

COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
ASOCIADOS A UN SISTEMA FITOTELMA COMO POSIBLES BIOINDICADORES
DE FRAGMENTACIÓN DE UN BOSQUE ALTOANDINO EN TOTORÓ (CAUCA).



JUAN SEBASTIÁN PARRA MERA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN
2018

COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
ASOCIADOS A UN SISTEMA FITOTELMA COMO POSIBLES BIOINDICADORES
DE FRAGMENTACIÓN DE UN BOSQUE ALTOANDINO EN TOTORÓ (CAUCA).

Trabajo de Grado para optar al Título de biólogo

JUAN SEBASTIÁN PARRA MERA

DIRECTOR

MG. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

POPAYAN

2018

Nota de aceptación

Director _____
HILLDIER ZAMORA M.Sc

Jurado _____
DIEGO MACÍAS PINTO M.Sc

Jurado _____
DANIEL FERIZ M.Sc

Fecha y lugar de sustentación: Popayán, Martes 16 de octubre del 2018.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	16
4.1 Fragmentación en ecosistemas andinos.....	16
4.2 los macroinvertebrados acuáticos.....	17
4.2.1 Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.	17
4.3 Qué es un sistema fitotelma.	18
4.4 Bromelia y árbol huésped (forofito).	18
4.5 Índices ecológicos.....	20
5. ANTECEDENTES	22
6. MATERIALES Y METODOS	26
6.1 Área de estudio.....	26
6.2 Fase de campo	28
6.3 Recolección de macroinvertebrados acuáticos asociados a <i>Tillandsia complanata</i>	30
6.4 Fase de laboratorio.....	31
6.5 Análisis de datos.....	31
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	33
7.1 Esfuerzo de muestreo durante la toma de la muestra macroinvertebrados acuáticos (MAE) en <i>Tillandsia complanata</i>	33
7.2 Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) asociados al sistema fitotelma (<i>Tillandsia complanata</i>).	35

7.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados a <i>Tillandsia complanata</i> por fragmento de bosque (Fi,Fc) en los cuatro meses de estudio.	39
7.4 Coeficiente de similitud (Bray-Curtis) para las dos comunidades de macroinvertebrados acuáticos en las dos épocas climáticas.....	43
7.5 Índices de ecológicos (Shannon-Margalef –Simpson).....	45
7.6 Características físico-químicas hídricas asociadas al sistema fitotelma (<i>Tillandsia complanata</i>).....	47
7.7 Correlación entre las variables físico-químicas del agua y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en el sistema fitotelma.....	55
7.8 Macroinvertebrados acuáticos asociados a <i>Tillandsia complanata</i> como bioindicadores de grado de intervención.	57
8. CONCLUSIONES	62
9. RECOMENDACIONES	64

AGRADECIMIENTOS.

A mi familia por todo el apoyo incondicional que siempre me han dado...

A mi señora madre Magnolia Mera Bedon por estar siempre a mi lado y darme todo el apoyo desde el inicio del proyecto.

A mi señor padre Ángel Rodrigo Parra por guiarme y aconsejarme durante este tiempo..

Al profesor Hildier Zamora por el apoyo como director y amigo, ya que fue ya que fue indispensable en el trabajo.

Al grupo de investigación de recursos hidrobiológicos epi-continuales de la universidad por haber apoyado el proyecto..

A los auxiliares de campo; Farit Manquillo, Esteban Parra, Andrea Chantre, Jesús Belalcazar ..

A todos mis amigos y compañeros que estuvieron presente en el proceso del trabajo de grado...

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Bromelia (<i>Tillandsia complanata</i>) como modelo fitotelma en el estudio. A) Foto panorámica de la bromelia. B) Bromelia con inflorescencia axilar. --	19
Figura 2. Forofito <i>Ilex uniflora</i> A) Foto (Carranza 2004); B) Foto en campo. -----	19
Figura 3. Paisaje de la zona de estudio (vereda el Cofre). -----	26
Figura 4. Mapa de zona de estudio. A) Mapa geopolítico de Colombia y el departamento del Cauca (Totoró). B) Foto en campo de la zona de estudio. C) Georeferencia de los dos fragmentos estudiados (Fc,Fi). -----	27
Figura 5. Multiparamétricas de físico-química hídrica. A) Equipo Hach; B) Equipo YSI. -----	29
Figura 6. Recolección de macroinvertebrados MAEs- en <i>Tillandsia complanata</i> . A) Deshojado de la bromelia. B) lavado y filtrado del material asociado en la bromelia. -----	30
Figura 7. Material colectado en el fitotelma (<i>Tillandsia complanata</i>).-----	31
Figura 8 Separación manual de MAEs asociados a <i>Tillandsia complanata</i> .-----	31
Figura 9. Curva de acumulación de especies generada para temporada de lluvias, estimada por: Chao2, Jack2 y estimador de riqueza (S). -----	33
Figura 10. Curva de acumulación de especies generada para temporada seca, estimada por: Chao2, Jack2 y estimador de riqueza (S). -----	34
Figura 11. Abundancia relativa de los órdenes colectados en todo el estudio. ---	35
Figura 12. Abundancia absoluta a nivel de familia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en <i>Tillandsia complanata</i> . -----	36
Figura 13. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados acuáticos (MAE) a nivel de familia en <i>Tillandsia complanata</i> . -----	37
Figura 14. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de abril. -----	39
Figura 15. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de mayo. -----	40

Figura 16. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de julio. -----	41
Figura 17. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de agosto. -----	41
Figura 18. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de los macroinvertebrados asociados <i>Tillandsia complanata</i> durante la época de lluvias. -----	44
Figura 19. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de los macroinvertebrados asociados <i>Tillandsia complanata</i> durante la época de verano -----	45
Figura 20. Índices ecológicos (Shannon –Margalef –Simpson) en los dos fragmentos. -----	46
Figura 21. Variación de temperatura hídrica y oxígeno disuelto en las dos zonas de estudio (F.I= fragmento intervenido, F.C=fragmento conservado). -----	49
Figura 22. Variación de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH en las dos zonas de estudio (F.I= fragmento intervenido, F.C=fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio. -----	50
Figura 23. Variación del volumen hídrico (mL) las dos zonas de estudio (F.I= fragmento intervenido, F.C=fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio.-----	52
Figura 24. Regresión simple entre el área (dm^2) y el volumen hídrico depositado en <i>Tillandsia complanata</i> . -----	54
Figura 25. A) Foto de larva del genero <i>Eristalis</i> en el estudio. B) <i>Eristalis</i> en etapa adulta como agente polinizador (Imagen tomada Hurtado 2014) -----	58
Figura 26. A) Larva de la familia Chironomidae. B) larva de la familia Ceratopogonidae (<i>Bezzia</i> sp.) -----	60
Figura 27. A) Psychodidae (Genero <i>Pericoma</i> sp). B) región anal de <i>Pericoma</i> sp. -----	61

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Composición y abundancia de MAE en <i>Tillandsia complanata</i> . -----	38
Tabla 2. Variación morfométrica asociada a <i>Tillandsia complanata</i> en las dos zonas de estudio (Fi=fragmento intervenido-Fc= fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio. -----	53
Tabla 3. Correlación de Sperman entre variables físico-químicas del agua y biológicas en <i>Tillandsia complanata</i> .-----	56

LISTA DE ANEXOS.

Tabla de Anexo 1. Diferencias significativas en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los dos fragmentos (Fi,Fc) para los cuatro meses de estudio.	71
Tabla de Anexo 2. Diferencias significativas entre parámetro físico-químicos hídricos entre los dos fragmentos (Fi,Fc) para los cuatro meses de estudio. 72	
Tabla de Anexo 3. Correlación entre variables físico-químicas hídricas asociadas al sistema fitotelma.....	73
Anexo 4. Fotografías de macroinvertebrados acuáticos.....	74

RESUMEN

Se estudió la composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados a los depósitos de agua en *Tillandsia complanata* (Bromeliaceae) en dos fragmentos de bosque altoandino con diferente grado de intervención en la vereda el Cofre municipio de Tótoro (Cauca). El objetivo principal fue establecer si existen diferencias en la composición y en abundancia de macroinvertebrados entre los dos fragmentos y analizar sus posibles causas, con el fin de identificar grupos bioindicadores de alteración en el bosque altoandino. Se recolectaron 64 plantas y se analizó *in situ* algunas variables morfométricas y físico-química hídrica donde se presentaron diferencias significativas entre las dos zonas de estudio. El orden Díptera fue el más diverso y abundante, con un 98% de los individuos totales representados en 11 morfoespecies. Los índices de diversidad (Shannon-Weaver – Margalef) registraron los valores más altos en el fragmento conservado en los cuatro meses de estudio. El análisis de similitud (Bray-Curtis), estableció recambios en la abundancia de las familias colectadas, el dendrograma de similitud creó agrupaciones para cada fragmento, evidenciando diferencias en abundancia entre las dos zonas de estudio. Se registraron diferencias significativas entre el número de individuos entre las dos zonas de estudio, donde la familia Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae mostraron su mayor abundancia en el fragmento intervenido a lo largo del estudio. Finalmente para deducir posibles grupos de bioindicación por parte de las macroinvertebrados acuáticos, se valoró el número de individuos significativos en cada fragmento (Intervenido-Conservado) a lo largo del estudio y se determinó que las abundancias significativas de las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae se considera como posibles grupos bioindicadores de zonas con un alto grado de intervención antrópica y que corresponde a actividades de una alta explotación ganadera que favorecen significativamente el desarrollo de sus individuos en el sistema fitotelma (*Tillandsia complanata*) en el bosque altoandino.

Palabras clave: Macroinvertebrados, fitotelma, altoandino, fragmentación, bioindicación, morfometría.

1. INTRODUCCIÓN

A escala mundial, el bosque altoandino es uno de los ecosistemas más amenazados, e incluso en la cordillera de los andes se estima que el 90% de los bosques altoandinos han desaparecido (Hamilton *et al.* 1995; Fahrig 2003). En Colombia los bosques altoandinos han sido los más afectados por la fragmentación, definida ésta como un proceso en el que se cambia la configuración de los hábitats que lleva a la formación de fragmentos más o menos aislados, como consecuencia de actividades antrópicas que interrumpen la continuidad del hábitat original (Hamilton *et al.* 1995; Fahrig 2003; Armenteras y Rodríguez. 2007). Para los bosques altoandinos, ubicados en el departamento del Cauca en el municipio de Totoró, en las últimas décadas la cobertura boscosa se ha reducido enormemente debido al incremento en los niveles de deforestación a causa del avance de la frontera agrícola, ganadera, y el aprovechamiento selectivo de los bosques en su utilización de la madera, provocando destrucción de bosques primarios y a la vez una drástica transformación del paisaje (CRC 2002; Armenteras y Rodríguez. 2007).

El bosque altoandino posee gran riqueza, abundancia y biomasa de epifitas vasculares, lo que se puede explicar, en parte, por las condiciones climáticas que fomentan la formación de niebla que cubre las montañas durante buena parte del tiempo y proporciona a las epifitas la humedad requerida para su crecimiento, así mismo cabe resaltar la importancia de las epifitas vasculares dentro de los ecosistemas como plantas que capturan agua y minerales del ambiente, participando activamente en el ciclo de nutrientes y la productividad del bosque (García & Van Der Hammen 2007). Dentro de los grupos de epifitas vasculares más característicos se encuentra la familia Bromeliaceae (Isaza *et al.* 2004), sus especies poseen hojas con vainas que se sobrelapan entre sí, permitiendo la creación de un tanque (fitotelma) donde se retienen fluidos y hojarasca que se convierten en el principal recurso hídrico y de nutrientes para los organismos asociados a ella (Lugo & Scatena 1992), dada estas condiciones este sistema se convierte en un microsistema importante como hábitat de diversas especies acuáticas (Carrica *et al.* 2001), por consiguiente pueden sostener cadenas tróficas

complejas que involucran varios tipos de organismos como bacterias, algas, musgos, protozoos, hongos, invertebrados y algunos vertebrados (Ospina *et al.* 2004; Marino *et al.* 2012).

Dentro de las comunidades biológicas asociadas al sistema fitotelma se encuentran un grupo de organismos denominados macroinvertebrados acuáticos, estos organismos han sido destacados como indicadores de características ambientales, dado que su presencia refleja las condiciones que prevalecen en el medio ambiente donde viven (Roldan, 1999; Zamora 2007, 2011), como las condiciones físicas, químicas y bióticas; además, de las diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales (Barbour *et al.*, 1999; Zamora 2013), Sin embargo, los estudios de macroinvertebrados en estas plantas se han enfocado en la explicación de las cadenas tróficas y el flujo de nutrientes existentes dentro de las bromelias (Marino *et al.* 2012) y estudios con insectos vectores de enfermedades que utilizan la fitotelma para su desarrollo.

En el caso de los macroinvertebrados asociados a las bromelias tipo tanque presentes en los bosques altoandinos, se desconocen los efectos que sobre ellos podría tener la fragmentación del bosque, sin embargo, se piensa que estos cambios generan variación de la cantidad y de la calidad de los recursos alimenticios y de condiciones físicas y químicas que pueden afectar a la comunidad asociada al tanque (Yanoviak, 2001a, 2001b; Ospina *et al.* 2004; Marino *et al.* 2012). Por tales razones, las comunidades de macroinvertebrados podrían ser utilizados para detectar ecosistemas disturbados, por medio de los cambios en su composición y abundancia, indicando probablemente el grado de alteración del ambiente (Ospina *et al.* 2004). Sin duda alguna, conocer los patrones que influyen sobre la estructura de una comunidad determinada es un importante propósito ecológico ya que tiene implicaciones para la conservación de la diversidad debido a las altas tasas de destrucción de hábitats (Bowles *et al.* 1998).

De esta manera, el presente estudio brinda un gran aporte para la ciencia y sobre todo como herramienta sustentable de la importancia del sistema fitotelma, y asume una posición fundamental para la conservación y restauración de las

comunidades de bromelias que generalmente pasan a un segundo plano al desconocerse en gran medida el papel ecológico tan importante que cumplen en estos bosques que cada vez se ven más reducidos.

Por lo tanto es de vital interés conocer los patrones que afectan la composición y abundancia de macroinvertebrados asociados al sistema fitotelma y compáralos con alteraciones antrópicas que puedan estar irrumpiendo la ecología y dinámica de comunidades con distintos grados de intervención; en definitiva este tipo de estudios realizados en fitotelma, representa una oportunidad para optimizar el diseño de nuevos modelos que permitan mejorar nuestra comprensión de la dinámica de la biodiversidad en hábitats altoandinos fragmentados.

2. JUSTIFICACIÓN

La fragmentación de los ecosistemas en la región altoandina, actualmente se ha convertido en una problemática ambiental, que afecta principalmente la dinámica de la conservación de los recursos naturales. Se sabe que la región andina es una de las más productivas del país y que a su vez registra una gran diversidad de especies de fauna y flora. La familia Bromeliaceae son un grupo de plantas con mayor riqueza de especies y mayor aporte de biomasa en la región andina, además, se convierte en un hábitat (fitotelma) importante para el desarrollo de macroinvertebrados acuáticos.

Este trabajo se realizó con la intención de conocer y comparar dos fragmentos de bosque, uno en estado de conservación y otro con intervención y de esta manera, entender como la fragmentación, puede afectar la composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados al fitotelma (*Tillandsia complanata*). Por lo tanto, esta indagación puede contribuir a direccionar futuras investigaciones relacionadas con estos microsistemas como posibles modelo ecológico, que permitan detectar el grado de alteración del ambiente y así poder contribuir a la conservación de los ecosistemas altoandinos en Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general.

- Comparar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (composición y abundancia), asociados al sistema fitotelma en *Tillandsia complanata*, de dos fragmentos de bosque alto andino con distinto grado de intervención, considerando, además, las variables físico-químicas hídricas asociadas y determinar posibles grupos bioindicadores del grado de fragmentación.

3.2 Objetivos específicos.

- Determinar y contrastar la composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia complanata* en los dos fragmentos de bosque altoandino estudiado.
- Evaluar y confrontar las variables físico-químicas hídricas de los depósitos asociados a *Tillandsia complanata* en los dos fragmentos de bosque altoandino estudiados.
- Determinar índices ecológicos (Shanon, Margalef y Simpson) para cada fragmento de bosque, durante el tiempo de estudio.
- Determinar el índice de similitud (Bray-Curtis) entre los fragmentos en las dos temporadas de estudio.
- Identificar posibles macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de intervención en el bosque altoandino objeto de estudio.

4. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

4.1 Fragmentación en ecosistemas andinos.

La fragmentación de un hábitat es un término ampliamente utilizado para describir la conversión de grandes extensiones de ecosistemas naturales hacia pequeñas y dispersas áreas con relictos naturales, bien sea por acción antrópica o por desastres naturales (Fahrig *et al.* 2003). La fragmentación del hábitat ha sido reconocida como una de las principales amenazas para los ecosistemas (Dale & Pearson, 1997; Noss, 2000; Armenteras *et al.*, 2007), manifestando sus principales efectos a través de la reducción de la biodiversidad y aumentando el aislamiento de hábitats (Skole & Tucker 1993). Este proceso de transformación y degradación de los paisajes naturales ha generado la pérdida y fragmentación del hábitat para numerosas especies, muchas de las cuales están ahora dispersas en fragmentos cada vez más pequeños y aislados, donde la probabilidad de extinción local o incluso regional es elevada (Hargis *et al.* 1997; Wilson *et al.* 1998; Saunders *et al.* 1991; Fielder & Kareiva, 1998).

La región andina de Colombia ha sido el soporte del desarrollo económico y cultural del país (Alvear *et al.* 2010), lo que ha transformado extensas áreas naturales en zonas agrarias y ganaderas con paisajes altamente fragmentados. La implementación de áreas para la papa y la expansión ganadera, han promovido una pérdida acelerada del bosque, al punto de encontrar únicamente pequeños fragmentos que son conservados por su pendiente, difícil acceso, improductividad o por que presentan alguna figura legal para su protección (Rangel, 2000). Los ecosistemas naturales de la región suroccidental de Colombia han sufrido una intensa transformación por la intervención antrópica, lo cual se considera hoy en día como una amenaza a la conservación, en su extraordinaria biodiversidad y como el principal factor causante de su degradación ambiental (Noss *et al.* 1987; Wilcox & Murphy 1985).

4.2 los macroinvertebrados acuáticos

La definición más corriente sobre que son los macroinvertebrados acuáticos se precisa como aquellos organismos invertebrados que se pueden observar a simple vista. No obstante, se trata de una clasificación operante, es por esto que algunos autores establecen un rango de dimensiones como en Roldan (1992) reporta medidas mayores de 5mm; Zamora (2007, 2016), mayor de 3mm y últimamente la guía técnica colombiana GTC25 mayores a 500 micras. Los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAEs), constituye un importante componente biótico, debido a su elocuente rol ecológico ya que constituye la base de la cadena alimenticia y juega un papel importante en el flujo natural de la energía y los nutrientes (Barinas, 2008; Zamora, 2007,2016). Actualmente, este grupo se valora mucho debido a su cualidad bioindicadora del estado ecológico de su ecosistema, por lo cual se están utilizando en gran medida para evaluaciones ambientales, de calidad del agua y biomonitoreo en los ecosistemas lenticos y loticos (Roldan, 1999; Zamora, 2007; 2013,2016).

