

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE DÍPTEROS ACUÁTICOS EN TRAMOS DE LOS CURSOS ALTOS DE LOS RÍOS FUCHA Y BOGOTÁ

Structure of the aquatic Diptera community in the upper basins of the Fucha and Bogotá rivers

John Freddy RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ¹, Gabriel Antonio PINILLA AGUDELO², Ligia Inés MONCADA ÁLVAREZ³

¹Laboratorio de Entomología Médica (LEMUN), Facultad de Medicina; Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto de Estudios Ambientales; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

²Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

³Laboratorio de Entomología Médica (LEMUN), Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

*For correspondence: gapinillaa@unal.edu.co

Received: 9th September 2019, Returned for revision: 02nd June 2020, Accepted: 14th July 2020.

Associate Editor: Sergi Sabater.

Citation/Citar este artículo como: Rodríguez Rodríguez JF, Pinilla Agudelo GA, Moncada Álvarez LI. Estructura de la comunidad de dípteros acuáticos en tramos de los cursos altos de los ríos Fucha y Bogotá. Acta Biol. Colomb. 2021;26(2):147-159. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v26n2.81916>

RESUMEN

Los macroinvertebrados acuáticos son bien conocidos como bioindicadores de la calidad del agua. En Colombia, los estudios sobre este tema se han hecho principalmente a nivel taxonómico de familia. En este trabajo se analizan las respuestas en abundancia, riqueza y diversidad de los dípteros identificados a nivel de género en ríos altoandinos (río Bogotá y río Fucha), en épocas de aguas bajas y aguas altas. Los especímenes se recolectaron con tres métodos: red Surber, red de mano y lavado de rocas. La temperatura promedio fue de 12,9 °C y la saturación de oxígeno estuvo cerca del 100 % o más, con excepción del tramo bajo del río Bogotá antes de Villapinzón. Se colectaron 13 690 dípteros pertenecientes a diez familias y 40 géneros. La riqueza taxonómica fue alta, con una mayor variación en los tramos bajos de las dos corrientes. Las subfamilias de Chironomidae fueron las más abundantes. El análisis de correspondencia canónica (ACC) mostró que los Orthoclaadiinae se asociaron con la conductividad; el género *Gigantodax* (Simuliidae) no mostró una relación clara con ninguna variable; por el contrario, el género *Simulium* se vinculó con el caudal. En términos generales, la asociación entre taxones y variables ambientales fue más clara para los géneros que para las familias, pero no fue suficientemente robusta. Se sugiere que para encontrar un mayor grado de asociación biota-ambiente, es necesario realizar los análisis a nivel de especie, considerando las variaciones locales y temporales.

Palabras clave: Bioindicación, calidad del agua, larvas bentónicas, ríos andinos, contaminación, áreas urbanas.

ABSTRACT

Aquatic macroinvertebrates are recognized as bioindicators of water quality. In Colombia, the studies have mainly been addressed by the family taxonomic level. This work analyzes the responses in abundance, richness, and diversity of the Diptera at the genus level in high Andean rivers (Bogotá River and Fucha River), in periods of low and high waters. The specimens were collected with three methods: Surber net, hand net, and rock washing. The average temperature was 12.9 °C and oxygen saturation was close to 100 % or more, except for the lower section of the Bogotá River, before the Villapinzón town. 13 690 Diptera were collected from ten families and 40 genera. Taxonomic richness was high with the greatest variation in the lower sections of the two streams. The Chironomidae subfamilies were the most abundant. Canonical correspondence analysis (CCA) showed that Orthoclaadiinae were associated with water conductivity; the *Gigantodax* genus (Simuliidae) did not show a clear relationship with any variable; conversely, the genus *Simulium* was linked to the caudal. In general terms, the association between taxa and environmental variables was clearer for genera than for families, but it was not robust enough. It is suggested that to find a higher degree of biota-environment association, it is necessary to carry out analyzes at the species level, considering local and temporal variations.

Keywords: andean rivers, benthic larvae, bioindication, pollution, urban areas, water quality.

INTRODUCCIÓN

Los ríos de alta montaña tropical se caracterizan por su gran diversidad y riqueza de taxones (Cuadrado *et al.*, 2019). En estos ambientes las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se han propuesto como bioindicadores con el fin de evaluar la calidad del agua (Lenat, 1993). Dentro de los macroinvertebrados, el orden Díptera presenta la mayor abundancia y densidad en las muestras de ríos andinos (Forero *et al.*, 2013), lo cual se debe a la amplia distribución de estos organismos y a su gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales (Gutiérrez *et al.*, 2014). Para el río Bogotá se ha estudiado la comunidad de macroinvertebrados a nivel de familia (Riss *et al.*, 2002a, 2002b; Gutiérrez *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2013; López y Talero, 2014) y se han generado aportes significativos para entender la relación entre los invertebrados acuáticos y su entorno. No obstante, el reconocimiento de los dípteros al nivel de género y especie es complejo, en especial en las zonas con altitudes mayores a 2000 m. s. n. m. Roldán (2016) resalta la importancia de profundizar en el estudio de los anélidos, los moluscos y los dípteros, especialmente de la familia Chironomidae, ya que aún se desconoce en gran medida la relación que puede existir entre las variables fisicoquímicas de los ríos y la presencia y abundancia de los géneros de dípteros, así como sus variaciones en las épocas de lluvia y sequía en los Andes colombianos.

Los dípteros de las familias Chironomidae y Simuliidae tienen importancia ecológica y tienden a ser muy abundantes en aguas eutrofizadas, en áreas de cultivos de arroz, en lugares turísticos y en general, en todos los ecosistemas acuáticos continentales (Failla *et al.*, 2015). Además, la familia Simuliidae juega un papel importante en los ambientes lóticos porque sus estadios inmaduros hacen parte de la red trófica, pero también porque convierten el material particulado en pellets de mayor tamaño (Wotton *et al.*, 1998), los cuales pueden ser consumidos por la ictiofauna de las corrientes donde se encuentran. Por otra parte, los adultos tienen un rol significativo en la transmisión de agentes patógenos para el hombre y los animales (Lotta *et al.*, 2016). Por todo lo anterior, es importante comprender las dinámicas ecológicas de estos dípteros y su interacción con el ambiente, a fin de prevenir los probables efectos indeseados, especialmente en los ríos andinos de alta montaña en los que se ha concentrado la población colombiana. Como lo plantean Chapmant *et al.* (2016), estos ríos son ecosistemas frágiles que están sometidos a diferentes estresores antropogénicos.

