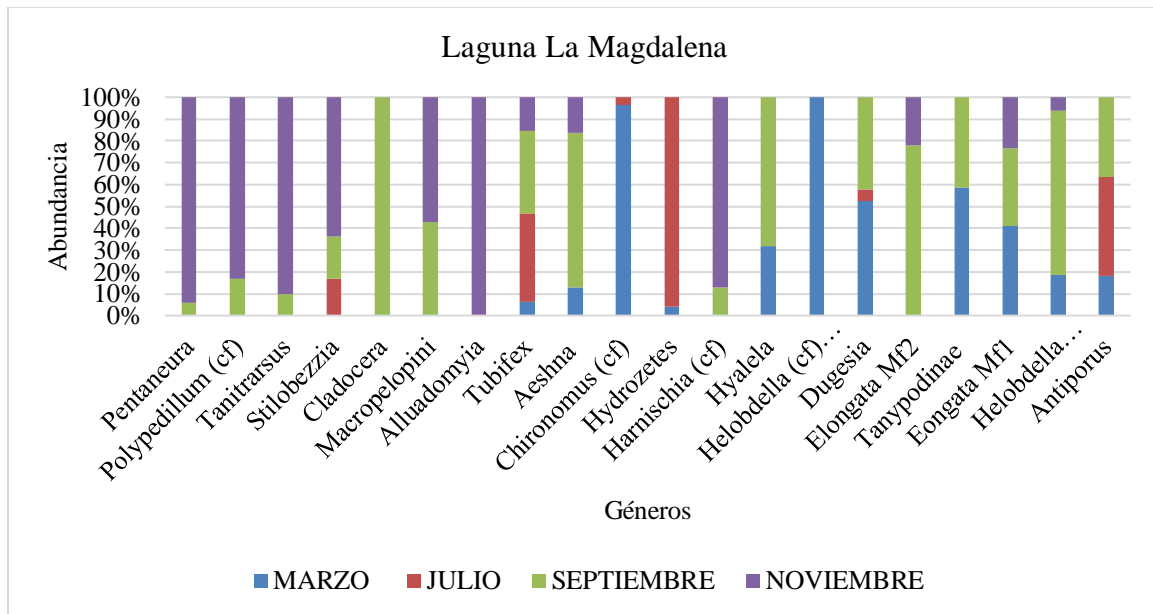
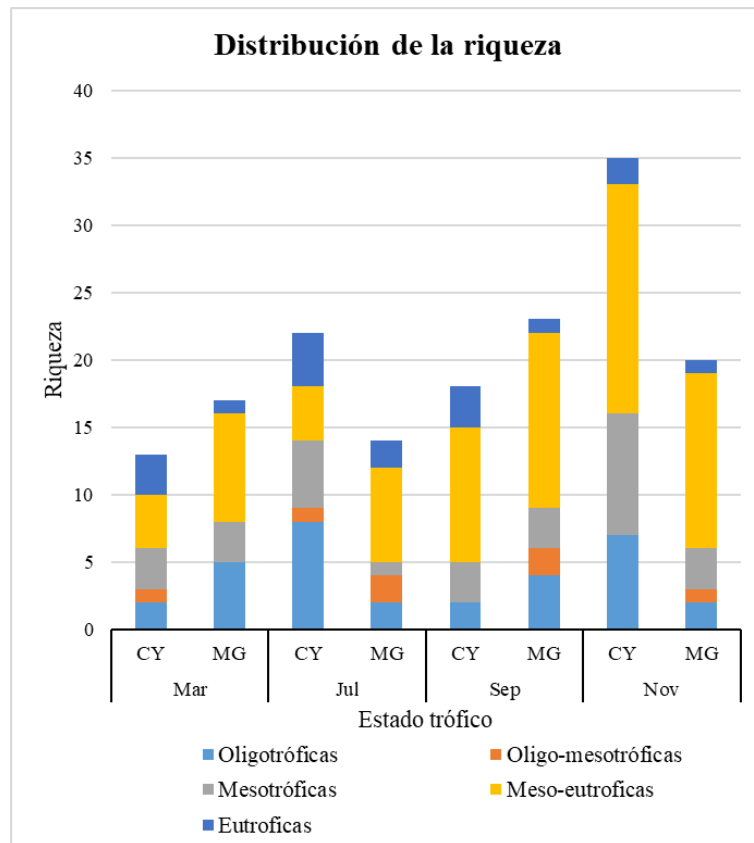
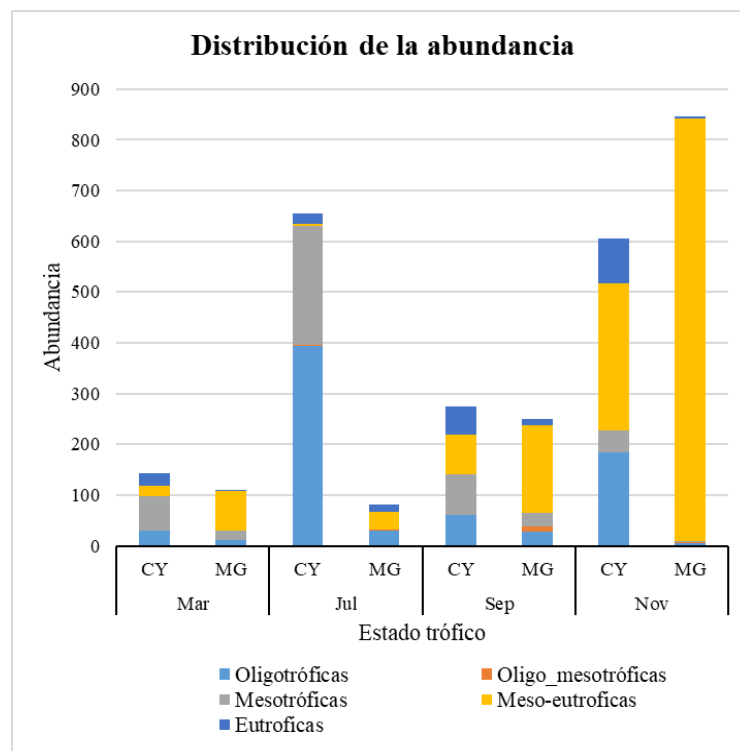


