

*MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN CUATRO TRIBUTARIOS DEL RIO  
PATIA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
DOÑA JUANA-CASCABEL*



Universidad  
del Cauca

Sebastian Valencia Rojas

Universidad del Cauca  
Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y de la Educación  
Departamento de Biología  
Popayán, 2023

*MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN CUATRO TRIBUTARIOS DEL RIO  
PATIA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
DOÑA JUANA-CASCABEL*

Sebastian Valencia Rojas

Proyecto de grado para optar al título de Biólogo

Modalidad: Pasantía

Directora

María Cristina Gallego Roperó, Ph.D

Universidad del Cauca

Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y de la Educación

Departamento de Biología

Popayán, 2023

**Nota de aceptación**

APROBADO

---

---

---

---

Directora 

PhD. María Cristina Gallego Roper

Jurado 

MSc. Oscar Ascuntar Osnas

Jurado KARINA BURBANO

MSc. Karina Burbano

Lugar y fecha de sustentación: Popayán, 19 de mayo de 2023

## **Agradecimientos**

En primer lugar, a Dios por darme la fortaleza suficiente

A mi alma mater la Universidad del Cauca por formarme como profesional.

A mi madre que desde el primer momento que decidí iniciar este largo camino me ha brindado su apoyo incondicional para cumplir mis metas, ella es la razón por la que hoy culmino una nueva etapa en mi vida.

A mi familia por brindarme su apoyo en todo momento.

Le agradezco de corazón a mi directora María Cristina Gallego Roperio por acogerme en su Semillero de Investigación desde que inicie la carrera, por ser una consejera y no dejarme caer cuando más lo necesite, guardaré sus palabras en mi memoria por siempre.

A mis amigos Santiago, Diana, Leo, Paula, Sara, Kevin, Tania, Aleja que siempre han estado cuando más lo necesito.

A mi compañero Teban por su compañía y apoyo que fueron muy importantes para mí.

Finalmente, al equipo del PNN Doña Juana Cascabel por el apoyo en las salidas de campo.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	8
2. Contexto institucional.....	9
2.1 Reseña histórica .....	9
2.2 Misión .....	10
2.3 Visión .....	10
3. Justificación .....	10
4. Objetivos.....	11
Objetivo General .....	11
Objetivos Específicos.....	11
5. Marco Teórico.....	12
5.1 Diversidad de macroinvertebrados acuáticos.....	12
5.2 Importancia de los macroinvertebrados acuáticos .....	12
5.3 Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.....	13
5.4. tipos de sustratos.....	14
6. Antecedentes.....	14
7. Marco Metodológico.....	16
7.1 Área de estudio.....	16
7.2 Caracterización de la zona de muestreo.....	19
7.3 Colecta de macroinvertebrados .....	19
7.4 Trabajo en el laboratorio .....	20
7.5 Tratamiento de datos .....	20
8. Resultados y discusión .....	21
8.1 Características del hábitat.....	21
8.2 Comunidad de macroinvertebrados acuáticos recolectada en las fuentes hídricas .....	23
8.3 Riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos .....	24
8.3 Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cada sitio de muestreo.....	26
8.3.1 Quebrada Carrizal.....	26
8.3.2 Rio La Palma.....	30
8.3.3 Quebrada La Florida .....	32
8.3.4 Quebrada las Juntas .....	34
8.4 Riqueza, abundancia y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos respecto a los sustratos .....	36
8.4.1 Composición MAE por sustrato en la Q. Carrizal .....	37
8.4.2 Composición MAE por sustrato en la Q. Florida.....	39
8.4.3 Composición MAE por sustrato en las Juntas .....	41
8.4.4 Composición MAE por sustrato en el rio La Palma .....	44
8.5 Índices de diversidad y dominancia .....	46
8.5.1 Quebradas .....	46
8.5.2 Sustratos.....	49
8.6 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis.....	54
8.6.1 Quebradas .....	54
8.6.2 Sustratos.....	55
9. Conclusiones .....	58
10. Recomendaciones .....	59
11. Bibliografía.....	59

### Lista de figuras

Figura 1. Localización del área de estudio en el Municipio de La Cruz y Tablón de Gómez (Nororiente de Nariño).....	17
Figura 2. Fuentes de agua A) Quebrada La Florida; B) Quebrada Carrizal C) Quebrada Las Juntas; D) Rio La Palma.....	22
Figura 3. Avalancha ocurrida 16 días antes del muestreo del 2019 en el municipio de la Cruz A) Quebrada Las Juntas B) Rio La Palma .....	23
Figura 4. Variación de la abundancia relativa a nivel de orden de macroinvertebrados acuáticos colectados en todos los sustratos en las cuatro fuentes de agua entre los años 2018 y 2019.....	25
Figura 5. Riqueza de especies y familias de macroinvertebrados acuáticos por órdenes, recolectados en las cuatro fuentes de agua del Parque CVDJC durante los dos muestreos A) 2018 B) 2019 .....	26
Figura 6. Especies más representativas de las familias del orden Coleoptera A) <i>Anchytarsus</i> sp.1 (Ptilodactylidae); B) <i>Scirtes</i> sp1 (Scirtidae); C) <i>Neoelmis</i> sp.1 (Elmidae) (L); D) <i>Psephenops</i> sp1 (Psephenidae); E) <i>Austrolimnius</i> sp.1 (Elmidae)(A); F) <i>Hydraena</i> sp.1 (Hydraenidae) .....	28
Figura 7. Taxones más representativos de las familias del orden Ephemeroptera A) <i>Prebaetodes</i> sp1; B) <i>Leptohyphes</i> sp1; C) <i>Hagenulopsis</i> sp2. ....	29
Figura 8. Taxones más representativos de las familias del orden Trichoptera A) <i>Atopsyche</i> sp1; B) <i>Contulma</i> sp1; C) <i>Hydroptila</i> sp2; D) <i>Leptonema</i> sp1; E) <i>Smicridea</i> sp1; F) Protoptilinae sp1; G) <i>Phylloicus</i> sp1 .....	29
Figura 9. Taxones más representativos de las familias del orden Diptera A) Blephariceridae sp1; B) Ceratopogonidae sp2; C) Chironominae sp1; D) Limnophora sp1; E) Empididae sp1; F) Limoniidae sp1; G) <i>Simulium</i> sp1 H) Tipulidae sp1.....	36
Figura 10. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Carrizal durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava; D) Hojarasca.....	39
Figura 11. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Florida durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava; D) Hojarasca.....	41
Figura 12. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Las Juntas durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava .....	43
Figura 13. Curva abundancia de MAE según los sustratos del rio La Palma durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava.....	45
Figura 14. Análisis de números de Hill para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los dos periodos Primer número de Hill (q0 = riqueza); segundo número de Hill (q1 = diversidad de Shannon); tercer número de Hill (q2 = diversidad Gini-Simpson) .....	49
Figura 15. Análisis de números de Hill para la quebrada Carrizal según los sustratos (q0 = riqueza); (q1 = diversidad de Shannon); (q2 = diversidad Gini-Simpson) .....	51
Figura 16. Análisis de números de Hill para la quebrada La Florida según los sustratos (q0 = riqueza); (q1 = diversidad de Shannon); (q2 = diversidad Gini-Simpson) .....	52
Figura 17. Análisis de números de Hill para la quebrada Las Juntas según los sustratos (q0 = riqueza); (q1 = diversidad de Shannon); (q2 = diversidad Gini-Simpson) .....	53
Figura 18. Análisis de números de Hill para el rio La Palma según los sustratos (q0 = riqueza); (q1 = diversidad de Shannon); (q2 = diversidad Gini-Simpson).....	54

Figura 19. Dendograma de Bray Curtis entre las cuatro Quebradas en los años A) 2018 y B) 2019.....	55
Figura 20. Dendograma de Bray Curtis para los cuatro sustratos muestreados en las fuentes de agua en el año 2018 A) Q. Carrizal B) Q. Florida c) Q. Las Juntas D) R. La Palma.....	56
Figura 21. Dendograma de Bray Curtis para los cuatro sustratos muestreados en las fuentes de agua en el año 2019 A) Q. Carrizal B) Q. Florida c) Q. Las Juntas D) R. La Palma.....	58

### Lista de tablas

Tabla 1. Características generales de las fuentes de agua muestreadas.....	21
Tabla 2. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada Carrizal.....	30
Tabla 3. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 del rio La Palma.....	31
Tabla 4. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada La Florida.....	33
Tabla 5. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada Las Juntas.....	35
Tabla 6. Valores estimados y calculados de riqueza, diversidad de especies en las cuatro fuentes hídricas muestreadas durante los años 2018 y 2019.....	47
Tabla 7. Estimadores de riqueza para los cuatro sustratos durante los años 2018 y 2019.....	50

### Lista de anexos

Anexo 1. Presencia de macroinvertebrados acuáticos en las cuatro fuentes de agua en los periodos 2018 y 2019.....	67
Anexo 2. Fotografías de las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en las cuatro fuentes de agua.....	68

### Resumen

Se identificó la comunidad de macroinvertebrados de tres Quebradas tributarias del rio Patía: Carrizal, Florida, Las Juntas y el rio La Palma, y su relación con el sustrato que habitan. Los muestreos fueron realizados en abril y julio del año 2018, y agosto del 2019 en los municipios de La Cruz y Tablón de Gómez en el Departamento de Nariño, dentro de la zona de influencia del PNN Doña Juana Cascabel. Para la colecta de macroinvertebrados se utilizó una red Surber y de forma manual en los sustratos grava, hojarasca, bloque y canto. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon, Simpson, Margalef, el estimador de riqueza CHAO1 y el índice de similitud de Bray Curtis. Los resultados indican una mayor diversidad de macroinvertebrados para la Quebrada Carrizal y La Florida, así como una mayor similitud. Los sustratos más

diversos fueron canto y bloque. Las Quebradas Carrizal y Florida no presentaron rastros de intervención en su cauce y alrededores, a diferencia de Las Juntas y el río La Palma que evidenciaron rastros de actividad ganadera en la periferia. El impacto ambiental fue determinante en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos del río La Palma y la quebrada Las Juntas, lo que redujo en 71% y 95%. Se concluye que la composición de macroinvertebrados estuvo determinada por el estado de conservación de los ecosistemas, la heterogeneidad de sus microhábitats y los impactos ambientales y/o antropogénicos que se presentaron durante la época de los muestreos.

Palabras clave: Índices biológicos, impacto, bioindicadores

## **1. Introducción**

Colombia es considerada como uno de los países con mayor diversidad en el mundo, destacando gran cantidad de ecosistemas acuáticos de agua dulce, que a pesar de representar una fracción pequeña de los recursos hídricos del planeta, albergan una parte importante de la diversidad (Radinger et al., 2019). En los ecosistemas acuáticos se llevan a cabo interacciones entre sus habitantes vertebrados, invertebrados, plantas y algas, siendo las comunidades de macroinvertebrados acuáticos uno de los grupos más ricos y abundantes (Orrego et al., 2020).

Los macroinvertebrados acuáticos están conformados por organismos de diversos Phyla, que se caracterizan por presentar un tamaño superior a 500  $\mu\text{m}$  (Roldán, 2003), habitan generalmente la zona bentónica y se alimentan de detritos y material en descomposición, forman parte importante en el flujo de energía de varios niveles tróficos, además la exportan a otros sistemas (Tamariz-Turizo, 2018).

La abundancia de macroinvertebrados acuáticos aumenta cuando hay una heterogeneidad en la distribución y diversidad del sustrato, se encuentran relacionados con el tamaño de las partículas y algunas especies presentan preferencias en el tipo de sustrato, siendo sustratos inorgánicos los compuestos

por grava, cantos rodados y bloques, entre otros, y sustratos orgánicos los compuestos por algas, musgos, macrófitas y hojarasca (Allan & Castillo, 2007).

En las cuencas de primer orden, la hojarasca proporciona la mayor cantidad de energía, este sustrato está hecho de hojas y ramas caídas de árboles y arbustos, que se descompone de forma biótica y/o abiótica, incluida la abrasión física y los grupos de macroinvertebrados acuáticos descomponedores (Graça, 2001).

Los macroinvertebrados son ampliamente utilizados como bioindicadores para evaluar la calidad del agua, ya que pueden detectar cambios en el ecosistema en respuesta a alteraciones tanto antrópicas como naturales. Debido a su tamaño visible al ojo humano, amplia distribución, riqueza y abundancia, así como su interacción directa con el ecosistema acuático, las técnicas de muestreo de macroinvertebrados están estandarizadas a nivel mundial. Además, la mayor parte de su ciclo de vida se desarrolla en el agua, lo que los convierte en una herramienta útil para evaluar la presencia de contaminantes en el agua y determinar la sensibilidad de las especies a los mismos (Alba-Tercedor, 1996; Giacometti & Bersosa, 2006; Li et al., 2010; González et al., 2014). Por lo tanto, los macroinvertebrados son considerados una herramienta valiosa para monitorear la calidad del agua y pueden proporcionar información útil para la toma de decisiones en cuanto a la gestión y conservación de los recursos hídricos.

## **2. Contexto institucional**

### **2.1 Reseña histórica**

La Universidad del Cauca fue creada en Popayán como Universidad Departamental del Tercer Distrito mediante decreto del 24 de abril de 1827 y el 11 de noviembre del mismo año, se firma en Popayán el Acta de Constitución de la Universidad del Cauca que dio inicio a sus actividades. El 5 de abril de 2013, el Ministerio de Educación Nacional otorgó la Acreditación Institucional de Alta Calidad por un periodo de 6 años y a través de la Resolución 6218 del 13 de

junio de 2019 renovó dicha Acreditación Institucional por un periodo de ocho años más. En la actualidad La Universidad del Cauca es el principal centro de estudios del suroccidente colombiano contribuyendo en aspectos importantes del conocimiento y la investigación en diferentes áreas del saber, aportando al progreso y bienestar de la región (<http://www.unicauca.edu.co>).

## **2.2 Misión**

“La Universidad del Cauca es una institución de educación superior pública, autónoma, del orden nacional, creada en los orígenes de la República de Colombia. La Universidad del Cauca, fundada en su tradición y legado histórico, es un proyecto cultural que tiene un compromiso vital y permanente con el desarrollo social, mediante la educación crítica, responsable y creativa. La Universidad forma personas con integridad ética, pertinencia e idoneidad profesional, demócratas comprometidos con el bienestar de la sociedad en armonía con el entorno. La Universidad del Cauca genera y socializa la ciencia, la técnica, la tecnología, el arte y la cultura en la docencia, la investigación y la proyección social” (<http://www.unicauca.edu.co>).

## **2.3 Visión**

“La Universidad del Cauca, fiel a su lema "POSTERIS LUMEN MORITURUS EDAT: El que ha de morir, traspase su luz a la posteridad" tiene un compromiso histórico, vital y permanente con la construcción de una sociedad equitativa y justa en la formación de un ser humano integral, ético y solidario” (<http://www.unicauca.edu.co>).

## **3. Justificación**

El departamento de Nariño cuenta con una impresionante diversidad geomorfológica. Sin embargo, la larga historia de conflicto armado en la región ha dejado muchas localidades sin explorar (Conflicto paz y postconflicto-Pares, 2018). Para abordar este problema, el PNN Complejo Volcánico Doña Juana

Cascabel ha implementado un programa de monitoreo de algunas fuentes de agua, utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. De esta manera, se pueden detectar tempranamente posibles problemáticas de contaminación a los cauces, y así proteger la calidad del agua.

En uno de los sectores de influencia del parque, se encuentran las subcuencas de las quebradas La Florida y Carrizal en el Tablón de Gómez; Las Juntas y La Palma en la Cruz en el departamento de Nariño, que drenan al río Patía. Actualmente, algunos funcionarios del parque están realizando muestreos de las fuentes de agua en esta zona. Con la identificación de los grupos taxonómicos de macroinvertebrados acuáticos colectados y la aplicación del índice BMWP para la región, se espera obtener información valiosa sobre el estado de la calidad del agua y establecer estrategias de manejo comunitario.

La importancia de mi participación como pasante dentro de la revisión del material biológico de macroinvertebrados en el laboratorio de Biología del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca permitirá afianzar y mejorar los conocimientos y habilidades aprendidas a lo largo de los estudios en el Programa de Biología, como el procesamiento de material biológico, el uso de claves taxonómicas, elaboración de bases de datos, análisis de datos, realización de informes técnicos, almacenamiento y preservación de los macroinvertebrados acuáticos.

#### **4. Objetivos**

##### **Objetivo General**

Identificar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en cuatro tributarios del río Patía en la zona de influencia del Parque Nacional Natural Doña Juana Cascabel.

##### **Objetivos Específicos**

- Analizar el cambio en la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cuatro tributarios del río Patía.

- Consolidar la colección de referencia de macroinvertebrados acuáticos de la zona de estudio.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1 Diversidad de macroinvertebrados acuáticos**

Los macroinvertebrados acuáticos están conformados por organismos de diversos phyla: Artropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha, Coelenterata (Zamora & Zamora, 2017); sin embargo, hay microcrustáceos, micromoluscos, anélidos y nemátodos, entre otros, que se consideran parte de la meiofauna por su tamaño (Hanson et al., 2010). Los Hexapoda, subphylum Artropoda, son el grupo más abundante y diverso de los macroinvertebrados acuáticos, tienen una amplia distribución y diversidad, Además, están representados por cuatro clases: Insecta, Collembola, Protura y Diplura (Amat-García & Fernández, 2011; Palacios-Vargas, 2014; Palacios-Vargas & Figueroa, 2014; Palacios-Vargas & García-Gómez, 2014), solo los dos primeros taxones tienen representantes acuáticos; sin embargo, no se tienen registros de especies dulceacuícolas de Collembola en Colombia (Roldán et al., 2014). En la clase Insecta existen cinco órdenes que están conformados en su mayoría por especies con un estadio de ninfa o larva totalmente acuático: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera y Megaloptera, en otros órdenes hay individuos con estados acuáticos y/o terrestres en los que se encuentran: Hemiptera, Coleoptera y Diptera (Ladrera et al., 2013).

### **5.2 Importancia de los macroinvertebrados acuáticos**

Los macroinvertebrados acuáticos son de gran importancia ya que forman una parte importante de los ecosistemas acuáticos y su estudio es esencial para entender la dinámica y la salud de estos ecosistemas dado que muchos de ellos tienen parte de su ciclo de vida en el agua, mientras que otros son completamente acuáticos (Tamariz-Turizo, 2018).

Su distribución es variada y depende de factores como la calidad fisicoquímica del agua, los sustratos disponibles que sirven como microhábitats (Roldán, 2003), la presencia de alimento y la influencia de depredadores, competidores y parásitos en el ecosistema acuático (Dominguez & Fernández, 2009).

Habitan los diferentes microhábitats, obteniendo su alimento de la vegetación ribereña o de material alóctono; además, son fundamentales en la transferencia de energía en distintos niveles tróficos, siendo cruciales en la exportación de energía a otros sistemas (Tamariz-Turizo, 2018).