Dada la importancia ecológica y sanitaria que tienen los taxones acuáticos del orden Díptera, el objetivo del presente trabajo fue analizar las respuestas en las abundancias, la riqueza y la diversidad de estos organismos, identificados a nivel de género, en las cuencas altas de dos ríos andinos, tanto en el periodo de lluvias como en la época seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El río Bogotá se localiza al noroeste del departamento de Cundinamarca; nace a 3300 m. s. n. m. en el páramo de Guacheneque del municipio de Villapinzón y desemboca a 280 m.s.n.m. en el río Magdalena en el municipio de Girardot; en total, su extensión es de 375 km (CAR, 2006). El río Fucha, por su parte, se ubica al sur de la ciudad de Bogotá, nace a 3350 m. s. n. m. en el páramo Cruz Verde y desemboca a 2540 m. s. n. m. en el río Bogotá, en cercanías de la zona franca de la localidad de Fontibón; su extensión es de 17,3 km (Secretaría Distrital De Ambiente, 2015). En cada uno de estos ríos se seleccionaron tres tramos (alto, medio y bajo) ubicados en sus cursos altos, con diferentes condiciones de cobertura vegetal y de afectación por actividades humanas y separados por distancias que variaron entre 1 y 2,6 km. En la tabla 1 se registran los tramos estudiados, la elevación y las coordenadas geográficas de cada uno, así como las fechas de los muestreos.

Colecta de Dípteros

Con el propósito de muestrear la mayor cantidad de hábitats y obtener la mayor riqueza de taxones, se utilizaron tres métodos cuantitativos adaptados de Domínguez y Fernández (2009):

Colecta con red Surber: se usó una red sorber de 30x30 cm (0,09 m²) con lona impermeable y una red de monofilamento PET (politereftalato de etileno) con ojo de malla de 500 µm. La red se ubicó a contracorriente a una profundidad de 30 a 40 cm, removiendo el sustrato durante tres minutos, de tal manera que la mayor cantidad de fauna bentónica fuese retenida en la malla. Este procedimiento se realizó tres veces para obtener un área total de 0,27 m² en cada tramo de muestreo.

Colecta con red de mano: consistió en el uso de una red rectangular de 10x15 cm (0,015 m²) de mango corto provisto de una red de monofilamento PET con ojo de malla de 500 µm. Esta red se utilizó en rocas grandes del borde del río. Se realizó un raspado de las rocas en un recorrido de tres metros durante un total de cinco minutos, para obtener un área total de 0,30 m² en cada tramo de muestreo.

Lavado de rocas: en cada tramo se recolectaron cinco rocas de tamaño mediano, las cuales se seleccionaron de manera aleatoria. Se colocaron sobre bandejas esmaltadas y se realizó un lavado con etanol al 70 %. Todos los organismos se guardaron en frascos plásticos debidamente etiquetados. Una vez finalizado el lavado, las rocas se envolvieron en papel aluminio eliminando los traslapes, para posteriormente determinar su área total (m²), con respecto al peso de un trozo de papel aluminio de área conocida.

Tabla 1. Ubicación y fechas de los muestreos realizados en los los sectores altos de ríos Fucha y Bogotá. En el tramo alto del río Fucha el sitio seleccionado correspondió a uno de sus tributarios principales (quebrada La Upata).

| RÍO | TRAMO | ELVACIÓN (m.s.n.m.) | COORDENADAS | AGUAS ALTAS | AGUAS BAJAS |
|--------|-----------------|---------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| FUCHA | Alto (La Upata) | 2970 | 4°32'51,8"N 74°03'19,4"W | 06-11-2015 | 02-03-2016 |
| | Medio | 2850 | 4°33'40,1"N 74°03'44,7"W | 06-11-2015 | 02-03-2016 |
| | Bajo | 2700 | 4°34'5,0"N 74°04'3,6"W | 06-11-2015 | 02-03-2016 |
| BOGOTÁ | Alto | 3157 | 5°12'40,6"N 73°32'57,8"W | 03-12-2015 | 31-03-2016 |
| | Medio | 2885 | 5°13'21,1"N 73°34'11,5"W | 03-12-2015 | 31-03-2016 |
| | Bajo | 2700 | 5°13'25,6"N 73°35'32,6"W | 03-12-2015 | 31-03-2016 |

Conservación, Separación y Determinación del Material

Las muestras se conservaron en etanol al 70 % en frascos plásticos herméticos hasta su transporte al Laboratorio de Entomología Médica (LEMUN) de la facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Una vez separados, los dípteros se identificaron en lo posible al nivel de género con base en caracteres morfológicos, para lo cual se usó un estereoscopio Olympus SZ61. Para la familia Chironomidae se utilizó la técnica descrita por Ospina *et al.* (1999). Para la determinación de las familias y géneros se emplearon las claves de Roldán (1988), Ospina *et al.* (1999), Ruiz-Moreno *et al.* (2000a;b), Domínguez y Fernández (2009), Prat *et al.* (2014), Fusari (2018) y Prat *et al.* (2018). Todos los ejemplares colectados se depositaron en la colección del LEMUN.

Variables Físicas, Químicas, Hidrológicas y Bacteriológicas

Paralelamente a la colecta de dípteros, en cada tramo de muestreo se midieron *in situ* las variables pH, conductividad, sólidos disueltos totales, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y potencial de oxidorreducción con una sonda multiparamétrica HACH-HQ40d. La velocidad del agua se midió con un correntómetro de hélices Global Water. Para las variables *ex situ* (coliformes fecales, nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno total, ortofosfatos, fósforo total, sulfatos, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno) se colectó agua en frascos color ámbar de 250 ml para su análisis en un laboratorio certificado; para el muestreo de las bacterias los frascos se esterilizaron previamente. En todos los casos se siguieron las metodologías estándar para el análisis de aguas (APHA *et al.*, 2012).

Análisis de Datos

Inicialmente se realizó un análisis descriptivo (histogramas) de las abundancias relativas para las

principales familias y géneros de dípteros presentes en la totalidad de muestras. Para estimar la diversidad de dípteros se calcularon los índices de dominancia de Simpson (D), diversidad de Shannon (H) y equitatividad de Pielou (J) de acuerdo con las ecuaciones recopiladas en Moreno (2001). Estos índices se trabajaron con los datos de abundancia a nivel de género.

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para explorar la organización de las variables abióticas y microbiológicas. El ACP permitió seleccionar las variables ambientales más determinantes. Éstas se utilizaron para hacer los análisis de correspondencia canónica (ACC), con los cuales se determinó la relación entre dichos factores ambientales y la comunidad de dípteros, tanto para las familias como para los géneros. Los cálculos de diversidad y los análisis estadísticos multivariados se efectuaron mediante el programa libre PAST V.3.2 (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Características Ambientales

En la tabla S1 (material suplementario) se registran las variables ambientales de los ecosistemas estudiados. Sobresalieron la temperatura baja (promedio 12,9 °C) y la concentración y saturación de oxígeno altas. En concordancia con estas variables, el potencial redox indicó condiciones oxidadas. El pH (promedio 6,2) señaló aguas ligeramente ácidas. Los dos ríos fueron de aguas desmineralizadas (especialmente el Bogotá en su tramo alto), con bajas concentraciones de nutrientes y cargas mínimas de materia orgánica. Todas estas variables tuvieron variaciones en general reducidas entre épocas y entre sistemas fluviales. En cambio, el caudal, que en promedio fue bajo, se redujo en un 56,4 % para el periodo de estiaje. Las coliformes fecales no fueron altas, pero aumentaron para la época de sequía, con registros mayores en los tramos

bajos de los dos ríos. El ACP (Fig. 1) mostró que las variables con mayor peso en el componente 1 fueron los nitratos, los nitritos, la conductividad y las coliformes fecales, mientras que para el componente 2 los factores determinantes fueron las demandas biológica y química de oxígeno y el nitrógeno total. Hacia estos extremos de mayor contaminación de los dos ejes se ubicaron los tramos del río Fucha.