4.2.1 Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.

Un ecosistema acuático está determinado por la dominancia de ciertas poblaciones de organismos adaptados, característicos, o propios de la calidad hídrica, los cuales se utilizan como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora, 2007). Según Roldan (1999) y Zamora (2007) un especie indicadora es la que ocupa un nicho inalterado o un nicho creado por perturbaciones ambientales, es decir, que no todos los organismos se adaptan a diferentes lugares, hay individuos que se encuentran en ciertos ambientes pero que cualquier alteración del medio los hace reducir en números hasta desaparecer. Las razones según Roldan (1992) y Zamora (2007) por las cuales las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos son organismos que han sido utilizados con mayor frecuencia en los estudios relacionados con la contaminación de recursos hídricos o como indicador de las condiciones ecológicas, radica por presentar un tamaño corporal relativamente grande, colección parcialmente fácil, organismos sedentarios con ciclos de vida

comparativamente largos, refleja las alteraciones en corto tiempo, alta diversidad y una amplia distribución.

4.3 Qué es un sistema fitotelma.

El sistema fitotelma se define; como pequeños depósitos de agua que provienen de secreciones líquidas o precipitaciones y que se reservan temporalmente o permanentemente en plantas o partes de ellas como tallos, ejes de hojas, frutos o flores (Greeney *et al.* 2001). En el caso de las bromelias, la formación del estanque se ve facilitada por la disposición de sus hojas en roseta, lo cual permite el depósito del recurso hídrico en conjunto con detritus proveniente de hojarasca depositada en el sistema (Ospina *et al.* 2004, 2008). De esta manera, las bromelias proveen refugio, agua, recursos y nutrientes, que conjuntamente favorecen la creación de un microsistema acuático que tiene todo lo necesario para la sobrevivencia de ciertos organismos acuáticos asociados a ella (Richardson *et al.* 1999). La calidad y cantidad del agua dentro del sistema fitotelma, es un factor importante en la determinación de las comunidades, y puede limitar o permitir la sobrevivencia de la vida acuática relacionada con este microsistema (Kitching *et al.* 2000). Distintos autores señalan la importancia del sistema fitotelma, en diversos procesos ecológicos, especialmente en dispersión, colonización e interacciones entre especies y también como elementos estructurales de los bosques neotropicales (Liria 2007; Greeney *et al.* 2001).

4.4 Bromelia y árbol huésped (forofito).

***Tillandsia complanata*:** El género *Tillandsia* en su mayoría son plantas con carácter epifito que muestra una alta adaptación y competencia dentro de la familia Bromeliaceae. En Colombia se estima un total de 70 especies registradas y están distribuidas por todo el territorio colombiano, pero la mayor riqueza de especies se encuentra en la región andina, especialmente en bosques con una altitud entre 2000 y 3000 msnm (Betancur & Jaramillo 1998). La especie *Tillandsia complanata* (Figura 1) es la bromelia modelo como sistema fitotelma en este estudio, se caracteriza por ser una planta epifita, que alcanza un tamaño de 35-45 cm en maduras, sus hojas tienen una longitud de 20-40 cm, vaina de 4-7 cm de

ancho, en la parte basal con matices pardos (Figura 1), con una alta densidad de hojas y con una inflorescencia axilar (Figura 1).

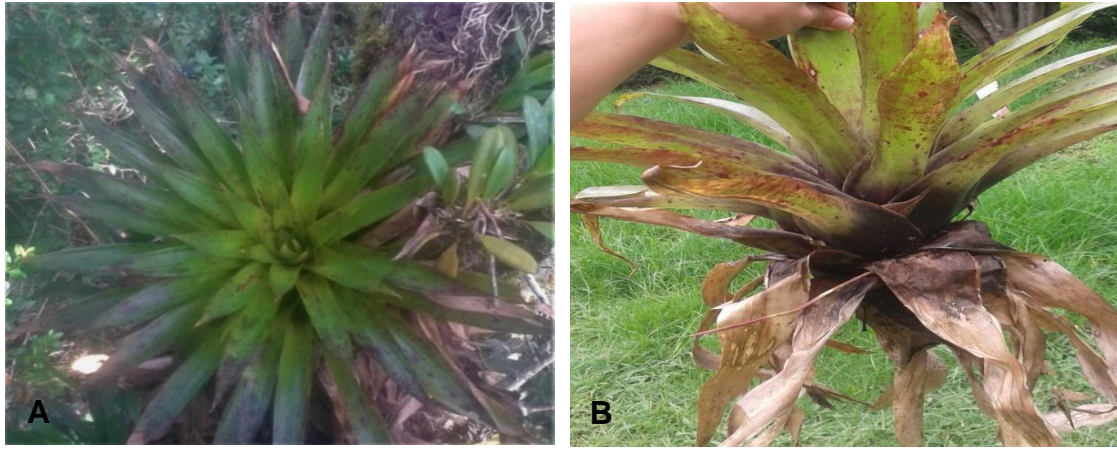


Figura 1. Bromelia (*Tillandsia complanata*) como modelo fitotelma en el estudio. **A)** Foto panorámica de la bromelia. **B)** Bromelia con inflorescencia axilar.

***Ilex uniflora*:** La palabra forofito, hace referencia al árbol huésped que contiene otra planta. La planta forofito pertenece a la familia Aquifoliaceae y genero *Ilex*; está formado por árboles y arbustos comúnmente conocido como acebos. La mayor diversidad se encuentra en la región tropical. Generalmente son arboles con una altura de 10-25 m; hojas simples coriáceas; con flores dioicas, es decir, con flores masculinas y femeninas en distintas plantas (Carranza 2004), con necesidad de factores externos para su propagación y dispersión (Lawrence *et al.* 1951).

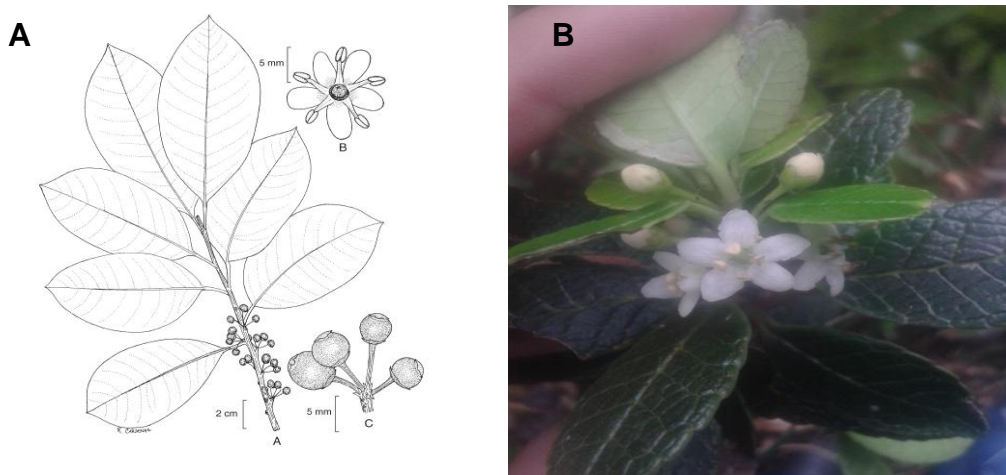


Figura 2. Forofito *Ilex uniflora* **A)** Foto (Carranza 2004); **B)** Foto en campo.

4.5 Índices ecológicos.

4.5.1 Índice de diversidad de Shannon-Weaver.

Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica, refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad.

La diversidad máxima se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes (Pla 2006). El índice de Shannon se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$H = \sum (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

n_i es el número de individuos por especie, N es el número total de individuos en una muestra. El resultado de aplicación de esta ecuación se confronta con los siguientes valores de diversidad: 0-1,5 baja diversidad; 1,6-3.0 mediana diversidad y de 3,1-5.0 alta diversidad (Moreno, 2001)

4.5.2 Índice de riqueza de Margalef.

La Riqueza de Margalef determina el mayor número de individuos representados en cada una de las muestras y se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{s-1}{\log(n)} [6]$$

donde S es el número total de especies y n es el número total de individuos detectados (Brower et al. 1997).

4.5.3 Índice de Bray-Curtis

El índice de Bray-Curtis es un coeficiente de similitud que enfatiza la importancia de las especies que se tienen en común entre las zonas de muestreo. Toma valores entre 0 (ninguna especie en común) y 1 (muestras idénticas) y es uno de los índices con mayor importancia en el campo de la ecología acuática (Moreno 2001). Este índice se expresa mediante la fórmula:

$$BC_d = \frac{\sum |x_i - x_j|}{\sum (x_i + x_j)}$$

Dónde: X_i = Abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1.

X_j = Abundancia de las especies j en un conjunto 2.

5. ANTECEDENTES

El interés por el estudio de sistemas fitotelmata se inició con el histórico trabajo de Picado (1913) realizado en Jamaica y contribuyó significativamente en demostrar que los organismos no existen por sí solos, sino que interactúan entre sí y con el medio circundante del sistema y se pregunta qué función desempeñan estas plantas en la dispersión geográfica de los animales, además, reflexiona sobre la importancia que desempeña como microhábitat estratégico para la reproducción de muchos insectos donde el orden Díptera mostro una gran diversidad.

Mucho después, Laessle (1961) realizó un importante estudio limnológico donde analizó ciertas conclusiones postuladas por Picado (1913) en este reconoce el sistema fitotelma como un hábitat dinámico y complejo; de esta manera Laessle (1961) postula un análisis limnológico que comprende tiempos en la noche y en el día, de acuerdo a la biota registrada varió entre bacterias, algas, protozoos, gasteromicetes, rotíferos, gusanos, larvas de dípteros y coleópteros, además el análisis físico-químico hídrico concluyó que es un sistema con condiciones adversas para la vida, mostrando niveles bajos de oxígeno y con pH hasta por debajo de 4 en la escala, asimismo, argumentó que estas condiciones físico-químicas declinan sobre todo en la noche donde el ambiente es más extremo. De esta se determina que muchas de estas especies acuáticas pueden vivir y tolerar condiciones anaeróbicas y pH ácido. Esta adaptabilidad convierte el fitotelma en un microecosistema estratégico para la reproducción y ovoposición para ciertas larvas acuáticas en la isla de Jamaica, donde el orden Díptera registró la mayor diversidad y abundancia, algunos grupos se clasificaron como vectores de enfermedades hallando a: Culicidae (*Aedes* sp, *Culex* sp) , Chironomidae (*Chironomus* sp, *Cryptochironomus* sp), Ceratopogonidae (*Bezzia* sp, *Hohenbergia* sp).

En Colombia la investigación sobre sistema fitotelma no ha sido tan extensa. Estupiñán & Muños (1992), estudió la comparación de la fauna presente en los receptáculos axilares de las epifitas *Tillandsia turneri* en un bosque andino y *Tillandsia complanata* en un bosque subandino; y se reportaron altas abundancias

de ácaros (*Acari* sp) con dominancia de larvas de Diptera y Coleoptera en la artropofauna de *Tillandsia turneri* y *Tillandsia complanata*.

Richardson (1999; 2000) propone el término “microcosmos” a estos micro-ecosistemas, evaluando la diversidad de fauna en las plantas tanque (Bromeliaceae) y heliconias (Heliconiaceae) en un bosque neotropical en Puerto rico; donde, estudio la fauna común que se encuentra en los receptáculos foliares, además, determino la estructura que indica que la fauna acuática es diversa e incluye predadores, filtradores. Entre los más comunes están los dípteros, principalmente los de la familia Chironomidae y Culicidae.

Es importante mencionar que en el año 2003, iniciaron investigaciones, realizando estudios de estructura y abundancia de macroinvertebrados asociados al depósito de agua presente en algunas bromelias muchos de ellos en bosque altoandino, dentro de los autores más destacados en Colombia encontramos a (Ospina *et al* 2004) con un estudio de estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* (Bromeliaceae) en un bosque alto andino colombiano y concluyo que el orden con mayor riqueza en morfotipos son de dípteros que representan un 25% de la abundancia total, el índice de diversidad de Shanon registro un rango de 0.74 y 2.13 por lo cual se califica como un hábitat bajo en diversidad. En el análisis de estructura los grupos funcionales más abundantes fueron trituradores, depredadores, representado por *Scirtes*, y los colectores filtradores, representado por la familia Culicidae y daphnidae.

Ospina *et al* (2008), analizo la diversidad de invertebrados acuáticos asociados a Bromeliaceae (*Tillandsia turneri* y *Tillandsia complanata*) en un bosque de montaña y relaciono las variables morfológicas y físico-químicas hídricas de la bromelia. Se encontro 23 morfoespecies, dentro de las cuales el orden Diptera fue el más diverso y abundante, además, concluyo que las comunidades de macroinvertebrados acuáticos fue similar entre las dos bromelias y mostraron patrones similares en la morfometria. En cuanto a la biomasa acumulada la fuente principal de hojarasca era de la especie de encenillo (*Weinmann* sp).

Montero (2010), estudio como el hábitat (exposición a luz y sombra) y estacionalidad afectan la distribución de la macrofauna que vive en el fitotelma (*Aechmea distichantha*) mostrando diferencias morfológicas cuando crece en condiciones de sol y sombra. Montero (2010), concluyo que las plantas con exposición al sol eran más cortas, pero tenían un mayor contenido de agua en el sistema, pero una menor acumulación de hojarasca que las plantas de sombra. Las plantas de sombra tenían una mayor proporción de detritívoros que las plantas solares en primavera y verano, pero no en invierno. No hubo diferencias en la abundancia entre los hábitats, pero las plantas de sombra tenían una mayor riqueza de especies que las plantas del sol. El estudio mostro que el hábitat afecta principalmente la estructura de la planta (*Aechmea distichantha*) y en la distribución de la macrofauna en el sistema fitotelma.

Los investigadores en Colombia intensificaran los estudios en las fitotelmas, analizando las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos asociadas a las bromelias; actualmente estos estudios se están implementando para analizar el grado de vulnerabilidad que puede presentar los ecosistemas fragmentados. Wilches & Botero (2013) analizando la composición y abundancia de macroinvertebrados asociados a *Guzmania mitis* en diferentes fragmentos de bosque altoandino con distintos niveles de intervención antrópica en Cundinamarca (Wilches & Botero 2013). Los órdenes que más se destacaron en abundancia y riqueza corresponde al orden Díptera y Coleóptera en estados larvales, en cuanto al análisis beta entre las dos zonas de estudio arrojó agrupamientos para el fragmento intervenido asociando una mayor abundancia por parte de la familia Chironomidae y una baja abundancia de Scirtidae.

Castaño (2014), estudio el efecto de las especies arbóreas que sirve de huésped a bromelia epifítica (*Tillandsia violácea*) y las variaciones estacionales y altitudinales sobre las características físico-químicas del agua acumulada en el sistema. Se encontró que el arboles huésped influye en la concentración de iones disueltos en el agua, los valores más altos de iones se encontraron en plantas *Abies religiosa*. La conductividad eléctrica, el calcio y el carbono orgánico disuelto en el agua

epífita representaron más del 60% de la variación en la densidad de artrópodos. En el pH acumulado vario entre 3.4-8.3, el contenido de carbono orgánico (17.16-30.07 mg g⁻¹), las concentraciones de sodio y potasio (0.26-1.43, 0.49-34.87 cmol + kg⁻¹, respectivamente) fueron los factores más importantes correlacionado con la abundancia total de la fauna.

Ospina & Esterez (2016), realizaron un estudio donde determina la importancia de la estructura de la Bromelia (*Tillandsia tumeri*) con la cantidad de hojarasca que puede estar ingresando al sistema fitotelma y que puede afectar procesos dentro del funcionamiento del ecosistema o la riqueza de la especie. Según el análisis de regresión múltiple mostro que las variables como tamaño, cobertura vegetal, longitud de la vaina, explican la cantidad de hojas que se pueden depositar en el sistema y determino la cantidad de partículas almacenadas en la bromelia fueron los impulsores de funcionamiento del microecosistema o de la riqueza de especies.

Actualmente los estudios en fitotelmata evalúan el papel fundamental que tiene el medio circundante, Rangel (2017), determino el papel fundamental que juega el dosel del bosque sobre la colonización de fitotelma por invertebrados acuáticos, experimentando con plantas tanque (*Aechmea lingulata*) en dos cubiertas: una con dosel denso (Bromelias sombreadas) y sin dosel (Bromelias sin sombra). La cantidad de materia orgánica en partículas finas (FPOM) y el agua almacenada no difirió entre las dos cubiertas, pero la cantidad de materia orgánica en partículas gruesas (CPOM) fue significativamente mayor en las bromelias con el dosel más denso. Ostracoda, Hydracarina y Oligochaeta fueron los taxones más abundantes en los tanques de bromelia. Entre los insectos, Culicidae, Chironomidae y Ceratopogonidae fueron los más representativos.

6. MATERIALES Y METODOS.

6.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la vereda el Cofre al occidente del municipio de Totoró en la zona suburbana (Figura 3), haciendo parte del resguardo indígena de Totoró. El bosque objeto de estudio se encuentra ubicado a una altura de 3200 msnm y su coordenada geográfica corresponde a N 2° 31' 42" y W 76° 20' 53".



Figura 3.Figura 3. Paisaje de la zona de estudio (vereda el Cofre).

La zona de estudio pertenece a una selva altoandina según Cuatrecasas (1958) o un bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) según Holdridge (1979). Presenta una precipitación promedio anual de 3200 mm y una altitud entre los 2900 y 3400 msnm. La temperatura promedio oscila entre los 5 y 11 grados Celsius. La temporada de lluvias corresponde a dos periodos entre los meses de Abril-mayo y octubre-noviembre; la época de verano está marcado por un periodo de bajas precipitaciones y un aumento en la radiación solar en los meses de junio y agosto; también, existe un lapso climático que afecta todo el trópico que denominamos “veranito del niño” que comprende el mes de enero (Garcia, 1992 y 1998).