### **5.3 Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores**

Los bioindicadores son utilizados para detectar cambios en el ecosistema ocasionados por la intervención antrópica, generalmente se suelen utilizar grupos de naturaleza sedentaria que permitan la realización de estudios espacio-temporales. Los macroinvertebrados acuáticos cumplen con estas características debido a la estrecha relación de su hábitat con los sedimentos, donde se depositan contaminantes, por lo que son considerados como un elemento integrador de la calidad del agua con una alta sensibilidad al estrés ambiental (C. González et al., 2014; Li et al., 2010).

Los macroinvertebrados acuáticos son un grupo de preferencia para muchos investigadores ya que son un indicador ideal, debido a su dominancia respecto a otros que habitan las fuentes de agua, el tamaño es relativamente grande y las técnicas de colecta están estandarizadas a nivel mundial, por lo tanto sus estudios son económicos y requieren de poco tiempo para su realización, ya que algunos índices como el BMWP solo requieren el nivel de familia, ya que son estudios cualitativos que se basan en presencia o ausencia (Roldán, 2016).

Otra ventaja de usar los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores es que debido a sus ciclos de vida, ecología y reproducción, entre

otras, necesitan de al menos un mes para realizar una recolonización, por lo que los efectos de una perturbación pueden detectarse varias semanas después de haber ocurrido el impacto, permitiendo tener una visión retrospectiva del estado de las aguas, a diferencia de otros métodos fisicoquímicos que permiten ver solo datos de la situación actual existente (Alba-Tercedor, 1996).

#### **5.4. tipos de sustratos**

Los sustratos son de vital importancia para el establecimiento de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos en los sistemas dulceacuícolas ya que cada grupo tiene preferencia por uno en particular según sus adaptaciones morfológicas (Roldan & Restrepo, 2008).

En un ecosistema lotico de agua dulce, los macroinvertebrados acuáticos pueden habitar en todo el lecho del río, desde la zona litoral hasta la bentónica, colonizando tanto sustratos orgánicos como inorgánicos. Los sustratos orgánicos, como la hojarasca, son el resultado del material alóctono acumulado en diferentes partes de la fuente de agua, que luego es aprovechado por hongos, bacterias y macroinvertebrados debido a su alta riqueza energética (Velásquez & Miserendino, 2003). En cuanto a los sustratos inorgánicos, se pueden encontrar rocas que, dependiendo de su tamaño, pueden albergar diferentes grupos de macroinvertebrados; están los bloques (>256mm), cantos (64-256mm) y gravas (2-64mm), cuando se agrupan aumentan la velocidad del caudal, proporcionando un hábitat más heterogéneo para el establecimiento de la comunidad de macroinvertebrados (Boulton et al., 2017).

#### **6. Antecedentes**

A partir del siglo XIX, los macroinvertebrados se empezaron a estudiar como bioindicadores de la calidad del agua en Europa (Roldán, 2016). En Colombia, los primeros estudios sobre macroinvertebrados acuáticos datan de los años setenta hasta la actualidad (Pérez & Roldán, 1978; Roldan et al., 1973). Gabriel Roldán es considerado como uno de los precursores del estudio de

estos organismos en Colombia, con importantes contribuciones como la publicación de la "Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia" (Roldán, 1988), el libro "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col" (Roldán, 2003) y una síntesis del desarrollo del estudio de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Colombia en las últimas cuatro décadas (Roldán, 2016). En 2020, Roldán llevó a cabo una revisión histórica de los estudios realizados, que aportó información valiosa sobre los macroinvertebrados acuáticos (Roldán, 2020).

En el Departamento de Nariño se registran algunos estudios sobre los macroinvertebrados acuáticos; López (2009) estudio la calidad del agua en el río Pasto mediante el uso de los índices de Margalef y Simpson para algas periféricas y el método BMWP /Col para macroinvertebrados acuáticos donde solo se tuvo en cuenta la presencia de las familias. En total se registraron 21 familias y la calidad del agua fue desde aceptable en algunos puntos hasta muy críticas, lo que indicó aguas muy contaminadas.

Castillo et al. (2013) realizaron un inventario del orden Plecoptera para el Departamento donde se documentaron 13 especies de Anacroneuria.

González et al. (2018) emplearon los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores para evaluar el impacto ambiental provocado por una planta de producción intensiva de trucha arcoiris (*Onchorhynchus mykiss*) en el Lago Guamuez. En su estudio, se registraron siete familias de macroinvertebrados acuáticos, de las cuales cinco presentaron una alta tolerancia a la contaminación, mientras que solo dos fueron indicadoras de una buena calidad del agua.

El trabajo realizado por Lasso & Urbano (2019), determinó la calidad biológica del agua de la Quebrada El Bohío en el Departamento de Nariño, utilizando los macroinvertebrados acuáticos, donde se encontraron 14 órdenes, 39 familias y 50 géneros.

En un estudio realizado por Zamora & Zamora (2016) se recopiló información sobre los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales del departamento del Cauca, encontrando un total de 26 órdenes, 81 familias y 243 géneros distribuidos en las cinco grandes cuencas del departamento: Alto Cauca, Pacífico, Alto Magdalena, Patía y Caquetá, siendo Odonata, Coleoptera y Diptera los órdenes más predominantes.

En la actualidad, sigue siendo necesario realizar inventarios faunísticos en muchos de los afluentes que desembocan en el río Patía, especialmente en aquellos que se encuentran dentro del PNN Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, ya que son áreas de difícil acceso debido al conflicto armado en la región. Aunque uno de los objetivos del plan de desarrollo del parque es monitorear las fuentes hídricas una vez al año, no se lleva un adecuado manejo del material biológico. Por lo tanto, se sugiere que el monitoreo se realice de manera constante por personal capacitado y que las muestras se almacenen en la colección de referencia del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca para su revisión, análisis y publicación en las bases de datos correspondientes.

## **7. Marco Metodológico**

### **7.1 Área de estudio**

Las subcuencas de las quebradas La Florida y Carrizal en el Tablón de Gómez; Las Juntas y La Palma en la Cruz se encuentran ubicadas en el nororiente del departamento de Nariño, que tributan al río Patía en el área protegida por el PNN Doña Juana-Cascabel (Figura 1).

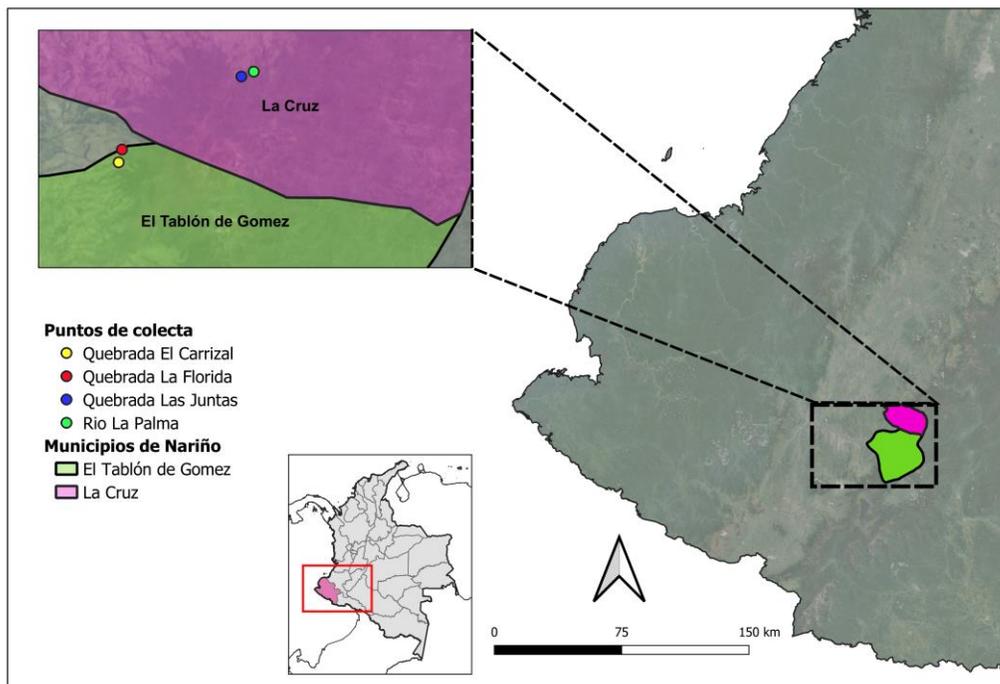


Figura 1. Localización del área de estudio en el Municipio de La Cruz y Tablón de Gómez (Nororiente de Nariño).

El Departamento de Nariño está situado en el extremo suroccidente colombiano, sitio donde inicia la Cordillera de los Andes, el terreno es mayoritariamente montañoso, pero también tiene una parte importante de la costa que está de acuerdo con la Zona Biogeográfica del Chocó. La región montañosa, que corresponde a los Andes del Norte, tiene una influencia amazónica muy significativa. En el Departamento se encuentran el río Patía, Mira y Guamués, tres importantes cuencas del país (Delgado et al., 2007).

El Tablón de Gómez es un municipio que se encuentra ubicado al nororiente del departamento de Nariño ( $1^{\circ}25' 33''$  N y  $77^{\circ} 5' 50''$  W), con extensión de 326.95 km<sup>2</sup> y altitud entre 1.297 y 4.182 msnm. Limita al Norte con los municipios Albán, San Bernardo y La Cruz (Nariño); oriente con los departamentos de Cauca y Putumayo; al Sur con el Municipio de Buesaco (Nariño), y al Occidente con Berruecos (Nariño). Se encuentra entre los pisos térmicos templado, frío y páramo, con temperatura promedio entre 18 y 24°C,

precipitación media anual de 1.587 mm/año, y su relieve es en gran parte montañoso. Entre los accidentes topográficos más importantes se encuentran el Volcán Doña Juana, el Páramo de Cascabel y el Cerro Tajumbina (<http://www.eltablondegomez-narino.gov.co>).

La zona de mayor importancia para la conservación del municipio es el Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel que se encuentra en la zona alta de los corregimientos Las Mesas, Fátima, Resguardo Indígena de Aponte y Pompeya, ya que es el nacimiento del 90% de los ríos que riegan el municipio donde se destacan los ríos Aponte, Guacatú, Juanambú y Juanoy, además de otras subcuencas (<http://www.eltablondegomez-narino.gov.co>).

El sistema agrícola implementado por el municipio está representado por cultivos tradicionales de café, caña panelera y frutales como naranja, aguacate, entre otros, y cultivos transitorios de alverja, maíz, frijol, maní, yuca, papa, arracacha y plátano; se destaca la siembra de cultivos ilícitos como Amapola. La producción pecuaria está representada principalmente en la actividad ganadera de tipo extensivo, en menor grado se realizan explotaciones de las especies caballar, mular, porcicola, cunicula, piscícola, avina, cuyicula, aves de postura y aves de corral ( <http://www.eltablondegomez-narino.gov.co>).

El municipio de La Cruz se encuentra ubicado al nororiente del departamento de Nariño (1°14' 25" N y 75° 25' 59" W), tiene una extensión de 235 km<sup>2</sup> y una altitud entre 2440 y 4.218 msnm. Limita al norte con el municipio de San Pablo (Nariño) y Bolívar (Cauca); oriente: Bolívar y Santa Rosa (Cauca); al sur con el Tablón de Gómez, San Bernardo y Belén (Nariño) y al occidente con Belén, Colón y Génova (Nariño) ( <http://www.lacruz-narino.gov.co>), ubicado entre los pisos térmicos templado, frío y páramo, con una temperatura promedio de 15°C, su relieve es montañoso, con topografía abrupta debido en gran parte a la actividad de los volcanes Azufra y Galeras ( <http://www.lacruz-narino.gov.co>).

La actividad agrícola del municipio se basa en la producción de fique, quinua, plátano, maíz, papa, tomate de mesa y frutales como la granadilla, además de cultivos ilícitos de Amapola. La principal actividad económica del

municipio se basa en actividades pecuarias principalmente la ganadería extensiva, en menor proporción también realizan la explotación de cerdos, cuyes, conejos y ganado equino (<http://www.lacruz-narino.gov.co>).

## **7.2 Caracterización de la zona de muestreo**

Se adoptó la metodología del PNN para el monitoreo de sus fuentes de agua para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos con fines de bioindicación, se siguieron los siguientes pasos: primero se seleccionaron los sitios de muestreo y se tomaron las coordenadas; para la selección se tuvieron en cuenta los límites del parque y la facilidad para acceder a las quebradas. Luego, se realizó una descripción general del tramo, incluyendo la vegetación en la ribera, el uso del suelo en los alrededores los cuales fueron identificados con ayuda de la comunidad, también se tuvieron en cuenta los sustratos que componen el lecho del río o quebrada y la presencia de elementos ajenos al ecosistema y las condiciones atmosféricas actuales y previas al día del muestreo. Finalmente, se estimó visualmente la proporción en porcentaje de los diferentes microhábitats del tramo de muestreo, como bloques, cantos, arena y hojarasca.

## **7.3 Colecta de macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados acuáticos fueron recolectados en los meses de abril y julio del año 2018, y agosto del 2019. Los muestreos fueron realizados con red Surber durante un minuto, y una búsqueda directa, no mayor de 20 minutos, en los diferentes microhábitats como las orillas, hojarasca, piedras, emergentes, arena, entre otros. Las muestras se depositaron en una bandeja blanca y fueron separadas con pinzas y almacenadas en viales de vidrio con alcohol al 80%, conteniendo una etiqueta con los siguientes datos: sustrato en que fue colectado, número de repetición, método de colecta, fecha, ubicación geográfica y colector. El material resultante se almacenó en bolsas Ziploc en alcohol al 80%, para ser revisado y separado en el laboratorio. Como estudiante-

pasante tuvo la oportunidad de apoyar algunas salidas de campo con el personal del Parque, donde se aplicaron los protocolos de colecta.

#### **7.4 Trabajo en el laboratorio**

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Entomología ubicado en el Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca; el procedimiento consistió en limpiar, separar, morfotipar, identificar y almacenar las muestras en alcohol al 80% de acuerdo a su grupo taxonómico, y dejar las muestras organizadas en la colección de referencia del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca.

Cada muestra cuenta con las etiquetas de identificación y localidad y los datos básicos de colecta (fecha, localización, trampa, sustrato y la identificación taxonómica). Para la identificación taxonómica se emplearon las guías de macroinvertebrados acuáticos de Dominguez & Fernández (2009); Hamada et al. (2014); Roldán (1996); Para confirmar el material y revisar algunas identificaciones dudosas se visitó la Colección de Insectos Acuáticos del Museo de Entomología de la Universidad del Valle en Santiago de Cali.

#### **7.5 Tratamiento de datos**

Para establecer la estructura biológica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cada sitio de muestreo se usaron los programas PAleontological STatistics (PAST) y Microsoft Excel teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Con ellos se hallaron índices de diversidad, curvas de acumulación de especies, luego se realizó el análisis de diversidad alfa mediante números de Hill, para calcular las curvas de rarefacción y extrapolación se usó el programa estadístico iNEXT (Chao et al., 2014). Para el análisis de la diversidad Beta se usó el Índice de Similitud de Bray–Curtis (Bray & Curtis, 1957) y se realizaron clúster para comparar los diferentes puntos de muestreo así como en los sustratos.

## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Características del hábitat

Las características de cada uno de los puntos de muestreo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características generales de las fuentes de agua muestreadas

Fuente de agua	Sustrato y vegetación asociada	Características del tramo (tipo de corrientes y el tamaño)	Altitud (m)	Longitud (W)	Latitud (N)
Quebrada Carrizal, El Tablón, Nariño	Bloques (40%), canto (30%), grava (20%) y hojarasca (10%). Predominan moquillo, mortiño, chaquilulo y sietecueros.	Presentó un ancho 2m aproximadamente, su caudal es rápido con algunos remansos.	2947	76°58'6,8"	1°30'0"
Quebrada Florida, El Tablón, Nariño	Bloques (60%), canto (35%) y hojarasca (5%). Alta presencia de briofitas, algas en los diferentes sustratos, además sietecueros y moquillo.	Presentó un ancho de 1m aproximadamente, el tipo de corriente es rápida en la mayor parte de la quebrada.	2955	76°58'2,2"	1°30'17,8"
Rio La Palma, La Cruz, Nariño	Principalmente conformado por grava (60%), cantos (35%) y hojarasca (5%). Presenta alta intervención antrópica y rastros de actividad ganadera en el sector, se observó escasa cobertura vegetal.	Presentó 1m de ancho aproximadamente, se observaban algunos rápidos y remansos en gran parte del tramo.	2949	76°55'0"	1°32'5,9"
Quebrada Las Juntas, La Cruz, Nariño	Rocas medianas (50%), canto rodado (20%), grava (20%) y hojarasca (10%). Alta presencia de algas, musgos, helechos, bromelias, orquídeas y otras epífitas, además de árboles de mediano porte.	Presentó 1 de ancho aproximadamente, con un caudal rápido, en el muestreo del año 2019, se presentó una inundación súbita ocurrida días antes y se encontraron rastros de lo sucedido.	3009	76°55'17,1"	1°31'59,1"

En El Tablón, Nariño (Figura 2 A, B), las Quebradas Florida y Carrizal exhiben un paisaje heterogéneo compuesto por diversos sustratos y vegetación en la ribera que favorecen la presencia de una comunidad de macroinvertebrados acuáticos. En contraste, la Quebrada Las Juntas y el Rio La

Palma ubicados en La Cruz, Nariño (Figura 2 C, D), presentan una diferencia en su estado de conservación. Las Juntas se destaca por tener una alta cobertura vegetal y una proporción equilibrada de microhábitats sin mostrar impactos naturales o antropogénicos, mientras que en el Rio La Palma se observa una escasa cobertura vegetal y predominancia de gravas y canto en los microhábitats, además de rastros de actividad ganadera en sus alrededores.



Figura 2. Fuentes de agua A) Quebrada La Florida; B) Quebrada Carrizal  
C) Quebrada Las Juntas; D) Rio La Palma

En la recolecta realizada el 26 de agosto del 2019, la comunidad del municipio de la Cruz Nariño informo de una inundación súbita ocurrida en Las Juntas y La Palma, 16 días antes de realizar el muestreo, por lo que se observaron rastros de materia orgánica y cambios en la morfología de las orillas (Figura 3 A, B). Una alteración en el cauce de una fuente hídrica implica la

pérdida o modificación de los microhábitats de muchos organismos, incluyendo una disminución en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos (Ladrera, 2012), por lo que teniendo en cuenta esta afectación, la composición de macroinvertebrados de la zona pudo verse afectada, ya que pudieron ser arrastrados por las corrientes de agua, y potencialmente entrar como deriva colonizando nuevos sustratos (Molokwu et al., 2014).