Abundancia de Taxones

En total se colectaron 13 690 larvas de dípteros pertenecientes a diez familias y 40 géneros. En aguas altas se registraron 39 géneros, de los cuales 28 se encontraron en el río Fucha y 28 en el río Bogotá. De estos, 17 géneros fueron comunes (43,5 %) a los dos ecosistemas. En aguas bajas se hallaron 28 géneros, 23 de ellos en el río Fucha y 22 en el río Bogotá. En esta fase hidrológica se mantuvo el número de taxones compartidos (17) pero su porcentaje se incrementó (60,7 %). En el río Fucha se vio una disminución neta de cinco géneros para la época de aguas altas, mientras que en el río Bogotá esta disminución fue de seis géneros para la misma época. La riqueza promedio de taxones fue alta (15,42 en promedio), si se considera que solo se incluyen los

dípteros. Las mayores variaciones de la riqueza entre tramos se observaron en el río Bogotá durante el periodo de aguas altas.

El número de individuos se incrementó en todos los tramos de muestreo en la época de aguas bajas con respecto a la de aguas altas. En general, la familia Chironomidae fue la más abundante, con 11 176 individuos (81,6 %), seguida de las familias Simuliidae (2261 individuos, 16,5 %) y Blephariceridae (86 individuos, 0,6 %). Las restantes siete familias presentaron entre uno y 64 individuos, con porcentajes inferiores al 0,47 %. El taxón más abundante fue un género no identificado de la subfamilia Orthoclaadiinae (Chironomidae), con 6157 individuos (44,9 %), seguido de *Simulium* (2114 individuos, 15,4 %), *Cricotopus* (2067 individuos, 15,1 %), *Tanytarsus* (944 individuos, 6,9 %) y *Pentaneura* (550 individuos, 4,0 %). Los restantes 35 géneros tuvieron entre uno y 435 individuos y sumaron el 13,5 %. Los individuos colectados en aguas altas alcanzaron el 45,5 % (6236 organismos) y en aguas bajas el 55,4 % (7454 especímenes). El río Fucha aportó el 34,1 % (4675 organismos) de la abundancia en las dos épocas y el río Bogotá el 65,8 % (9015 ejemplares). Los datos detallados de composición y abundancia de los taxones de dípteros hallados en las distintas épocas y tramos de los dos ríos

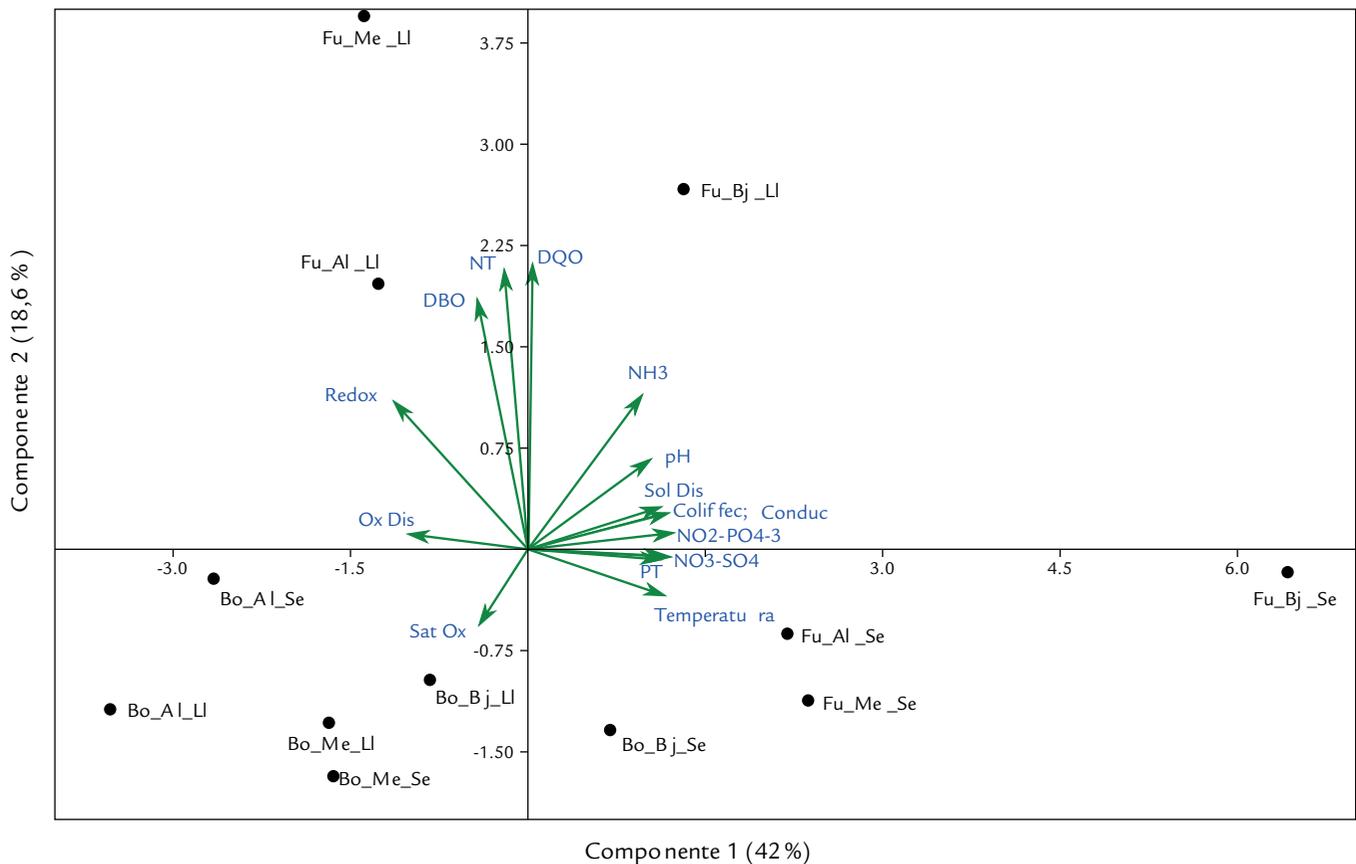


Figura 1. Biplot del ordenamiento del ACP de las variables físicas, químicas y bacteriológicas en los ríos Fucha y Bogotá para las dos épocas de muestreo Fu: río Fucha; Bo: río Bogotá; Al: tramo alto; Me: tramo medio; Bj: tramo bajo; Ll: aguas altas; Se: aguas bajas.

estudiados se presentan como material suplementario (tabla S2).