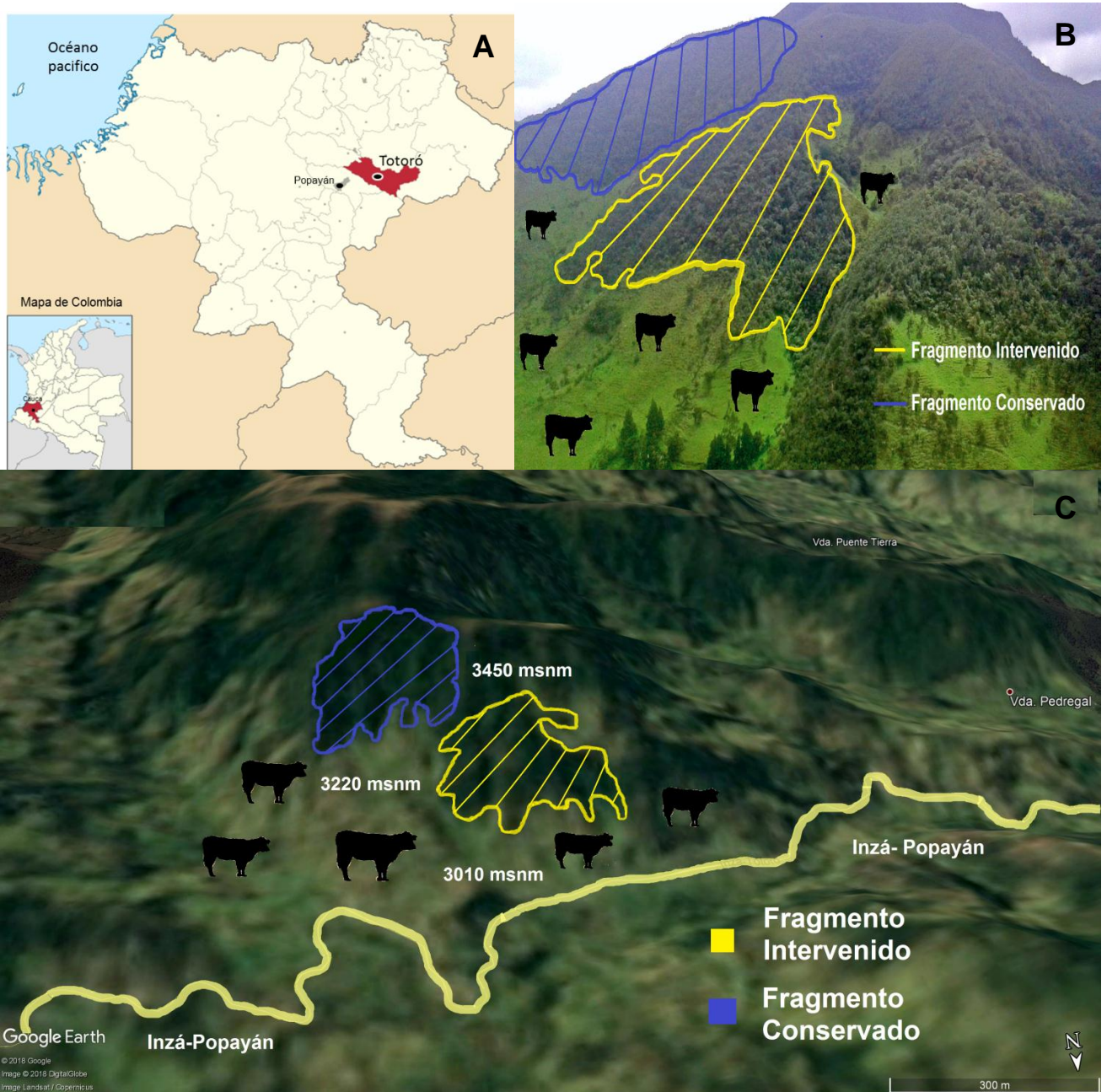


Figura 4. Mapa de zona de estudio. **A)** Mapa geopolítico de Colombia y el departamento del Cauca (Totoró). **B)** Foto en campo de la zona de estudio. **C)** Georeferencia de los dos fragmentos estudiados (Fc,Fi).

De acuerdo con la información suministrada por el dueño de la finca, el fragmento conservado (Figura 4) pertenece a un bosque secundario y se encuentra en estado de conservación aproximadamente 14 años, mientras que el fragmento intervenido actualmente muestra una gran intervención antrópica sobre todo por la presencia de actividad ganadera (Figura 4).

6.2 Fase de campo

Para el levantamiento de información; se realizaron cuatro muestreos entre los meses de abril-mayo y julio-agosto en época de lluvias y época seca respectivamente (Garcia, 1992 y 1998). Inicialmente se identificó el árbol huésped (*Ilex uniflora*) y posteriormente se reconoció la planta modelo (fitotelma) para su colecta, la elección de *Tillandsia complanata* corresponde a su gran abundancia y plasticidad de carácter epifito en las dos zonas de estudio (fragmentos intervenido y conservado). Para cada fragmento se recolectaron ocho bromelias, con un total de 16 bromelias por mes de muestreo. A lo largo del estudio, se colectaron 64 bromelias en estado de floración.

6.2.1 Muestreo hidrobiológico.

En esta fase se realizaron todas las mediciones que permitieron obtener los valores de los parámetros biológicos y físico-químicos hídricos que se miden *in situ* y la colecta de macroinvertebrados acuáticos para ser identificados en el laboratorio. Para ello fue de vital importancia tener en cuenta los criterios para la recolección de la información primaria, como son el trabajo de campo, rótulos de campo, formatos para recopilar los valores y la calibración de los equipos que son utilizados en la físico-química hídrica por medio de soluciones estandarizadas para cada equipo.

6.2.2 Físico- química hídrica asociada al sistema fitotelma (*Tillandsia complanata*).

Para efectuar el análisis de oxígeno disuelto (OD= mg/L) y temperatura hídrica (°C) se utilizó un medidor multiparametrico portátil Hach, con una sonda para oxígeno disuelto ISE HQ40d, el análisis se efectuó directamente en la bromelia

insertando la membrana de la sonda en el depósito de agua; para su calibración, se implementó el método de sobresaturación al 100% utilizando agua destilada. Para efectuar el análisis de la conductividad eléctrica y temperatura ambiental se utilizó un medidor multiparamétrico YSI profesional plus con una sonda especial para conductividad, para su calibración se utilizó un patrón de una solución 0.001M de KCl que se trasladó a la zona de estudio para así poder obtener unos resultados óptimos en el estudio; el análisis se realizó directamente en la bromelia insertando el electrodo que efectuara el análisis de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Para analizar el pH, se usó un pHmetro portable Desckop 2.0. El volumen hídrico se calculó por medio de una probeta graduada de 750 mL.

Para calcular la morfometría y el área de la planta, se midió la longitud en cm en la hoja de la planta (h); el perímetro (C) se obtuvo de la parte basal de la roseta en la bromelia y posteriormente se calculó el radio ($r = C/2\pi$). Para establecer el tamaño de cada bromelia, se implementó la fórmula propuesta por Ospina (2004) que consiste en una fórmula basada a partir del área de un cono $A = (\pi (h^2 + R^2)) \pi R + \pi R^2$.



Figura 5. Multiparamétricas de físico-química hídrica. **A)** Equipo Hach; **B)** Equipo YSI.

6.3 Recolección de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia complanata*.

Una vez identificada la bromelia (*Tillandsia complanata*) en su respectivo forofito y de analizar las propiedades físico-químicas hídricas en el sistema, se procedió con la variante metodológica propuesta por Frank (1983), que consiste en deshojar y lavar cada bromelia para recoger el material que se encuentra en medio de las axilas de las hojas (Figura 6). Todo este material obtenido se filtró por medio de una maya de hilo fino con un tamaño de poro 376 micras para evitar la pérdida de macroinvertebrados acuáticos (MAE); este método tiene como ventaja que permite recolectar todos los individuos asociados a la bromelia, principalmente en estados larvales; posteriormente, el material resultante se depositó en bolsas ziploc con alcohol etílico al 80 % y se trasladó a las instalaciones del laboratorio de recursos hidrobiológicos de la Universidad del Cauca.



Figura 6. Recolección de macroinvertebrados MAEs- en *Tillandsia complanata*. **A)** Deshojado de la bromelia. **B)** lavado y filtrado del material asociado en la bromelia.

6.4 Fase de laboratorio.

El material obtenido de la filtración (Figura 7) se almacenó en una nevera de poliestireno, posteriormente; se procedió a limpiar el material manualmente para separar los macroinvertebrados acuáticos (MAE) bajo un estereoscopio de marca ZEISS (Figura 8). Para la determinación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó la guía ilustrada de (Roldan 1996) y la guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos de Domínguez y Fernández (2009). Se logró llegar en su totalidad hasta familia y en algunos grupos hasta género.



Figura 7. Material colectado en el fitotelma (*Tillandsia complanata*). **Figura 8** Separación manual de MAEs asociados a *Tillandsia complanata* .

6.5 Análisis de datos.

6.5.1 Tratamiento estadístico.

Se realizó mediante estadística descriptiva básica como el cálculo del promedio, desviación estándar; para los valores hidrobiológicos asociados a *Tillandsia complanata* en las dos zonas de estudio. Para cada fragmento, se promediaron las variables físico-químicas hídricas tomadas en el sistema fitotelma en las ocho bromelias colectadas por fragmento, se obtuvo la media aritmética con su desviación estándar en los cuatro meses de muestreo. Posteriormente, se

evaluaron los supuestos de normalidad y se efectuó la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($n > 50$) y Shapiro-Wilk ($n < 50$), del mismo modo, se calculó la prueba de homogeneidad de Levene. Bajo los supuestos obtenidos, se decidió realizar un análisis de varianza no paramétrica, aplicando la prueba de U Mann-Whitney para dos muestras independientes, comparando los valores obtenidos en los dos fragmentos (conservado-intervenido) para cada mes de muestreo y determinar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) importantes entre las variables hidrobiológicas en el fitotelma .

Se realizó una prueba de rangos de Spermán (r_s) para medir la relación o interdependencia comparando las variables físico-químicas entre sí mismas y también entre la variable biológica. A través de un análisis de regresión lineal simple, se estimó la relación entre la variable predictiva (área del sistema) calculada a partir de la morfometría de la bromelia y la variable respuesta (volumen de agua) para verificar la existencia de relaciones entre la morfometría y el volumen obtenido y de esta manera comprobar si el tamaño de la planta influye en la capacidad de retención del recurso hídrico. Para todo el procesamiento de los datos cuantitativos, se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 23

6.5.2 Análisis de índices ecológicos y de similitud

Para el análisis ecológico (Shannon, Margalef, Simpson) se calculó la diversidad total por bromelia y posteriormente se promediaron las ocho bromelias para obtener la media y desviación por cada fragmento estudiado. Para el análisis de similitud, se implementó un análisis cluster o agrupamientos que tiene como criterio de amalgamamiento los valores del índice de Bray-curtis, para este proceso se realizaron dos dendrogramas para las dos temporadas de estudio. En este análisis se usó el software estadístico Past 3.0

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1 Esfuerzo de muestreo durante la toma de la muestra macroinvertebrados acuáticos (MAE) en *Tillandsia complanata*.

Se estimó un tiempo aproximado de 28 horas de esfuerzo por jornada de campo, incluyendo análisis fisicoquímico hídrico *in situ* y la colecta del material asociado al fitotelma. Se calcularon aproximadamente 112 horas de esfuerzo total en campo y seis horas diarias en laboratorio durante tres meses para la limpieza del material recolectado en el fitotelma y la identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos. Se estimó el esfuerzo de muestreo en las dos temporadas construyendo curvas de acumulación de Taxa; este método permite comparar el número de muestreos con la cantidad de morfotipos acumulados, dando como resultado que tan optimo fue el esfuerzo del muestreo. Para este propósito se utilizaron estimadores no paramétricos para datos de presencia y ausencia Chao2, Jack2 y estimador de riqueza (S).

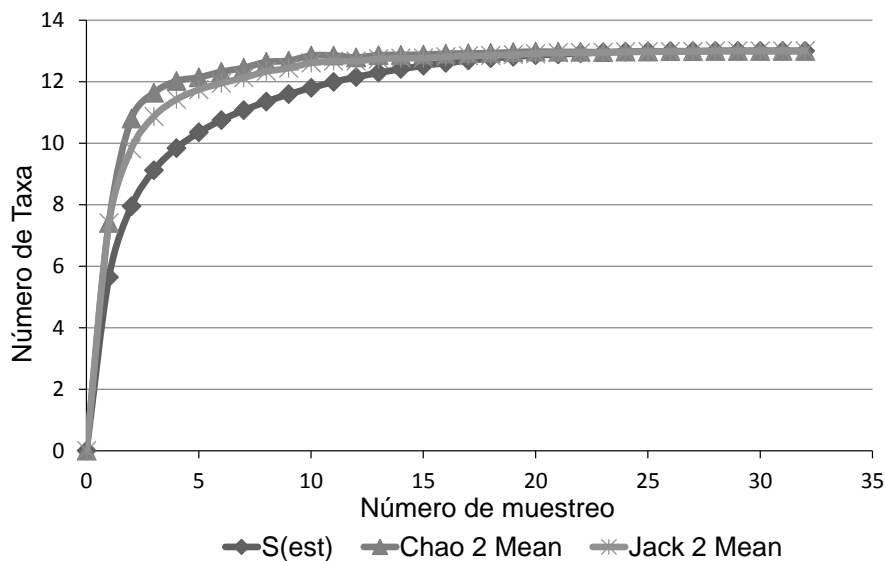


Figura 9. Curva de acumulación de especies generada para temporada de lluvias, estimada por: Chao2, Jack2 y estimador de riqueza (S).

De acuerdo a la curva generada (Figura 9) se observa que las tres asintotas se estabilizan y deja de crecer cuando el muestreo llega a 18 bromelias. Los números estimados de riqueza (S) (13); Chao2 (12.9) y Jack2 (12.8) se dividieron con el

número de Taxa (13) adquiridos en campo y el resultado se multiplico por 100, de este modo, se obtiene un porcentaje de 100, 99 y 98% de especies colectadas, lo cual lo califica como un buen esfuerzo de muestreo.

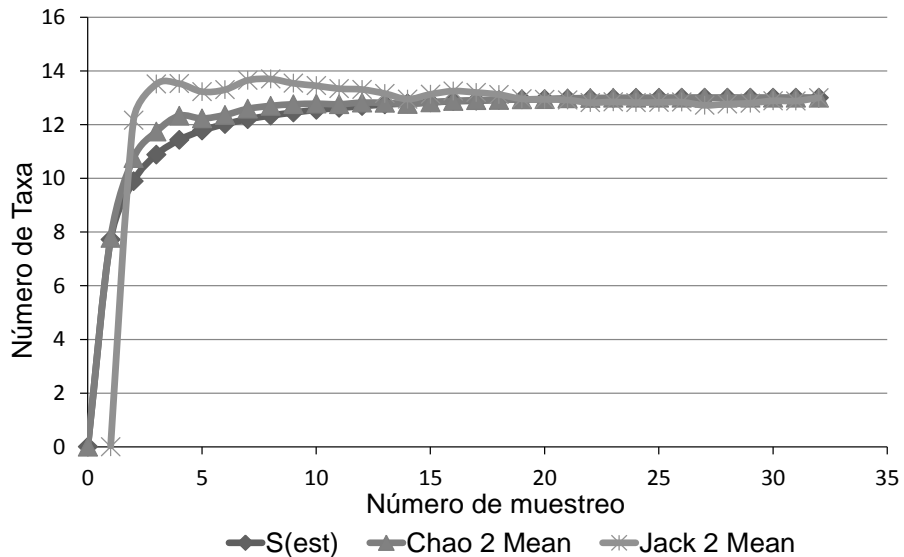


Figura 10. Curva de acumulación de especies generada para temporada seca, estimada por: Chao2, Jack2 y estimador de riqueza (S).

La curva de acumulación para la temporada seca (Figura 10); las asintotas generadas se observa que Chao2 y (S) tienen un crecimiento exponencial y se estabilizan cuando el muestreo llega a 15 bromelias; por otra parte, la asintota para el estimador Jack2 muestra un crecimiento vertiginoso al inicio del muestreo, además, en su desarrollo obtuvo declives que originó una asintota amorfa (Figura 10). Los estimadores no paramétricos arrojaron datos aproximados para: riqueza (S) (13); Chao2 (12.8) y Jack2 (12.7), de este modo, se obtuvieron porcentajes en eficiencia de 100%, 98, 97, de lo cual se puede considerar que pueden haber faltado 2 o 3 taxones. De acuerdo con estos resultados, el esfuerzo de muestreo de bromelias fue óptimo y demuestra que se fueron recaudados un gran porcentaje de Taxa en el estudio.

7.2 Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) asociados al sistema fitotelma (*Tillandsia complanata*).

En el sistema fitotelma se colectaron 4388 individuos acuáticos, que corresponden a 3 órdenes, 11 familias y 11 géneros (Tabla 1). El orden más abundante fue díptera con una representación de 98% en todo el estudio; seguido por Basommatophora con 1.5% y Haplotaxida 0.5% (Figura 11).

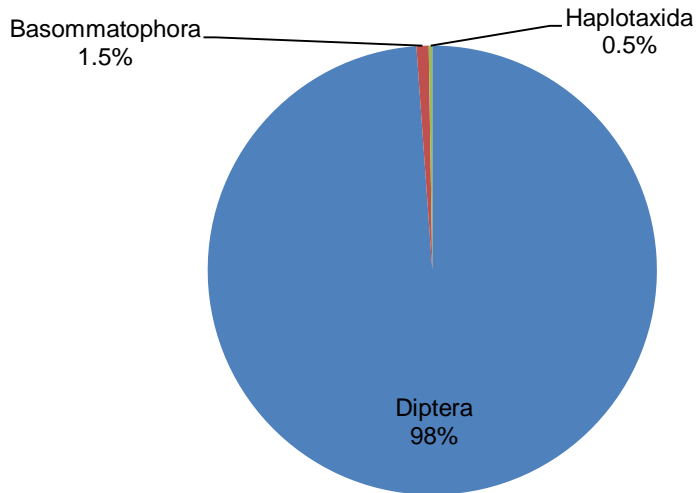


Figura 11. Abundancia relativa de los órdenes colectados en todo el estudio.

A lo largo del estudio, los dípteros (orden díptera) fueron los más diversos con 11 morfotipos distribuidos en 9 familias (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con diferentes estudios de fitotelma realizados en un bosque subandino, andino y altoandino en Colombia (Lasprilla, 2003; Ospina *et al* 2008; Wilches, 2013), donde se reportaron altas dominancias de larvas acuáticas del orden díptera presentes en *Tillandsia complanata* y *Tillandsia turneri*. La elevada abundancia del orden díptera, confiere a su gran capacidad de dispersión que les permite el vuelo en etapa adulta, además, de ciertas adaptaciones y modificaciones morfológicas como ejemplo: sifones y espiráculos que les permite un mejor aprovechamiento de la captación y utilización de oxígeno en el agua, asimismo, sobrevivir a condiciones acidas que proporciona el sistema léntico en la fitotelma (Laessle 1961; Merrit 1984).

Dentro de la composición del orden díptera la familia Chironomidae registró la mayor abundancia con 1446 individuos (32%); seguido por Ceratopogonidae (Díptera) con 749 (17%); Syrphidae (Díptera) con 695 (16%) y Psychodidae (Díptera) con 431 (10%); estas cuatro familias representan el 75% de abundancia en todo el estudio (Figura 12 y 13). Por otro lado los macroinvertebrados acuáticos con menos abundancia se registraron para Anisopodidae (Díptera) con 120 individuos (3%), Planorbidae (Gastropoda) con 38 individuos (1%); Tipulidae (Díptera) 14 individuos (0.004%) y Haplotaxidae (Oligochaeta) con 11 individuos (0.003 %) (Figura 12 y 13). De acuerdo a los resultados obtenidos por Ospina-Bautista *et al*, (2008) en un bosque altoandino en Cundinamarca, se encontró una gran abundancia de la familia Chironomidae en *Tillandsia complanata* y *Tillandsia turneri* (Ospina *et al.* 2008); de acuerdo a diferentes registros, la familia Chironomidae y Ceratopogonidae constituyen dos grupo abundantes en la mayoría de estudios realizados en sistema fitotelma (Laessle 1961; Richarson *et al.* 2000; Liria *et al.* 2007; Isaza *et al* 2009; Montero *et al.* 2010; Alvarado *et al.* 2010) y por lo general tienden a ser larvas detritívoras y depredadoras que pueden tolerar bajas en oxígeno disuelto y presentan poblaciones dominantes en las bromelias (Laessle, 1961; Guerrero *et al*, 2003).