El mes agosto de 2019 fue una temporada de transición de seco a lluvioso (IDEAM, 2019), sin embargo, dada la geomorfología de las cuencas hidrográficas en las zonas montañosas de Colombia, donde se presentan pendientes pronunciadas en muchos de sus tramos, con rápidos, pueden ocurrir precipitaciones breves e intensas, en cualquier época, que aumenta el caudal de agua localizado (Aristizábal et al., 2019).



Figura 3. Avalancha ocurrida 16 días antes del muestreo del 2019 en el municipio de la Cruz A) Quebrada Las Juntas B) Rio La Palma

## 8.2 Comunidad de macroinvertebrados acuáticos recolectada en las fuentes hídricas

Se recolectaron un total de 2332 macroinvertebrados acuáticos (Anexo 1), identificados en 6 ordenes, 30 familias, y 98 morfoespecies (Anexo 2); siendo 26 familias 70 taxones para el año 2018 y 25 familias y 79 taxones para el año 2019.

### **8.3 Riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos**

En 2018 y 2019, los órdenes con mayor riqueza de morfoespecies fueron Diptera y Trichoptera en el nivel de familias. En 2018, Diptera presentó la mayor cantidad de especies (22 sp.), seguido de Coleoptera y Trichoptera con 18 especies cada uno, mientras que Ephemeroptera tuvo 11 especies y Plecoptera solo 1 especie (ver Figura 5A). En 2019, Coleoptera tuvo la mayor cantidad de especies (24 sp.), seguido de Trichoptera y Diptera con 18 especies cada uno tal como se ha descrito en los estudios de Zamora & Zamora (2017) en el departamento del Cauca, Ephemeroptera con 16 especies, Plecoptera con 2 especies y Lepidoptera con 1 especie (ver Figura 5B). Resultados similares fueron encontrados en estudios realizados por González G. et al., (2012) en el departamento de Caldas y Lasso & Urbano (2019) en el departamento de Nariño donde los órdenes Coleoptera y Diptera tuvieron una mayor riqueza. Según Roldan (1999) es común encontrar una amplia variedad de los órdenes mencionados en ríos de montaña que presentan aguas frías, bien oxigenadas y altamente transparentes. Otro orden que presentó una riqueza alta fue Trichoptera el cual es uno de los órdenes más diversos en la región neotropical siendo segundo lugar a nivel mundial en cuanto a endemismos de géneros de Trichoptera, con un 69% de géneros endémicos (De Moor & Ivanov, 2008).

También se destaca la presencia del orden Lepidoptera para el año 2019 representado por la familia Crambidae como lo reportó Bentancur-Viglione et al., (2020) la cual hace parte de las ocho familias reportadas para Sudamérica y es un registro nuevo para el departamento de Nariño.

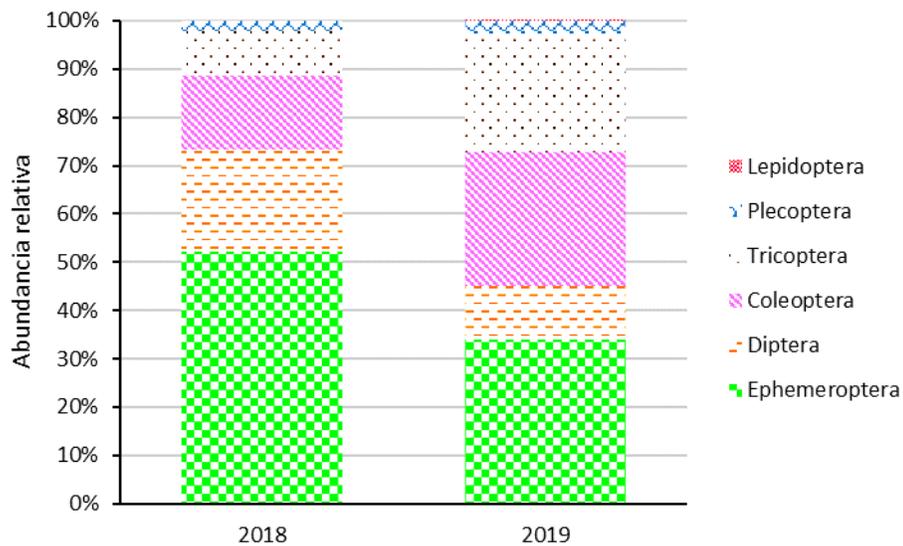
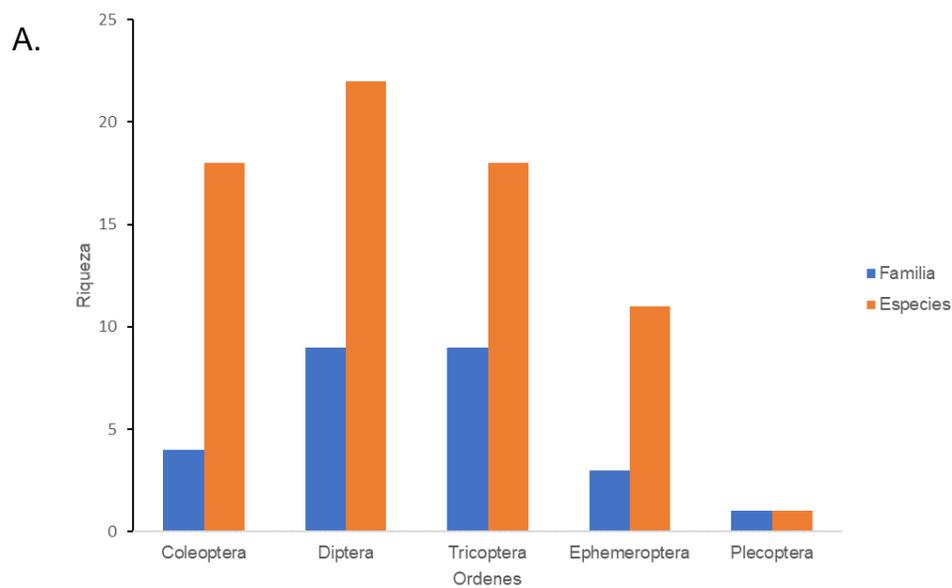


Figura 4. Variación de la abundancia relativa a nivel de orden de macroinvertebrados acuáticos colectados en todos los sustratos en las cuatro fuentes de agua entre los años 2018 y 2019



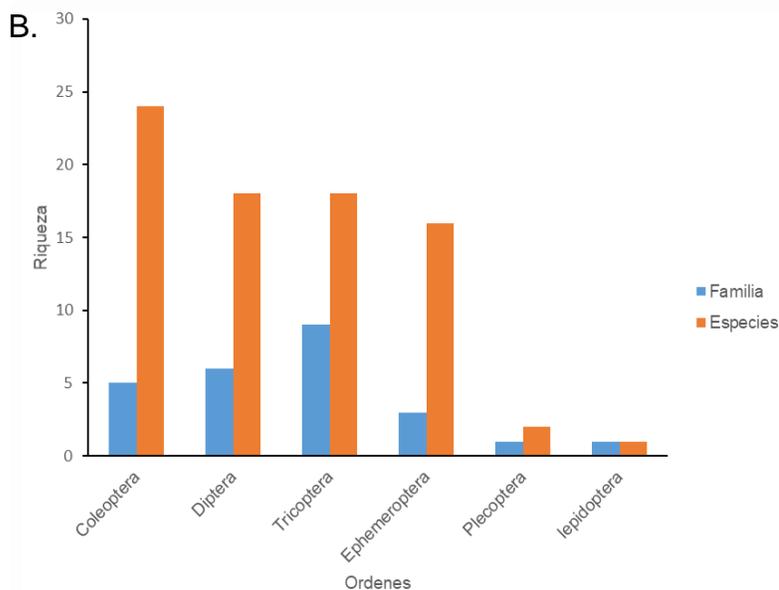


Figura 5. Riqueza de especies y familias de macroinvertebrados acuáticos por órdenes, recolectados en las cuatro fuentes de agua del Parque CVDJC durante los dos muestreos A) 2018 B) 2019

### 8.3 Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cada sitio de muestreo

#### 8.3.1 Quebrada Carrizal

Durante los dos muestreos realizados, la Quebrada mostró la mayor abundancia de individuos recolectados (367 indiv en 2018; 714 indiv en 2019), representando el 46.4% (1081 indiv) del total recolectado en el estudio (Tabla 2). La diferencia en la abundancia entre los dos años se explica por un aumento en la colecta de individuos pertenecientes a la familia Glossosomatidae (ver Figura 8F). Además, en el año 2019 se observó la presencia de tres nuevas familias (Hydraenidae, Helicopsychidae y Leptoceridae), las cuales son características de aguas muy limpias, indicando un buen estado del ecosistema (Perkins, 2011), además, el género *Hydraena* sp1 (Hydraenidae) es un reporte nuevo para el departamento. Por otro lado, se registró la ausencia de tres familias (Limoniidae, Ceratopogonidae y Calamoceratidae), lo cual podría ser debido a una

disminución en la materia orgánica en el lecho del río, posiblemente ocasionada por un aumento en la velocidad del caudal el cual pudo arrastrar la materia orgánica. Cabe destacar que estas familias suelen estar relacionadas con acumulaciones de materia orgánica, como hojas, troncos y ramas tal como reportan Vieira et al (2016); la familia Limoniidae es un nuevo registro para el departamento.

La familia Leptohyphidae (Figura 7B) fue la que presento una mayor abundancia durante los dos años y las menos abundantes fueron Hydraenidae (Figura 6F) y Calamoceratidae. La abundancia de la familia Leptohyphidae podría estar relacionada a un hábitat propicio para el establecimiento de esta especie en la quebrada donde podrían influir factores como el flujo de la corriente, la velocidad, las descargas el transporte de material y el tipo de cauce (Roldan & Restrepo, 2008). Además, la presencia de esta familia en un ecosistema acuático puede indicar la presencia de una cadena alimentaria saludable y diversa, ya que son una importante fuente de alimento para otros organismos acuáticos, como peces y otros insectos. (Jiménez, 2014).

Por otro lado el género *Atopsyche* estuvo presente en ambos periodos (10 indiv en 2018; 18 indiv en 2019), a pesar de ser un taxón poco estudiado en Colombia con tan solo cinco especies registradas como lo reporta (Calderón Franco & Correa Canchón, 2020), registro tres taxones para esta quebrada de los cinco encontrados y estuvo presente en las dos fuentes de agua del municipio de la Cruz en el 2018.

El cambio en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados de un año a otro puede explicarse por las diferencias en la temporalidad, ya que en 2019 hubo mayores precipitaciones y, por lo tanto, un aumento en la velocidad del caudal. Esto mantuvo una alta heterogeneidad en el paisaje y una gran diversidad de sustratos, lo que permitió el establecimiento de especies filtradoras (Dodds, 2002). Los ephemeropteros tienen una reproducción constante durante todo el año, con una o más generaciones. Según Dominguez et al., (2001), su

mayor abundancia se presenta en la temporada de invierno, lo que podría explicar su alta presencia en este estudio, ya que las dos temporadas muestreadas registraron una alta precipitación (IDEAM, 2018, 2019). El taxón más abundante de la familia fue *Leptohyphes* sp.1, seguido de *Tricorythodes* sp.1, que solo se encontró en esta Quebrada.



Figura 6. Especies más representativas de las familias del orden Coleoptera A) *Anchyrtarsus* sp.1 (Ptilodactylidae); B) *Scirtes* sp.1 (Scirtidae); C) *Neoelmis* sp.1 (Elmidae) (L); D) *Psephenops* sp.1 (Psephenidae); E)

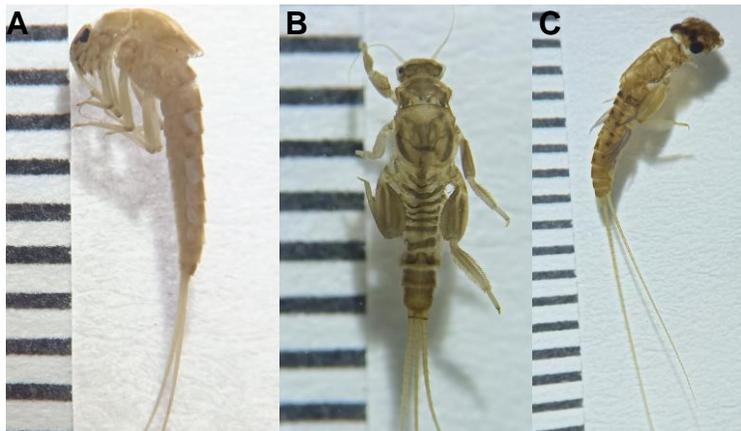


Figura 7. Taxones más representativos de las familias del orden Ephemeroptera A) *Prebaetodes* sp1; B) *Leptohyphes* sp1; C) *Hagenulopsis* sp2.



Figura 8. Taxones más representativos de las familias del orden Trichoptera A) *Atopsyche* sp1; B) *Contulma* sp1; C) *Hydroptila* sp2; D) *Leptonema* sp1; E) *Smicridea* sp1; F) Protoptilinae sp1; G) *Phylloicus* sp1

Tabla 2. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada Carrizal

Familias	2018	2019
Leptohyphidae	▼ 87	▲ 158
Elmidae adulto	▼ 43	▲ 49
Baetidae	▼ 39	▲ 62
Hydropsychidae	▼ 30	▲ 60
Chironomidae	▼ 28	▲ 38
Leptophlebiidae	▼ 20	▲ 22
Perlidae	▲ 20	▼ 18
Scirtidae	▼ 16	▲ 19
Ptilodactilidae	▲ 12	▼ 3
Hydroptilidae	▼ 11	▲ 21
Tipulidae	▲ 11	▼ 8
Hydrobiosidae	▼ 10	▲ 18
Elmidae larva	▼ 9	▲ 35
Psephenidae	▼ 8	▲ 56
Ceratopogonidae	▲ 6	▼ 0
Glossosomatidae	▼ 5	▲ 123
Simuliidae	▼ 5	▲ 6
Limoniidae	▲ 4	▼ 0
Anomalopsychidae	▼ 2	▲ 10
Calamoceratidae	▲ 1	▼ 0
Helicopsychidae	▼ 0	▲ 2
Hydraenidae.	▼ 0	▲ 1
Leptoceridae	▼ 0	▲ 5
Total	▼ 367	▲ 714

### 8.3.2 Rio La Palma

El rio La Palma represento un total de 21,56% (503) del total de individuos recolectados en los dos eventos de muestreo (403 indiv en 2018; 100 indiv en 2019), (Tabla 3). La familia Baetidae fue la más abundante durante los dos periodos representando el (79,12%) seguido de Chironomidae (10,13%) y en menor proporción Ceratopogonidae, Leptophlebiidae, Psycodidae y Scirtidae con 0,19% para cada una. Baetidae es una familia de insectos acuáticos muy diversa

y abundante, que se caracteriza por ser muy selectiva en cuanto a los sustratos que coloniza y sensible a los procesos de degradación ambiental, tanto naturales como causados por el ser humano (Forero et al., 2016), tienen preferencia por la grava debido a que es un sustrato duro y limpio que les proporciona un hábitat ideal. Este tipo de sustrato es común en los ríos y arroyos, y se asocia con una buena corriente de agua que les proporciona oxígeno y alimento.

En el año 2019 se observó una disminución significativa en la abundancia de esta familia (71%) en comparación con el año anterior. Este fenómeno podría estar relacionado con el evento de impacto ambiental ocurrido 16 días antes del muestreo (Figura 3B), que provocó un aumento repentino en la velocidad del caudal y, por lo tanto, un lavado de los diferentes microhábitats donde estos insectos habitaban, lo que llevó a la disminución de especies que no contaban con las adaptaciones morfológicas necesarias para resistir este tipo de impactos, a diferencia de *Prebaetodes* sp.1 que presentó una alta abundancia relativa (86%) en comparación con otros taxones de Baetidae encontrados. Esto puede estar relacionado con su preferencia por corrientes rápidas y su capacidad para soportar la presión hidráulica gracias a sus adaptaciones morfológicas, como la presencia de uñas con numerosos dentículos (Buss & Salles, 2007).

Tabla 3. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 del río La Palma

Familias	2018	2019
Baetidae	▲ 314	▼ 92
Chironomidae	▲ 48	▼ 3
Simuliidae	▲ 13	▼ 2
Musidae	▲ 9	▼ 2
Hydrobiosidae	▲ 7	▼ 0
Tipulidae	▲ 4	▼ 0
Blephariceridae	▲ 2	▼ 0
Elmidae larva	▲ 2	▼ 0
Ceratopogonidae	▲ 1	▼ 0
Leptophlebiidae	▲ 1	▼ 0
Psycodidae	▲ 1	▼ 0
Scirtidae	▲ 1	▼ 0
Leptoceridae	▼ 0	▲ 1
Total	▲ 403	▼ 100

### 8.3.3 Quebrada La Florida

En esta Quebrada fueron recolectados 478 individuos durante los dos periodos (20,49%) (Tabla 4), siendo la familia Psephenidae (24,05%; Figura 6D) la que presentó mayor abundancia en los dos años, las familias menos predominantes fueron Philopotamidae, Crambidae y Blephariceridae. Se registraron seis nuevas familias para el año 2019 (Crambidae, Odontoceridae, Hydroptilidae, Leptoceridae Anomalopsychidae y Ceratopogonidae), mientras que las familias Blephariceridae y Philopotamidae solo se registraron en el 2018.

En algunos estudios la familia Psephenidae no es abundante, por lo tanto su presencia podría estar relacionada con un buen estado de conservación del ecosistema (Mosquera & Sánchez, 2018; Roldán, 2020). Además, la quebrada se caracterizó por una alta presencia de algas en diferentes sustratos, lo cual pudo aumentar la presencia larvas de Psephenidae ya que estas prefieren principalmente diatomeas y algas filamentosas (Brown, 1987).

En el año 2019 se observó un aumento en la presencia de familias depredadoras colectoras y trituradoras, como los Perlidae, Simuliidae y

Scirtidae. Este incremento podría deberse al aumento en la materia orgánica presente en el ecosistema acuático, posiblemente causado por el arrastre de material proveniente de la parte alta del cuerpo de agua debido al aumento de las lluvias en el mes de agosto.

Tabla 4. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada La Florida

Familias	2018	2019
Psephenid	 43	 72
Tipulidae	 41	 9
Leptophleb	 27	 16
Hydropsych	 21	 3
Elmidae ad	 15	 13
Baetidae	 10	 23
Ptilodactilid	 8	 7
Scirtidae	 6	 38
Perlidae	 5	 12
Chironomid	 4	 14
Elmidae la	 4	 17
Glossosom	 2	 10
Blepharice	 1	 0
Leptohiphi	 1	 4
Philopotam	 1	 0
Simuliidae	 1	 28
Anomalops	 0	 9
Ceratopog	 0	 3
Crambidae	 0	 1
Hydroptilid	 0	 2
Leptocerid	 0	 5
Odontoceri	 0	 2
Total	 190	 288

### 8.3.4 Quebrada las Juntas

Durante los dos años, se recolectaron un total de 270 individuos (11,57%) en esta Quebrada (Tabla 5). A pesar de las diferencias en la proporción de sustratos, la composición de la Quebrada fue similar a la del río La Palma. Dado que ambas quebradas se encuentran en la misma localidad, es posible que se produzca un intercambio de especies, lo que aumentaría la similitud en la composición de la comunidad de macroinvertebrados.