Figura 6. Distribución de las abundancias de los principales géneros colectados en la laguna Magdalena entre los diferentes meses de muestreo.

Aunque el ecosistema está dominado por unas pocas familias y géneros en términos de riqueza y abundancia, el 86% de las poblaciones de macroinvertebrados colectados correspondieron a organismos tolerantes a la contaminación, característicos de aguas Mesotróficas-Eutróficas y un 2,5% de aguas Eutróficas como la familia Chironomidae (Diptera) con los géneros *Pentaneura*, *Tanytarsus*, *Polypedillum*, la familia Limoniidae con el género *Limonia* y la familia Ceratopogonidae con el género *Alluadomyia* como los más representativos. Como se observa en la (Figura 7) la diversidad de géneros dentro de cada categoría de indicación cambio a través del tiempo, disminuyendo los organismos sensibles a la contaminación típicos de aguas oligotróficas y aumentando los de aguas Meso-Eutróficas hacia el final del muestreo tanto en riqueza como abundancia, donde los géneros más representativos fueron *Pentaneura*, *Polypedillum*, *Tanytarsus* y *Stilobezzia*; caso contrario sucedió en julio, en donde el género más representativo fue *Hydrozetes* característico de aguas oligotróficas, esto podría ser debido al cambio en la disponibilidad de sustratos como hábitat y recurso



A).



B).

Figura 7. Distribución de la riqueza y abundancia de acuerdo al carácter bioindicador para las lagunas Cusiyaku y Magdalena, en cada mes de muestreo. A) Riqueza B) Abundancia.



La presencia de las familias de macroinvertebrados calificaron las aguas de acuerdo al índice BMWP/c para el mes de Julio como "Aceptable", en la cual se encuentran 2 familias sensibles a la contaminación como Dytiscidae e Hydrozetidae, sin embargo, el puntaje se relaciona más hacia las familias de condiciones meso-eutróficas como Limonidae, Dolichopodidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, entre otros grupos. Conjuntamente para los meses de Marzo, Septiembre y Noviembre las aguas se calificaron como calidad "Dudosa", (Tabla 2) con casos específicos para cada uno de ellos puesto que en Marzo encontrándose 3 familias tolerantes a la contaminación orgánica como Chironomidae, Glossiphonidae, Naididae y Lombriculidae, que prevalecen en relación a las otras familias encontradas, contrariamente, se encontró baja presencia de familias sensibles a la contaminación como Aeshnidae, Dytiscidae, Hydrozetidae y Cocliopidae. En cuanto al mes de septiembre la presencia de familias de condiciones meso-eutróficas como Hyalelidae, Ceratopogonidae y Sphaeriidae, y al igual que en el mes de Marzo prevalecen las mismas familias tolerantes en relación con las familias sensibles a la contaminación como Aeshnidae, Dytiscidae y registrando por primera vez a Baetidae.