Índices de Diversidad

En general, la dominancia de Simpson fue baja (Fig. 2a), con registros mayores (0,56) en el tramo bajo del río Bogotá en la época de aguas altas, donde el género no identificado de la subfamilia Orthoclaadiinae presentó 2804 individuos. La diversidad de Shannon (Fig. 2b) también fue reducida; el valor más alto (1,93) correspondió al río Bogotá en su tramo alto, en época de aguas altas. Por su parte, la equitatividad fue, en general, de moderada a alta (Fig. 2c), en especial en el tramo alto del río Bogotá en la época de aguas altas. Este sitio presentó la mayor diversidad y la menor dominancia.

Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

En las figuras 3 a 5 se presentan los ordenamientos del ACC para los tres niveles taxonómicos de los dípteros considerados en el presente estudio (familias, géneros de todas las familias excepto Chironomidae y géneros solo de la familia Chironomidae). La figura 3 muestra la segregación de las familias del orden; para este análisis se consideraron de manera independiente las subfamilias de Chironomidae debido a la gran abundancia y complejidad de este gran clado. Es notoria la separación de algunas familias en el río Fucha, mientras que en el río Bogotá no es tan evidente dicha separación (todos los puntos de este río se concentran hacia el origen del ordenamiento).

Cuando se observa el ordenamiento de todos los géneros de dípteros sin incluir los de la familia Chironomidae (Fig. 4), así como el ordenamiento solo de los géneros de esta familia (Fig. 5), el patrón de segregación de los taxones en el río Fucha y la concentración de los puntos del río Bogotá parece mantenerse, pero se hace más evidente el alejamiento de los puntos correspondientes al río Fucha del centro de estos ordenamientos. Es decir, la estructura general de los ensamblajes de la comunidad de dípteros aparentemente es semejante en los dos ríos (un poco más dispersa en el Fucha y algo más concentrada en el Bogotá), cuando se pasa de niveles taxonómicos gruesos a jerarquías más finas. También es notoria cierta propensión a una mayor mezcla de los sitios de ambos ríos en el ordenamiento de géneros de Chironomidae (Fig. 5).

DISCUSIÓN

El ACP mostró que el río Bogotá tiende a tener en general condiciones de aguas más limpias, mientras que el río Fucha fue claramente más contaminado. Sobresalen las altas concentraciones de oxígeno, mayores a 7,0 mg/L y con saturaciones cercanas al 100 % o superiores; sin embargo, la cantidad de oxígeno en el tramo bajo del río Bogotá,

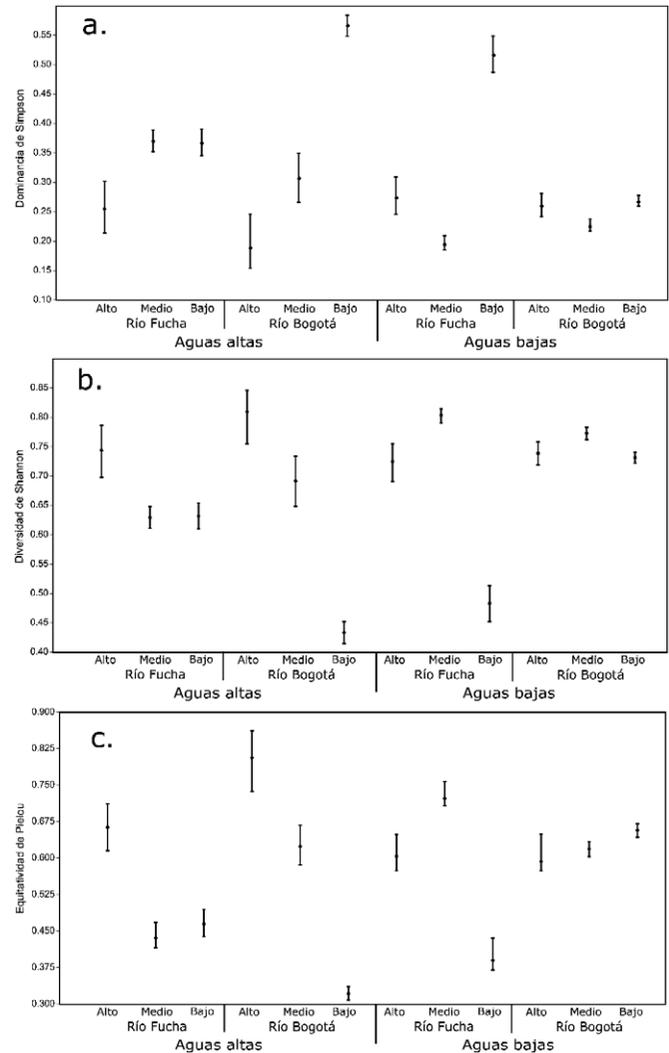


Figura 2. Variaciones de los índices de diversidad de la comunidad de dípteros en los ríos Fucha y Bogotá. **a.** Dominancia de Simpson (D), **b.** Diversidad de Shannon (H) **c.** Equitatividad de Pielou (J)

ubicado antes de la población de Villapinzón, fue menor en las dos épocas, lo que posiblemente se asocia con la presencia de material orgánico e inorgánico, proveniente de las actividades agrícolas en la parte media y de los aportes locales en este tramo del río. Acorde con la concentración de oxígeno, el potencial rédox de todos los tramos también indicó condiciones oxidantes, lo que favorece los procesos de degradación de materia orgánica y la autodepuración de estos ríos (Vagnetti *et al.*, 2003). A pesar de la mayor contaminación por coliformes fecales en los tramos bajos (tabla S1), el porcentaje de saturación de oxígeno en estos lugares fue relativamente alto, lo que explicaría la presencia de géneros considerados reofílicos, como es el caso de los representantes de la familia Simuliidae (Cuadrado *et al.*, 2019).