En cuanto a las familias dominantes en esta quebrada, se encontró que Baetidae representó el 51,48%, mientras que Chironomidae representó el 19,63% (Figura 9C). Las familias menos abundantes fueron Empididae, Glossosomatidae y Ptilodactylidae, con una proporción del 0,37% cada una.

La quebrada Las Juntas experimentó un cambio significativo en la composición de las especies presentes en el ecosistema acuático a lo largo de los dos años analizados. En el año 2019, se produjo un impacto ambiental en la Quebrada Las Juntas que afectó en gran medida el ecosistema acuático de la zona. Es posible que esto se debiera a la alta heterogeneidad del ecosistema y la riqueza de la vegetación ribereña, tal y como señalan Vásquez & Reinoso (2012). Como resultado, la mayoría de los sustratos presentes en la quebrada fueron arrastrados por la corriente, lo que causó una disminución significativa en su abundancia.

En concreto, la abundancia de los organismos presentes en la quebrada se redujo en un 95% en comparación con el año anterior (2018) donde predominaron los dípteros, siendo la familia Chironomidae la más representativa, con un 42,85% de la abundancia. Por su parte, la familia Baetidae representó solo el 14,28% de la abundancia en contraste, con el muestreo realizado en el año 2018 donde la familia Baetidae fue la más abundante 53,45% siendo la especie *Guajirolus\* sp.1* con un 20,31%, seguida de *Prebaetodes sp.1* con un 19,53% las más predominantes.

Tabla 5. Abundancias de familias de macroinvertebrados acuáticos en los periodos 2018-2019 de la quebrada Las Juntas

Familias	2018	2019
Baetidae	▲ 137	▼ 2
Chironomidae	▲ 47	▼ 6
Hydrobiosidae	▲ 18	▼ 0
Simuliidae	▲ 11	▼ 3
Elmidae lar	▲ 8	▼ 1
Elmidae ad	▲ 7	▼ 0
Blephariceridae	▲ 5	▼ 1
Tipulidae	▲ 5	▼ 0
Ceratopogonidae	▲ 4	▼ 0
Musidae	▲ 4	▼ 0
Helicopsycidae	▲ 3	▼ 0
Scirtidae	▲ 3	▼ 0
Empididae	▲ 1	▼ 0
Glossosomatidae	▲ 1	▼ 0
Hydropsychidae	▲ 1	▲ 1
Ptilodactylidae	▲ 1	▼ 0
Total	▲ 256	▼ 14

La abundancia de los quironomidos probablemente fue causada por su grado de tolerancia a la contaminación generada por el incremento de materia orgánica e inorgánica observado en la quebrada producto de la inundación (Roldán, 2003; Forero et al., 2013; Rivera et al., 2013; Forero et al., 2014). Además, los taxones *Prebaetodes* sp.1 y *Guajurolus* sp.1, a pesar de estar adaptados morfológicamente para resistir la presión hidráulica (Buss & Salles, 2007), se redujeron en un 99%. Es posible que hayan sido arrastrados y desplazados aguas abajo, lo que puede explicar la disminución significativa de su población en el área específica de muestreo.



Figura 9. Taxones más representativos de las familias del orden Diptera  
 A) Blephariceridae sp1; B) Ceratopogonidae sp2; C) Chironominae sp1; D)  
 Limnophora sp1; E) Empididae sp1; F) Limoniidae sp1; G) *Simulium* sp1 H)  
 Tipulidae sp1

#### 8.4 Riqueza, abundancia y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos respecto a los sustratos

Los resultados de este estudio indican que la mayor parte de los organismos encontrados en las fuentes hídricas muestreadas son típicos de sistemas loticos con poca intervención antrópica, tal y como se ha descrito en estudios previos (Castellanos & Serrato, 2008).

#### 8.4.1 Composición MAE por sustrato en la Q. Carrizal

En el estudio se evaluó la abundancia de macroinvertebrados en diferentes tipos de sustratos, y se encontró que el sustrato canto tuvo la mayor cantidad de organismos, con un total de 666 individuos (288 ind en 2018; 378 ind en 2019), mientras que la hojarasca presentó la menor abundancia, con solo 18 individuos (17 ind en 2018; 1 ind en 2019).

En el sustrato canto, el taxón dominante en 2018 fue *Leptohyphes* sp1 (78 ind en 2018; 48 ind en 2019), seguido de *Hagenulopsis* (19 ind en 2018; 13 ind en 2019). En 2019, la abundancia aumentó un 31% en comparación con 2018, siendo *Tricorythodes* sp1 el taxón más abundante, con 49 individuos, que solo se registró en este periodo. Además, este taxón fue un registro único en esta quebrada en comparación con las otras tres fuentes de agua. El segundo taxón más abundante fue *Leptohyphes* sp1. Ambos taxones dominantes en los dos periodos pertenecen a la familia Leptohyphidae (Figura 10A).

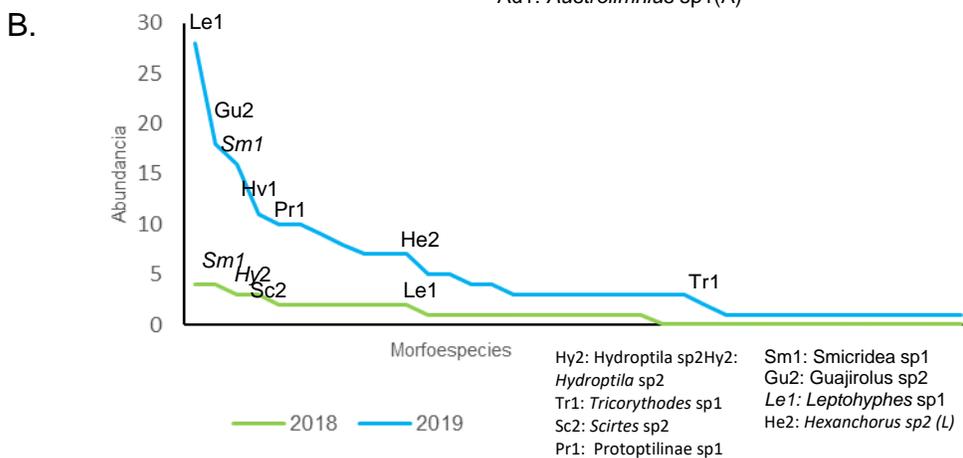
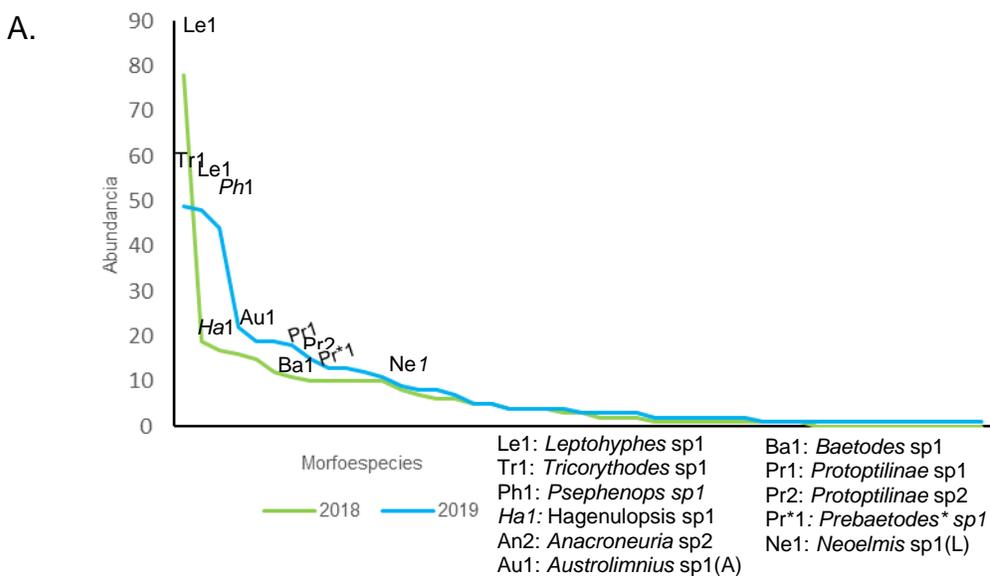
En el sustrato bloque, los taxones más abundantes en 2018 fueron *Smicridea* sp1 y *Hydroptila* sp2, con cuatro individuos cada uno. En 2019, la abundancia aumentó en un 387% en comparación con 2018. El taxón más abundante fue *Leptohyphes* (2 ind en 2018; 28 ind en 2019), seguido de *Guajirolus* sp1, con 18 individuos registrados solo en este periodo (Figura 10B).

En la grava, en 2018, el taxón más abundante fue *Tricorythodes* sp1 (5 ind en 2018; 22 ind en 2019), seguido de *Limoniidae* sp1, con cuatro individuos, que solo se presentó en este sustrato y es un registro único en comparación con las otras tres fuentes de agua. En 2019, hubo un incremento del 530% en la abundancia de individuos en comparación con el año anterior, siendo la familia *Glossosomatidae* la más representativa, con el 49.65% de la abundancia total para ese periodo, con los taxones *Protoptilinae* sp1 y sp2 (Figura 10C).

En cuanto a la hojarasca, se observó una presencia bastante baja, tan solo 18 individuos (17 en 2018; 1 en 2019). En 2018, la familia *Scirtidae*, con los taxones *Scirtes* sp1 y sp2, fueron los más abundantes, con un 64.7% de la

abundancia total. Para 2019, solo se colectó un individuo de *Neoelmis* sp1 (Figura 10D).

En general, estos resultados sugieren que los macroinvertebrados pueden presentar patrones de distribución y abundancia diferenciados según el tipo de sustrato, lo que puede estar relacionado con las características físicas y químicas de cada uno de ellos.



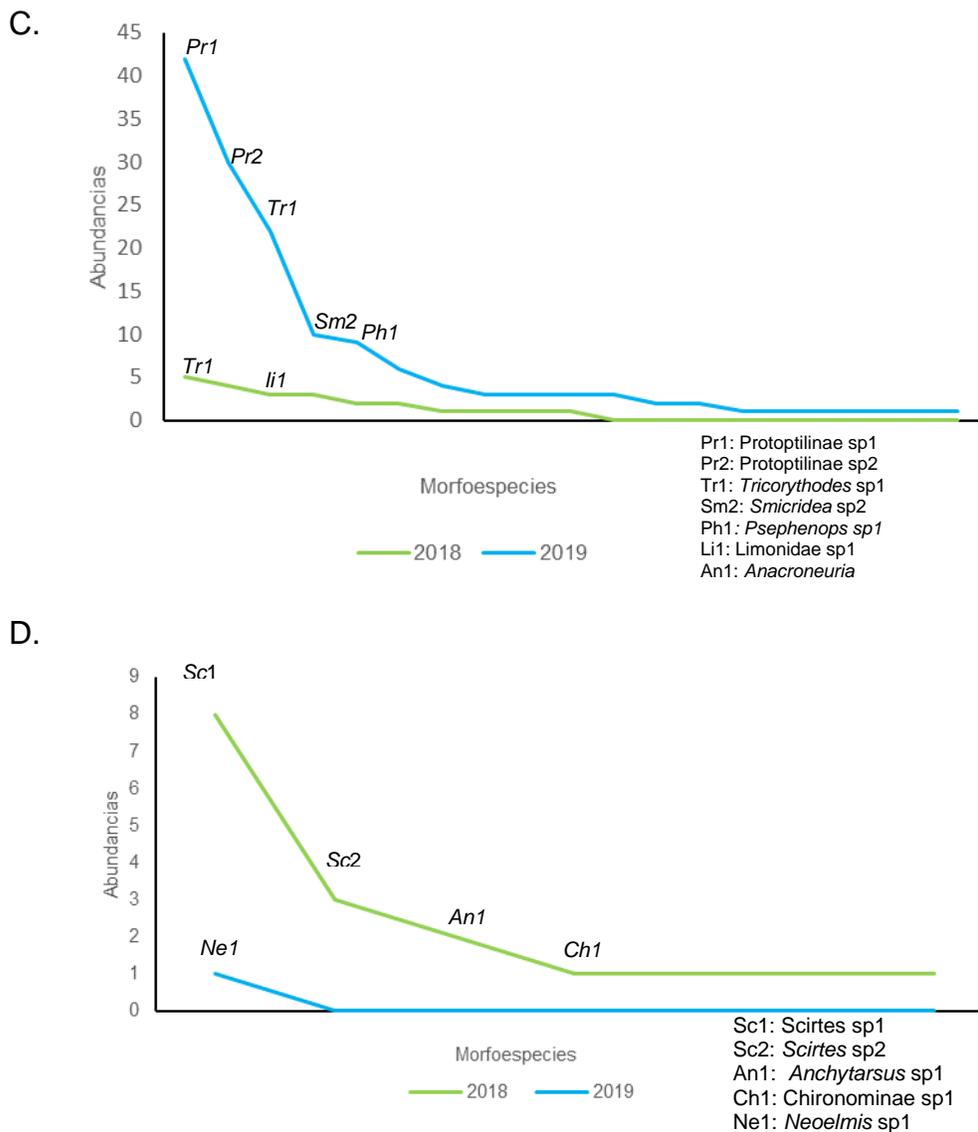


Figura 10. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Carrizal durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava; D) Hojarasca

#### 8.4.2 Composición MAE por sustrato en la Q. Florida

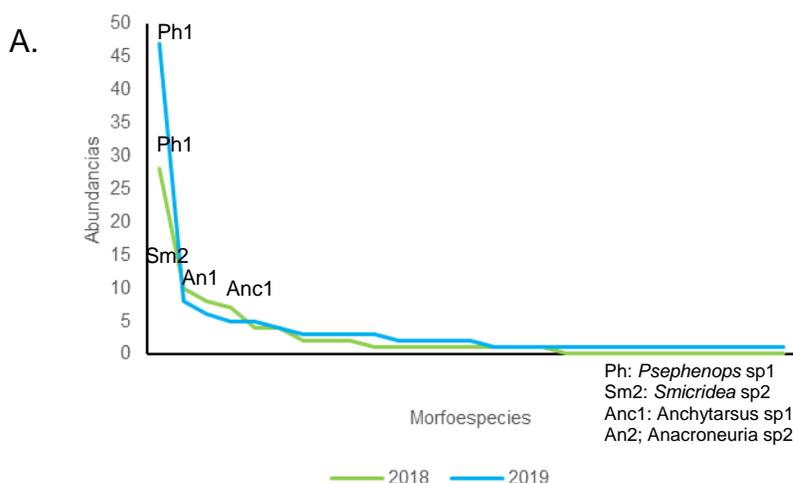
En la quebrada La Florida, al igual que en la quebrada Carrizal, el sustrato canto presentó la mayor abundancia de organismos, con un total de 183 individuos registrados (75 individuos en 2018 y 108 en 2019), mientras que la hojarasca presentó la menor cantidad de individuos (9 en 2018 y 63 en 2019).

En el sustrato canto, el taxón dominante en 2018 fue *Psephenops* sp1 (28 individuos), seguido de *Smicridea* sp2 con 10 individuos. En 2019, la abundancia aumentó en un 44% en comparación con 2018, siendo *Psephenops* sp1 el taxón más abundante con un aumento del 68% en su abundancia respecto al año anterior. El segundo taxón más abundante fue *Anacroneuria* sp2 (2 individuos en 2018 y 8 en 2019) (Figura 11A).

En el sustrato bloque, el taxón más abundante en 2018 fue *Psephenops* sp1 (4 individuos), seguido de *Protoptilinae* sp1 con 2 individuos. En 2019, la abundancia aumentó en un 388% en comparación con el año anterior. El taxón más abundante fue *Psephenops* sp1, que aumentó en un 255% respecto al año anterior, seguido de *Contulma* sp2 con 5 individuos registrados solo en este periodo (Figura 11B).

En la grava, en 2018 el taxón más abundante fue *Tipulidae* sp1 (35 individuos), seguido de *Hagenulopsis* sp2 con 19 individuos. En 2019, hubo una disminución del 57% en la abundancia de individuos en comparación con el año anterior, siendo *Hagenulopsis* sp2 ausente en este año y *Tipulidae* sp1 con una reducción del 86% respecto al año anterior (Figura 11C).

En cuanto a la hojarasca, en 2018 fue dominada por *Scirtes* sp1 (3 individuos), mientras que en 2019 la abundancia aumentó en un 600% respecto al año anterior. El taxón más abundante fue *Scirtes* sp1, que incrementó su abundancia en un 800%, seguido de *Simulium* con 18 individuos, que había estado ausente en el año anterior (Figura 11D).