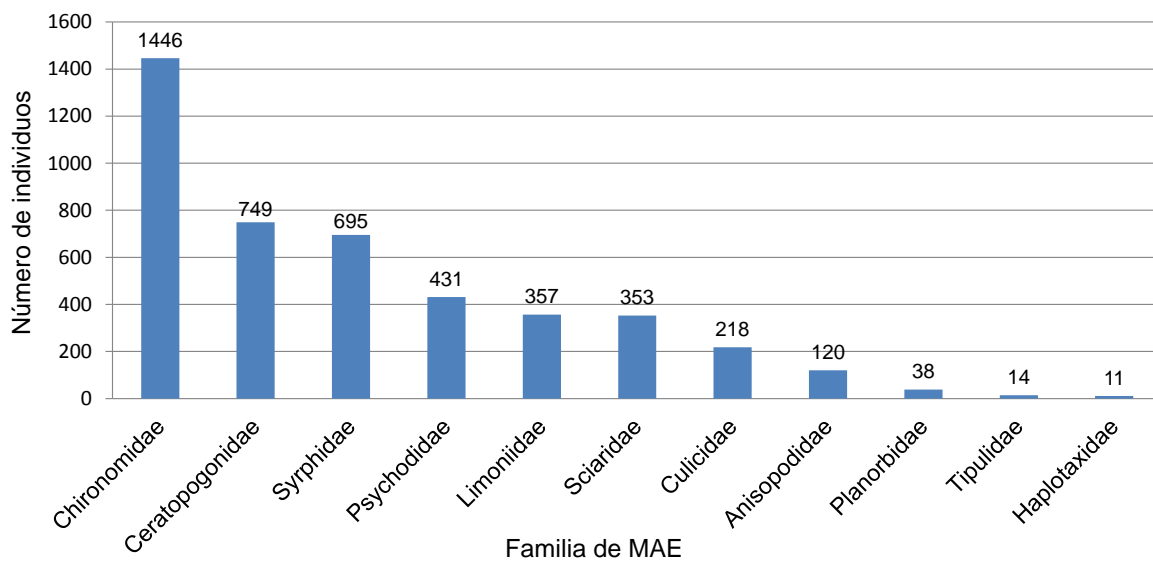


Figura 12. Abundancia absoluta a nivel de familia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en *Tillandsia complanata*.

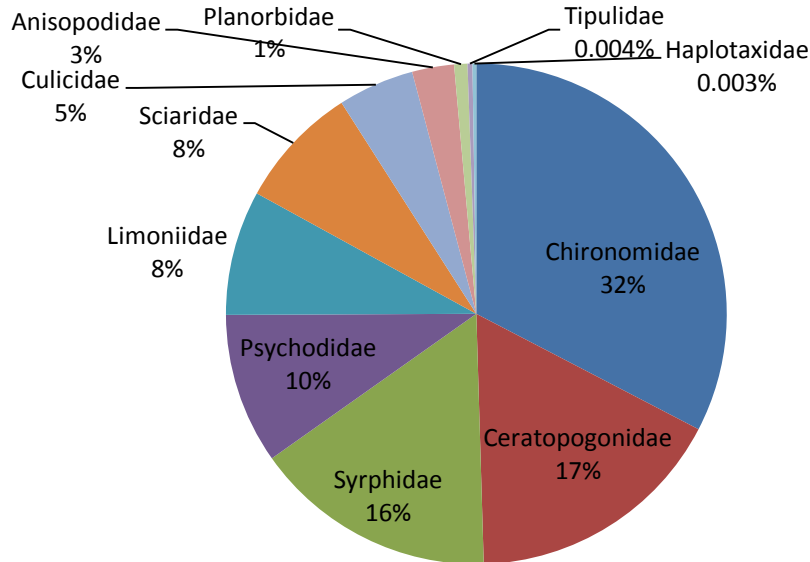


Figura 13. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados acuáticos (MAE) a nivel de familia en *Tillandsia complanata*.

Syrphidae fue la tercera familia con mayor abundancia (Figura 12 y 13) en el fitotelma, el género con mayores individuos se registró para *Eristalis* con 530 larvas acuáticas (Tabla 1), este resultado es semejante a lo propuesto por Ospina *et al*, (2008) donde se registró una gran abundancia para el género *Eristalis* que estuvo principalmente asociado a *Tillandsia complanata* en comparación con *Tillandsia turney* donde la presencia de Sírfidos (Familias Syrphidae) fue casi nula (Ospina 2008); por lo general este grupo de larvas se caracteriza por ser organismos filtradores y juegan un importante papel como agentes bio-descomponedores en medios líquidos y semi-sólido en los que se desarrollan durante la fase larvaria (Hurtado 2013), además, en la fase adulta son de gran importancia para los agroecosistemas, y esto se debe a su función como agentes polinizadores.

Por otro lado, las familias como Planorbidae (Gastropoda) y Haplotaxidae (Oligochaeta) fueron las menos abundantes y esto se debe a que son especies accidentales, que por su naturaleza no es común encontrar grandes cantidades de individuos en sistemas fitotelma con carácter epifito, ya que se producen en otras variedades de entornos semi-acuáticos que se relacionan con el suelo (Yanoviak

2001b). Así mismo, la familia Anisopodidae (Díptera) registro una de las menores abundancias, se clasifica como un grupo raro y poco conocido en Colombia con apenas dos especies reportadas para el género *Sylvicola* (Amorim, 2016), este pequeño grupo por lo general se desarrollan en ambientes semi-acuáticos con gran material orgánico en descomposición, exudaciones de savia de árboles y en sistemas fitotelma con una gran acumulación de hojarasca (Amorim, 2016).

Tabla 1. Composición y abundancia de MAE en *Tillandsia complanata*.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie	Numero Individuos	%
Artrópoda	Insecta	Diptera	Anisopodidae	<i>Sylvicola sp.</i>	120	2.73 %
			Ceratopogonidae	<i>Bessia sp.</i>	749	17.06 %
			Chironomidae	.Orthoclaadiinae	1446	32.95 %
			Limoniidae	<i>Limnophila sp.</i>	197	4.48 %
				<i>Limonia sp.</i>	160	3.64 %
			Culicidae	<i>Haemagogus sp.</i>	329	7.49 %
			Tipulidae	<i>Tipula sp.</i>	14	0.31 %
			Psychodidae	<i>Pericoma sp</i>	431	9.82 %
			Sciaridae	nn	198	4.51 %
			Syrphidae	<i>Eristalis sp.</i>	530	12.07 %
<i>Syritta sp.</i>	165	3.76 %				
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	<i>Planorbis sp.</i>	38	0.86 %
Anelida	oligochaeta	Haplotaxida	Haplotaxidae	nn	11	0.25%
TOTAL					4388	100%

7.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia complanata* por fragmento de bosque (Fi,Fc) en los cuatro meses de estudio.

En el mes de abril (Figura 14), se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$; Anexo 1) en abundancia para cuatro familias entre las dos zonas de estudio (Fi,Fc); la familia Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae mostraron una mayor abundancia en el fragmento intervenido (Fi) con 243, 144 y 150 individuos respectivamente (Figura 14); así mismo, la familia Psychodidae registro su mayor abundancia en la zona conservada (Fc) con 38 individuos. Las de más familias no registraron diferencias significativas ($p > 0,05$; Anexo 1) importantes entre los dos fragmentos.

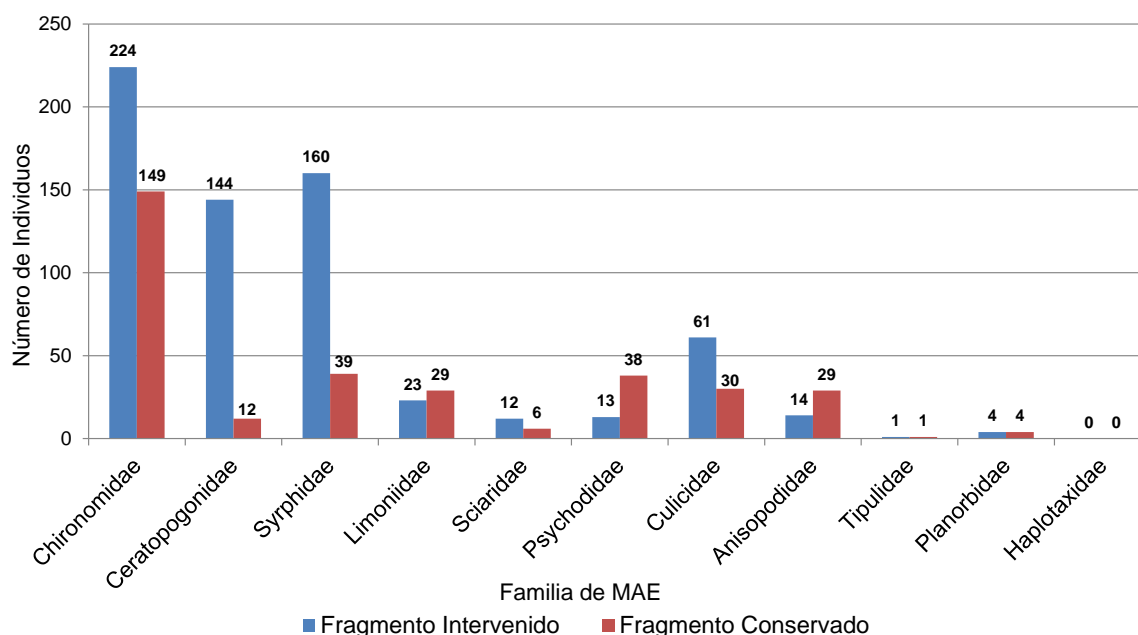


Figura 14. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de abril.

Con respecto al mes de mayo (Figura 15), las varianzas registradas para la abundancia de macroinvertebrados acuáticos entre los dos fragmentos (Fi,Fc) mostro diferencias significativas ($p < 0.05$; Anexo1) para cinco grupos, donde la familia Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae registraron sus mayores abundancias en el fragmento intervenido (Fi) con 227, 167 y 125 individuos

respectivamente (Figura 15). Por otro lado, Anisopodidae y Psychodidae mostraron su mayor abundancia en el fragmento conservado (Fc) donde registraron 39 y 86 individuos respectivamente (Figura 15). Las demás familias no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$; Anexo 1) entre fragmentos (Fi,Fc).

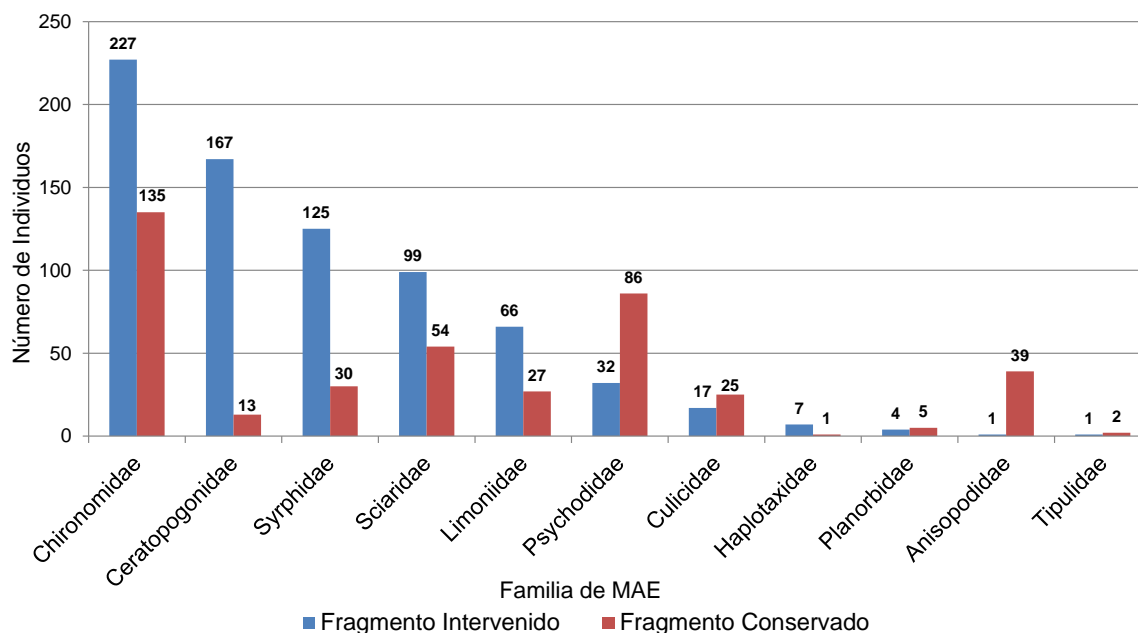


Figura 15. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de mayo.

La abundancia de MAE para el mes de julio (Figura 16) obtuvo diferencias significativas ($p<0,05$; Anexo 1) entre los dos fragmentos (Fi,Fc), donde la familia Chironomidae y Ceratopogonidae registraron la mayor abundancia asociada al fragmento intervenido con 268 y 141 individuos respectivamente (Figura 16), las demás familias no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$; Anexo 1) entre las dos zonas de estudio. Por otro lado, el mes de agosto (Figura 17) mostro diferencias significativas ($p<0,05$; Anexo 1) entre los dos fragmentos para tres grupos, donde la familia Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae registraron la mayor abundancia asociada al fragmento intervenido con 224, 163 y 112 individuos respectivamente (Figura 17); las demás familias no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$; Anexo 1) entre las dos zonas de estudio.

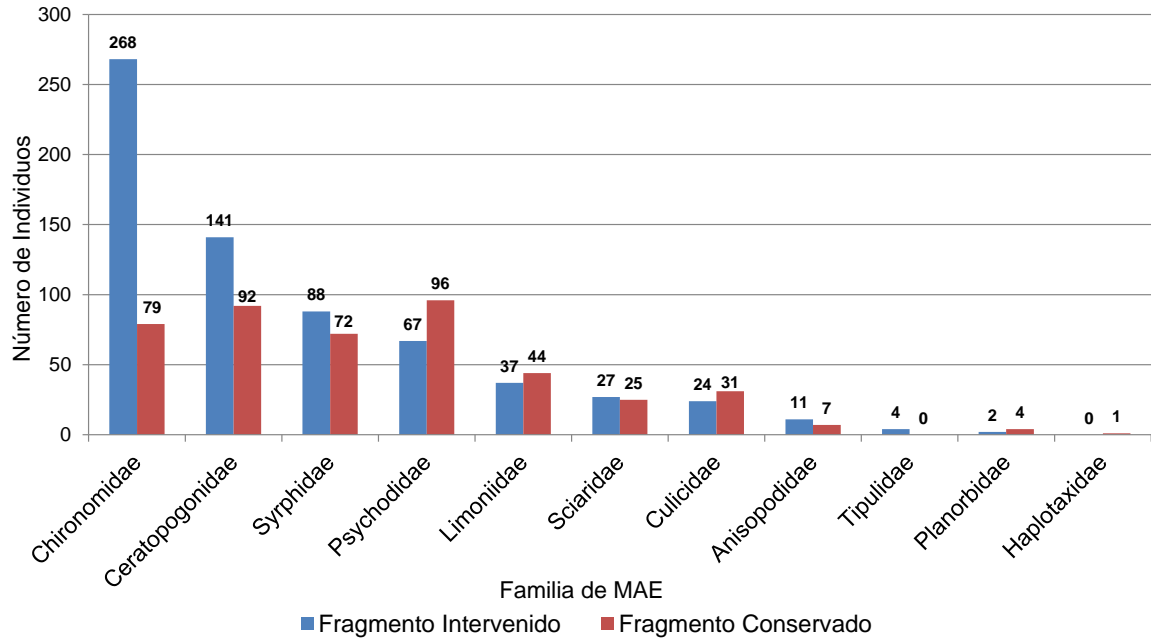


Figura 16. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de julio.

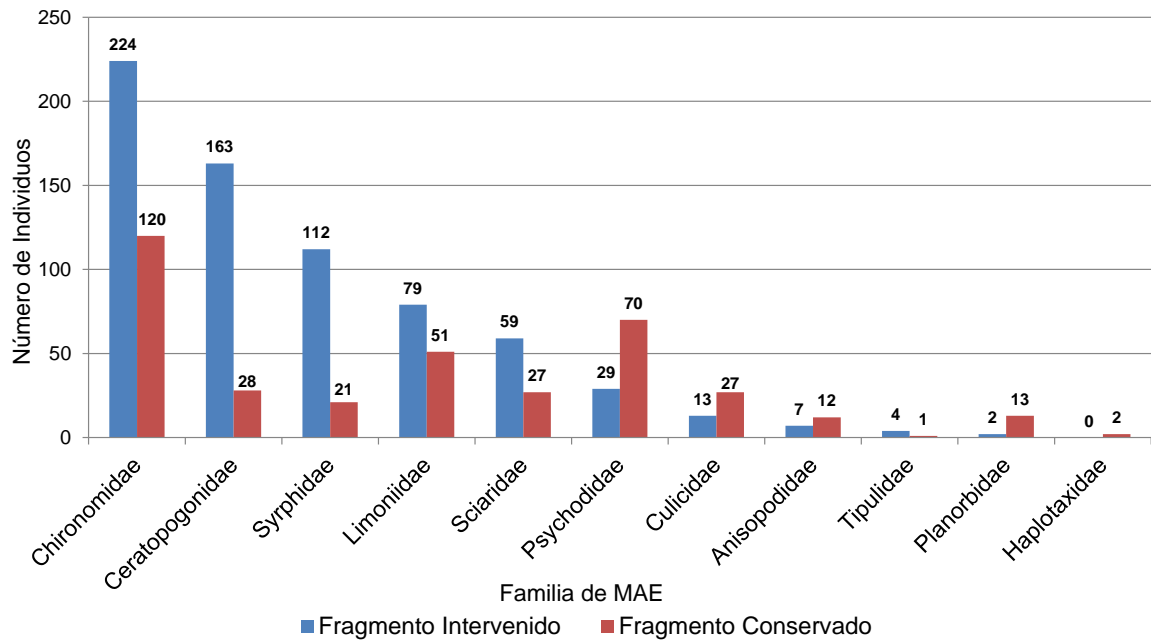


Figura 17. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (MAE) en el mes de agosto.

La composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos que viven en el sistema fitotelma, se sabe que varían dependiendo de varios factores que operan a diferentes escalas locales y espaciales. Estos factores influyen, en las propiedades físico-químicas hídricas y en la distribución ecológica de la comunidad de macroinvertebrados. (Yanoviak 2001a). De acuerdo, con los resultados obtenidos en las abundancias, la familia Chironomidae y Ceratopogonidae registraron una mayor cantidad de individuos en el fragmento intervenido donde se presentaron diferencias significativas en los cuatro meses de estudio. Según un estudio limnológico propuesto por Laessle 1961, reporto que estas dos familias están relacionadas con lugares abiertos donde existe una mayor luminosidad, que influye en el aumento de poblaciones de algas que le sirven de fuente de alimento; está claro decir que en este estudio el fragmento intervenido muestra una cobertura vegetal más reducida y un dosel más abierto, que incrementa el paso de la luz y acrecienta la luminosidad , de este modo, esta característica a escala local puede estar beneficiando la proliferación de larvas de estas dos familia ofreciendo un sistema con mayor fuente de alimentación aumentando la sobrevivencia.