De los tres tramos del río Bogotá, la mayor polución se registró en la zona baja en época de aguas altas. Este fenómeno puede deberse a los aportes locales y al arrastre de contaminantes derivados del uso agropecuario en el

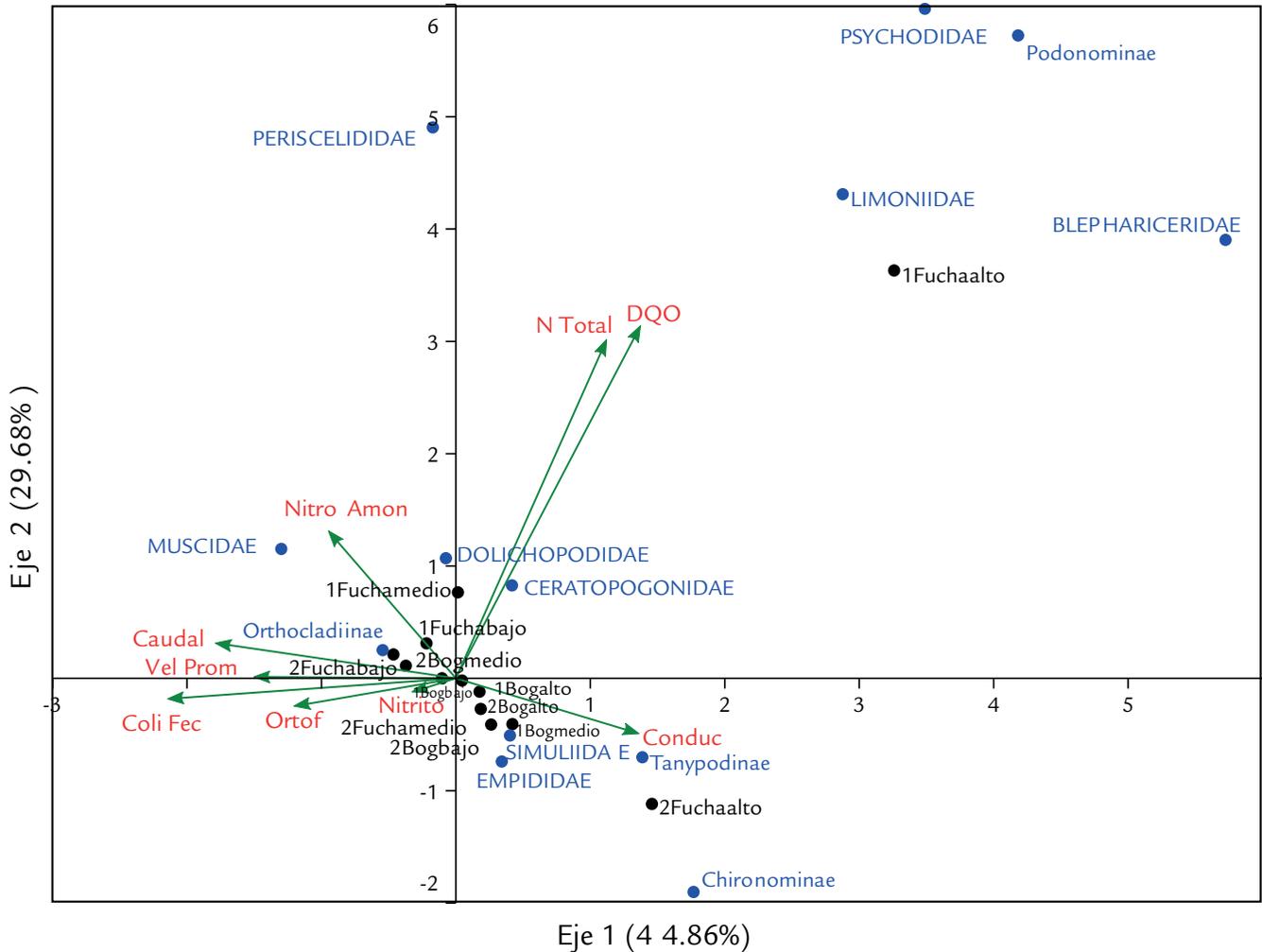


Figura 3. Triplot del ordenamiento del ACC de las familias de Diptera y las subfamilias de Chironomidae en los ríos Fucha y Bogotá para las dos épocas de muestreo. El número 1 corresponde a la época de aguas altas y el número 2 al periodo seco.

tramo medio, lo que causa modificaciones en los ensamblajes de especies de invertebrados acuáticos. Sin embargo, debe considerarse que los resultados de este estudio tienen el sesgo de ser parciales por no tener en cuenta los individuos de otras familias de macroinvertebrados. Brett *et al.* (2017) señalan que el carbono que ingresa a los ríos debido al uso de la tierra influye en la presencia de invertebrados de varias maneras, entre ellas por los cambios que provoca en la captación de la luz, en la distribución de los productores primarios y en la presencia de macroinvertebrados raspadores, así como en otras condiciones abióticas tales como la absorción de calor y la concentración de oxígeno.

Los nutrientes provienen no solo de los minerales disueltos, sino además del aporte de materia orgánica que ha sido adquirida de diferentes fuentes, como la vegetación riparia, la presencia de otros organismos vertebrados e invertebrados y la distribución de los sustratos en el lecho del río, entre otros factores (Vannote *et al.*, 1980; Martins *et al.*, 2018). En el tramo medio del río Bogotá hubo una disminución

moderada de la calidad de agua, lo que se asocia con la reducción de la vegetación riparia, la cual se ha considerado como un elemento que contribuye a reducir los efectos de los vertimientos de agroquímicos al suelo (Villamarín *et al.*, 2013). La disminución del caudal y el incremento de la temperatura en la época de aguas bajas posiblemente lleve a un aumento de las condiciones de contaminación, lo cual puede fomentar la dominancia de algunos géneros de la familia Chironomidae, considerada como típica de los ambientes más poluidos (Da Silva *et al.*, 2019).

En concordancia con lo hallado por Quinn y Hickey (1990), ni el pH ni el oxígeno disuelto mostraron asociación con la presencia de los géneros de Diptera. Las familias Chironomidae y Simuliidae se encontraron en todos los puntos y en las dos épocas; aunque sus abundancias se vieron afectadas por la variación temporal, las dos familias aumentaron considerablemente en el periodo de aguas bajas. Es muy probable que las lluvias en la temporada de aguas altas arrastre gran cantidad de individuos del sustrato o que