Por último, para el mes de noviembre su calificación se obtuvo debido al único registro de la familia Dryopidae que es sensible a la contaminación, por lo tanto, la puntuación está relacionada hacia familias de condiciones meso-eutróficas que ya han sido mencionadas anteriormente, y de familias tolerantes a la contaminación como Crysomelidae y las registradas en los anteriores meses.

Para los meses de marzo y noviembre, el IBF clasifica las aguas como "Muy nocivas" con grado de contaminación severa, sin embargo, está relacionado al puntaje alto de las familias predominantes registradas y a la poca presencia de familias sensibles a la contaminación. El resultado de IBF clasifica el agua del mes de julio como "Regular", con grado de contaminación orgánica presente, suponiendo que la mejor observación de familias sensibles se debió a la temporalidad de alta pluviosidad, en la cual los individuos buscan nuevos hábitats y recursos. Para el mes de septiembre, la clasificó como "Nociva", con fuerte grado de contaminación orgánica, sin embargo, no se evidenciaron factores externos de contaminación en la laguna (Tabla 4).

Tabla 2. Calidad biológica del agua de la laguna Cusiyaku y La Magdalena de acuerdo al índice BMWP/C.









| BMWP                  | Laguna Cusiyaku   |   |   |   | Laguna Magdalena  |  |   |   |
|-----------------------|---|---|---|---|---|--|---|---|
|                       | Mar   | Jul   | Sep   | Nov   | Mar   | Jul  | Sep   | Nov   |
| <b>Sumatoria</b>      | <b>48</b>   | <b>88</b>   | <b>43</b>   | <b>98</b>   | <b>58</b>   | <b>70</b>  | <b>56</b>   | <b>43</b>   |
| <b>Categoría</b>      | <b>IV</b>   | <b>III</b>  | <b>V</b>  | <b>III</b>  | <b>IV</b>   | <b>III</b>   | <b>IV</b>   | <b>IV</b>   |
| <b>Calidad</b>        | <b>Dudosa</b>   | <b>Aceptable</b>  | <b>Crítica</b>  | <b>Aceptable</b>  | <b>Dudosa</b>   | <b>Aceptable</b>   | <b>Dudosa</b>   | <b>Dudosa</b>   |
| <b>Característica</b> | Aguas contaminadas  | Medianamente contaminadas   | Aguas muy contaminadas  | Medianamente contaminadas   | Aguas contaminadas  | medianamente contaminadas  | Aguas contaminadas  | Aguas contaminadas  |
| <b>Color</b>          |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tabla 3. Valores de la calidad del agua de acuerdo al Índice biológico de familias IBF

| IBF                           | Laguna Cusiyaku             |  |                               |                               | Laguna La Magdalena           |                                 |                               |                               |
|-------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                               | MAR                         | JUL                                      | SEP                           | NOV                           | MAR                           | JUL                             | SEP                           | NOV                           |
| <b>SUMATORIA</b>              | 6,7                         | 3,75                                     | 7,11                          | 7,1                           | 7,49                          | 5,38                            | 6,42                          | 8,62                          |
| <b>CALIDAD</b>                | <b>Malsana</b>              | <b>Excelente</b>                         | <b>Nociva</b>                 | <b>Nociva</b>                 | <b>Muy nociva</b>             | <b>Regular</b>                  | <b>Malsana</b>                | <b>Muy nociva</b>             |
| <b>GRADO DE CONTAMINACIÓN</b> | Alta contaminación orgánica | Agua limpia. Contaminación baja probable | Fuerte Contaminación orgánica | Fuerte contaminación orgánica | Contaminación orgánica severa | Contaminación orgánica presente | Fuerte contaminación orgánica | Contaminación orgánica severa |

## DISCUSIÓN

### FISICO QUIMICA HÍDRICA

La caracterización fisicoquímica en conjunto con la relación de macroinvertebrados es de gran relevancia para la determinación de estado trófico y calidad del agua en lagunas de alta montaña.