Con respecto a la familia Syrphidae, su abundancia se asoció principalmente al fragmento intervenido en los cuatro meses de estudio, donde registro diferencias significativas ($p < 0,05$; Anexo 1) para los meses de abril, mayo y agosto. La zona intervenida, presenta un borde circundante influenciado principalmente por una matriz ganadera, que produce una gran cantidad de material orgánico proveniente de la explotación ganadera, según varios estudios (Novartis, 2012; Carlberb *et al.* 1985) reportaron que la ganadería fomenta el incremento del material orgánico que a su vez se relaciona con altas abundancias de larvas de la familia Syrphidae, tanto que en ocasiones se fomenta el uso de métodos de control físico y químico para el control de sus poblaciones en zonas con actividad ganadera (Novartis, 2012).

Psychodidae, mostro diferencias significativas ($p < 0,05$; Anexo 1) en la época de lluvia (abril-mayo), donde, la mayor abundancia se asoció principalmente al

fragmento conservado (Figura 14 y 15), por otro lado la época de verano (julio-agosto) no presentaron diferencias ($p < 0,05$; Anexo 1) pero se observa que la zona conservada muestra una mayor abundancia de la familia Psychodidae (Figura 16 y 17). Estas larvas acuáticas se desarrollan gracias a la alimentación de material orgánico en descomposición como hojas muertas y fragmentos de insectos (Tesh, 1989), su distribución en etapa adulta se ubica en microhabitats húmedos y con sombra (Tesh, 1989) y se dispersa mediante vuelos o saltos cortos, siendo activos en la noche o en el crepúsculo, aunque pueden estar activos durante el día bajo situaciones de sombra dependiendo del dosel de la vegetación (Montes, 2013).

7.4 Coeficiente de similitud (Bray-Curtis) para las dos comunidades de macroinvertebrados acuáticos en las dos épocas climáticas.

Similitud en lluvias: Para los meses de abril y mayo se establecieron tres grupos (Figura 18). El primero (Grupo I), registro una similitud con 0.62 (62%), agrupado en 16 bromelias conformadas por los meses de abril-mayo y tiene como característica principal grupos compartidos en el fragmento conservado; de acuerdo con las abundancias registradas, este grupo está conformado por contener una mayor cantidad de individuos para la familia Psychodidae y Anisopodidae. El segundo (Grupo II), mostro una similitud de 0.63 (63%), este conglomerado está compuesto por 16 bromelias en los meses de abril-mayo, este grupo es separado por tener en común un alto número de individuos para las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae, además, mostro una menor abundancia para Psychodidae y Anisopodidae. El tercer grupo (grupo III), registro una similitud de 0.51 (51%), entre (grupo I y II) y muestra el total de afinidad entre los fragmentos (Figura 18).

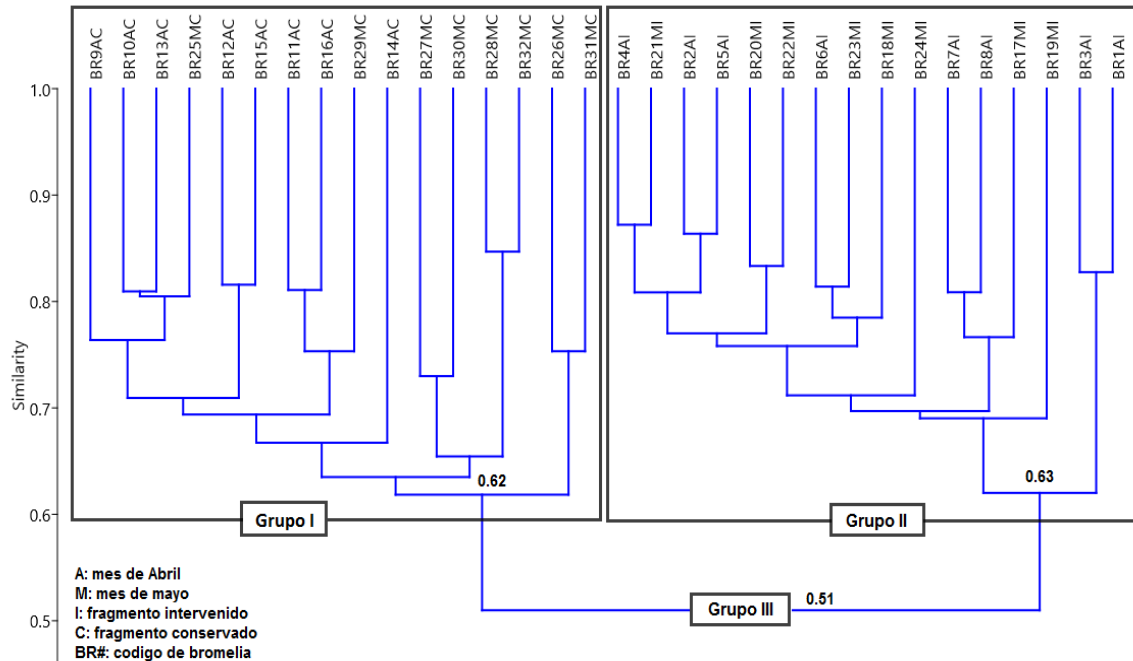


Figura 18. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de los macroinvertebrados asociados *Tillandsia complanata* durante la época de lluvias.

Similitud en verano: Para los meses de junio y agosto se establecieron cuatro conglomerados (Figura 19). La primera agrupación (Grupo I), registro una similitud de 0.71 (71 %) y está conformada por 15 bromelias que tienen como característica principal el fragmento intervenido para junio y agosto; tienen en común alta abundancia relacionada con las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae asociadas a la zona intervenida. El grupo II, registró una similitud de 0.65 (65%), está conformado por (grupo I) y la bromelias BR50GI, que se distingue por la ausencia de individuos en las familias Planorbidae, Culicidae, Psychodidae y Oligochaeta. El grupo III, registro una similitud de 0.61 (61%), y está conformado por 8 bromelias del mes de junio de la zona conservada, además de una bromelia del mes de agosto perteneciente al fragmento conservado (BR63GC), este grupo se caracteriza por mostrar una disminución en abundancia para la familia Chironomidae, Ceratopogonidae, Syrphidae y un aumento en Psychodidae. El grupo IV, registro una similitud de 0.58 (58%), y está conformada por 6 bromelias del mes de agosto en la zona conservada, este grupo comparte un aumento en la

familia Anisopodidae, Culicidae y Planorbidae; y una disminución de individuos en la familia Ceratopogonidae y Syrphidae

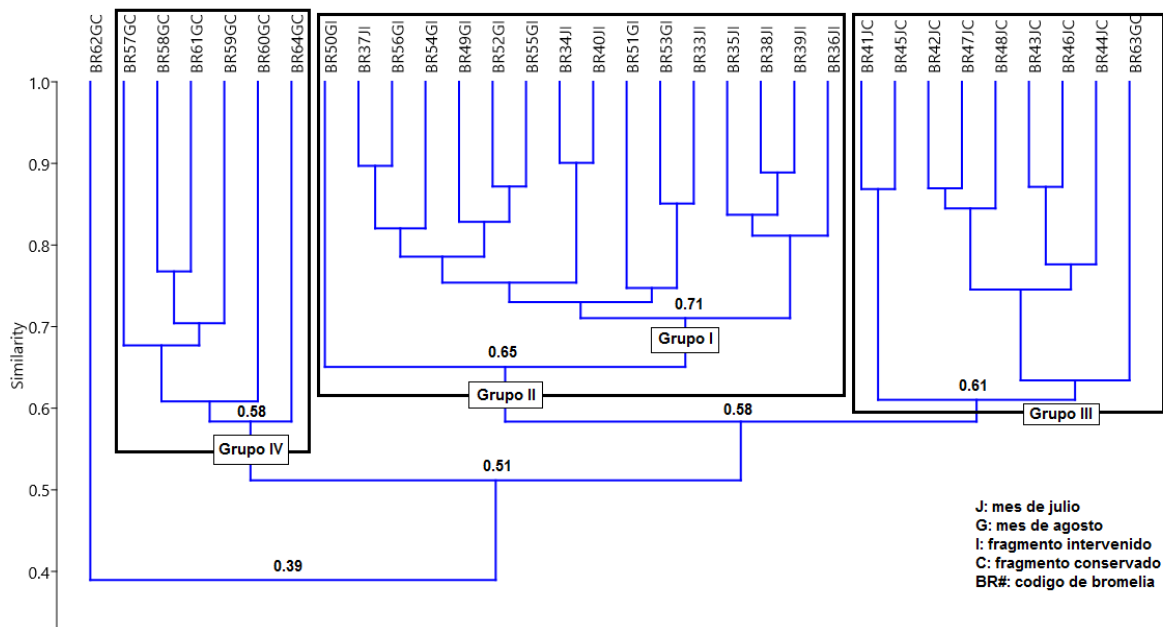


Figura 19. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de los macroinvertebrados asociados *Tillandsia complanata* durante la época de verano

7.5 Índices de ecológicos (Shannon-Margalef –Simpson).

El índice de diversidad de Shannon (H') registro un promedio total de 1.61 en los cuatro meses con un rango de 1,5-1,76 (Figura 20). De acuerdo a estos resultados se asume que el sistema fitotelma en el estudio presenta una baja diversidad relacionada con el tamaño (microsistema) y propiedades físico-químicas hídricas que dificultan en gran medida el desarrollo de la vida y se convierte en un hábitat exclusivo para ciertos macroinvertebrados. Las variaciones en el índice de Shannon (H') para los dos fragmentos (Figura 20) se observa que la mayor diversidad se encuentra asociada a la zona conservada; este resultado coincide con lo propuestos por Armbruster *et al*, (2002) y Wilches (2013) donde reportaron una mayor diversidad de Shannon (H') asociado principalmente a zonas conservadas, esto se debe en gran medida al estado de preservación y mayor cobertura vegetal que aportan un incremento en complejidad de la comunidad causando un incremento en la diversidad.

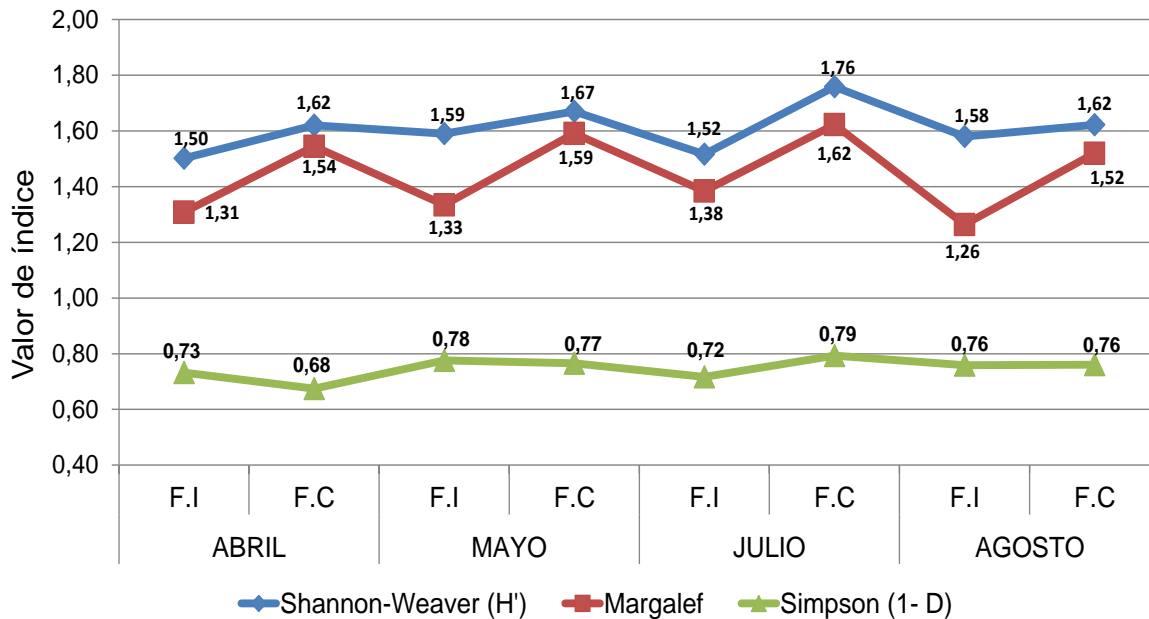


Figura 20. Índices ecológicos (Shannon –Margalef –Simpson) en los dos fragmentos.

El índice de Margalef registro un promedio total de 1,44 en los cuatro meses y un rango de 1,26 y 1,62 (Figura 20), este resultado expresa una riqueza (S) baja relacionada en el sistema fitotelma. Respecto a los fragmentos (Fi,Fc) los mayores valores del índice de Margalef se asociaron principalmente al fragmento conservado (Figura 20). El índice de dominancia de Simpson (1-D), manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie. El índice de Simpson en este estudio es expresado como el inverso de la dominancia (D) y los valores más altos expresan una menor dominancia. En general, la dominancia de Simpson (1-D) registro un promedio total de 0,75 en los cuatro meses y mostro una fluctuación de 0,68-0,79 (Figura 20). Según el índice de dominancia de Simpson muestra una dominancia por parte de las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae, donde se asociaron principalmente al fragmento intervenido en los meses de abril y mayo provocando una disminución en la diversidad de Shannon en el fragmento intervenido.

7.6 Características físico-químicas hídricas asociadas al sistema fitotelma (*Tillandsia complanata*).

7.6.1 Oxígeno disuelto y temperatura hídrica.

La temperatura hídrica registro un rango de 10,20 y 13,25 °C con un promedio total entre los cuatro meses de 11,82 °C (Figura 21) lo cual califica como aguas templadas de ecosistemas de alta montaña (Roldan & Ramirez, 1992). La temperatura hídrica presente en el sistema fitotelma, registro diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 2) entre los dos fragmentos para los meses de abril, mayo y agosto, donde la mayor temperatura hídrica se encuentra en la zona conservada (Figura 21); el mes de julio no vario significativamente ($p > 0.05$; Anexo 2) mostrando una homogeneidad en la temperatura hídrica en los dos fragmentos (Figura 21)

Con respecto al contenido de oxígeno disuelto en el sistema fitotelma, este fue muy bajo, registrando un promedio total de 2,43 mg/L en los cuatro meses de muestreo y mostró una fluctuación entre 1,60 y 3,14 mg/L (Figura 21), estos valores coinciden con diferentes estudios realizados en bosques altoandinos en Colombia (Ospina *et al*, 2008; Wilches, 2013) y en bosques tropicales (Laessle, 1961; Liria, 2007) por lo cual, se puede considerar como un microsistema con características anaeróbicas; los valores por debajo de 5mg/L es perjudicial para el normal desarrollo de la fauna acuática, por lo tanto las poblaciones de macroinvertebrados en el sistema fitotelma deben solventar este problema con adaptaciones o modificaciones corporales como sifones y espiráculos, que son predominantes para el orden díptera en este estudio con la finalidad de mejorar la captura de oxígeno disuelto en sistemas anaeróbicos (Roldan, 1999).

El oxígeno disuelto en los dos fragmentos (Fi; Fc) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 2) en los meses de abril, mayo y agosto donde los mayores valores se registraron en el fragmento intervenido (Figura 21). La vegetación circundante y la estructura vegetal (Altura-Cobertura) de cada fragmento (Fi, Fc) pueden estar afectando la disponibilidad de oxígeno disuelto en el fitotelma, de acuerdo a varios estudios en fitotelmata (Laessle, 1961; Wetzel, 2001) el bajo

contenido de oxígeno en el sistema se relaciona con la cantidad de hojarasca que pueda estar ingresando a la bromelia; cuando existe un mayor depósito de hojarasca en el fitotelma, provoca una reducción en el contacto con la superficie incitando de esta manera un déficit en el intercambio gaseoso (Laessle, 1961; Wilches, 2013). Así mismo, la obstrucción de la hojarasca, tiende a generar sombra que limita la entrada de luz solar, de esta manera, se limita la producción fotosintética de agentes primarios como algas acuáticas, que son indispensables para la producción de oxígeno disuelto en el sistema fitotelma (Laessle, 1961). Es claro decir, que el fragmento conservado presenta una mayor capa en la cobertura vegetal, además, de un mayor crecimiento arbóreo, producto del estado de preservación en que se encuentra, esta característica promueve un mayor aporte de hojarasca proveniente del dosel de los árboles que a su vez genera una dificultad en el paso de la luz; entretanto, el fragmento intervenido muestra una intervención antrópica (Deforestación-Ganadería) que ha reducido la capa vegetal generando pequeños parches en la cobertura que permite una mayor paso de luz y un menor aporte de hojarasca al sistema fitotelma, que es originada en el dosel del bosque.

Existe una relación entre la temperatura y la capacidad de retención de oxígeno en un sistema fitotelma (Kitching, 2000); de acuerdo al coeficiente de correlación en este estudio ($r = -0.466$, $p < 0.01$, Anexo 3) existe una relación negativa y se interpreta que entre más caliente es el agua existe menos oxígeno en el sistema.

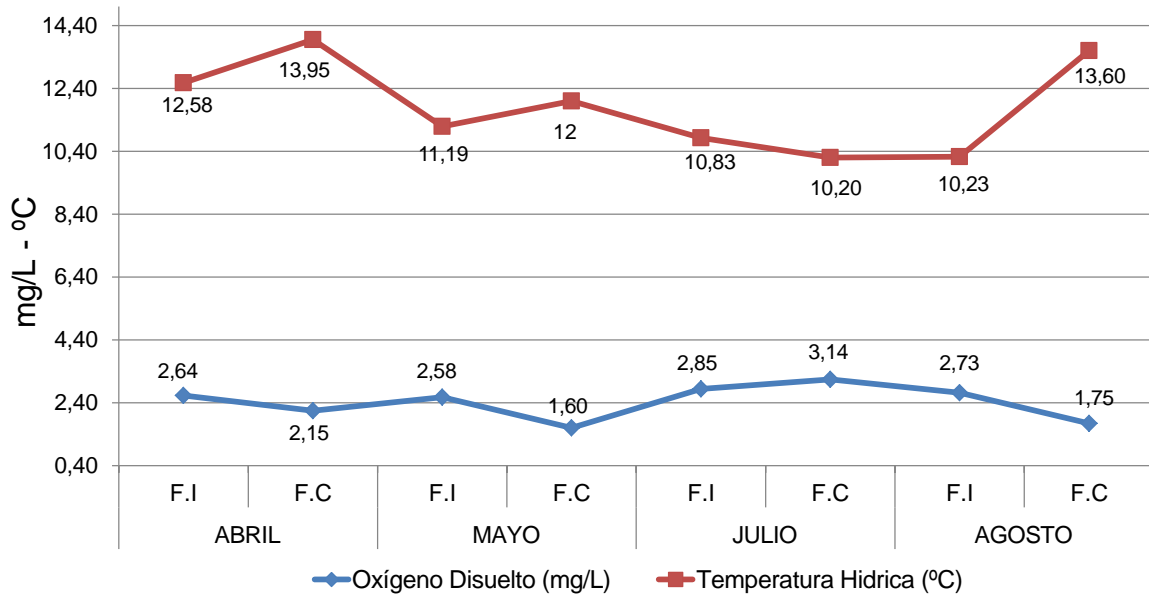


Figura 21. Variación de temperatura hídrica y oxígeno disuelto en las dos zonas de estudio (F.I.= fragmento intervenido, F.C.=fragmento conservado).

7.6.2 pH y conductividad eléctrica.