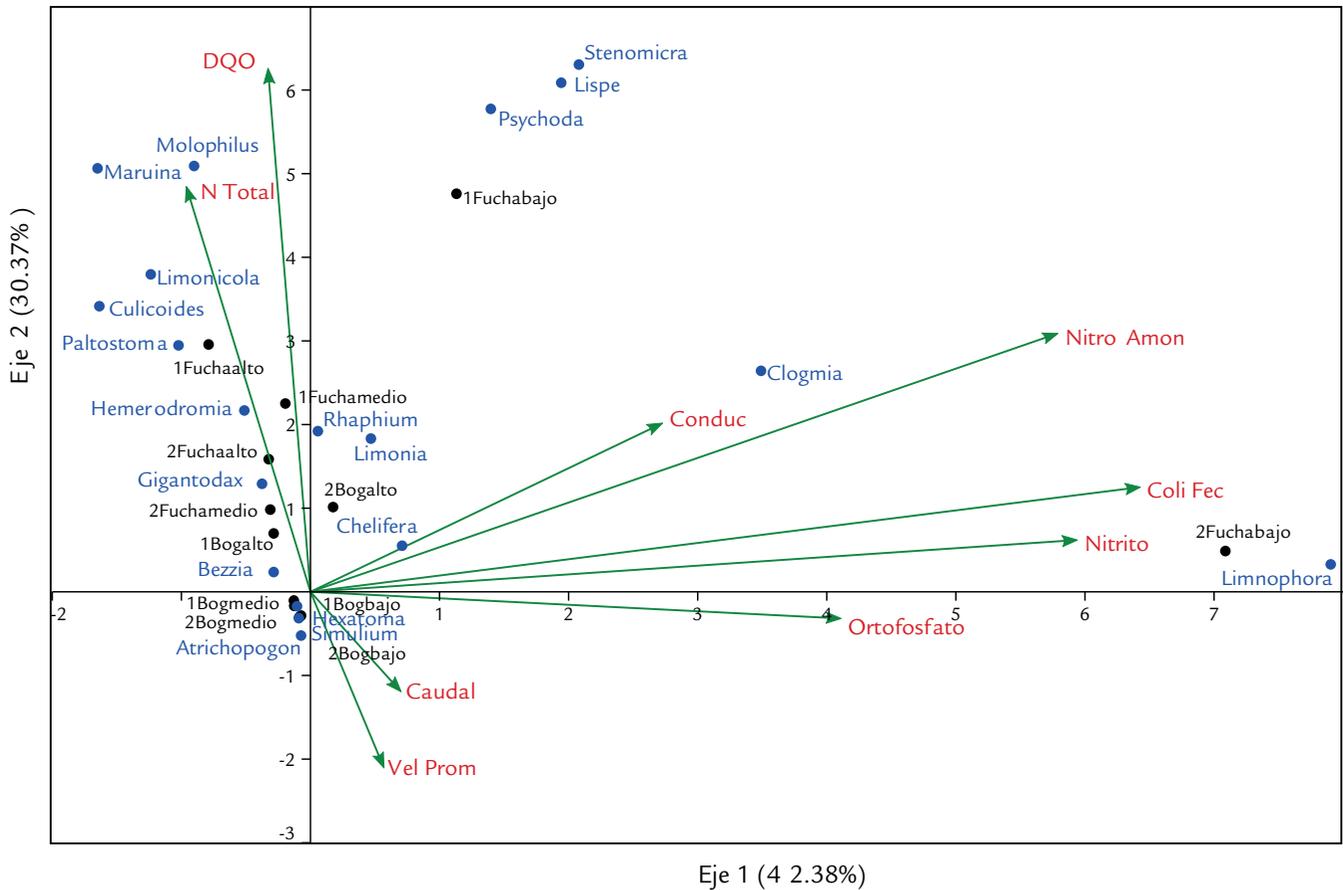


Figura 4. Triplot del ordenamiento del ACC para los géneros de Díptera (excepto Chironomidae) en los ríos Fucha y Bogotá para las dos épocas de muestreo. El número 1 corresponde a la época de aguas altas y el número 2 al periodo seco.

las larvas deriven hacia nichos más favorables, mientras que en aguas bajas las poblaciones se mantienen más estables, aferradas a los sustratos. Por otro lado, el incremento del género *Simulium* en la época seca en el río Bogotá puede deberse a un aumento en los nutrientes por concentración de los mismos, mientras que el género *Gigantodax* disminuye, posiblemente por ser menos tolerante que las especie de *Simulium* presentes en este tramo del río. No obstante, en el tramo bajo del río Fucha, donde se detectó el mayor grado de contaminación (tabla S1), se observó la respuesta opuesta, ya que desaparecieron los individuos del género *Simulium* y solo quedó una especie del género *Gigantodax*; es probable entonces que estas diferencias entre los ríos obedezcan a que sus especies son distintas y tienen tolerancias diferentes, respuestas que quedan enmascaradas cuando se analizan los datos en la jerarquía de género.

González *et al.* (2014) interpretan el índice de diversidad de Shannon de la siguiente manera: valores superiores a tres indican aguas limpias, entre uno y tres, aguas más o menos contaminadas y menores a uno, aguas muy contaminadas. Al tomar este índice como indicador de contaminación basado solo en los géneros, parecería que dicha contaminación fue media en todos los sitios del río Fucha, a excepción de

los tramos bajos en la época de aguas bajas, en los que la contaminación se incrementó y la diversidad se redujo. Según González *et al.* (2014), la disminución de la diversidad se puede deber a la reducción del cauce y a la posible concentración de materiales contaminantes. En el río Fucha la diversidad y la abundancia aumentaron en época de aguas bajas; en el río Bogotá solo la abundancia se incrementó en ese periodo, pero la diversidad se redujo. Esto es similar a lo encontrado por Rojas *et al.* (2018), quienes reportaron los mayores valores de riqueza y abundancia para la época seca, indicativo de la fácil adaptación de la comunidad de dípteros a los cambios fisicoquímicos ocasionados por la estacionalidad climática. Teniendo en cuenta solamente el índice de Shannon, los puntos altos de los dos ríos, en los que la vegetación ribereña es abundante, tuvieron una calidad del agua moderada, aun estando en zonas protegidas. Al parecer, la función filtradora y retenedora de la vegetación riparia en estos tramos no impide los aportes de nutrientes y materia orgánica producida por otros organismos acuáticos y terrestres (Wandscheer *et al.*, 2017; Da Silva *et al.*, 2019).

En los dos ríos estudiados la subfamilia Orthocladiinae fue la más diversa con diez géneros. Acosta y Prat (2010) reportan resultados similares para un río de alta montaña en