A lo largo de la investigación la temperatura no presentó mayor oscilación, se mantuvo en un promedio de 5,7- 6 °C, teniendo correlación con la concentración de oxígeno, donde a menor temperatura, mayor concentración de oxígeno. (Rivera Usme et al.,

2011); Roldan Pérez y CAR, 2012), Para el mes de noviembre la temperatura fue un poco mayor y la concentración de oxígeno menor, explicando esto la presencia de grupos oportunistas como chironomidos, hirudíneos y gasterópodos que son capaces de soportar altas concentraciones de materia orgánica y bajas concentraciones de oxígeno. Por otro lado, el pH se mantuvo en valores óptimos neutros debido a la reducción del dióxido de carbono que permitió el aumento de los bicarbonatos los cuales mantuvieron el equilibrio del sistema. Conjuntamente la conductividad eléctrica se encuentra en valores muy bajos, siendo usual para lagunas de páramo con un máximo de 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es debido a que los elementos inorgánicos producto del arrastre y escorrentía producida en las montañas se alberguen en el cuerpo de agua y estos al tener temperaturas bajas permiten que la degradación y mineralización se ejerzan de manera muy lenta, por lo tanto los iones no serán liberados en el agua, además, se debe tener en cuenta que las condiciones naturales de estos ecosistemas es que, a medida que baja la conductividad se presenta un incremento en la diversidad de especies (Roldan y Ramírez, 2008), lo cual se evidencia en este caso, ya que, la tendencia se manifestó en organismos oportunistas y de baja sensibilidad a la contaminación. Con respecto a los nutrientes todos presentaron muy bajas concentraciones, lo que reafirma que son aguas bien oxigenadas (Rosas Rodriguez, 2001) y que no están siendo contaminadas por actividades antrópicas como agricultura o piscicultura, y que además no se encuentran en proceso de eutrofización o hipereutrofización.

## **COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA**

En general las condiciones ambientales como la disponibilidad de hábitats presentes en la laguna Cusiyaku permitió el establecimiento de un mayor número de taxa de macroinvertebrados acuáticos comparados con la Laguna Magdalena la cual presentó un menor número de microhábitats restringiendo la riqueza de individuos comparada con Cusiyaku.

Los cuerpos lénticos de alta montaña albergan una menor diversidad y mayor cantidad de individuos por área muestreada, esto es relacionado a las condiciones ambientales arduas, la disponibilidad de sustratos y recursos; en esta investigación el género más representativo por su gran abundancia en la laguna Cusiyaku fue el *Hydrozetes*, organismos muy sensibles a la contaminación por ende son indicadores

de agua oligotróficas y taxón clave para cuerpos de agua lénticos, pues está relacionado a la presencia de aves migratorias y su principal depredador son los Odonatos del género *Aeshna* también indicador de aguas oligotróficas, reafirmando esto con el estudio de (Posada y Parra, 2008), en el Páramo de Frontino, donde el género *Hydrozetes* además de ser registrado por primera vez en Colombia, también es el taxón más abundante en agua lénticas.

La laguna Magdalena también contó con la presencia del género *Hydrozetes*, indicando condiciones necesarias para su desarrollo, sin embargo, el grupo más representativo fue la familia Chironomidae, donde todos los géneros encontrados son indicadores de aguas meso-eutróficas, representados por tres grupos de roles tróficos que fueron colector-recolector, depredador y triturador, indicando la presencia de perifiton, otros organismos y materia orgánica particulada gruesa como sustento de alimento para estos organismos, por otro lado, la abundancia de esta familia fue favorecida por presencia de lodos en este ecosistema y por ende una disminución del oxígeno disuelto brindando condiciones óptimas para el desarrollo de los mismos. Con respecto a lo anterior el estudio de (Pardo et al., 2002), realizado en un lago de alta montaña en México, también destacan altas abundancias de Chironomidos, resaltando como una de las familias más abundantes del zoobentos y la zona litoral, en la cual su distribución y abundancia está sujeta a las bajas concentraciones de oxígeno, así, señala que la distribución prominente de chironomidos es debida a la capacidad para persistir entre sustratos inestables de lagos con presencia de materia orgánica como macrófitas y lodo, se debe agregar que su alta presencia se debe a las múltiples estrategias de alimentación como lo señala (Merritt y Cummins, 2008).

Cabe resaltar que la presencia de organismos sensibles a la contaminación nos indica que el estado trófico de las lagunas es bajo, pues estos no toleran cambios bruscos en el ecosistema, lo cual se corrobora con la fisicoquímica encontrada, sin embargo, debido a que hay materia orgánica, las condiciones en las lagunas son extremas, el sustrato es más homogéneo especialmente en Magdalena que cuenta con lodos, permiten la presencia de organismos oportunistas como los tolerantes, que al encontrar estos espacios libres aprovechan para colonizar, pues ellos tiene la capacidad de estar en todo tipo de agua.