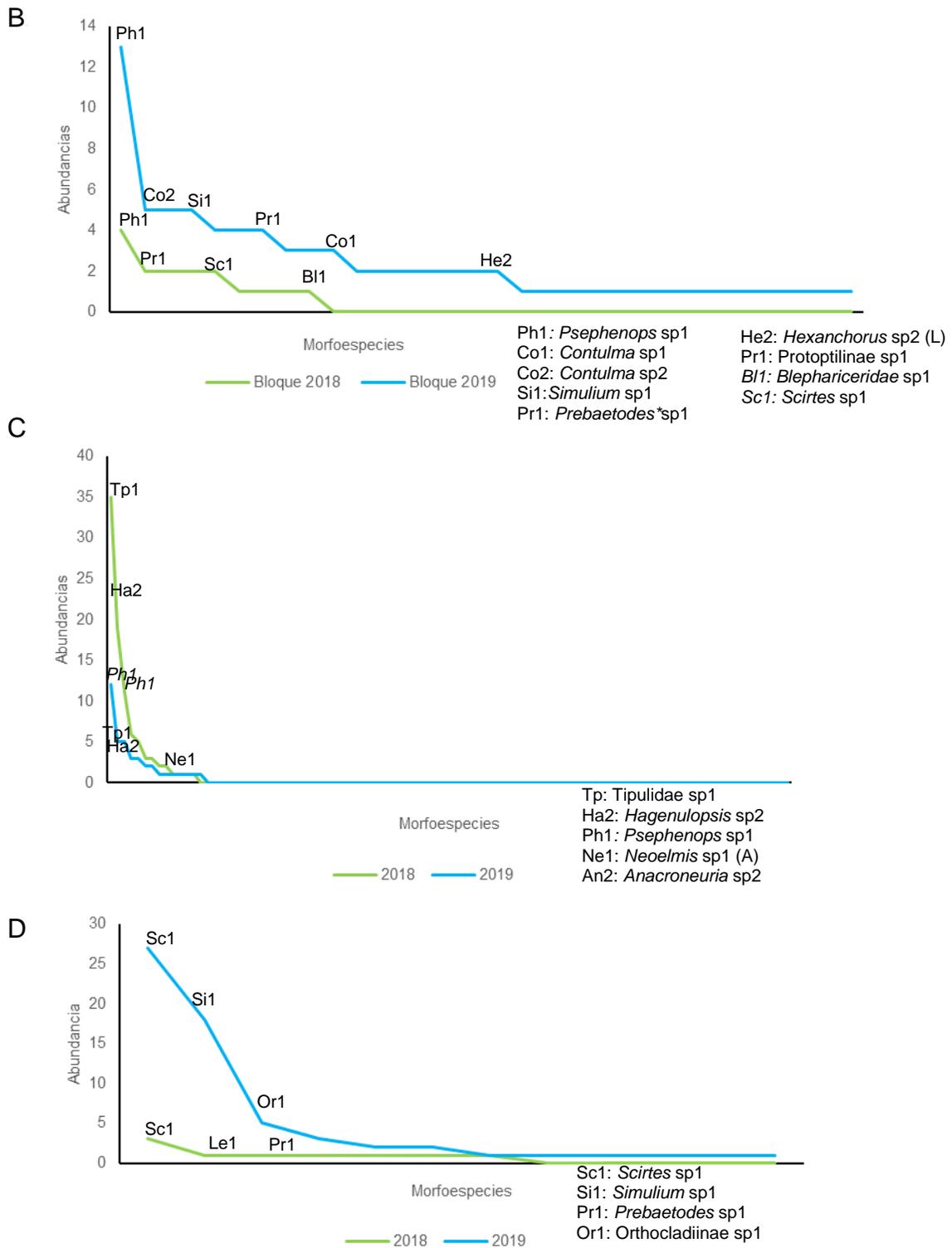


Figura 11. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Florida durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava; D) Hojarasca

Durante los muestreos realizados en cuatro tipos de sustratos, se observó que el sustrato bloque presentó la mayor cantidad de organismos, con un total de 94 individuos (87 ind en 2018 y 7 ind en 2019). Por otro lado, se registró la menor abundancia en la grava, con un total de 86 individuos (83 ind en 2018 y 3 ind en 2019).

En el caso del sustrato bloque, en 2018 la especie más abundante fue Chironominae sp1 con 26 individuos, seguida de *Guajirolo* sp1 con 20 individuos. Sin embargo, en 2019 la abundancia disminuyó en un 92% en comparación con el año anterior y no se identificó una especie dominante ese año (Figura 12B).

En cuanto al canto, en 2018 la especie más abundante fue *Guajirolo* sp1 con 27 individuos, seguida de Baetidae sp1 con 18 individuos. Sin embargo, en 2019 se observó una disminución del 95% en la abundancia en el sustrato bloque, y los únicos cuatro individuos recolectados pertenecían al orden de los dípteros (Figura 12A).

En el sustrato grava en el año 2018 la especie más abundante fue Prebaetodes sp1 con 50 individuos, seguida de *Atopsyche* sp3 con siete individuos. En 2019, se registró una disminución del 96% en la abundancia, y solo se recolectaron 14 individuos y el 71%, estaba representado por dípteros los cuales tiene una mayor resistencia a los impactos naturales en comparación con otros grupos de macroinvertebrados acuáticos (Rosenberg & Resh, 1993) (Figura 12C).

En la hojarasca, solo se recolectaron dos individuos de *Atopsyche* sp3 en el año 2018, Los organismos de este género son sensibles a las alteraciones físicas y químicas que ocurren en los cuerpos de agua donde viven y se pueden observar con frecuencia en áreas donde hay piedras expuestas a corrientes rápidas y en la vegetación cercana a los ríos y arroyos como lo reporto Posada-García & Roldán-Pérez (2003)

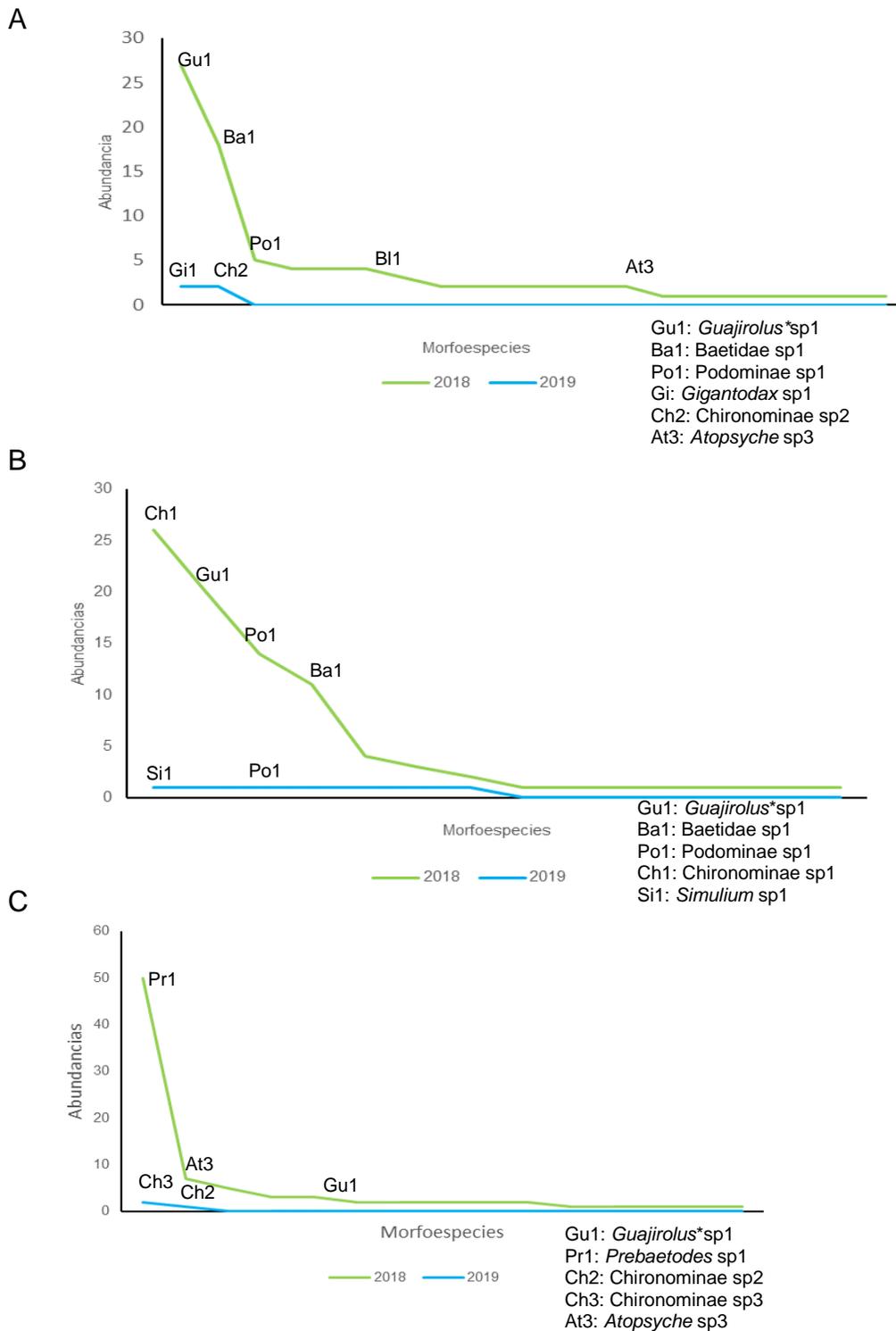


Figura 12. Curva abundancia de MAE según los sustratos de la Q. Las Juntas durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava

#### 8.4.4 Composición MAE por sustrato en el río La Palma

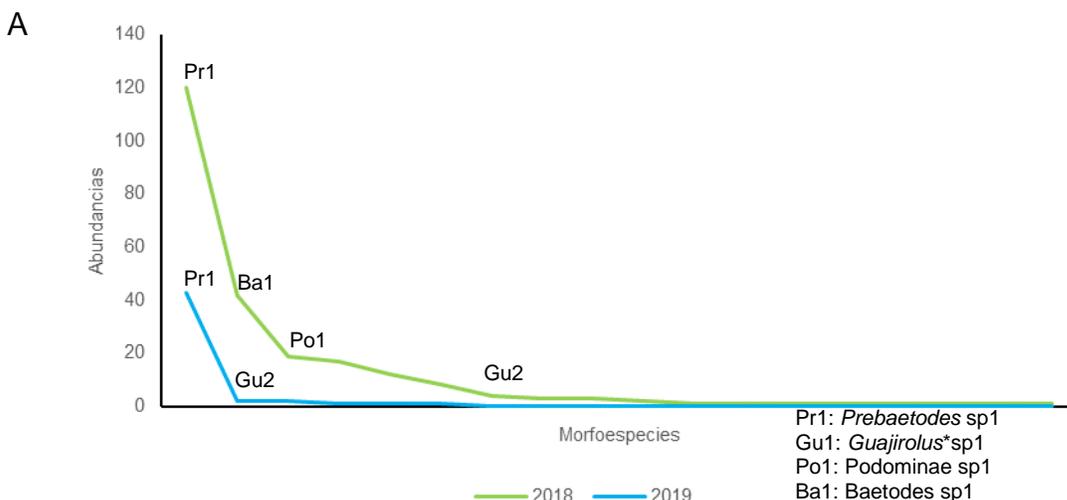
En el río La Palma, se encontró que el sustrato canto tuvo la mayor abundancia, con un total de 288 individuos (120 ind en 2018; 43 ind en 2019), mientras que el bloque presentó la menor abundancia, con 76 individuos (54 ind en 2018; 22 ind en 2019).

En el sustrato canto, en 2018 el taxón más abundante fue *Prebaetodes* sp1 (120 ind en 2018; 43 ind en 2019), seguido de *Baetodes* sp1 con 42 individuos. En 2019, la abundancia del canto disminuyó en un 79% en comparación con 2018, y *Prebaetodes* sp1 fue la especie dominante con un 86% (Figura 13A).

En la grava, *Prebaetodes* sp1 (84 ind en 2018; 26 ind en 2019) fue el más abundante en 2018, seguido de *Limnophora* sp1 con 8 individuos. En el año 2019, la abundancia disminuyó en un 75%, y *Prebaetodes* sp1 fue la especie dominante con el 93% de la abundancia (Figura 13C).

En el bloque, durante el año 2018, se registró que *Prebaetodes* sp1 (20 ind en 2018; 17 ind en 2019) fue la especie más abundante, seguida de *Baetodes* sp1 con 15 individuos. En el año 2019, la abundancia disminuyó en un 59%, y *Prebaetodes* sp1 representó el 77% de la abundancia (Figura 13B).

Después de la revisión, no se encontraron individuos en la hojarasca.



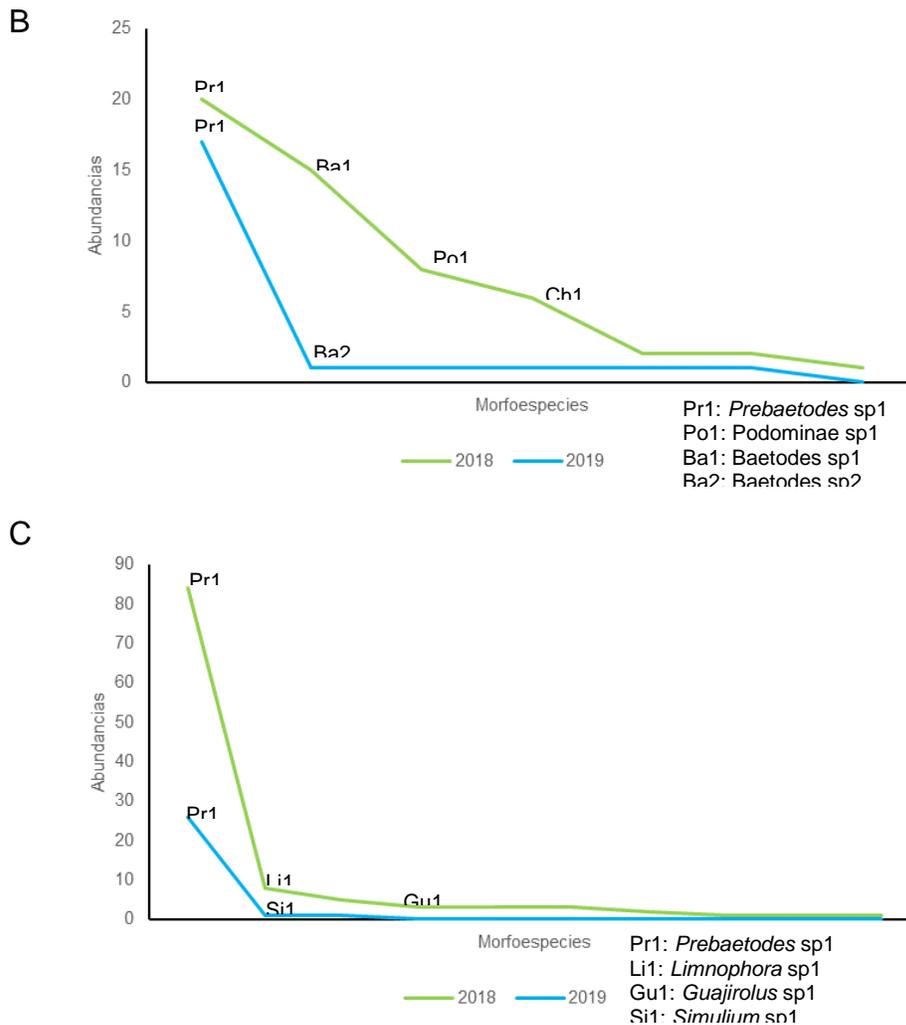


Figura 13. Curva abundancia de MAE según los sustratos del río La Palma durante los dos periodos A) Canto; B) Bloque; C) Grava

La mayoría de taxones colectados en los sustratos bloque, canto y grava han sido reportadas con adaptaciones morfológicas para aguantar la presión hidráulica como *Prebaetodes*\* sp1, *Leptohyphes* sp.1 (Buss & Salles, 2007). Las larvas de *Psephenops* sp1 prefieren los sustratos inorgánicos, por esta razón solo fueron encontradas en el canto, grava y bloque (Brown, 1987).

Los Trichopteros tienen preferencia por sustratos específicos según la especie, la gran mayoría se fijan fuertemente al sustrato y prefieren corrientes de agua oxigenada, tales como cascadas y cataratas (White & Roughley, 2008).

Según Springer (2010), algunos taxones tienen hábitats específicos dependiendo de la oferta de material o su grupo funcional, por ejemplo, *Phylloicus* sp.1 (Figura 8G) (fragmentador) solo se encontró en la hojarasca, tal como lo reportó Duarte & Reinoso (2020), algo similar ocurrió con *Scirtes* sp1 y *Simulium* sp1, que prefirieron la hojarasca donde presentaron su mayor profusión, posiblemente debido a su grupo trófico, debido a que ambos son recolectores (Chará et al., 2012; Villada-Bedoya et al., 2017).

## **8.5 Índices de diversidad y dominancia**

### **8.5.1 Quebradas**

El índice de diversidad de Shannon fue más alto para la quebrada carrizal durante los dos años de muestreo (2.26 en 2018; 2.27 en 2019) seguido de la quebrada la Florida (2.55 en 2018; 3.11 en 2019) lo que indica que la diversidad de estos ecosistemas es mayor en comparación con las otras fuentes de agua del municipio de La Cruz. Leiva (2004) menciona que los valores altos de diversidad están relacionados directamente con un equilibrio adecuado entre las comunidades y el hábitat, lo que sugiere un alto grado de conservación de las quebradas durante la recolección de datos, por otro lado el R. La Palma presentó los valores más bajos de diversidad durante ambos periodos (1.68 en 2018; 0.73 en 2019) posiblemente debido a diversos factores como la escasa cobertura vegetal en la ribera y/o una morfología homogénea con baja diversidad de microhábitats, que son determinantes para la presencia de muchos grupos de macroinvertebrados.

Según la diversidad de Margalef, las quebradas ubicadas en El Tablón de Gómez presentaron los valores más altos de diversidad; la Florida en el año 2019 presentó un valor mayor (5.14 en 2018; 9.18 en 2019) seguido de la Q. Carrizal (8.29 en 2018; 8.21 en 2019) por otro lado el Río la palma presentó los valores más bajos de diversidad (3.33 en 2018; 2.38 en 2019).

El índice de diversidad de Simpson (D), que evalúa tanto la dominancia como la riqueza de especies, mostró valores más altos en la quebrada Q.

Carrizal (0.92 en 2018; 0.94 en 2019), seguida de la quebrada Q. La Florida (0.87 en 2018; 0.90 en 2019) y la quebrada Q. Las Juntas (0.88 en 2018; 0.87 en 2019). Por otro lado, la quebrada R. La Palma presentó valores más bajos (0.65 en 2018; 0.25 en 2019) en comparación con las otras quebradas.

En las tres quebradas, el valor de dominancia de Simpson fue superior a 0.8, lo cual se considera un indicador positivo de diversidad (Feinsinger, 2004), esto sugiere que no hay una especie dominante en estas quebradas, a diferencia de la quebrada R. La Palma, donde el taxón *Prebaetodes* sp1 fue dominante en ambos períodos (55.9% en 2018; 86% en 2019).

Tabla 6. Valores estimados y calculados de riqueza, diversidad de especies en las cuatro fuentes hídricas muestreadas durante los años 2018 y 2019

	Q. La Florida		Q. Carrizal		Q. Las Juntas		Rio La Palma	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Taxa	28	53	50	55	31	10	21	12
Individuos	190	288	367	714	256	14	403	100
Simpson_1-D	0.877 3	0.906 1	0.9287	0.9429	0.884 7	0.877 6	0.6583	0.258 4
Shannon (H)	2.551	3.112	3.263	3.274	2.611	2.206	1.683	0.732 8
Margalef	5.146	9.182	8.298	8.218	5.41	3.41	3.334	2.389

Al comparar los números de Hill (Figura 14)  $q_0$  de los dos periodos, se observa que la riqueza en la quebrada La Florida en 2018 es alta pero no alcanza la asíntota. Esto se repite en 2019, pero la riqueza se duplica, lo cual concuerda con los resultados de diversidad de Shannon (H) y Margalef. Es posible que esto se deba a un aumento en la abundancia de individuos recolectados y cambios en la temporalidad. En cuanto a la quebrada Carrizal, la riqueza se mantiene estable y alcanza la asíntota en ambos periodos. Sin embargo, a pesar del aumento en la abundancia en el segundo periodo, no se

observa un aumento en la riqueza, y los intervalos de confianza disminuyen, lo que indica un muestreo adecuado y una aproximación a la riqueza real.