El pH se mantuvo estable en los meses de monitoreo (Figura 22), registró una variación entre un rango de 4,26-4,95 con un promedio general de 4,62 lo cual lo califica como un recurso hídrico con características ácidas; varios estudios realizados en sistema fitotelma (Laessle, 1961; Wilches, 2013; Kitching, 2000; Ospina *et al.*, 2004) identifican que el recurso hídrico establece un alto nivel de ácidos, que comprende un rango de 4 o inferior a este y es una característica común en este tipo de microsistemas. La acidez se relaciona con la descomposición de la materia orgánica gruesa (PMOG) de la hojarasca depositada en el sistema fitotelma que provienen principalmente de la capa vegetal en el dosel del bosque (Ospina *et al.*, 2004; Wilches; 2013), de esta manera, los valores más ligeramente ácidos en el fragmento conservado (Figura 22), está relacionada con la acumulación masiva de este material orgánico, donde, se origina una mayor cantidad de ácido húmico, provocando una mayor liberación de CO₂ libre en el recurso hídrico, que produce una mayor acidez en el agua. De acuerdo con Roldan (1992) el rango de pH de 4.5-6.9 se le confiere su acidez a la liberación de CO₂ en el recurso hídrico gracias a la descomposición orgánica,

cuando el pH se encuentra por debajo de 4.5 se relaciona principalmente con la acumulación de minerales en el sistema (Roldan, 1992)

Las variaciones registradas en los valores de pH no fueron significativas ($p > 0.05$; Anexo 3) entre fragmentos (Fi, Fc) en los cuatro meses de muestreo, pero se observa que la zona conservada muestra un mínimo incremento de acides con respecto a la zona intervenida (Figura 22).

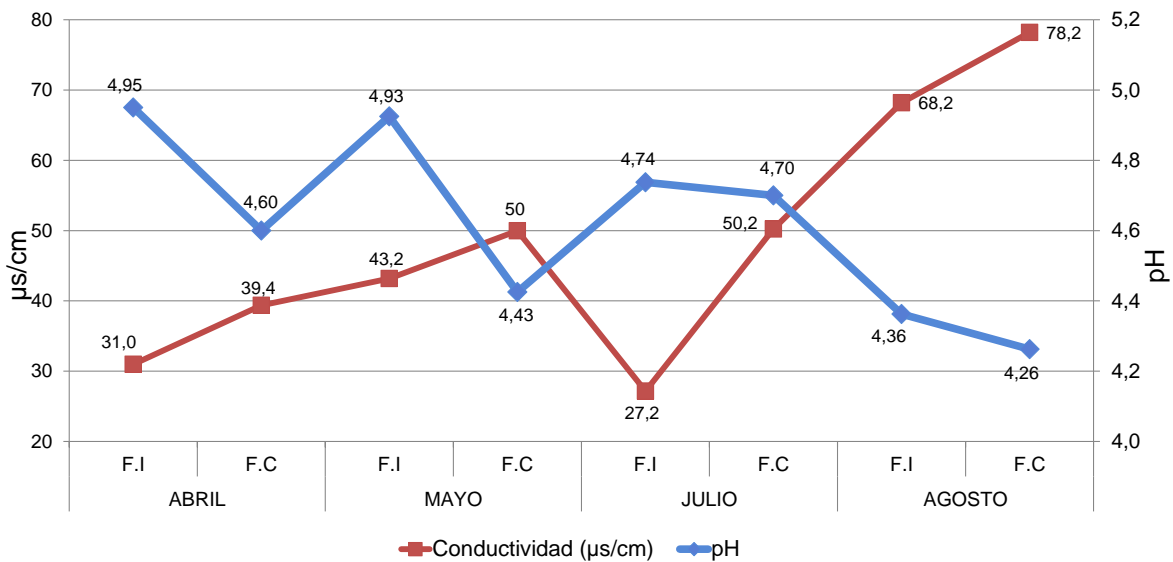


Figura 22. Variación de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH en las dos zonas de estudio (F.I.= fragmento intervenido, F.C=fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio.

Con respecto a la conductividad eléctrica, esta registro un promedio total de $48,42 \mu\text{S}/\text{cm}$ durante los cuatro meses de estudio, además, mostró un rango de $27,2-78,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 22). Las variaciones registradas en la conductividad, mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$; Anexo 3) entre los dos fragmentos (Fi, Fc) para los cuatro meses de muestreo, donde, los mayores valores se asociaron al fragmento conservado (Figura 22). La proporción de sólidos disueltos en el fitotelma, se ve fuertemente afectado por la calidad, cantidad y tasa de descomposición de la hojarasca depositada en el sistema (Castaño, 2014) por

ejemplo: se ha encontrado que las concentraciones de fósforo y potasio son generalmente más altas en bosques con un predominio de coníferas (Kavvadlas *et al.*, 2001), además, la tasa de descomposición influye en la disponibilidad de iones, por ejemplo; la hojarasca producida por el roble (*Quercus spp*) presenta una tasa de descomposición de 50% mayor que los pinos (*Abies spp*) (Usma *et al.*, 2000); Consecuentemente con los argumentos anteriores, podemos afirmar que el árbol huésped (forofito) juega un papel importante en el aporte de iones, de este modo, la elección de *Ilex uniflora* en ambos fragmentos (Fi,Fc) proporciona la misma calidad y tasa de descomposición de la hojarasca y se asume que el aporte de sólidos disueltos en el fitotelma está relacionado con la cantidad de hojarasca depositada al sistema. La estructura vegetal (altura-cobertura vegetal) es un factor importante en el aporte de hojarasca (Castaño, 2014); en este estudio, la zona conservada muestra una mayor altura y dosel vegetal, esto permite un mayor aporte de material orgánico que se deposita en el sistema incrementando la cantidad de iones libres en el cuerpo de agua.

La conductividad eléctrica se correlacionó negativamente con el pH ($r=-0,47$; $p<0.01$; Anexo 3), esta asociación demuestra que a medida que la conductividad aumenta la acidez en el sistema aumenta; esta relación permite deducir, que los valores de pH por debajo de 4.5 están explicados por procesos de almacenamiento y liberación de minerales que aumentan la concentración de sólidos disueltos que son arrastrados por la escorrentía originada en el dosel de cada hábitat (Castaño, 2014).

7.6.3 Volumen hídrico vs morfometría asociada a *Tillandsia complanata*.

El agua retenida en el sistema fitotelma, registro un promedio total de 257,05 mL en los cuatro meses y mostro una variación con un rango de 319,25- 180.87 mL (Figura 23). Las variaciones en volumen (mL) registro diferencias significativas ($p<0.05$; Anexo 3) entre los dos fragmentos (Fi,Fc) para los meses de abril, julio y agosto, donde la mayor acumulación de agua (mL) se asoció principalmente en el fragmento intervenido (Figura 23).

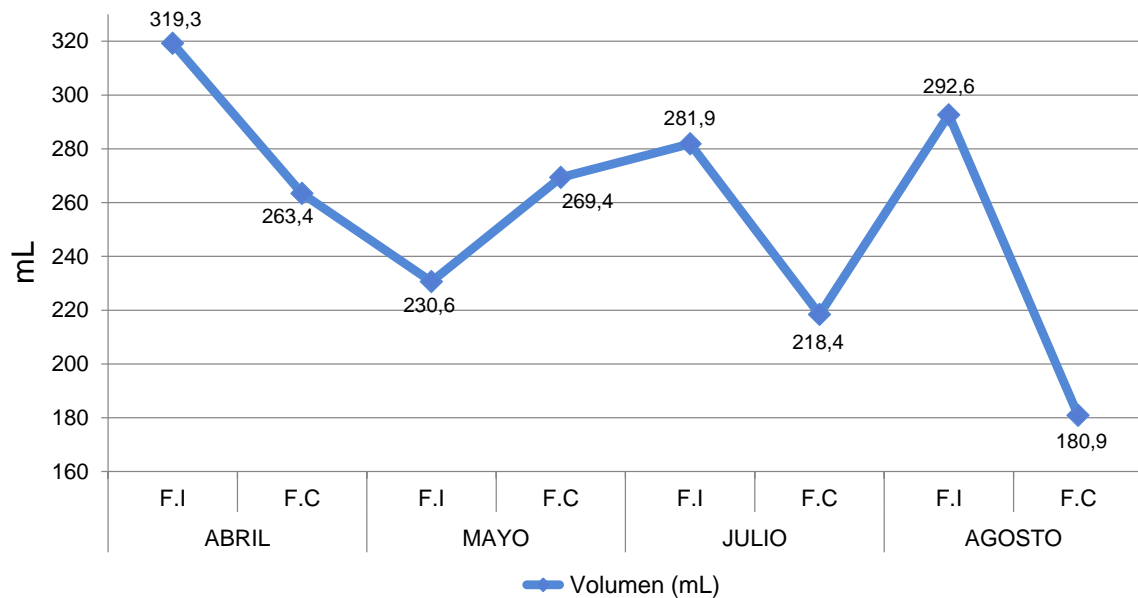


Figura 23. Variación del volumen hídrico (mL) las dos zonas de estudio (F.I.= fragmento intervenido, F.C=fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio.

Con respecto a las variables morfométricas (Tabla 2), la altura de la bromelia mostro un promedio total entre los cuatro meses de 38,09 cm y una variación con un rango de 36,37-39,12 cm entre los fragmentos (Tabla 2), la altura no presento diferencias significativas ($p > 0,05$; Anexo 2) importantes. Por otro lado, el perímetro tomado en el área basal de la roseta de la bromelia, registro un promedio total 43,13 cm entre los meses de estudio y con un rango de 36,37 y 47,37 cm (Tabla 2); la variación entre los fragmentos (Fi,Fc) mostro diferencias significativas ($p < 0.05$; Anexo 3) para los meses de abril, mayo y agosto donde los valores más altos de perímetro se asoció al fragmento intervenido (Tabla 2).

Tabla 2. Variación morfométrica asociada a *Tillandsia complanata* en las dos zonas de estudio (Fi=fragmento intervenido-Fc= fragmento conservado) en los cuatro meses de estudio.

Morfometría	Unidad	Abril (F.I) $\bar{X} \pm S$	Abril (F.C) $\bar{X} \pm S$	Mayo (F.I) $\bar{X} \pm S$	Mayo (F.C) $\bar{X} \pm S$
Altura de la planta	cm	38,62 ± 3,11	38,37 ± 2,55	39 ± 2,32	38 ± 3,29
Perímetro en roseta basal	cm	47,37 ± 2,13	44 ± 2,67	41,62 ± 0,91	38,75 ± 2,65
Área Calculada	dm ²	37,87 ± 4,49	31,26 ± 4,18	32,09 ± 6,35	32,26 ± 5,70
Morfometría	Unidad	Julio (F.I) $\bar{X} \pm S$	Julio (F.C) $\bar{X} \pm S$	Agosto (F.I) $\bar{X} \pm S$	Agosto (F.C) $\bar{X} \pm S$
Altura de la planta	cm	39,12 ± 4,54	36,75 ± 1,66	38,5 ± 2,44	36,37 ± 2,97
Perímetro en roseta basal	cm	43,87 ± 2,64	44,75 ± 1,48	44,25 ± 1,58	40,5 ± 1,19
Área Calculada	dm ²	28,27 ± 5,44	21,59 ± 3,76	31,93 ± 4,89	23,5 ± 2,62

El área del sistema fitotelma (*Tillandsia complanata*) se calculó a partir de las variables morfométricas (Altura-Perímetro) aplicando la fórmula propuesta por Ospina (2004; 2008) y se expone como $A = (\% (h^2 + R^2)) \pi R + \pi R$ estableciendo el tamaño y capacidad de retención de agua en cada bromelia. El área (dm²) del sistema fitotelma registro un promedio total de 29,84 dm² entre los cuatro meses y mostro una variación entre los fragmentos (Fi,Fc) de 23,5 y 37,87 dm² (Tabla 2); los valores registrados en el área del fitotelma, mostro diferencias significativas ($p < 0,05$; Anexo 2) entre las dos zonas de estudio (Fi,Fc) para los meses de abril, julio y agosto (Tabla 1) en donde los valores (dm²) más altos se asociaron principalmente en el fragmento intervenido. De acuerdo a Montero *et al* (2010) los diferentes fragmentos puede tener efectos sobre la arquitectura de la planta, por ejemplo; las bromelias que crecen en zonas abiertas y se exponen a ambientes con una mayor incidencia de luz, su crecimiento es más erguido y tiene una mayor

área de vaina que las bromelias que crecen con menor incidencia de luz. En consecuencia, los valores más altos del área de la bromelia en el fragmento intervenido (Tabla 2) están relacionados con una mayor incidencia de luz que aumenta el tamaño de la planta sobre todo en el perímetro basal de la bromelias.

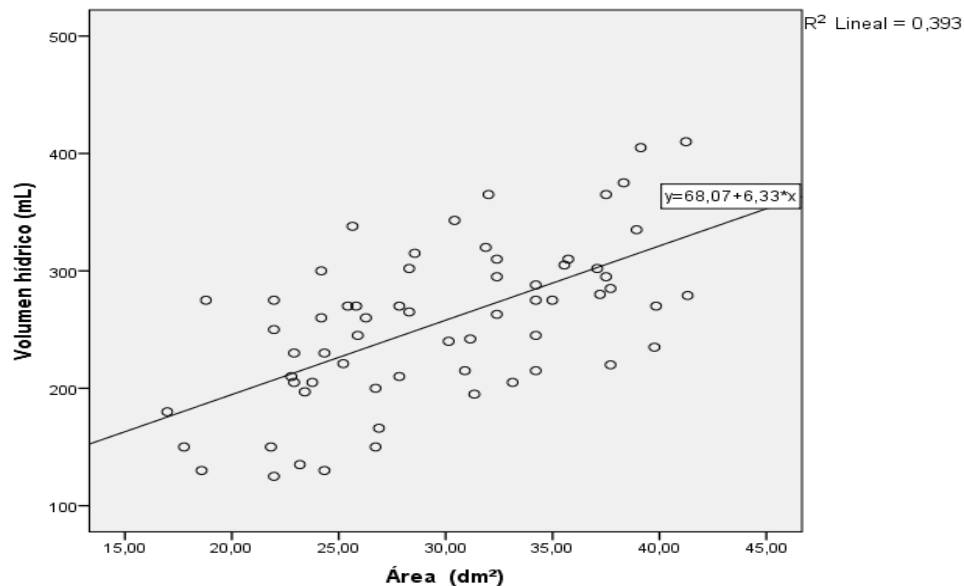


Figura 24. Regresión simple entre el área (dm²) y el volumen hídrico depositado en *Tillandsia complanata*.

En el análisis de regresión simple entre el área de la planta y el volumen hídrico (Figura 24) se registró un $R^2=0,393$ con significancia estadística ($p=0,001$) importante, que expresa una relación lineal positiva; según el coeficiente de determinación, el volumen hídrico depende aproximadamente en un 40% del tamaño de la planta (área= dm²). Según Ospina *et al* (2004, 2016) las variables morfométricas son de gran importancia en la relación ecológica de las bromelias, cuando la planta tiene un mayor tamaño morfométrico, esta posee una mayor capacidad de retención de agua.

7.7 Correlación entre las variables físico-químicas del agua y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en el sistema fitotelma.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 3), se muestra los resultados del coeficiente de Spearman (r_s correlación por rangos) comparando las variables físico-químicas como oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura del agua y volumen hídrico, con relación aquellas familias más frecuentes y abundantes con la finalidad de evitar asociaciones erróneas con grupos que presentaron poca abundancia. Se obtuvieron diferentes correlaciones significativas ($p < 0,05$) tanto positivas como negativas, sin embargo, todas las correlaciones deben de ser interpretadas con sus respectivas reservas, debido a que no garantiza una verdadera relación causa-efecto.

La familia Ceratopogonidae se correlaciono ($p < 0.05$; Tabla 3) positivamente con el oxígeno disuelto y el pH, donde, a medida que aumenta la alcalinidad y el oxígeno disuelto acrecienta la abundancia de Ceratopogonidae, además, se correlaciono negativamente con la temperatura donde la mayor abundancia se asoció en las bromelias que presentaron una menor temperatura sobre todo en la parte intervenida que a su vez registro una mayor concentración de oxígeno y un pH más básico.

La familia Chironomidae se correlaciono ($p < 0.05$; Tabla 3) positivamente con el oxígeno disuelto y el volumen hídrico, estos parámetros muestran un incremento sobre todo en bromelias que se encuentran en la zona intervenida, por otro lado la conductividad eléctrica se correlaciono negativamente ($p < 0.05$; Tabla 3) con la abundancia de los Chironomidos, donde la mayor concentración de solidos disueltos se encontró en la zona conservada y la menor concentración en la parte intervenida donde se encontró la mayor abundancias significativas en los cuatro meses de estudio (Figura 14,15,16 y 17).

En cuanto a la familia Sciaridae, registro una correlación negativa ($p < 0.05$; Tabla 3) en el pH y en la temperatura hídrica donde las mayores abundancias de Sciaridae se registraron en la zona intervenida, por otro lado, la conductividad

eléctrica mostro una correlación positiva ($p < 0.05$; Tabla 3) y muestra una relación con la cantidad de sustrato acumulado sobre todo en la zona conservada.

La familia Syrphidae, registro una correlación positiva ($p < 0.05$; Tabla 3) para las variables de pH y oxígeno disuelto y una asociación negativa para la temperatura hídrica ($p < 0.05$; Tabla 3), según los resultados de las abundancias de la familia Syrphidae este grupo prefiere la zona intervenida donde mostro las mayores concentraciones de oxígeno disuelto y con pH que relativamente más básico que en la zona conservada.

Tabla 3. Correlación de Spearman entre variables físico-químicas del agua y biológicas en *Tillandsia complanata*.

Familias	Valores	O.D (mg/l)	pH	Cond.($\mu\text{S/cm}$)	Temp. Hídrica °C	Volumen (m/L)
Ceratopogonidae	Coeficiente (rs)	,505**	,368**	-0,107	-,555**	0,105
	Sig. (bilateral)	0	0,003	0,402	0	0,411
	N	64	64	64	64	64
Chironomidae	Coeficiente (rs)	,281*	0,24	-,363**	-0,052	,299*
	Sig. (bilateral)	0,025	0,056	0,003	0,685	0,016
	N	64	64	64	64	64
Limoniidae	Coeficiente (rs)	0,087	0,064	0,013	-0,19	-0,219
	Sig. (bilateral)	0,492	0,614	0,916	0,133	0,082
	N	64	64	64	64	64
Culicidae	Coeficiente (rs)	0,137	0,142	0,009	0,06	0,063
	Sig. (bilateral)	0,279	0,262	0,947	0,639	0,619
	N	64	64	64	64	64
Psychodidae	Coeficiente (rs)	-0,135	-0,109	0,191	-0,02	-0,179
	Sig. (bilateral)	0,287	0,389	0,13	0,875	0,157
	N	64	64	64	64	64
Sciaridae	Coeficiente (rs)	0,185	-,323**	,254*	-,514**	0,066
	Sig. (bilateral)	0,144	0,009	0,043	0	0,604
	N	64	64	64	64	64
Syrphidae	Coeficiente (rs)	,302*	,411**	-0,129	-,287*	-0,02
	Sig. (bilateral)	0,015	0,001	0,311	0,021	0,877
	N	64	64	64	64	64

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

Las relaciones significativas entre las variables y la abundancia, pueden mostrar evidencia entre un efecto directo sobre el número de individuos en cada familia. Asimismo, la variación de los datos como pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto registran rangos muy bajos y dificultarían en medida un verdadero “efecto” sobre la abundancia, de esta manera estas asociaciones se deben interceptar con una mayor objetividad a partir del conocimiento ecológico y biológico entre las dos

comunidades de macroinvertebrados, terreno por el cual existe una escases de conocimiento relacionado con el sistema fitotelma.