## **BIOINDICACIÓN**

Los macroinvertebrados acuáticos tienen unos niveles de tolerancia a la materia orgánica que permite dar un acercamiento a las condiciones ecológicas de las lagunas, para esta investigación los organismos se clasificaron en cinco categorías según la tolerancia y condiciones óptimas para su desarrollo: Aguas Oligotróficas, Oligo-Mesotróficas, Mesotróficas, Meso-Eutrólicas y Eutrólicas.

Según la bioindicación la calidad de estos cuerpos de agua, presenta un estado trófico bajo, debido a la correlación entre parámetros físico químicos en relación a las bajas concentraciones de los nutrientes indicando que no se encuentran en procesos de eutrofización o procesos reductivos (Roldan Perez, 2003)., demostrado en que no presentan un crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas lo cual lo convierte en un medio óptimo para el crecimiento y desarrollo de organismos sensibles a la contaminación, esto se manifiesta en la presencia de organismos asociados al carácter oligotrófico, al mismo tiempo la homogeneidad de los sustratos y las condiciones limitantes como la disminución del oxígeno y la liberación de gases de descomposición de la materia orgánica, debido a la naturalidad de las zonas profundas de los lagos, permitió que la fauna tolerante también prospere, asociadas al carácter Meso-eutrófico y Eutrófico dado por sus múltiples estrategias de alimentación y por su adaptación a diferentes factores ambientales o estrés según (Merrit et al 2008).

## **CALIDAD DEL AGUA**

Dada por la evaluación del índice BMWP que de acuerdo a (Roldan y Ramirez, 2008) , los valores bajos de estos índices muestran baja calidad, así como también la evaluación del índice IBF con valores altos también indicadores de baja calidad (Hillsenhoff, 1988), la categorización de los valores no son representados por alteraciones a nivel antrópico, sino que sus valores tienden a ser de ecosistemas naturales, estos resultados indican que la presencia de materia orgánica en ambas lagunas es la que rige estos índices, por lo que los valores de referencia arrojan un diagnóstico no favorable, sin embargo, se resalta que su presencia es llevada a cabo por la lenta descomposición debido a la baja temperatura hídrica y ambiental, como

también la alta humedad relativa, además de las variaciones ambientales presentadas en los muestreos con respecto a la pluviosidad, ya que, el incremento y descenso de esta alteró los valores de los parámetros fisicoquímicos y conforme a esto también influyó en la disponibilidad de sustratos, los cuales son elementos clave en relación a hábitats de los organismos, viéndose reflejado en la proliferación de las familias relacionadas a ecosistemas medianamente contaminados por materia orgánica, por lo tanto los valores de BMWP e IBF cambiaron.

Ahora bien los resultados de los diferentes índices de calidad como: Fisicoquímico, carácter bioindicador, BMWP e IBF demuestran que no son cuerpos lagunares intervenidos y contaminados por actividades antrópicas, sino que sus resultados dependen de dinámicas ambientales naturales de zonas de páramo, reflejado especialmente sobre los parámetros fisicoquímicos que corroboran esto, puesto que se encuentran en los rangos óptimos, así como también influye el carácter bioindicador en el cual la tendencia se mantuvo entre organismos oligotróficos y meso-eutrófico, siendo significativo, puesto que los organismos sensibles no podrían desarrollarse y proliferar adecuadamente si estuviesen en un medio contaminado.

Conjuntamente como menciona (Posada y Parra, 2008) es necesario ampliar y realizar investigaciones de muestreo biológico en los sistemas acuáticos de alta montaña en Colombia, lo que permitiría entender mejor las dinámicas de la relación de los organismos con su entorno y las relaciones entre las comunidades y su entorno, en este caso los macroinvertebrados, ya que, aportaran información base para predecir el estado trófico de estos ecosistemas paramunos, en correspondencia a que, estas comunidades son sensibles a las alteraciones en los componentes de su hábitat. Además, se deriva la necesidad de ajustar metodologías estables y comparables de monitoreo basados en análisis rápidos como el BMWP con valores de referencia para aguas paramunas, así como también otras que permitan compilar un número de datos de variables físicas y químicas que generen información sobre la dinámica de estos cuerpos de agua y se pueda relacionar los cambios espaciales y temporales de las poblaciones.

## **CONCLUSIONES**



La aplicación de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua fueron de gran importancia, puesto que la presencia/ausencia permitieron tener un acercamiento para categorizar el estado trófico de las lagunas en este determinado tiempo, pues cada grupo de organismos se destaca por la tolerancia y sensibilidad a bajas y altas concentraciones de contaminantes por materia orgánica, ya que, tienen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas. Además se recomienda que en el caso de BMWP e IBF, se ajusten sus valores en relación a ecosistemas de páramo, puesto que los rangos disponibles en la literatura son predominantes para ríos o lagunas de zonas medias y bajas.