En la quebrada Las Juntas, la riqueza es alta en 2018, similar a La Florida. Sin embargo, en 2019 se observa una disminución considerable debido a los efectos del impacto ambiental, lo que indica la necesidad de un muestreo más exhaustivo. En el caso del río La Palma, la riqueza de especies en 2018 es similar a Las Juntas y La Florida, y tiende a la asíntota, lo que indica un muestreo adecuado. En el año siguiente, se observa una riqueza similar a Las Juntas, a pesar de haber tenido más individuos que está quebrada.

Según la diversidad de Shannon ( $q_1$ ), Carrizal y La Florida presentan los valores más altos, lo que indica que son las fuentes de agua más conservadas y diversas. Las Juntas presenta una diversidad similar a La Florida en 2018, pero experimenta una disminución significativa en 2019 debido al impacto mencionado anteriormente. El río La Palma muestra los valores más bajos de diversidad, y a pesar de tener la mayor abundancia en 2018 en comparación con otras fuentes de agua, esto no se refleja en la diversidad. Esto se complementa con el inverso de Simpson ( $q_2$ ), donde La Palma presenta los valores más bajos y se observa la dominancia de la especie *Prebaetodes* sp1 en el muestreo de ese año. En 2019, no se observa diferencia en cuanto a esta fuente de agua puesto que sigue presentando una alta abundancia de la especie mencionada, en las otras fuentes de agua toda para el año 2018 todas las fuentes de agua alcanzan la asíntota en  $q_2$ , un comportamiento similar se observa en el año 2019 a diferencia de la quebrada Las Juntas donde el impacto fue mayor ya que no logra la asíntota (figura 14).

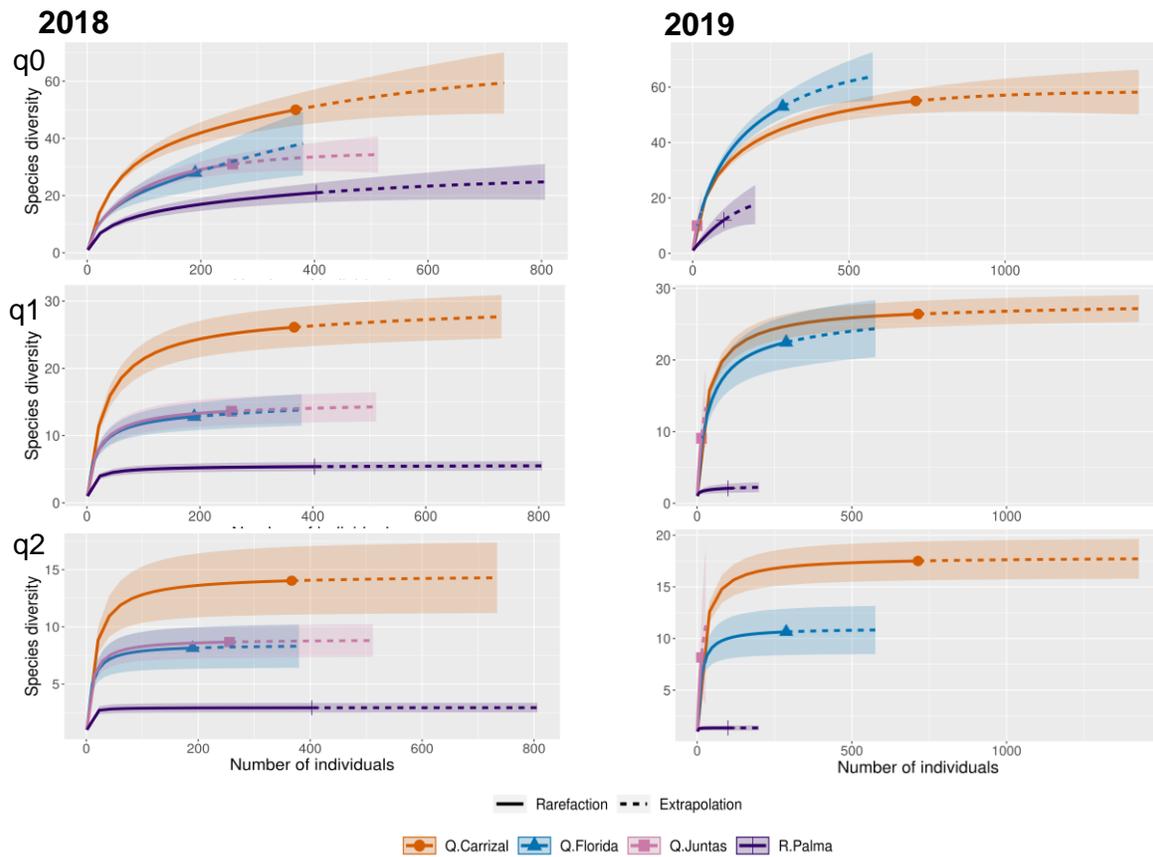


Figura 14. Análisis de números de Hill para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los dos periodos Primer número de Hill ( $q_0$  = riqueza); segundo número de Hill ( $q_1$  = diversidad de Shannon); tercer número de Hill ( $q_2$  = diversidad Gini-Simpson)

### 8.5.2 Sustratos

Según los índices de diversidad los macroinvertebrados en los sustratos canto y bloque, fueron los microhábitats más diversos (Tabla 7), lo que indica una alta diversidad, en contraste con el microhábitat grava y hojarasca, que registraron una diversidad de Shannon-Weaver menor. El muestreo fue efectivo en tres sustratos, sin embargo, en la hojarasca (37,50%) fue deficiente debido a su escasa, lo que resultó en una baja diversidad. La hojarasca exhibió una alta dominancia de Simpson (0,7805), destacando la abundancia de grupos recolectores como *Scirtes* sp.1 y *Simulium* sp.1. El índice de diversidad de

Margalef indicó una elevada riqueza de especies en todos los sustratos con valores superiores a cinco (Tabla 7).

Tabla 7. Estimadores de riqueza para los cuatro sustratos durante los años 2018 y 2019

Variables	Sustratos			
	Canto	Hojarasca	Bloque	Grava
Riqueza	66	24	71	51
Abundancia	1225	92	493	522
Margalef	9.141	5.086	11.29	7.99
Simpson_1-D	0.938	0.780	0.964	0.870
Shannon_H	3.362	2.18	3.676	2.822
Esfuerzo de muestreo Chao 1 (%)	96.167	37.5	71.637	83.950

Al analizar los datos de la quebrada Carrizal en función de los sustratos, se puede observar que en las curvas de rarefacción-extrapolación, la mayoría de los sustratos no alcanzan la estabilización en  $q_0$ , excepto el canto en 2018, que comienza a alcanzar la asíntota. En el año 2019, los sustratos inorgánicos comienzan a estabilizarse en  $q_0$ , a diferencia de la hojarasca, donde solo se recolectó un individuo. En cuanto a  $q_1$ , en 2018 el canto alcanza la asíntota y es el sustrato más diverso en comparación con los demás. El bloque no muestra estabilización a medida que se agregan individuos, lo que sugiere que podría ser necesario realizar más muestreos en este sustrato. Sin embargo, en 2019 el bloque alcanza la asíntota y muestra la mayor diversidad. En  $q_2$  se observa una tendencia similar a  $q_1$  para ambos años (Figura 15).

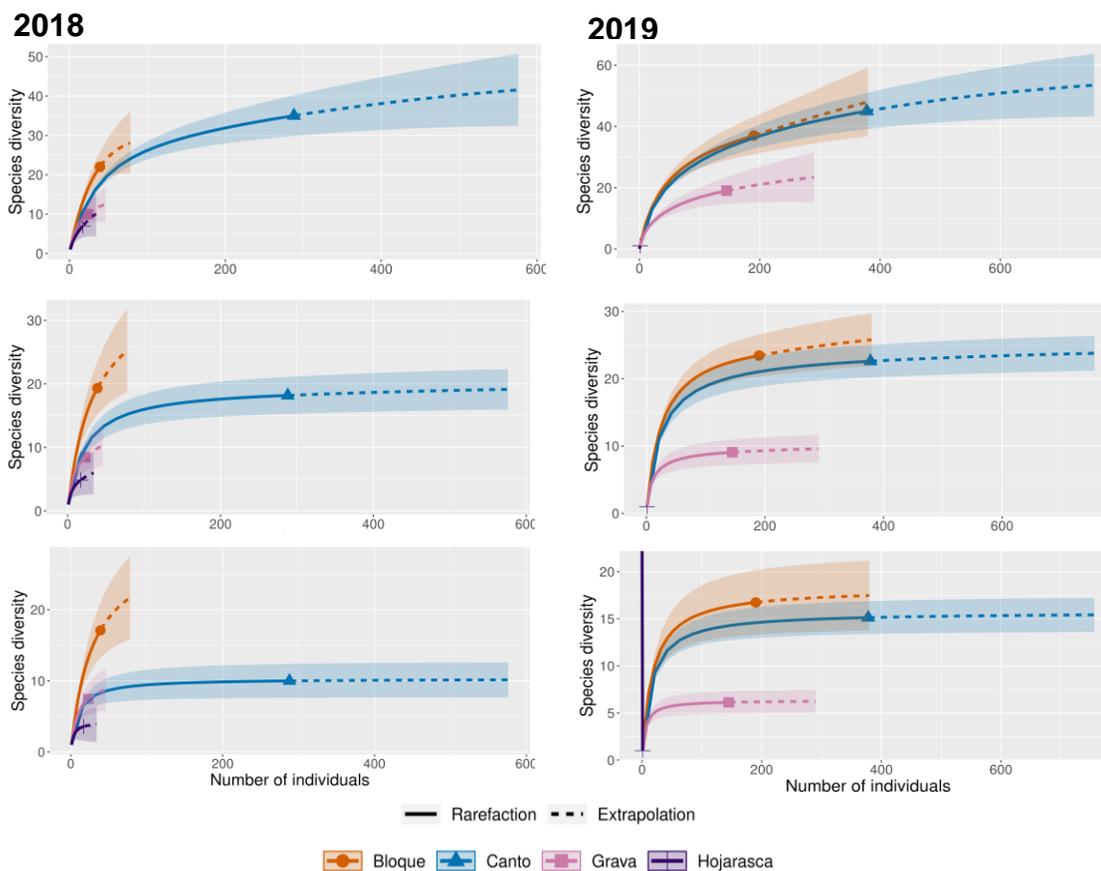


Figura 15. Análisis de números de Hill para la quebrada Carrizal según los sustratos ( $q_0$  = riqueza); ( $q_1$  = diversidad de Shannon); ( $q_2$  = diversidad Gini-Simpson)

En la quebrada La Florida, los sustratos inorgánicos muestran una tendencia hacia la asíntota en  $q_0$  para el año 2018. En el siguiente año, todos los sustratos tienden a alcanzar la asíntota en  $q_1$  y  $q_2$ . En 2018, se observa que el canto y la grava alcanzan la asíntota en  $q_1$  y  $q_2$ , sin presentar diferencias significativas, ya que sus intervalos de confianza se superponen. En 2019, tanto el canto como la hojarasca alcanzan la asíntota en  $q_1$  y  $q_2$ , lo que indica que el número de especies abundantes y dominantes muestreadas fue adecuado. Por otro lado, el bloque y la hojarasca no se estabilizan en 2018, pero sí lo hacen en 2019 (Figura 16).

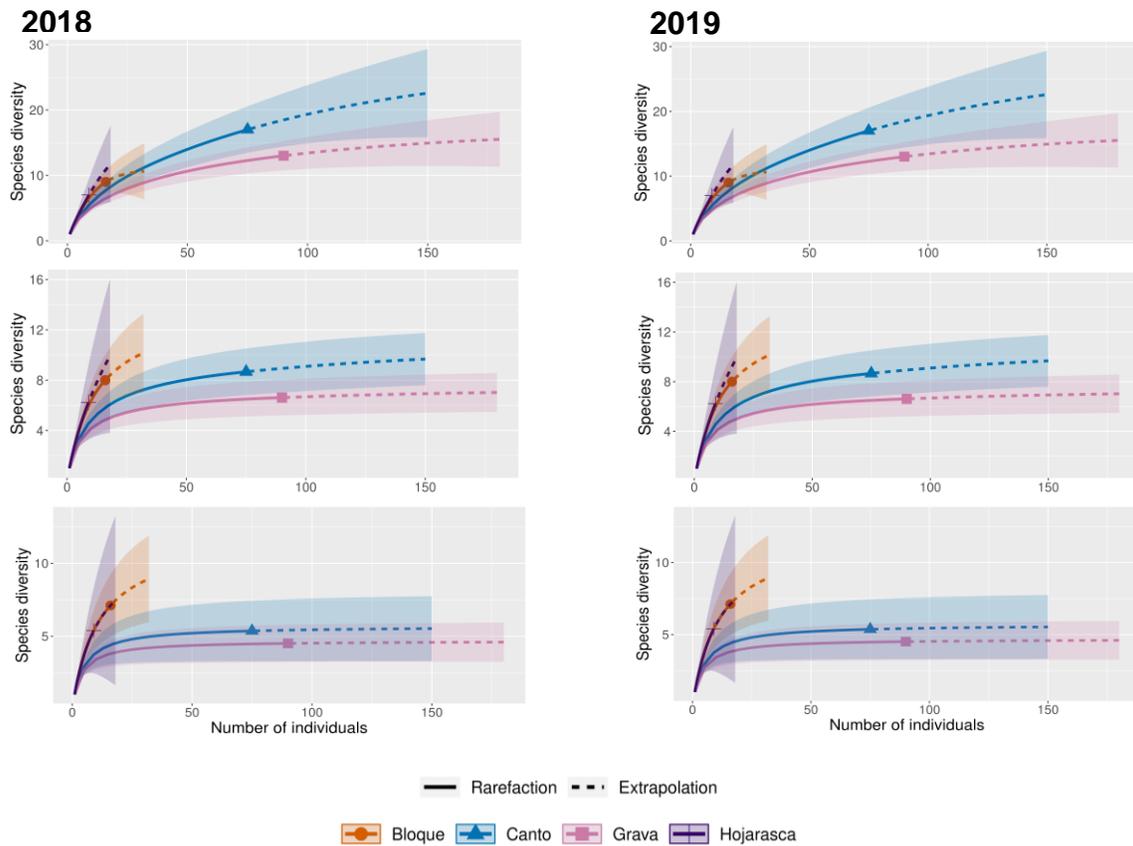


Figura 16. Análisis de números de Hill para la quebrada La Florida según los sustratos ( $q_0$  = riqueza); ( $q_1$  = diversidad de Shannon); ( $q_2$  = diversidad Gini-Simpson)

En la quebrada Las Juntas en el año 2018, los sustratos inertes muestran una tendencia hacia la estabilización en  $q_1$  y  $q_2$ , alcanzando la asíntota, lo cual sugiere un muestreo adecuado. Por otro lado, la grava está influenciada por la dominancia según el índice Gini-Simpson. En el año 2019, se pueden observar posibles efectos del impacto ambiental en los diferentes sustratos. Tanto en la grava como en el canto, la diversidad no es robusta y se ve afectada por la abundancia. En el caso del bloque, la diversidad es alta en todos los números de Hill, pero no se estabiliza al aumentar la abundancia, lo que indica que se requiere un mayor esfuerzo de muestreo (Figura 17).

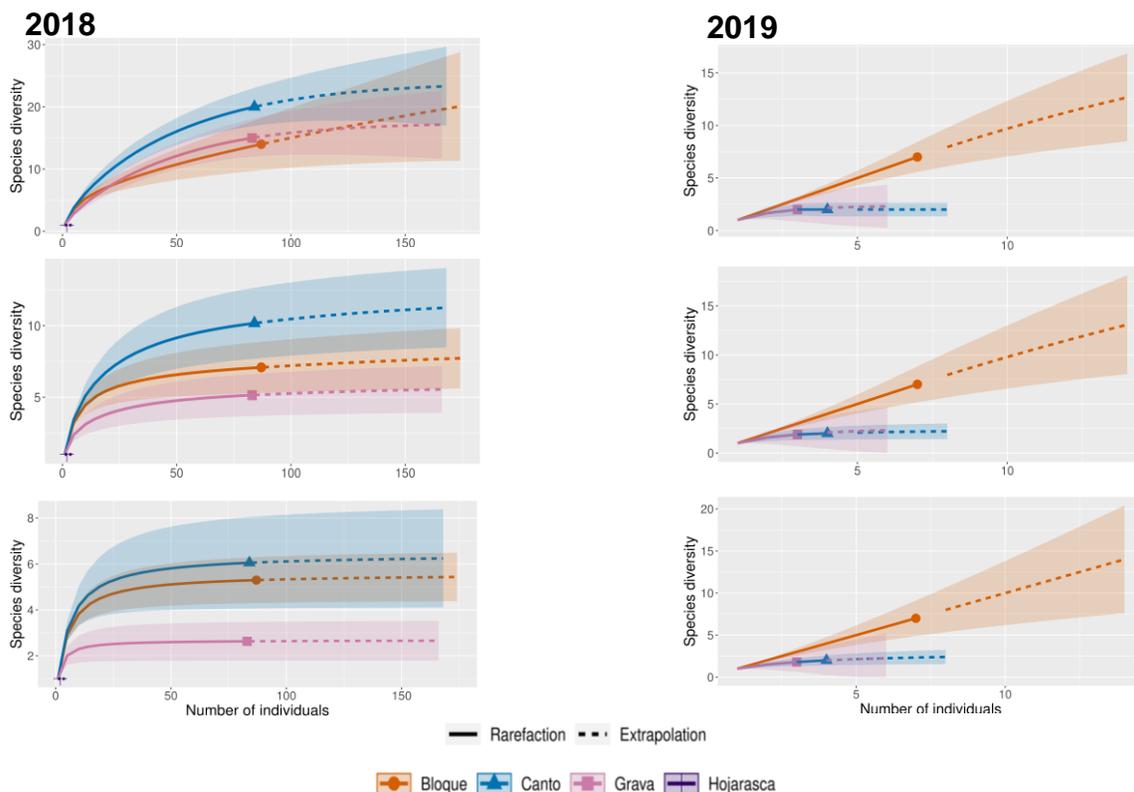


Figura 17. Análisis de números de Hill para la quebrada Las Juntas según los sustratos ( $q_0$  = riqueza); ( $q_1$  = diversidad de Shannon); ( $q_2$  = diversidad Gini-Simpson)

En el río La Palma, se puede observar una concordancia entre los índices de diversidad obtenidos en 2018 y los patrones encontrados. Se encontró que las asíntotas se alcanzan en  $q_1$  para los tres sustratos inertes, sin embargo, la diversidad es baja y poco robusta. Esto se debe a la influencia de la abundancia. Por otro lado, en el sustrato de grava en  $q_2$ , la diversidad está influenciada por la dominancia. En el año 2019, se repite la tendencia del año anterior, con una asíntota alcanzada en  $q_1$  y nuevamente influenciada por la abundancia (Figura 18).