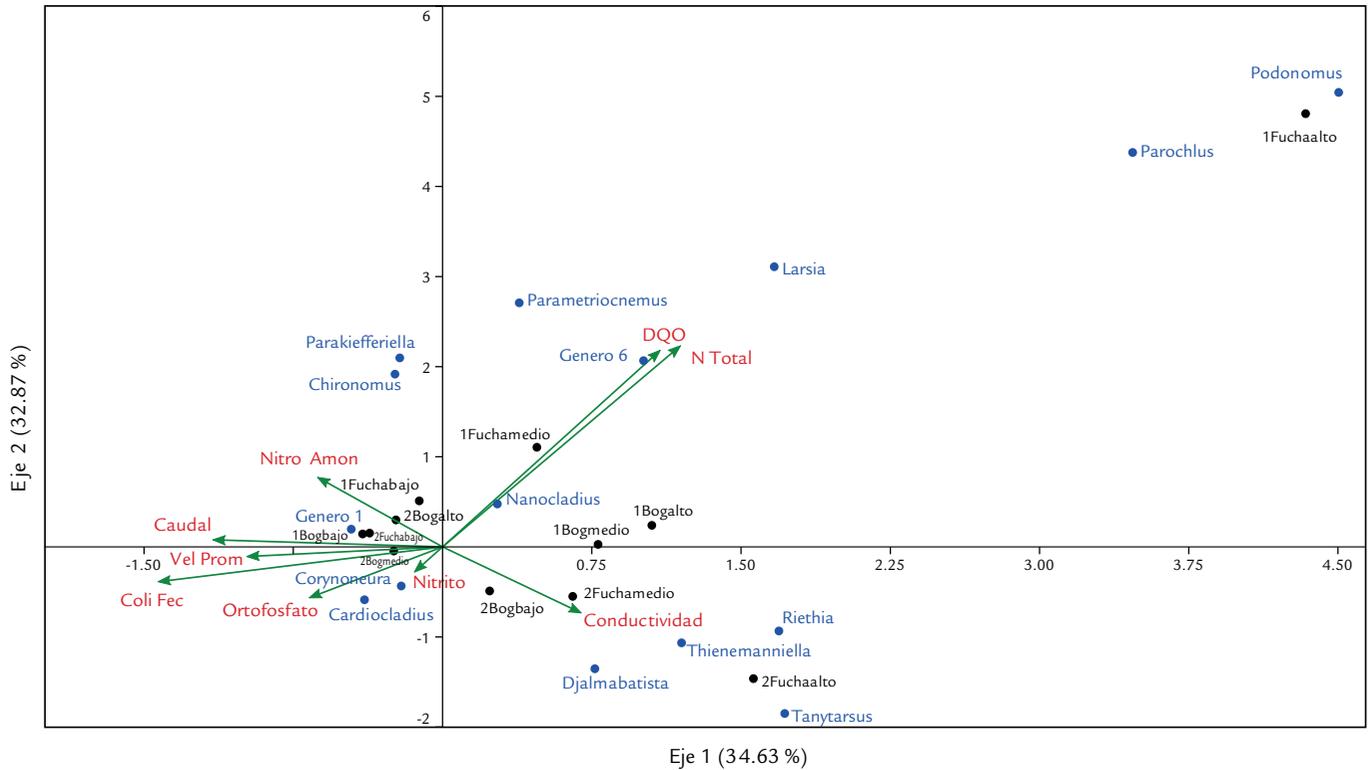


Figura 5. Triplot del ordenamiento del ACC de los géneros de la familia Chironomidae en los ríos Fucha y Bogotá para las dos épocas de muestreo. El número 1 corresponde a la época de aguas altas y el número 2 al periodo seco.

Perú; sin embargo, en corrientes de zonas bajas de Colombia y de otras latitudes, la subfamilia Chironominae se había reportado como la más diversa, con siete géneros, tanto en el río Opia (Tolima) como en el río Matanza (Argentina) (Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez, 2018; Cortese *et al.*, 2019). A diferencia de esos dos ríos (localizados a baja elevación el primero y en zona templada el segundo), ambos en el presente estudio se encontró a la subfamilia Podonominae, que es característica de sistemas fluviales de alta montaña (Acosta y Prat, 2018) y presumiblemente con baja contaminación.

En el ACC que incluye a las familias del orden Diptera y a las subfamilias de Chironomidae (Fig. 3), las familias Psychodidae, Limoniidae y Blephariceridae tendieron a asociarse a mayores valores de nitrógeno total y de DQO en el punto “1Fuchaalto”, posiblemente por aportes importantes de materia orgánica de la vegetación boscosa como hojas, ramas y troncos (Collantes *et al.*, 2014). En el punto “2Fuchaalto”, las subfamilias de chironómidos Tanypodinae y Chironominae fueron las más representativas, asociadas con aguas de mayor conductividad (Navarrete *et al.*, 2004; Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez, 2018) debido probablemente al poco caudal y a la gran cantidad de sólidos disueltos en la época de aguas bajas. Todos los demás puntos, en especial los del río Bogotá, se encuentran hacia el centro del ordenamiento, lo que parece indicar que las variables

físicoquímicas e hidrológicas no tuvieron mayor efecto en la organización de las familias de dípteros en este río.

A pesar de la aparente semejanza con el ACC de las familias, en el ACC de los géneros (excluyendo a los de la familia Chironomidae, Fig. 4) se observa una respuesta mucho más clara y definida. En el punto “2Fuchabajo” es notable la asociación muy fuerte de las variables de contaminación (coliformes fecales, conductividad y nutrientes como nitrógeno amoniacal, nitritos y ortofosfatos) con los géneros *Clogmia* y *Limnophora* de las familias Psychodidae y Muscidae respectivamente, siendo buenos indicadores de un mayor grado de deterioro de la calidad del agua (Reddy y Rao, 1991; Posada, 2008). Otra agrupación ocurre con géneros como *Molophilus*, *Maruina*, *Limnicola*, *Culicoides* y *Paltostoma*, relacionados con mayores contenidos de nitrógeno total y mayor demanda química de oxígeno en el punto “1Fuchaalto”; estos géneros no son habituales en aguas muy contaminadas, pero si con mayor carga orgánica (Mosquera y Mosquera, 2017; Martin *et al.*, 2019).

De igual manera que en el ordenamiento de familias, en el ordenamiento de géneros fue notable la ubicación de todos los tramos del río Bogotá en el centro del triplot de la figura 4, lo cual refuerza la idea de que los géneros preponderantes en este sistema (*Bezia*, *Chelifera*, *Hexatoma*, *Simulium* y *Atrichopogon*) no parecen estar afectados por alguna variable ambiental en particular. Nuevamente, es importante tener presente que los resultados corresponden a muy pocos muestreos y solo a dos

ríos, por lo que deben tomarse con la debida precaución. Aun así, el análisis deja ver algunas tendencias claras que deberán corroborarse con estudios más extensivos espacialmente, e intensivos temporalmente.

Es importante evaluar la respuesta ecológica de los géneros de la familia Chironomidae, ya que tradicionalmente se ha considerado que todos los integrantes de este gran taxón habitan en aguas contaminadas. El ACC de los géneros de esta familia (Fig. 5) deja ver que lo anterior no es totalmente cierto, puesto que existen géneros de chironómidos que no están claramente asociados al eje de mayor contaminación que muestra el ordenamiento (vectores relacionados con ortofosfatos y coliformes fecales); solamente los taxones *Corynoneura* y *Cardiocladius* parecen tener cierto grado de asociación a estas variables. A las condiciones de mayores valores de nitrógeno total y de DQO del punto “1Fuchaalto” se asocian los géneros *Parametricnemus*, *Larsia*, *Parochlus* y *Podonumus*. Estos géneros podrían indicar aguas con más materia orgánica, pero posiblemente originada en la vegetación ribereña y no debido a actividades humanas. En el punto “2Fuchaalto” ocurre un comportamiento similar de los géneros *Djalmabatista*, *Thienemanniella*, *Riethia* y *Tanytarsus* con respecto a la conductividad; estos taxones podrían abundar en la parte alta del río Fucha durante la época en que se incrementan los iones disueltos en el agua debido a los cambios del periodo climático. También parece ser que estos resultados muestran la predominancia de algunos géneros cosmopolitas como *Cricotopus*, cuyos incrementos pueden deberse al desarrollo de ciertas etapas de sus ciclos de vida.