## REFERENCIAS

1. **Castro Hoyos, W. y Urrea, J.**, (2018). Composición, estructura y rasgos biológicos de Macroinvertebrados, en cinco ecosistemas acuáticos en el páramo de Paletará, municipio de Puracé, Departamento del Cauca: (Tesis inédita de Pregrado). Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Colombia.
2. **Cuaran, D Y Ruiz, K.** (2019). Evaluacion Del Estado Trofico En Relacion A Los Parametros Fisiso-quimicos Y Macroinvertebrados Bentónicos Del Lago San Pablo, Cantón Otavalo: universidad tecnica del norte, Ecuador.
3. **Cuatrecasas J. (1958)**. Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. Rev Acad Colomb Cienc Ex Fis y Nat.:10(4):221-264
4. **Daza Rodríguez, M. y Patiño Ramírez, D.**, (2016). Bioindicación de la calidad del agua del río Subachoque mediante el uso de Macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos como una integración espacial y temporal: Marco Conceptual. (Tesis inédita de Tesis Pregrado). Universidad distrital francisco José de Caldas facultad de medio ambiente y recursos naturales tecnología en saneamiento ambiental, Bogotá, Colombia.
5. **Domínguez, y Fernández.**, (2001). Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanoz, Sistemática y Biología, Tucuman-Argentina, Fundación Miguel Lilo, 656p.

6. **Elosegi, A. y Sabater., S.** (2009). Conceptos y técnicas de ecología fluvial. cap 14: la biota acuática: Los Invertebrados. Fundación BBVA. 243-250p.
7. **Fia, R., Texeira, A., Carteri, P., Pereira, O.** (2009). Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim , RS , Brasil Trophic state of water in the watershed of Lake Mirim , RS , Brazil. Ambiente & Água - An Interdisciplinary. En: Journal of Applied Science, (12), 132-141.
8. **Figuroa, R., Palma, A., Ruiz, V. y Niell, X.** (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural, 80(2), 225-242. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2007000200008>.
9. **Gaviria, E y Gaviria Melo, S** (2013). Guía De Laboratorio Sobre Los Oligochaeta Del Curso "invertebrados Bentónicos De Colombia: Diversidad Taxonómica, Ecología Y Bioindicación".
10. **Gunkel, G.** (2003). Limnología de un lago tropical de alta montaña, en Ecuador: características de los sedimentos y tasa de sedimentación. En: Revista de Biología Tropical, 51(2), pp. 381-392.
11. **Hilsenhoff, W.L.** 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. J. North Am. Benthol. Soc (USA). 7(1):65-68
12. **Hofstede, R., Segarra. Y R Mena V. (Eds.)**. 2003. Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia. Quito
13. **IDEAM.** (2003). Convenio Intercooperativo Macizo Colombiano: Caracterización física, biótica y socioeconómica de la ecorregión del Macizo Colombiano IDEAM. Bogotá. D.C.
14. **Lange, E.,** (Junio de 1994). Manual Para El Análisis Simple De La Calidad Del Agua .Pdf. Obtenido de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/241.0-94MA-12192.pdf>
15. **Merritt., y Cummins,** (2008). An introduction to the aquatic insect of North America. Kendall/Hunt. 4ta edicion.
16. **Moreno,** (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, M & T- Manuales & Tesis SEA, vol 1, 84p.

17. **Ramírez, A. y Viña, G.** (1999). Limnología colombiana. Bogotá (Colombia): Editorial Panamericana. p. 292.
18. **Rangel, O.** (2000). Colombia Biodiversidad Biotica III: La Región de vida paramuna Instituto de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 866 p.
19. **Rivera Usme, J. J. et al.** (2011) Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia.
20. **Roldán Pérez, G.** (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 40(155):254274.
21. **Roldán Pérez, G. y CAR, C.** (2012) Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. CAR, Cundinamarca.
22. **Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J.,** (2008). Fundamentos De Limnología Neotropical. Medellín: Universidad De Antioquia. pg 19
23. **Roldán,** (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Colombia, Fondo FEN, Colciencias, Universidad de Antioquia.
24. **Díaz Pardo, E., Vázquez, G. y Guerra, M.C. (2002).** Lago de Atezca. En: De la Lanza-Espino, G. y García, J., Editores. Lagos y presas de México. AGT Editor S.A., México
25. **Posada García, J., y Parra Sánchez, G.** (2008), Diversidad De Los Macroinvertebrados Acuáticos Del Páramo De Frontino (Antioquia, Colombia). Caldasia . (2), pp.441-455-
26. **Rosas Acevedo, L., Ávila Pérez, H., Sánchez, A., Rosas, A. Y García Ibañez, S., Sampedro Rosas, L., Granados Ramírez, G., Juárez López, A.** (2014). Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. RelbCi – Julio 2014 – [www.reibci.org](http://www.reibci.org).