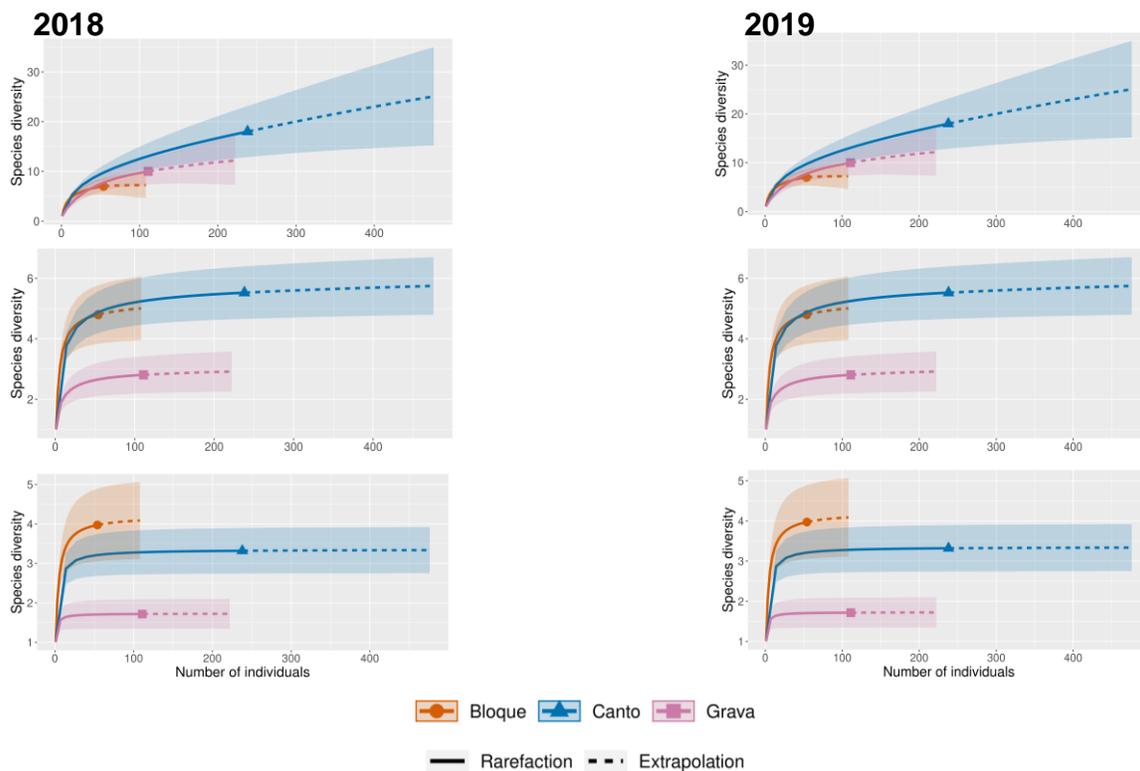


Figura 18. Análisis de números de Hill para el río La Palma según los sustratos ( $q_0$  = riqueza); ( $q_1$  = diversidad de Shannon); ( $q_2$  = diversidad Gini-Simpson)

## 8.6 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis

### 8.6.1 Quebradas

Según el índice de disimilitud de Bray Curtis (Figura 19) la quebrada Las Juntas y el río La Palma tuvieron una similitud del 40% en 2018, pero solo del 8% en 2019. Es posible que la similitud en el primer año se haya debido a la semejanza topográfica y condiciones ambientales, pero un impacto ambiental en ambas fuentes de agua modificó drásticamente su estructura y disminuyó la similitud en un 80% respecto al año anterior. En contraste, la quebrada La Florida y Carrizal que tuvieron un aumento en su similitud del 28% en 2018 al 35% en 2019, lo que podría deberse a condiciones ambientales similares tales como: la temperatura, la humedad, la topografía y el tipo de suelo, que

favorecieron el recambio de especies y aumentaron su similitud de un año a otro (Magurran, 1988).

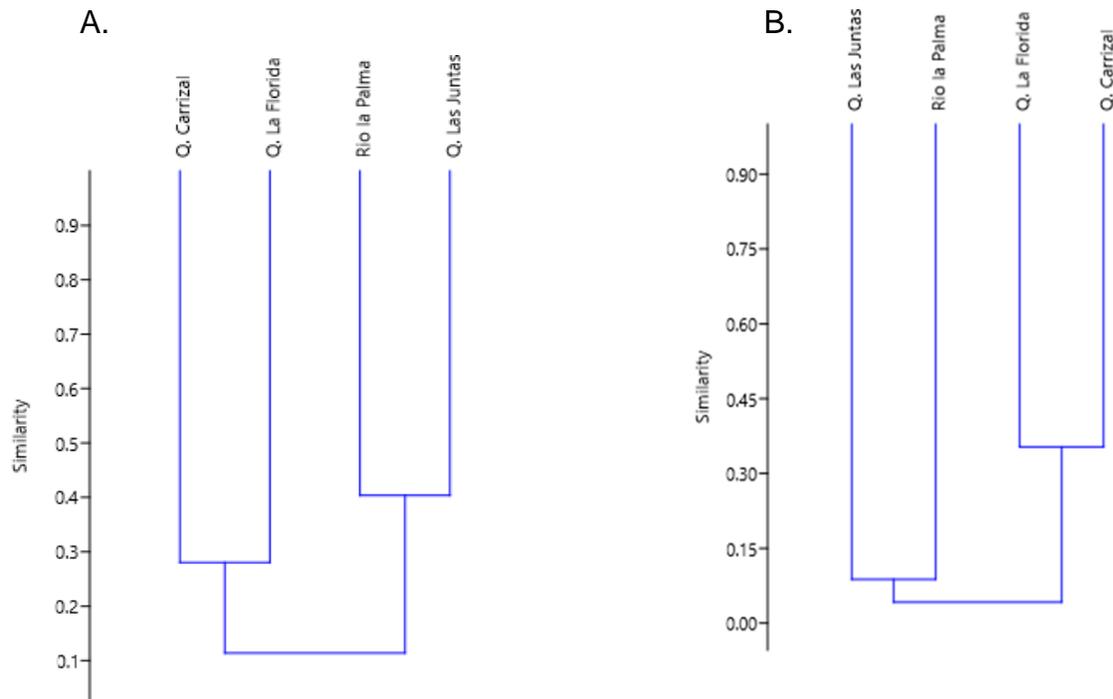


Figura 19. Dendrograma de Bray Curtis entre las cuatro Quebradas en los años A) 2018 y B) 2019

### 8.6.2 Sustratos

En el análisis de similitud de sustratos de diferentes quebradas en 2018, según el índice de Bray Curtis (Figura 20) se encontró que la similitud entre los sustratos fue baja en general. En la quebrada Carrizal, el bloque y la grava mostraron una similitud del 30% y un 13% de similitud con la hojarasca, mientras que tuvieron solo un 10% de similitud con el canto, que presentó mayor diversidad. En la quebrada Florida, el bloque y la hojarasca mostraron la mayor similitud con un 40%, seguidos de la grava y el canto con un 30% de similitud. En la quebrada Las Juntas, el canto y el bloque tuvieron una similitud del 45%, indicando características similares en organismos o condiciones favorables para

su desarrollo. En el río La Palma, el canto y la grava presentaron una alta similitud del 55%, mientras que tuvieron un 30% de similitud con los bloques, los cuales fueron menos comunes en esta fuente de agua. Estos resultados sugieren preferencias de los organismos por sustratos específicos y diferencias en la composición de organismos entre los sustratos estudiados en el río La Palma.

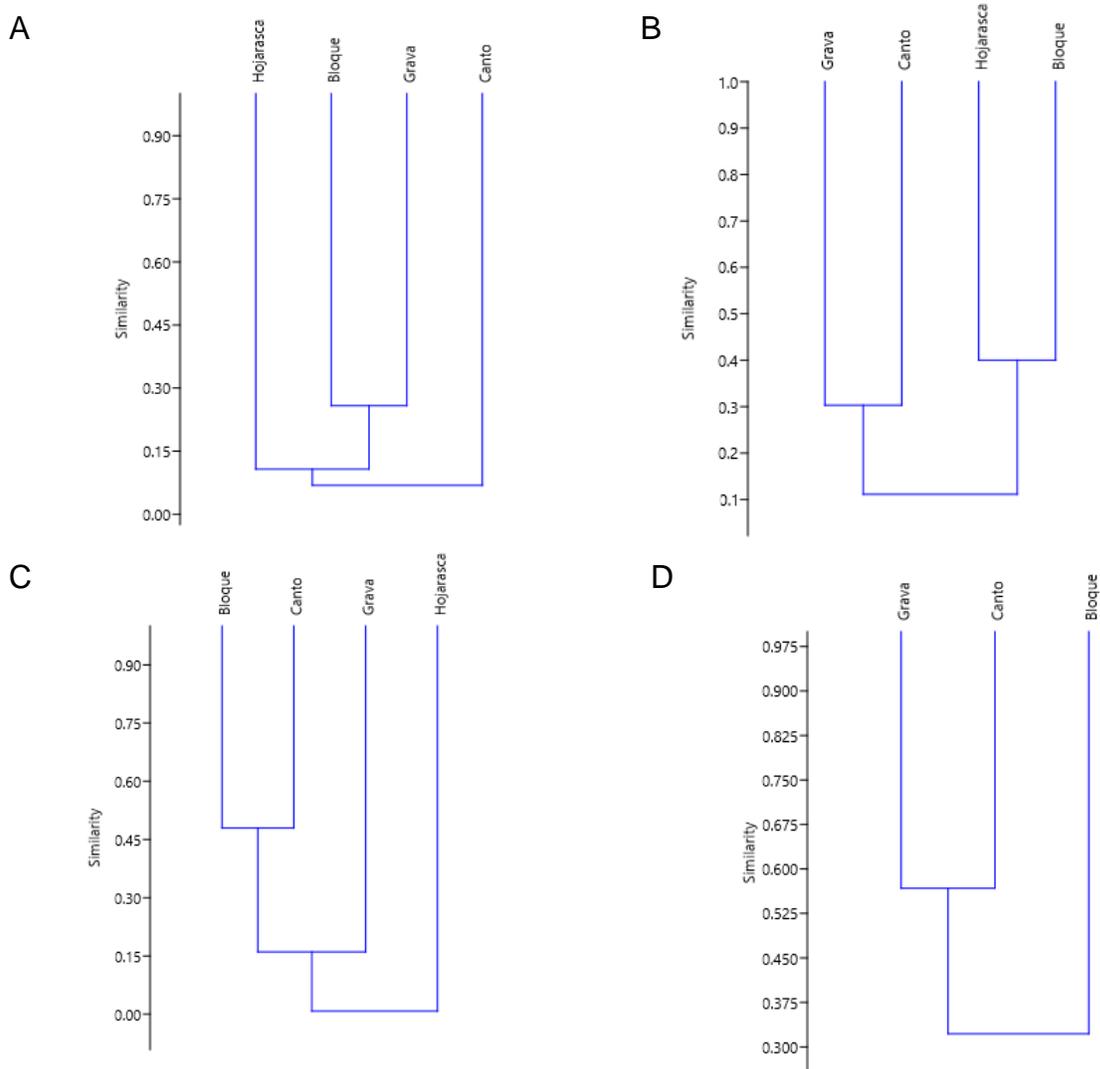
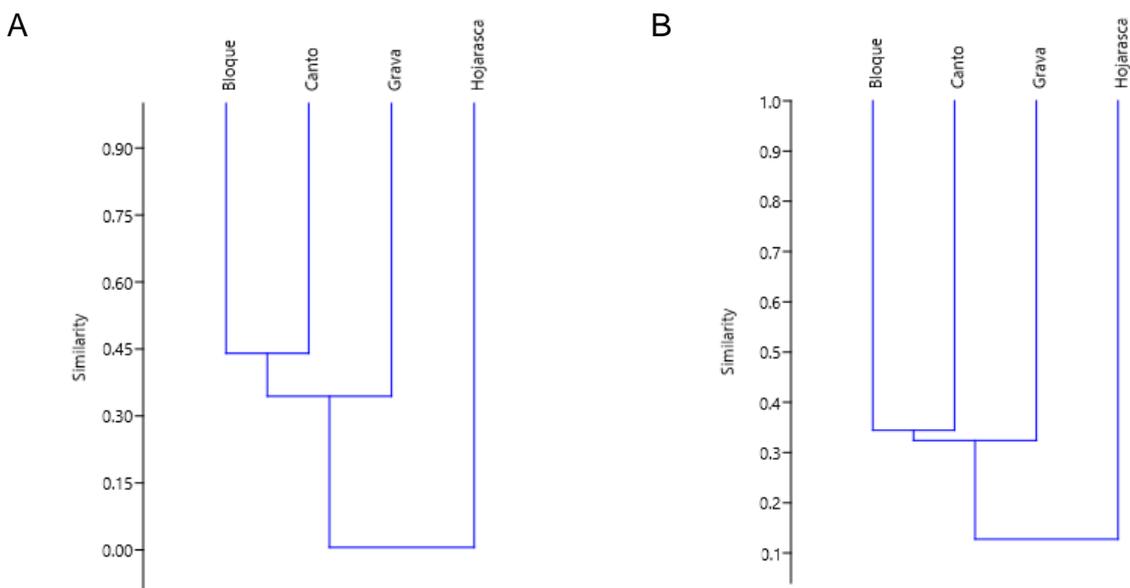


Figura 20. Dendrograma de Bray Curtis para los cuatro sustratos muestreados en las fuentes de agua en el año 2018 A) Q. Carrizal B) Q. Florida c) Q. Las Juntas D) R. La Palma

En el análisis de la similitud de sustratos de acuerdo con el índice de Bray Curtis en el año 2019 (Figura 21), se observó una similitud baja en los diferentes sustratos, en todas las quebradas igual que en el año anterior a diferencia del Río la Palma que aumento la similitud entre sus sustratos. En la quebrada Carrizal, el bloque y el canto mostraron la mayor similitud con un 45%, y presentaron un 32% de similitud con la grava, mientras que no se encontró similitud con la hojarasca. En la quebrada La Florida, los sustratos inorgánicos exhibieron una similitud de aproximadamente el 35%, y tuvieron solo un 10% de similitud con la hojarasca. En la quebrada Las Juntas, el canto y la grava mostraron un 30% de similitud, y solo un 10% de similitud con los bloques. En el río La Palma, el bloque y la grava presentaron la similitud más alta de todas las quebradas, con un 67% y un 57% de similitud con el canto, lo que indica una relación estrecha entre estos sustratos en términos de organismos o condiciones ambientales favorables.



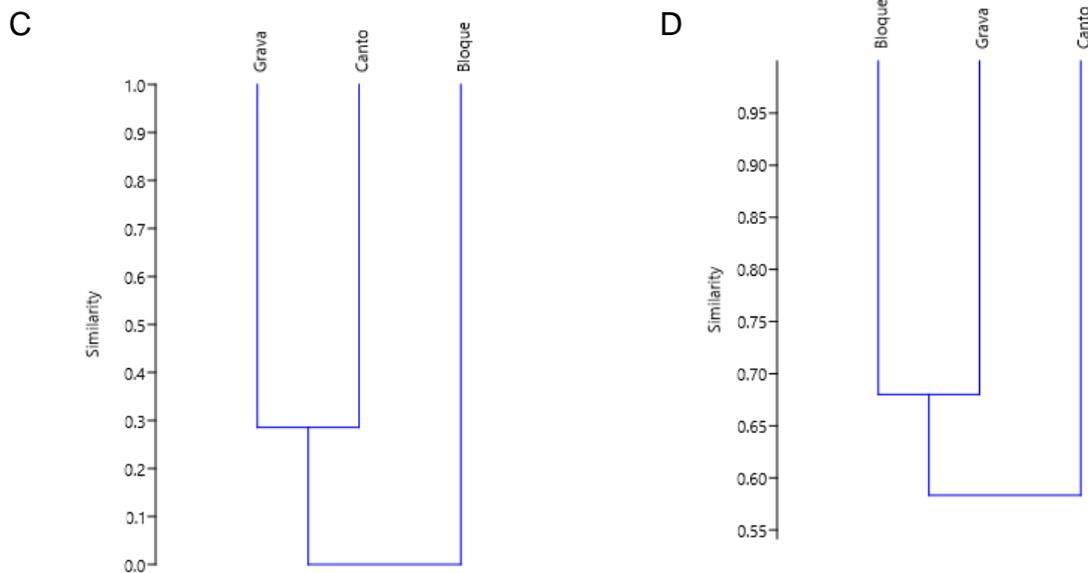


Figura 21. Dendrograma de Bray Curtis para los cuatro sustratos muestreados en las fuentes de agua en el año 2019 A) Q. Carrizal B) Q. Florida c) Q. Las Juntas D) R. La Palma

## 9. Conclusiones

La quebrada Carrizal y Florida presentan una diversidad alta asociada a una gran variedad de microhábitats que permiten el establecimiento de distintos grupos de MAE, en especial los que tienen baja tolerancia a la contaminación.

El río La Palma y la Quebrada Las Juntas que presentaron una diversidad menor, sugirieron que la actividad ganadera, los grandes pastizales y las inundaciones a gran escala pueden ser determinantes en la composición de MAE.

De acuerdo con la base de datos de SIB Colombia, en esta investigación se encontraron 51 nuevos registros para el departamento de Nariño: Trichoptera (23); Coleoptera (9); Diptera (15); Ephemeroptera (3); Lepidoptera (1).

La similitud entre los sustratos de las diferentes quebradas en los años 2018 y 2019 fue baja en general. Esto sugiere que los organismos encontrados

en los diferentes sustratos pueden tener preferencias por sustratos específicos, lo que contribuye a la diversidad y composición de las comunidades acuáticas.

El conocimiento de las preferencias de los organismos por ciertos sustratos puede ser útil para comprender y conservar los ecosistemas acuáticos.

## 10. Recomendaciones

A pesar de que los MAES son un grupo ampliamente estudiado, y que esta investigación aporta información valiosa para el departamento de Nariño, hay muchas zonas del departamento y del país de las cuales no se conoce sobre el tema, por lo que se hace necesario continuar los estudios para conocer la diversidad de especies y aumentar los inventarios faunísticos del país, y a su vez poder utilizar esta información en beneficio de la comunidad.

## 11. Bibliografía

*Acerca de Unicauca*. (2021).

Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio Del Agua En Andalucía (SIAGA), II*(January 1996), 202–213.

Allan, D., & Castillo, M. (2007). *Stream Ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.).

Amat-García, G., & Fernández, F. (2011). LA Diversidad de Insectos (Arthropoda: Hexapoda) en Colombia I. Entognatha a Polyneoptera. *Acta Biologica Colombiana*, 16(2), 205–220.

Aristizábal, E., López, S., Sánchez, O., Vásquez, M., Rincón, F., Ruiz-Vásquez, D., Restrepo, S., & Valencia, J. S. (2019). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud. *Revista Boletín de Geología*, 41(3), 85–105. <https://doi.org/10.18273/revbol.v41n3-2019004>

Bentancur-Viglione, G., Castro, M., & Morelli, E. (2020). LISTA PRELIMINAR DE

LAS MARIPOSAS ACUÁTICAS Y SEMIACUÁTICAS (INSECTA: LEPIDOPTERA) PRESENTES EN EL URUGUAY. *Boletín de La Sociedad Zoológica Del Uruguay*, 29(2), 141–149.