7.8 Macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia complanata* como bioindicadores de grado de intervencion.

De forma general, los cambios a nivel de comunidad en macroinvertebrados se ven afectados por el estado ecológico en que se encuentran las dos zona de estudio, que integra en el caso de los macroinvertebrados acuáticos, cambios en la hidromorfología, físico-química y el estado de la vegetación circundante, que pueden estar efectuando alteraciones en las condiciones del medio donde una comunidad habita (Wilches, 2013).

La familia Syrphidae

La familia Syrphidae registró una mayor abundancia de individuos asociada al fragmento intervenido, donde mostro diferencias significativas ($p < 0.05$) para los meses de abril, mayo y agosto. Según Hurtado (2013), Su importancia ecológica en el caso del género *Eristalis* sp, poseen un gran interés al actuar como organismos eficaces como bioindicadores de estado ambiental de un ecosistema (Hurtado, 2013). Muchos grupos de sírfidos tienen la capacidad de proporcionar información del estado de los hábitats e identificar zonas con un relativo valor agroecológico donde sus poblaciones aumentan cuando las zonas muestran franjas de hiervas y cultivos florecidos (Burgio & Sommaggio, 2007). A su vez suministra información sobre daños ambientales, gracias a cambios producidos en su composición y abundancia en el caso del genero *Eristalis* sp, presenta una lado negativo, ya que pueden ser vectores de bacterias nocivas presentes en algunos de los medios acuáticos donde se desarrollan (Hurtado, 2013)

De acuerdo con los resultados obtenidos, el mayor número de individuos está asociado al fragmento intervenido, en tal caso, la intervención antrópica crea una matriz ganadera que puede estar afectando la distribución de los Sírfidos, según varios autores (Novartis 2007; Carlberb *et al.* 1985), existe una relación entre la familia Syrphidae y la explotación ganadera, y esto se debe a los altos contenidos

de material orgánico que son desechado de dicha producción y que crean una fuente principal para el aumento de su abundancia, tanto que en ocasiones se usan métodos de control físico y químico para reducir sus poblaciones que pueden afectar la salud humana (Novastis, 2007) . Las piezas bucales y la morfología larvaria de los sírfidos (Syrphidae) saprófagos (Figura 25) están adaptadas a la filtración de partículas disueltas en un medio con presencia de materia orgánica en descomposición, jugando un papel importante en el reciclaje de la materia orgánica (Rothearay, 1993) y en el mantenimiento de los sistemas hídrico, liberando nutrientes, promoviendo la limpieza de posibles contaminaciones por parte de material orgánico en descomposición (Rotheray & Gilbert, 2011). De esta manera se plantea, que la familia Syrphidae puede ser un grupo de bioindicación hacia zonas con efecto borde donde intervenga la actividad ganadera.

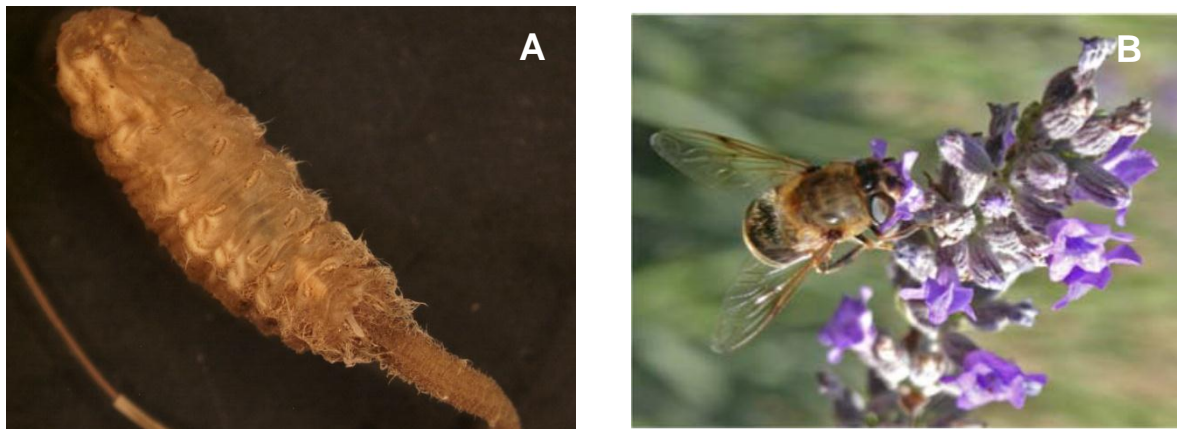


Figura 25. A) Foto de larva del genero *Eristalis* en el estudio. **B)** *Eristalis* en etapa adulta como agente polinizador (Imagen tomada Hurtado 2014)

Familias Chironomidae y Ceratopogonidae.

La familia Chironomidae (Figura 26) constituye parte fundamental de la biomasa de sistemas loticos y lénticos, cumpliendo un papel importante en los ciclos tróficos y procesamiento de detritus (Roldan 1999). Según los resultados obtenidos en este estudio, la abundancia de Chironomidos, se asoció principalmente con el fragmento intervenido, obteniendo diferencias significativas

($p < 0.05$; Anexo 1) en los cuatro meses de muestreo. Según varios estudios realizados en sistema fitotelma (Laessle, 1961; Wilches, 2014), sugieren que esta familia está ampliamente relacionada con hábitats con una incidencia de luminosidad mayor que de antemano infiere en el aumento de poblaciones de algas asociadas al sistema fitotelma, que a su vez utilizan como fuente de alimento (Laessle, 1961). La intervención antrópica ha provocado una deforestación en el fragmento intervenido, induciendo una reducción en la capa vegetal, en el cual, provoca una mayor incidencia de luz que atraviesa y llega al interior del bosque y puede estar provocando que microorganismos primarios como algas, consigan acelerar su metabolismo y producir una mayor cantidad de oxígeno. De acuerdo al análisis de correlación, estos organismos se distribuyeron positivamente cuando el oxígeno disuelto y el volumen fue más alto (Tabla 3), característica que mostro el fragmento intervenido. Según Roldan (1999) los chironomidos son indicadores de aguas contaminadas y por lo general habitan aguas con altos niveles de descomposición orgánica e inorgánica y promueven un déficit de oxígeno disuelto en el sistema. Las partes morfológicas de la familia Chironomidae les permite sobrevivir en condiciones extremas sobre todo cuando los niveles de oxígeno disuelto disminuyen drásticamente en la noche (Laessle, 1961) de esta la fuente de alimento en este caso algas, desempeñan un papel importante en la producción de oxígeno en el sistema fitotelma, que a su vez es fuente de alimento, que desempeña un papel importante para su desarrollo y sobrevivencia (Laessle, 1961).

En cuanto a la familia Ceratopogonidae, registro la mayor abundancia asociada al fragmento intervenido y mostro diferencias significativas ($p < 0.05$; Anexo 1) para los cuatro meses. Este grupo posee un gran número de larvas que son depredadoras de organismo acuáticos como algas e intervienen en numerosos procesos de la cadenas alimentaria (Brokent *et al.* 2007). Según estudio planteado por Gonzales (2014), donde se utilizaron trampas con luz y sin luz, la familia Ceratopogonidae mostró una fuerte atracción hacia las trampas de luz y en hábitats abiertos con materia orgánica, como los sustratos de estiércol. De esta manera, la intervención ganadera puede estar incidiendo en el incremento de

poblaciones de Ceratopogonidae en la zona intervenida. Un diagnóstico realizado por Santamaría *et al* (2008) donde se estudió una molestia sanitaria causada por Culicoides (Ceratopogonidae) en el departamento de Boyacá, la investigación que arrojó un análisis multivariado reportó que una gran parte de individuos se encontraron en trampas con luz y en hábitat con vegetación dispersa y con una mayor exposición al sol, que causaban problemas en la salud pública en la zona rural. De acuerdo a la abundancia obtenida en la familia Ceratopogonidae, se expone como bioindicador de ambientes intervenidos, sobre todo cuando el efecto borde en la zona circundante está influenciada por una matriz ganadera y áreas relativamente dispersas. .

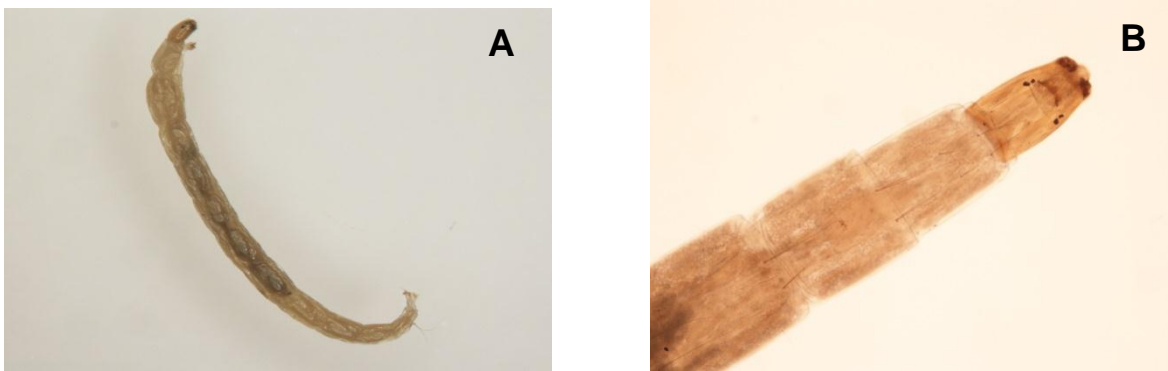


Figura 26. A) Larva de la familia Chironomidae. **B)** larva de la familia Ceratopogonidae (*Bezzia* sp.)

Familia Psychodidae.

La familia Psychodidae registró su mayor abundancia en la zona conservada (Figura 14, 15,16 y 17) presentando diferencias significativas para la época de invierno ($p < 0.05$; Anexo 1) en los meses de abril y mayo. Las larvas de Psychodidae del género *Pericoma* sp (Figura 27) presenta un hábitat saprofaga donde se alimenta del materia orgánica en descomposición (Tesh, 1989; Montes, 2013), en este caso esta familia no presento correlaciones significativas (Tabla 3) con la físico-química hídrica del sistema fitotelma, lo cual permite asumir que su distribución en etapa adulta depende de la estructura del bosque, por lo general la

familia Psychodidae en etapa adulta se dispersa mediante vuelos cortos o saltos cortos, siendo activos en la noche o en el crepúsculo aunque pueden sobrevivir bajo el día bajo situaciones de sombra que dependen del dosel de la vegetación donde viven. (Tesh, 1989; Montes, 2013), de esta manera, el estado de conservación en el estudio, juega un papel fundamental en la distribución de la familia Psychodidae, ofreciendo un ambiente más sombreado en comparación con la zona intervenida que presenta un dosel más reducido. De esta manera, el sistema fitotelma se convierte en un hábitat estratégico para la ovoposición y desarrollo de la familia Psychodidae sobre todo en zonas que muestre un hábitat sombreado que permita la sobrevivencia en etapa adulta.



Figura 27. A) Psychodidae (Genero *Pericoma* sp). **B)** región anal de *Pericoma* sp.

8. CONCLUSIONES

- Las dos comunidades de macroinvertebrados (Fi,Fc) asociados a *Tillandsia complanata*, mostraron una alta diversidad y abundancia por parte del orden díptera a nivel de familias, esta alta dominancia se le confiere a la gran dispersión que les permite el vuelo en etapa adulta que provoca una mayor ovoposición en el hábitat epifito.
- Bajo la hipótesis planteada, se comprobó que existen diferencias en la abundancia de macroinvertebrados asociados a *Tillandsia complanata* en las dos zonas de estudio, evidenciando una mayor cantidad de individuos por parte familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae relacionadas con el fragmento intervenido en los cuatro meses de estudio.
- El análisis de coeficiente de similitud de Bray-Curtis, demuestra que existen conglomerados (Clúster) asociados a cada fragmento (Fi,Fc) evidenciando cambios en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados al fitotelma.
- De acuerdo con los índices ecológicos calculados en este estudio, se demuestra que existe una mayor riqueza de familias (Margalef) y un incremento de la diversidad de Shannon (H') que se asoció principalmente con el fragmento conservado.
- El oxígeno disuelto (OD) manifiesta en gran medida, una mayor concentración relacionada con el fragmento intervenido, debido a un menor aporte de hojarasca particulada proveniente del dosel del fragmento, provocando un aumento en el intercambio gaseoso en la parte superficial que se relaciona con la estructura vegetal de la zona intervenida.
- El pH asociado al sistema fitotelma en general manifiesta propiedades acidas en las dos zonas de estudio, producto del CO₂ liberado mediante el material orgánico en descomposición que se acumula en la bromelia.
- El incremento de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) se registró principalmente con la zona conservada y se relaciona con un mayor aporte de material particulado sobre todo de hojarasca proveniente del dosel de los árboles de la zona conservada.

- El análisis de regresión simple evidencia la importancia de la morfometría analizada (altura, perímetro, área) en *Tillandsia complanata* como una variante importante para el depósito del recurso hídrico.
- De acuerdo con las abundancias encontradas, las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Syrphidae se proponen como potenciales grupos bioindicadores de zonas intervenidas sobre todo cuando la vegetación circundante está influenciada por la actividad ganadera.
- La familia Psychodidae se expone como un grupo de organismos que pueden vivir en boques conservados, el aumento en el dosel brinda un ambiente más sombreado que permite una mayor sobrevivencia en etapa adulta ya que esta familia se caracteriza por presentar una mayor actividad en la noche aunque pueden sobrevivir en el día bajo situaciones de sombra que dependen del dosel de la vegetación donde habitan.

9. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar estudios en diferentes niveles altitudinales y en zonas de vida para determinar diferencias entre composición y abundancia a escala regional y local para así poder plantear un sistema de bioindicación más integrado y que sería explicado por la vegetación circundante y propiedades físico-químicas hídricas del sistema fitotelma.
- Debido a la poca información que se encuentra en la bibliografía, se recomienda realizar estudios limnológico más completos, donde se incluya estudios microbiológicos relacionados con fitoplancton y zooplancton que pueden afectar las propiedades físico-químicas hídricas del sistema fitotelma.
- Para futuros estudios se recomienda realizar un análisis *in situ* del recurso hídrico donde incluya un mayor número de parámetros como nitratos, nitritos y dióxido de carbono, que según la bibliografía son importantes en la dinámica del sistema fitotelma y en la distribución de macroinvertebrados acuáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO K.Z, BARRERO V.H 2010. Composición de macroinvertebrados acuáticos en bromelias de un bosque de altura, El Paraíso, Honduras Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.
- ALVEAR, M., BETANCUR, J. Y FRANCO, P. 2010. Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural los Nevados, Cordillera Central Colombiana. *Caldasia*, 32(1), 39-63.
- AMORIM, S.D. 2016. Family Anisopodidae. Universidade de São Paulo, Museu de Zoologia. Av. Nazaré, 481, Ipiranga. 04263-000. São Paulo SP Brazil. *Zootaxa* p.15-19.
- ARMBRUSTER, P., HUTCHINSON, R., & COTGREAVE, P. 2002. Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. *Oikos*, 96(2) 225-234.
- ARMENTERAS, D. Y RODRÍGUEZ, N. (Eds.). 2007. Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 174 p
- BARBOUR, M. T., J. GERRITSEN, B. D. SNYDER & J. B. STRIBLING. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA/841-B-99-002. U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C. 197 pp. plus appendices.
- BARINAS, M. 2008. Caracterización de las comunidades de macro invertebrados acuáticos de la micro cuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 50 p.
- BETANCUR, J. & M. A. JARAMILLO. 1998. Distribución de la familia Bromeliaceae en dos vertientes andinas del sur de Colombia. *Selbyana*, 19(1):52-65
- BORKENT, A. 2007. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). In: Adis, J., Arias, J.R., Rueda-Delgado, G., & Wantzen, K.M. (Eds.). *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)*. Vol. 4. Pensoft, Sofia-Moscow, 198 pp.
- BOWLES, I. A., G. A. B. Fonseca, R. A. Mittermeier, and R. E. Rice. 1998. Logging and tropical forest conservation. *Science* 280:1899–1900.
- BROWER, J; Zar, J; Von, E. 1997. Field and laboratory methods for general ecology. WCB/McGraw-Hill. Boston, E.E.U.U. 273 p.

- BURGIO, G., SOMMAGGIO, D., 2007. Syrphids as landscape bioindicators in Italian agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120:416-422.
- CARLBERG, G.; KIHAMIA, C.M., MINJAS, J. 1985. Microbial control of flies in latrines in Dares Salaam with a *Bacillus thuringiensis* (serotype 1) preparation, Muscabac. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1(1): 33-44.
- CARRANZA G.E 2004. Una nueva especie de *Ilex* (Aquifoliaceae), del noreste del estado de querétaro, México. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. *Acta Botanica Mexicana* 69: 133-140.
- CARRICA, D. O, M 2001. BENEDETTI Y R. PETROCELLI. "Random Sampling Applied to the Measurement of a DC signal Immersed in Noise". *IEEE Trans. Inst and Meas.*50(5) 1319-1323.
- CASTAÑO M. (2014). correlation between arthropods and physical and chemical characteristics of water and soil retained in *Tillandsia violacea* (bromeliaceae) in an abies-quercus forest in central mexico. 1Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM.
- CRC. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, 2002. Esquema Plan de Ordenamiento Territorial (EOT) volumen 2 municipio de Totoró-departamento del Cauca.
- CUATRECASAS, J., 1958. "Aspectos de la vegetación natural de Colombia", *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 10(40):221-268.
- DALE, V.H. & PEARSON, S.M., 1997.- Quantifying habitat fragmentation due to land use change in Amazonia. In: Laurance, W.F. & Bierregaard, R.O. (Eds.) *Tropical forest remnants. Ecology, management and conservation of fragmented communities*. Pp. 400-409. The University of Chicago Press.
- DOMÍNGUEZ E. & H. R. FERNÁNDEZ (eds.). 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Volumen (2) pp. 458
- ESTUPIÑÁN, L., & MUÑOZ, D. 1992. Estudio comparativo de la artropofauna presente en los receptáculos axilares de las epífitas *Tillandsia turneri* Baker en un bosque andino y *Tillandsia complanata* Bentham en un bosque subandino (Trabajo de pregrado, Biología). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. 22- 100 p.
- FAHRIG L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Ann Rev Ecol Systemat* 34:487–515.
- FIELDER PL & KAREIVA PM (eds.). 1998. *Conservation Biology for the Coming Decade*. New York: Chapman & Hall.