27. **Rosas Rodríguez, H.** (2001) Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universitat Politècnica de Catalunya, 2001. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/6978#page=2>
28. **Terán Valdez, A., Pinto, E., Ortiz, E., Salazar, E. y Cuesta, F.,** (2017) Monitoreo De Páramo De Tungurahua. Condesan Consorcio Para El Desarrollo Sostenible De La Ecorregión Andina. Obtenido de <https://condesan.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=861ad54cf8cd40ea9dce8a0f596ed38f>
29. **Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y Umaña, A.** (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. Segunda edición. 236 p.
30. **Zamora Gonzales, H.** (2009). El Índice Bmwp Y La Evaluación Biológica De La Calidad Del Agua En Los Ecosistemas Acuáticos Epicontinentales Naturales De Colombia. Facultad de ciencias naturales exactas y de la educación, grupo de estudios en recursos hidrológicos continentales, universidad de cauca, Popayán, Colombia.

Anexo 1. Composición, estructura y carácter bioindicador de macroinvertebrados colectados en la laguna Cusiyaku: CY y Magdalena: MG en los diferentes meses de muestreo.

| Clase     | Orden          | Familia       | Género                      | Mar |    | Jul |    | Sep |    | Nov |     | N   | Bioindicación  |
|-----------|----------------|---------------|-----------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----------------|
|           |                |               |                             | CY  | MG | CY  | MG | CY  | MG | CY  | MG  |     |                |
| Amphipoda | Eumalacostraca | Hyaellidae    | <i>Hyaella</i>              | 0   | 7  | 0   | 0  | 5   | 15 | 3   | 0   | 30  | Mesotróficas   |
| Insecta   | Odonata        | Aeshnidae     | <i>Aeshna</i>               | 0   | 4  | 5   | 0  | 4   | 22 | 9   | 5   | 49  | Oligotrófica   |
|           | Coleoptera     | Dytiscidae    | <i>Antiporus</i>            | 0   | 2  | 3   | 5  | 0   | 4  | 0   | 0   | 14  | Oligotróficas  |
|           |                |               | <i>Hydroporus</i>           | 19  | 2  | 20  | 0  | 0   | 1  | 0   | 0   | 42  | Oligotróficas  |
|           |                |               | <i>Leuronectes</i>          | 0   | 2  | 2   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 4   | Oligotróficas  |
|           |                | Elmidae       | <i>Heterelmis (cf)</i>      | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 1   | 1   | Oligotróficas  |
|           |                | Scirtidae     | <i>Elodes (cf)</i>          | 0   | 0  | 2   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 2   |                |
|           |                | Curculionidae | <i>Curculionidae nml</i>    | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | Mesotróficas   |
|           |                |               | <i>Euplatyphus</i>          | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | Mesotróficas   |
|           |                |               | <i>Xyleborus</i>            | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | Mesotróficas   |
|           |                | Dryopidae     | <i>Helichus (cf)</i>        | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | Oligotróficas  |
|           |                | Crysmelidae   | <i>Monolepta (cf)</i>       | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 1   | 1   | 2   | Mesotróficas   |
|           | Diptera        | Chironomidae  | <i>Tanypodinae</i>          | 0   | 10 | 1   | 0  | 0   | 7  | 0   | 0   | 18  | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Pentaneura</i>           | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 18 | 16  | 284 | 318 | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Macropelopini</i>        | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 26 | 10  | 35  | 71  | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Orthocladinae</i>        | 0   | 1  | 0   | 0  | 3   | 0  | 0   | 0   | 4   | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Cricotopus (cf)</i>      | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Tanytarsinii</i>         | 0   | 7  | 0   | 0  | 25  | 0  | 0   | 0   | 32  | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Tanytarsus</i>           | 14  | 0  | 0   | 0  | 0   | 17 | 5   | 153 | 189 | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Chironomus (cf)</i>      | 2   | 27 | 0   | 1  | 1   | 0  | 1   | 0   | 32  | Mesoeutróficas |
|           |                |               | <i>Chironominae colores</i> | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | Mesoeutróficas |