Boulton, A. J., Sheldon, F., & Lytle, D. A. (2017). *The role of river ecosystems in biodiversity conservation. In Freshwater Ecology and Conservation* No Title. 117–145.

Bray, J., & Curtis, J. (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325-349.

Brown, H. (1987). *Biology of riffle beetles*. 253–273.

Buss, D., & Salles, F. (2007). Using Baetidae species as biological indicators of environmental degradation in a Brazilian River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 365–372.

Calderón Franco, L. E., & Correa Canchón, K. L. (2020). *Las larvas del género Atopsyche (Trichoptera, Insecta) de la Colección de Insectos Acuáticos CIA en la Universidad Pedagógica Nacional: Aspectos taxonómicos y su relación con factores ecológicos*. 1–122.

Castellanos, P. M., & Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de santurbán, norte de santander. *Water Management*, 32(122), 79–86.

Castillo, G., Zúñiga, M. del C., & Bacca, T. (2013). The order Plecoptera (Insecta) of Nariño department, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 229–236. <https://doi.org/10.25100/socolen.v39i2.8242>

Chao, A., Gotelli, N. ., Hsieh, T. ., Sander, E. ., Ma, K. ., Colwell, R. ., & Ellison, A. . (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45–67.

Chará, A., Chará, J., Zúñiga, M. del C., Pearson, R., & Boyero, L. (2012). Diets of leaf litter-associated invertebrates in three tropical streams. *Annales de Limnologie*, 48(2), 139–144. <https://doi.org/10.1051/limn/2012013>

Conflicto paz y postconflicto-Pares. (2018). *La guerra y el postconflicto en áreas*

*naturales protegidas.*

- De Moor, F. C., & Ivanov, V. D. (2008). Diversidad global de tricópteros (Trichoptera: Insecta). *Hidrobiología*, 595, 393–407.
- Delgado, A., Ruiz, S., Arévalo, L., Castillo, G., Viles, N., Calderón, J., Cañizales, J., Muñoz, Y., & Ramos, R. (2007). *Plan de Acción en Biodiversidad del departamento de Nariño 2006 - 2030 - Propuesta Técnica. Comité Técnico Interinstitucional*. 525.
- Dodds, K. W. (2002). *Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Application*. Academic Press. 569.
- Dominguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología* (E. Dominguez & H. R. Fernández (Eds.)). Fundación Miguel Lillo.
- Dominguez, E., Hubbard, M., Pescador, M., & Molineri, C. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos: Capítulo 1. Ephemeroptera* (H. Fernández & E. Dominguez (Eds.)).
- Duarte, E. J., & Reinoso, G. (2020). Composition and structure of larval Trichoptera (Arthropoda: Insecta) assemblages of the Las Perlas stream, Ibagué, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 471–481. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.964>
- Feinsinger, P. (2004). *El diseño de estudios de Campo para la conservación de la Biodiversidad* (Editorial).
- Forero, A., Gutiérrez, C., & Reinoso, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*, 459–474.
- Forero, A., Reinoso, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldas*, 35(2), 371-387.
- Forero, L., Longo, M., R, R., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro

- (ICERNMAE), Colombia. *Revista Biologica Tropical*, 233–247.
- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (C. A. González Zuarth, A. Vallarino, J. C. Pérez Jiménez, & A. Low Pfeng (Eds.)). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- González, E., Burbano, E., Aparicio, R., Duque, G., & Imuez, M. (2018). Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamuez Edgar. *Revista MVZ Cordoba*, 23, 7035–7047. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1429>
- González G., S. M., Ramírez, Y. P., Meza S., A. M., & Dias, L. G. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(2), 135–148.
- Graça, M. (2001). The Role of Invertebrates on Leaf Litter Decomposition in Streams – a Review. *International Review of Hydrobiology*, 86(4–5), 383–393.
- Hamada, N., Nessimian, J., & Querino, R. (2014). Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. In *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58, 3–37.
- IDEAM. (2018). *Boletín Climatológico Mensual*. 1–56. [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/71473013/Boletín+\\_Climatologico\\_0718.pdf/3fc34033-37c4-4afb-a65f-bda8aa4a3685?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/71473013/Boletín+_Climatologico_0718.pdf/3fc34033-37c4-4afb-a65f-bda8aa4a3685?version=1.0)
- IDEAM. (2019). *Boletín de predicción climática y recomendación sectorial*.
- Janke, H; Trivinho-Strixino, S. (2007). Colonization of leaf litter by aquatic macroinvertebrates: a study in a low order tropical stream. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 19(1), 109–115.
- Jiménez, D. (2014). *Aspectos ecológicos de la familia Leptohyphidae (Insecta: Ephemeroptera) de la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia)*.

- Ladrera, R. (2012). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos*. 39, 24–29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4015812>
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos : una herramineta didáctica*. December.
- Lasso, A., & Urbano, Y. (2019). *Evaluación de la calidad biológica del agua de la quebrada el Bohío, San Pablo Nariño, mediante macroinvertebrados acuáticos*. Universidad del Cauca.
- Leiva, M. (2004). *Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del estero Peu Peu comuna de Lautaro IX Región de la Araucanía*. Universidad Católica de Temuco.
- Li, L., Zheng, B., & Liu, L. (2010). Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1510–1524. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.164>
- López, M. L. (2009). Determinación De La Calidad Del Agua Del Río Pasto Mediante La Utilización De Bioindicadores. *Revista Unimar*, 35–43.
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. 179.
- Molokwu, N. D., Vaz, P., Bradshaw, T., Blake, A., Hennessey, C., & Merten, E. (2014). Effects of substrate on the benthic macroinvertebrate community: An experimental approach. *Ecological Engineering*, 73(December 2018), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.025>
- Mosquera, Z., & Sánchez, S. (2018). *Inventario preliminar de la riqueza genérica y distribución de los coleópteros acuáticos del departamento del Chocó, Colombia*.
- Nuestro municipio, El Tablon de Gómez*. (2018).
- Nuestro municipio, La Cruz*. (2018).
- Orrego, J., Hernández, I., Marulanda, J., Rivera, J., Viteri, J., Franco, M., Llano, C., & Gomes, L. (2020). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia , Colombia. *Revista Academica Colombiana*, 44(171), 560–571.

- Palacios-Vargas, J. G. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 220–231. <https://doi.org/10.7550/rmb.32713>
- Palacios-Vargas, J. G., & Figueroa, D. (2014). Biodiversidad de Protura (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 232–235. <https://doi.org/10.7550/rmb.32714>
- Palacios-Vargas, J. G., & García-Gómez, A. (2014). Biodiversidad de Diplura (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 236–242. <https://doi.org/10.7550/rmb.32638>
- Pérez, G., & Roldán, G. (1978). Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Rionegro. *Actualidades Biológicas*, 7(24).
- Perkins, P. (2011). *New records and description of fifty-four new species of aquatic beetles in the genus Hydraena Kugelann from South America (Coleoptera: Hydraenidae)* (Vol. 198).
- Posada-García, J. A. J., & Roldán-Pérez, G. (2003). CLAVE ILUSTRADA Y DIVERSIDAD DE LAS LARVAS DE TRICHOPTERA EN EL NOR-OCCIDENTE DE COLOMBIA/Illustrated key for the larvae of Trichoptera in the. *Caldasia*, 25(1), 169–192. <http://www.jstor.org/stable/23641718>
- Radinger, J., Britton, J. R., Carlson, S. M., Magurran, A. E., Alcaraz-Hernández, J. D., Almodóvar, A., Benejam, L., Fernández-Delgado, C., Nicola, G. G., Oliva-Paterna, F. J., Torralva, M., & García-Berthou, E. (2019). Effective monitoring of freshwater fish. *Fish and Fisheries*, 20(4), 729–747. <https://doi.org/10.1111/faf.12373>
- Rivera, J., Pinilla, G., & Rangel, J. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y química en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia*, (2), 389-408.
- Roldan, 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.

- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. In *Universidad de Antioquia*.
- Roldán, G. (2003a). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia : propuesta para el uso del método BMWP Col* (Vol. 1).
- Roldán, G. (2003b). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia : propuesta para el uso del método BMWP Col. 1*.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Roldán, G. (2020). Revisión histórica de la limnología en Colombia | Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Revisión Histórica de La Limnología En Colombia*.
- Roldan, G., Builes, J., Trujillo, C. M., & Suárez, A. (1973). *Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del Río Medellín*. 2(5).
- Roldan, G., & Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología tropical*.
- Roldán, G., Zuñiga, M., Zamora, H., Alvarez, L., Reinoso, G., & Longo, M. (2014). Colombia. In P. Alonso-Eguáalis, J. M. Mora, B. Campbell, & M. Springer (Eds.), *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuicolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico* (pp. 63–116). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Rosenberg, D. ., & Resh, V. . (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. *Chapman & Hall*.
- Springer, M. (2010). Capítulo 7. Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(SUPPL. 4), 151–198.
- Tamariz-Turizo, C. E. (2018). *Relaciones tróficas de macroinvertebrados acuáticos en un río tropical de la Sierra Nevada de Santa Marta*.
- Vásquez, J., & Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, (2): 351-

358.

- Velásquez, S. M., & Miserendino, M. L. (2003). Analisis de la materia organica aloctona y organizacion funcional de macroinvertebrados en relacion con el tipo de habitat en rios de montaña de Patagonia. *Ecologia Austral*, 13(1), 67–82. <http://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Velasquez-y-Miserendino-2003.pdf>
- Vieira, V. P., Motta-Junior, J. C., & Pinheiro, V. C. (2016). Diversity of Ceratopogonidae (Diptera) in the Brazilian Amazon: challenges and prospects. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 323–330.
- Villada-Bedoya, S., Triana-Moreno, L. A., & G.-Dias, L. (2017). Grupos funcionales alimentarios de insectos acuáticos en quebradas andinas afectadas por agricultura y minería. *Caldasia*, 39(2), 370–387. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n2.62800>
- White, D., & Roughley, R. (2008). *Aquatic insects of North America* (R. Merritt, K. Cummings, & M. Berg (Eds.); 4th ed.).
- Zamora, H., & Zamora, M. (2016). Macroinvertebrados Acuáticos, Recurso Hidrobiológico Epicontinental No Pesquero en el Departamento del Cauca. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 84–95.
- Zamora, H., & Zamora, M. (2017). Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en ecosistemas lóticos del Valle del Patía. *Revista Novedades Colombianas*, 12(1), 65–86.

## Anexo 1. Presencia de macroinvertebrados acuáticos en las cuatro fuentes de agua en los periodos 2018 y 2019

Orden	Familia	Morfoespecies	Q. Carrizal		Q. La Florida		Q. Las Juntas		R. La Palma	
			2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Coleoptera	Elmidae adulto	<i>Austrolimnius</i> sp1 (A)	X	X	X	X	X	X		
		<i>Austrolimnius</i> sp2 (A)	X							
		<i>Austrolimnius</i> sp3 (A)	X		X	X				
		<i>Cyloepus</i> sp1 (A)	X				X			
		<i>Cyloepus</i> sp2 (A)				X				
		<i>Heterelmis</i> sp1 (A)	X		X	X				
		<i>Heterelmis</i> sp2 (A)	X		X	X				
		<i>Neelmis</i> sp1 (A)	X		X	X	X			
		<i>Neolimius</i> sp1 (A)								
		<i>Onychelmis</i> * sp1 (A)				X				
	<i>Pharceonius</i> sp1 (A)									
	Elmidae larva	<i>Austrolimnius</i> sp1 (L)	X	X		X	X			
		Elmidae en descripción		X		X				
		<i>Heterelmis</i> sp1 (L)	X	X						
		<i>Heterelmis</i> sp2 (L)					X			
		<i>Hexanchorus</i> sp1 (L)				X				
		<i>Hexanchorus</i> sp2 (L)	X			X				
		<i>Macrelmis</i> sp1 (L)	X	X	X	X				
		<i>Neelmis</i> sp1 (L)		X		X	X	X	X	X
		<i>Neelmis</i> sp2 (L)	X		X					
		<i>Onychelmis</i> * sp1 (L)				X				
<i>Austrelmis</i> sp1 (L)				X						
Hydraenidae.	<i>Hydraena</i> sp1		X							
Psephenidae	<i>Psephenops</i> sp1	X	X	X	X					
Ptilodactiliidae	<i>Anchyrtarsus</i> sp1	X		X	X	X				
	<i>Anchyrtarsus</i> sp2		X		X					
Scirtidae	<i>Scirtes</i> sp1	X	X	X	X	X			X	
	<i>Scirtes</i> sp2	X	X		X					
Diptera	Blephariceridae	Blephariceridae sp1			X		X	X	X	
		<i>Atrichopogon</i> sp1	X			X	X			
	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae sp1	X				X		X	
		Ceratopogonidae sp2				X				
	Chironomidae	chironominae sp1	X			X	X		X	
		chironominae sp2	X	X				X	X	
		chironominae sp3	X		X			X	X	
		Chironominae sp4							X	
		Orthocladinae* sp1		X		X			X	
		orthocladinae* sp2		X						
		Podominae sp1					X	X	X	
		Prodiamesinae* sp1				X				
		prodiamesinae* sp2	X		X					
		tanypodinae sp1	X			X				
	Tanypodinae sp2		X		X					
	Empididae	Empididae sp1					X			
	Limoniidae	Limoniidae sp1	X							
	Musidae	<i>Limnophora</i> sp1					X		X	
	Psychodidae	<i>Maurina</i> sp1							X	
	Simuliidae	<i>Giantodax</i> sp1		X		X	X	X	X	
		<i>Simulium</i> sp1	X	X	X	X	X	X	X	
Tipulidae	Tipulidae sp1	X	X	X	X	X				
	Tipulidae sp2	X			X					
	Tipulidae sp4	X								
	Tipulidae sp5					X				
	Tipulidae sp6	X		X						
	Tipulidae sp3			X		X		X		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Apobaetis</i> * sp1	X			X				
		<i>Baetodes</i> sp1	X	X	X	X	X	X	X	
		<i>Baetodes</i> sp2							X	
		<i>Guajiroilus</i> * sp1	X	X		X	X		X	
		<i>Guajiroilus</i> sp2		X		X			X	
		<i>Prebaetodes</i> * sp1	X		X	X	X	X	X	
	<i>Prebaetodes</i> sp2		X					X		
	<i>Baetodes</i> sp3		X	X				X		
	Leptohyphidae	<i>haplohyphes</i> sp1	X			X				
		<i>Leptohyphes</i> sp1	X	X	X	X				
<i>Tricorythodes</i> sp1		X	X							
Leptophlebiidae	<i>Hagenulopsis</i> sp1	X	X	X	X			X		
	<i>Hagenulopsis</i> sp2	X		X	X					
Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i> sp1				X				
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i> sp1				X				
		<i>Anacroneuria</i> sp2	X		X	X				
Tricoptera	Anomalopsychidae	<i>Contulma</i> sp1	X			X				
		<i>Contulma</i> sp2	X			X				
	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i> sp1	X							
		Protoptilinae sp1	X	X	X	X	X			
	Glossosomatidae	Protoptilinae sp2	X	X		X				
		<i>Helicopsyche</i> sp1		X			X			
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i> sp1	X							
		<i>Atopsyche</i> sp2	3				X			
		<i>Atopsyche</i> sp3		X			X			
		<i>Atopsyche</i> sp4					X	X		
		<i>Atopsyche</i> sp5					X			
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i> sp1					X			
		<i>Smicridea</i> sp1	X			X		X		
		<i>Smicridea</i> sp2	X		X					
	<i>Smicridea</i> sp3		X	X						
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i> sp1	X			X				
		<i>Hydroptila</i> sp2	X							
		<i>Hydroptila</i> sp3								
	Leptoceridae	<i>Atanotica</i> sp1		X						
		<i>Nectopsyche</i> sp1						X		
	Odonoceridae	<i>Oecetis</i> sp1				X				
<i>Marilia</i> sp1					X					
Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp1			X						

Anexo 2. Fotografías de las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en las cuatro fuentes de agua

 <p>Orden: Coleoptera Familia: Ptilodactilidae Taxón: <i>Anchytarsus</i> sp</p>	 <p>Orden: Coleoptera Familia: Elmidae Taxón: <i>Heterelmis</i> sp</p>	 <p>Orden: Coleoptera Familia: Scirtidae Taxón: <i>Scirtes</i> sp</p>
 <p>Orden: Coleoptera Familia: Hydraenidae Taxón: <i>Hydraena</i> sp</p>	 <p>Orden: Coleoptera Familia: Psephenidae Taxón: <i>Psephenops</i> sp</p>	 <p>Orden: Diptera Familia: Ceratopogonidae Taxón: <i>Atrichopogon</i> sp</p>
 <p>Orden: Diptera Familia: Chironomidae Subfamilia: Tanypodinae sp</p>	 <p>Orden: Diptera Familia: Tipulidae sp</p>	 <p>Orden: Diptera Familia: Simulidae Taxon: <i>Simulium</i> sp</p>

 <p>Orden: Diptera Familia: Blephariceridae</p>	 <p>Orden: Diptera Familia: Muscidae Taxón: <i>Limnophora</i> sp</p>	 <p>Orden: Diptera Familia: Psychodidae Taxón: <i>Maurina</i> sp</p>
 <p>Orden: Diptera Familia: Tipulidae sp</p>	 <p>Orden: Ephemeroptera Familia: Baetidae Taxón: <i>Guajirolus</i> sp</p>	 <p>Orden: Ephemeroptera Familia: Leptohyphidae Taxón: <i>Haplohyphes</i> sp</p>
 <p>Orden: Ephemeroptera Familia: Leptophlebiidae Taxón: <i>Hagenulopsis</i> sp</p>	 <p>Orden: Plecoptera Familia: Perlidae Taxón: <i>Anacroneuria</i> sp</p>	 <p>Orden: Tricoptera Familia: Glossosomatidae Subfamilia: Protoptilinae sp</p>



Orden: Tricoptera  
 Familia: Anomalopsychidae  
 Taxón: *Contulma* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: Calamoceratidae  
 Taxón: *Phylloicus* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: Hydrobiosidae  
 Taxón: *Atopsyche* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: Hydroptilidae  
 Taxón: *Hyroptila* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: Hydropsychidae  
 Taxón: *Smicridea* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: Leptoceridae  
 Taxón: *Nectopsyche* sp



Orden: Tricoptera  
 Familia: phylopotamidae  
 Taxón: *Chimarra* sp1



Orden: Tricoptera  
 Familia: Odontoceridae  
 Taxón: *Marilia* sp



Orden: Lepidoptera  
 Familia: Crambide  
 Taxón: *Petrophila* sp1