- FRANK, J. H. 1983. Bromeliad phytotelmata and their biota, especially mosquitoes, p. 101–128. In: J. H. Frank & L. P. Lounibos (eds.). *Phytotelmata: Terrestrial Plants as Hosts for Aquatic Insect Communities*. Medford, Plexus Publishing, 293 p.
- GARCÍA G., R. 1992. Anomalías climáticas asociadas al fenómeno del niño, en: *Memorias del tercer Coloquio Regional de Geografía*, 16 pp.
- GARCÍA G., R. 1998. caracterización de las fases Pre-El-Niño en el sur occidente de Colombia 27 (3),pp. 733-742.
- GARCÍA OTERO, J. Y VAN DER HAMMEN, T. 2007. Capítulo 2 Los páramos: archipiélagos terrestres en el norte de los Andes, En *Atlas de Páramos de Colombia* (pp. 25-31). Bogotá D.C., Grey Comercializadora Ltda.
- GREENEY, H. F. 2001. The insects of plant-held waters: a review and bibliography. *Journal of Tropical Ecology* 17: 241-260.
- GUERRERO-BOLAÑO, F., MANJARREZ-HERNÁNDEZ, A., NÚÑEZ-PADILLA, N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del Río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana* 8 (2): 43 - 55.
- GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC25. Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo para estudios biológicos 2016.
- HAMILTON, L.S. 1995. Montane cloud forest conservation and research: a synopsis. *Mountain Research and Development* 15: 259-266.
- HARGIS, C. D., J. A. BISSONETTE, & J. L. DAVID. 1997. Understanding measures of landscape pattern. Pages 231–261 in J. A. Bissonette, editor. *Wildlife and landscape ecology: effects of pattern and scale*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- HOLDRIDGE, L. E. *Ecología basada en las zonas de vida*. Editorial IICA. San José de Costa Rica. 1979.
- HURTADO, A. P. 2013. Estudio del ciclo de vida de sírfidos cristalinos (Diptera, Syrphidae) y bases para su cría artificial. Centro Iberoamericano de La Biodiversidad Instituto. Universidad de Alicante.
- ISAZA, C., J. BETANCUR & J. V. ESTÉVEZ-VARÓN. 2004. Vertical distribution of bromeliads in a Montane forest in the eastern cordillera of the Colombian Andes. *Selbyana* 25(1): 126-137.
- KITCHING, R.L. 2000. *Food webs and container habitats: The natural history and ecology of phytotelmata*. New York: Cambridge University. 448 p.
- LAESSLE, A. M. 1961. A microbiological study of Jamaican bromelias. *Ecology*: 42(3):499-517.

- LASPRILLA, E. (2003). Entomofauna presente en los espacios interfoliare de la epifita *Tillandsia complanata* (Bromeliaceae) en un bosque altoandino del Parque Nacional Natural Pisba, Boyacá. Tunja. (Pregrado, Biología). Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Escuela de Biología .190 p
- LAWRENCE GEORGE H 1951. Taxonomy of Vascular Plants. New York: The Macmillan Company, 823 p.
- LIRIA, J. 2007. Fauna fitotelmata en las bromelias *Aechmea fendleri* André y *Hohenbergia stellata* Schult del Parque Nacional San Esteban, Venezuela. Vol. (14)1, 33-38 pp.
- LUGO, A.E. & SCATENA, F.N. 1992. Epiphytes and climate change research in the Caribbean: a proposal. *Selbyana* 13:123-130
- MARINO, N., SRIVASTAVA, D., & FARJALLA, V. 2012. The phytotelmata and foliage macrofauna assemblages of a bromeliad species in different habitats and seasons. *Insect Conservation and Diversity*, 3, 92-102.
- MERRITT, R.W. & K.W. CUMMINS. 1984. An introduction to the aquatic insects of North America. Segunda edición. Kendall/Hunt Dubuque, Iowa. 722 pp.
- MONTERO, G., FERUGLIO, C. and BARBERIS, I.M., 2010. The phytotelmata and foliage macrofauna assemblages of a bromeliad species in different habitats and seasons. *Insect Conservation and Diversity*, Vol. 3, pp. 92-102.
- MONTES O., 2013. Morfología, taxonomía y datos sobre la biología de los estados inmaduros de dos especies de Phlebotominae (Diptera: Psychodidae) de Veracruz. Tesis de grado para obtener el grado de maestra en ciencias. Xalapa en Veracruz México.
- MORENO, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T- Manuales y tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 p.
- NOSS, 2000. Managing forests for resistance and resilience to climate change: a report to World Wildlife Fund U.S., 53 pages.
- NOVARTIS Animal Health, 2012. Bioprotection: rat-tailed maggot. (http://www.ah.novartis.com/fhp/en/fly_species_rat_tailed_maggot.shtml).
- OSPINA, F., BETANCUR, J., & REALPE, E. 2004. Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* baker (Bromeliaceae) en un bosque altoandino colombiano. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(1), 153-166.
- OSPINA, M.F., ESTEVEZ VARON 2016 Plant structure predicts leaf litter capture in the tropical montane bromeliad *Tillandsia turneri*. *Brazilian Journal Of Biology* ISSN: 1519-6984 . Volumen 76. pp. 686-691
- OSPINA, M.F., ESTEVEZ VARON, J.V., REALPE, E. and GAST, F., 2008. Diversidad de invertebrados acuáticos asociados a Bromeliaceae en un

bosque de montaña. *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 34, no. 2, pp. 224-229.

PICADO, C. 1913. Les Bromeliaceae epiphytes, considerees comme milieu biologique. *Bull. Scient. France et Belgique*. 47:215-360.

PLA, L. 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza, *Interciencia*. vol.31. Caracas, Venezuela, 583-590 p. (en línea). Consultado en el 14 de septiembre del 2010, disponible en línea: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33911906.pdf>

RANGEL O. 2000. Colombia. Diversidad biótica III – La región de la paramuna. Universidad Nacional de Colombia.

RICHARDSON, B. (1999). The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a neotropical forest. *Biotrópica*, 31(2), 312- 336.

RICHARDSON, B; Hull, G. 2000. Insect colonisation sequences in bracts of *Heliconia caribaea* in Puerto Rico. *Ecol. Entomol.* 25: 460-466 p.

RICHARDSON, BA. 1999. The Bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a neotropical forest. *Biotropica*, 31: 321-336 p.

ROLDÁN, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá (Colombia): Fondo FEN Colombia.

ROLDÁN, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529 p.

ROLDÁN, G., 1999.- Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas, y naturales*, 23(88): 375-387.

ROTHERAY, G. & GILBERT, F. 2011. *The Natural History of Hoverflies*. Ed. Forrest text. Ceredigion, Wales. 334 pp.

SANTAMARIA E. 2008. Diagnóstico preliminar de la molestia sanitaria causada por Culicoides (Diptera: Ceratopogonidae) en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista institucional de salud. Biomédica volumen 4*.

SAUNDERS D & HOBBS R (EDS.). 1991. *Nature Conservation 2: The Role of Corridors*. Chipping Norton, Australia: Surrey Beatty and Sons.

SKOLE, D.L. AND TUCKER, C.J. 1993: Tropical deforestation and hábitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260, 1905—1910.

TESH R., BOSHELL J., YOUNG D., MORALES A., FERRO C., CORREDOR A., MODI G., TRAVASSOS DA ROSA A., MCLEAN R., RODRÍGUEZ C. & GAITAN M. 1989. Characterization of five new Phleboviruses recently

isolated from sand flies in tropical America. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 40: 529-533

- USMAN, S., SINGH, S.P., RAWAT, Y.S., BARGALI, S.S. (2000): Fine root decomposition and nitrogen mineralization patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forest in central Himalaya. *Forest Ecology Management* 131: 191-199
- WETZEL, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3rd ed. Academic Press, California. 1006 p.
- WILCHES & BOTERO (2013). Asociados, Macroinvertebrados Guzmania, A Bromeliacea, L B Sm. *Entomología*. V16. 50-20
- WILCOX, B.A. & D.D. Murphy. 1985. Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist* 125(6): 879-887.
- WILSON EO. 1988. The current status of biological diversity. In *Biodiversity* (Wilson EO, ed.). Washington, DC: National Academic Press, pp. 3-18.
- YANOVIK, P. (2001a). Predation, resource availability, and community structure in neotropical water-filled tree holes. *Oecologia*, 126, 125-133.
- YANOVIK, P. (2001b). The macrofauna of water-filled tree holes on Barro Colorado Island, Panamá. *Biotrópica*, 33 (1): 110-120.
- ZAMORA G, H.; ZAMORA M, M. A. (2016). Macroinvertebrados acuáticos, recurso hidrobiológico epicontinental no pesquero en el departamento del Cauca. *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*.1(28):pp
- ZAMORA, G,H.; SANDOVAL, J.A.; VÁSQUEZ, G.L.; NAUNDORF, G.; ZAMBRANO, L.; GONZÁLEZ, J. 2011.Estructura de la comunidad de macroinvertebrados y caracterización de la calidad del agua mediante bioindicación en la cuenca baja del río ovejas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* (24):81-89.
- ZAMORA, H 2007.El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*; 19. 73-81. ISSN 0120 – 4173.
- ZAMORA, H.; ZAMORA, M.A. 2013.Composición y riqueza de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en cuencas hidrográficas del Departamento del Cauca, Colombia. *Memorias XVII Congreso Mesoamericano de Biología y Conservación. VII Simposio de Zoología*. Palacio de las Convenciones. La Habana, Cuba. Septiembre 16 al 20. Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación, Sociedad Cubana de Zoología. Cuba.

Anexos.

Tabla de Anexo 1. Diferencias significativas en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los dos fragmentos (Fi,Fc) para los cuatro meses de estudio.

Significancia estadística entre fragmentos (Fi, Fc) para el mes de abril											
	Anosopodidae	Ceratopogonidae	Chironomidae	Limoniidae	Culicidae	Oligochaeta	Tipulidae	Psychodidae	Planorbidae	Sciaridae	Syrphidae
U de Mann-Whitney	15,000	0,000	14,000	31,000	28,500	32,000	32,000	9,500	30,000	28,000	3,500
W de Wilcoxon	51,000	36,000	50,000	67,000	64,500	68,000	68,000	45,500	66,000	64,000	39,500
Z	-1,812	-3,414	-1,900	-,108	-,370	0,000	0,000	-2,397	-,239	-,483	-3,006
Sig. asintótica (bilateral)	,070	,001	,057	,914	,711	1,000	1,000	,017	,811	,629	,003
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,083 ^b	,000 ^b	,045 ^b	,959 ^b	,721 ^b	1,000 ^b	1,000 ^b	,015 ^b	,878 ^b	,721 ^b	,001 ^b

Significancia estadística entre fragmentos (Fi, Fc) para el mes de mayo											
	Anosopodidae	Ceratopogonidae	Chironomidae	Limoniidae	Culicidae	Oligochaeta	Tipulidae	Psychodidae	Planorbidae	Sciaridae	Syrphidae
U de Mann-Whitney	0,000	0,000	,500	22,000	18,500	22,500	31,500	11,500	25,500	27,500	5,000
W de Wilcoxon	36,000	36,000	36,500	58,000	54,500	58,500	67,500	47,500	61,500	63,500	41,000
Z	-3,522	-3,388	-3,328	-1,063	-1,427	-1,312	-,091	-2,169	-,792	-,486	-2,848
Sig. asintótica (bilateral)	,000	,001	,001	,288	,154	,189	,927	,030	,428	,627	,004
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b	,000 ^b	,000 ^b	,328 ^b	,161 ^b	,328 ^b	,959 ^b	,028 ^b	,505 ^b	,645 ^b	,003 ^b

Significancia estadística entre fragmentos (Fi, Fc) para el mes de julio											
	Anosopodidae	Ceratopogonidae	Chironomidae	Limoniidae	Culicidae	Oligochaeta	Tipulidae	Psychodidae	Planorbidae	Sciaridae	Syrphidae
U de Mann-Whitney	28,500	12,000	0,000	23,500	17,500	28,000	24,000	28,500	27,000	26,000	23,000
W de Wilcoxon	64,500	48,000	36,000	59,500	53,500	64,000	60,000	64,500	63,000	62,000	59,000
Z	-,424	-2,126	-3,381	-,902	-1,541	-1,000	-1,461	-,369	-,645	-,638	-,957
Sig. asintótica (bilateral)	,671	,034	,001	,367	,123	,317	,144	,712	,519	,523	,338
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,721 ^b	,038 ^b	,000 ^b	,382 ^b	,130 ^b	,721 ^b	,442 ^b	,721 ^b	,645 ^b	,574 ^b	,382 ^b

Significancia estadística entre fragmentos (Fi, Fc) para el mes de agosto											
	Anosopodidae	Ceratopogonidae	Chironomidae	Limoniidae	Culicidae	Oligochaeta	Tipulidae	Psychodidae	Planorbidae	Sciaridae	Syrphidae
U de Mann-Whitney	22,500	0,000	0,000	30,000	29,500	24,000	27,500	19,000	25,000	14,500	1,000
W de Wilcoxon	58,500	36,000	36,000	66,000	65,500	60,000	63,500	55,000	61,000	50,500	37,000
Z	-1,054	-3,376	-3,366	-,212	-,290	-1,464	-,694	-1,388	-,895	-1,856	-3,292
Sig. asintótica (bilateral)	,292	,001	,001	,832	,772	,143	,487	,165	,371	,063	,001
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,328 ^b	,000 ^b	,000 ^b	,878 ^b	,798 ^b	,442 ^b	,645 ^b	,195 ^b	,505 ^b	,065 ^b	,000 ^b

Tabla de Anexo 2. Diferencias significativas entre parámetro físico-químicos hídricos entre los dos fragmentos (Fi,Fc) para los cuatro meses de estudio.

ABRIL								
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura Hídrica (°C)	Volumen Hídrico (mL)	Longitud (cm)	Perímetro (cm)	Área (dm ²)
U de Mann-Whitney	20,000	17,000	22,500	8,500	15,000	29,500	8,500	8,000
W de Wilcoxon	56,000	53,000	58,500	44,500	51,000	65,500	44,500	44,000
Z	-1,260	-1,582	-,998	-2,472	-1,785	-,265	-2,499	-2,522
Sig. asintótica (bilateral)	,208	,114	,318	,013	,074	,791	,012	,012
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,048 ^b	,130 ^b	,044 ^b	,010 ^b	,047 ^b	,798 ^b	,010 ^b	,010 ^b

MAYO								
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura Hídrica (°C)	Volumen Hídrico (mL)	Longitud (cm)	Perímetro (cm)	Área (dm ²)
U de Mann-Whitney	2,000	5,000	25,000	13,500	24,500	29,000	8,500	32,000
W de Wilcoxon	38,000	41,000	61,000	49,500	60,500	65,000	44,500	68,000
Z	-3,153	-2,861	-,735	-1,952	-,788	-,319	-2,499	0,000
Sig. asintótica (bilateral)	,002	,004	,462	,051	,431	,750	,012	1,000
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,001 ^b	,053 ^b	,046 ^b	,048 ^b	,142 ^b	,798 ^b	,010 ^b	1,000 ^b

JULIO								
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura Hídrica (°C)	Volumen Hídrico (mL)	Longitud (cm)	Perímetro (cm)	Área (dm ²)
U de Mann-Whitney	22,000	31,500	7,000	16,000	14,000	24,500	28,000	8,000
W de Wilcoxon	58,000	67,500	43,000	52,000	50,000	60,500	64,000	44,000
Z	-1,050	-,053	-2,626	-1,689	-1,897	-,796	-,429	-2,524
Sig. asintótica (bilateral)	,294	,958	,009	,091	,058	,426	,668	,012
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,328 ^b	,959 ^b	,007 ^b	,105 ^b	,043 ^b	,442 ^b	,721 ^b	,010 ^b

AGOSTO								
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura Hídrica (°C)	Volumen Hídrico (mL)	Longitud (cm)	Perímetro (cm)	Área (dm ²)
U de Mann-Whitney	1,000	29,000	22,000	,500	5,000	18,500	1,000	3,000
W de Wilcoxon	37,000	65,000	58,000	36,500	41,000	54,500	37,000	39,000
Z	-3,256	-,319	-1,050	-3,318	-2,838	-1,429	-3,285	-3,048
Sig. asintótica (bilateral)	,001	,750	,294	,001	,005	,153	,001	,002
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b	,798 ^b	,045 ^b	,000 ^b	,003 ^b	,161 ^b	,000 ^b	,001 ^b

Tabla de Anexo 3. Correlación entre variables físico-químicas hídricas asociadas al sistema fitotelma.

Variables	Valores	O.D (mg/l)	pH	Cond.(µS/cm)	T. Hídrica °C	Volumen (m/L)
O.D (mg/l)	Coeficiente (rs)	1	0,237	-0,175	-,466**	0,17
	Sig. (bilateral)	.	0,059	0,166	0	0,178
	N	64	64	64	64	64
pH	Coeficiente (rs)	0,237	1	-,525**	-0,083	-0,092
	Sig. (bilateral)	0,059	.	0	0,514	0,469
	N	64	64	64	64	64
Cond.(µS/cm)	Coeficiente (rs)	-0,175	-,525**	1	0	-,286*
	Sig. (bilateral)	0,166	0	.	0,999	0,022
	N	64	64	64	64	64
T. Hídrica °C	Coeficiente (rs)	-,466**	-0,083	0	1	-0,112
	Sig. (bilateral)	0	0,514	0,999	.	0,379
	N	64	64	64	64	64
Volumen (m/L)	Coeficiente (rs)	0,17	-0,092	-,286*	-0,112	1
	Sig. (bilateral)	0,178	0,469	0,022	0,379	.
	N	64	64	64	64	64

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Tabla de Anexo 4. Fotografías de macroinvertebrados acuáticos



Tipulidae (*Tipula* sp.)



Planorbidae (*Planorbis* sp.)



Sciariidae sp.



Limnophila sp



Anisopodidae (*Sylvicola* sp.)



Psychodidae (*Pericoma* sp.)



Syrphidae (*Eristalis* sp.)



Syrphidae (*Syritta* sp.)



Limonia sp.



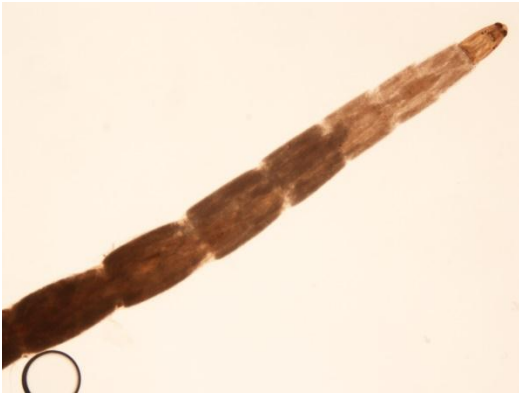
Haplotaenidae sp.



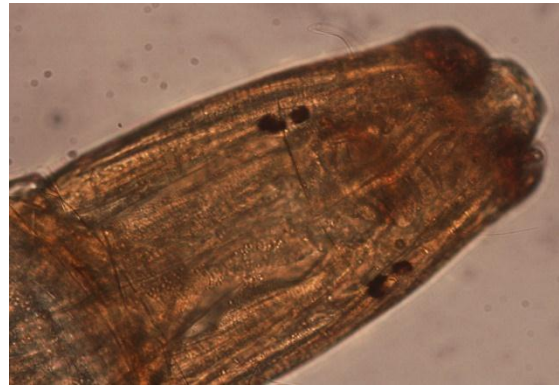
Culicidae (*Haemagogus* sp.)



Chironomidae sp.



Ceratopogonidae sp.



Bezzia sp.



Subfamilia *Orthoclaadiinae* sp.