|             |               |                 |                          |   |   |     |    |    |    |    |     |     |                       |
|-------------|---------------|-----------------|--------------------------|---|---|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----------------------|
|             |               |                 | <i>Polypedillum (cf)</i> | 0 | 0 | 0   | 0  | 22 | 40 | 31 | 197 | 290 | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Harnischia (cf)</i>   | 0 | 0 | 0   | 0  | 5  | 3  | 91 | 20  | 119 | Mesoeutróficas        |
|             |               | Tipulidae       | <i>Tipula</i>            | 0 | 0 | 0   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | Mesoeutróficas        |
|             |               | Limonidae       | <i>Limnophilia</i>       | 0 | 0 | 1   | 4  | 0  | 0  | 4  | 0   | 9   | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Limonia</i>           | 0 | 0 | 2   | 2  | 0  | 0  | 0  | 0   | 4   | Mesoeutróficas        |
|             |               | Dolichopodidae  | <i>Rhaphium Nn 2</i>     | 0 | 0 | 0   | 2  | 0  | 0  | 0  | 2   | 4   | Oligomesotrófi<br>cas |
|             |               | Ceratopogonidae | <i>Stilobezzia</i>       | 0 | 0 | 0   | 22 | 3  | 25 | 14 | 83  | 147 | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Bezzia</i>            | 0 | 0 | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 1   | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Probezzia</i>         | 0 | 0 | 0   | 3  | 0  | 1  | 0  | 1   | 5   | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Dasylheinae nn1</i>   | 0 | 0 | 0   | 0  | 10 | 1  | 1  | 7   | 19  | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Alluadomyia</i>       | 0 | 0 | 0   | 0  | 1  | 0  | 1  | 42  | 44  | Mesoeutróficas        |
|             |               | Psicodidae      | <i>Psicodidae nn1</i>    | 0 | 0 | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2   | Eutróficas            |
|             |               | Tabanidae       | <i>Tabanus</i>           | 0 | 0 | 0   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | Mesoeutróficas        |
|             |               |                 | <i>Chrysops</i>          | 1 | 0 | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 2   | Mesoeutróficas        |
|             | Ephemeroptera | Baetidae        | <i>Baetis</i>            | 1 | 0 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | Oligomesotrofi<br>ca  |
|             |               |                 | <i>Moribaetis</i>        | 0 | 0 | 0   | 0  | 0  | 2  | 0  | 0   | 2   | Oligomesotrofi<br>ca  |
|             |               |                 | <i>Callibaetis (cf)</i>  | 0 | 0 | 0   | 0  | 0  | 9  | 0  | 0   | 9   | Oligomesotrofi<br>ca  |
|             | Trichoptera   | Hydroptilidae   | <i>Oxyethira (cf)</i>    | 0 | 0 | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 1   | Oligotróficas         |
|             | Hemiptera     | Mesovelidae     | <i>Mesovelidae nn1</i>   | 0 | 0 | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2   | Oligomesotrófi<br>cas |
|             | Lepidoptera   | Crambridae      | <i>Synclita (cf)</i>     | 0 | 0 | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 1   | Mesotróficas          |
| Arachnoidea | Acari         | Hydrozetidae    | <i>Hydrozetes</i>        | 0 | 1 | 337 | 24 | 0  | 0  | 9  | 0   | 371 | Oligotróficas         |
|             |               | Acari NN1       | <i>acaro nn1</i>         | 0 | 0 | 1   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0   | 2   | Oligotróficas         |
|             |               | Acari NN2       | <i>acaro nn2</i>         | 0 | 0 | 22  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 22  | Oligotróficas         |
| Bivalvia    | Unionoida     | Spheriidae      | <i>Sphaerium</i>         | 7 | 1 | 13  | 0  | 0  | 0  | 7  | 0   | 28  | Mesotróficas          |





*Anexo 2. Clasificación de calidad de agua basada en el Índice Biotico de Familia (IBF), propuesta por Hilsenhoff (1988).*

| <b>IBF</b> | <b>CALIDAD DE AGUA</b> | <b>GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA</b>            |
|------------|------------------------|---|
| 0,00-3,75  | Excelente              | Agua limpia. Contaminación orgánica baja probable |
| 3,76-4,25  | Muy buena              | Con leve contaminación orgánica                   |
| 4,26-5,00  | Buena                  | Con algo de contaminación orgánica                |
| 5,01-5,75  | Regular                | Contaminación orgánica presente                   |
| 5,76-6,50  | Malsana                | Alta contaminación orgánica                       |
| 6,51-7,25  | Nociva                 | Fuerte contaminación orgánica                     |
| 7,26-10,00 | Muy Nociva             | Contaminación orgánica severa                     |