En el ordenamiento de los géneros de chironómidos se repite la escasa variabilidad de los puntos sobre el río Bogotá, los cuales se ubican hacia el centro de la figura y se mezclan con varios sitios del río Fucha. Parece razonable pensar que el río Bogotá presenta condiciones más limpias y estables en su fisicoquímica a lo largo de los tres tramos muestreados, en comparación con el río Fucha, en el que se presentaron cambios notables entre cambiar por: el tramo alto y el tramo bajo.

CONCLUSIONES

Los resultados hallados en este trabajo permiten deducir que las características de la estructura de las comunidades de organismos acuáticos podrían ser una herramienta importante para monitorear la calidad del agua. Se resalta el hecho de que la estructura de las comunidades de dípteros fue semejante en las dos corrientes, aunque el patrón fue más disperso en el río Fucha y menos variable en el río Bogotá. No obstante, estos acercamientos basados en los ensamblajes comunitarios deben hacerse a escala local y con taxones definidos en lo posible a nivel de especie. En términos generales, para las familias no hubo una respuesta clara y contundente de la organización biótica de los dípteros en el conjunto de variables ambientales de los ríos estudiados. Es decir, las familias no parecen asociarse

visiblemente a una o varias características abióticas de estos sistemas fluviales. Esta respuesta tan poco explícita se debe probablemente al bajo número de muestreos espaciales y temporales, pero también a la jerarquía taxonómica amplia, como lo es el nivel de familia. En principio, los resultados sugieren que llevar la identificación al menos hasta el nivel de género brinda respuestas más coherentes, ya que de esta manera se incluye la diversidad de respuestas ecológicas de los miembros de una misma familia. El ejemplo más claro ocurre con la familia Chironomidae, que presenta géneros que viven tanto en aguas contaminadas como en aguas limpias. Cuando se utilizaron niveles taxonómicos más detallados (géneros) en los ríos estudiados, hubo una mejor asociación entre las variables y la dinámica de las poblaciones, tanto en las épocas de aguas altas como en los periodos de aguas bajas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia y al “Programa de jóvenes investigadores e innovadores para la paz 2017” de Colciencias, código 39095, por la financiación de este proyecto, así como al personal del Laboratorio de Entomología Médica LEMUN de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

REFERENCIAS

- Acosta R, Prat N. Chironomid assemblages in high altitude streams of the Andean region of Peru. *Fundam Appl Limnol.* 2010;177(1):57-79. Doi: <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2010/0177-0057>
- Acosta R, Prat N. Pupas Podonominae (Diptera: Chironomidae) de los ríos altoandinos tropicales. *Rev Biol Trop.* 2018; 66(1):57-79. Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1>
- APHA American Public Health Association, AWWA American Water Works Association, WEF Water Environment Federation. Standard method for the examination of water and wastewater. 22th ed. Washington DC: APHA; 2012. 1360p.
- Brett MT, Bunn SE, Chandra S, Galloway ANE, Guo F, Kainz MJ, *et al.* How important are terrestrial organic carbon inputs por secondary production in freshwater ecosystem? *Fresh Water Biol.* 2017;62:833-853- Doi: <https://doi.org/10.1111/fwb.12909>
- CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. Resumen ejecutivo. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR); 2006. 15 p.

- Chapman DV, Bradley C, Gettel GM, Hatvani IG, Hein T, Kovács J, *et al.* Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube river as an example. *Environ Sci Policy*. 2016;64: 141-154. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.015>
- Collantes Quintero A, Castellanos-Barliza J, Leon Peláez JD, Tamaris-Turizo CE. Caracterización de materia orgánica aportada por hojarasca fina en los bosques de ribera del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia). *RIAA*. 2014;5(1):171-184. Doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.946>
- Cortese B, Zanotto Arpellino JP, Paggi AC, Rodrigues A. Chironomid genera distribution related to environmental characteristics of a highly impacted basin (Argentina, South America). *Environ Sci Pollut R*. 2019;26:8087–8097. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04267-2>
- Cuadrado LA, Moncada LI, Pinilla GA, Larrañaga A, Sotelo AI, Adler PH. Black Fly (Diptera: Simuliidae) assemblages of high Andean river respond to environmental and pollution gradient. *Environ Entomol*. 2019;48(4):815-825. Doi: <https://doi.org/10.1093/ee/nvz053>
- da Silva Tronco Johann A, Mangolin LP, Sanches PV, Sebastián NY, Topan DA, Piana PA, *et al.* Urbanized tributary causes loss of biodiversity in a neotropical river segment. *Water Air Soil Pollut*. 2019; 230: 118. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4164-3>
- Domínguez E, Fernández H. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo; 2019. p. 17-24.
- Failla AJ, Vasquez AA, Fujimoto M, Ram JL. The ecological, economic and public health impacts of nuisance chironomids and their potential as aquatic invaders. *Aquat Invasions*. 2015;10(1):1-15. Doi: <https://doi.org/10.3391/ai.2015.10.1.01>
- Forero AM, Reinoso G, Gutiérrez C. Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima- Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*. 2013;35(2):371-387.
- Fusari, LM, Dantas GPS, Pinho LC. Chapter 16 - Order Diptera. En: Hamada N, Thorp JH, Rogers, editores. *Freshwater Invertebrates: Keys to Neotropical Hexapoda*. Volume 3 (English Edition) 4th Edition. London, United Kingdom: Academic Press; 2018. p. 607-795.
- González NA, Sánchez SM, Mairena AV. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo en las microcuencas de los alrededores de Bluefields, RAAS. *Wani*. 2014;68:53-63. Doi: <https://doi.org/10.5377/wani.v68i0.1354>
- Gutiérrez JD, Riss W, Ospina R. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia*. 2004;26(1):151-160.
- Gutiérrez J, Zamora H, Andrade CE. Efecto de la actividad antrópica sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Cofre (sistema lótico andino colombiano). *Rev Biodivers Neotrop*. 2014;4(2):113-123. Doi: <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v4i2.137>
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron*. [programa de ordenador]. Versión 3.2. Oslo, Norway: Palaeontological Association; 2001. Disponible en: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Lenat D. Abiotic index for southeastern United States: derivation and list tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *J M Am Benthol Soc*. 1993;12(3):279-290. Doi: <https://doi.org/10.2307/1467463>
- López Peralta RH, Talero Martín GM. Densidad larval de Chironomidae (Insecta: Diptera) en un meandro del río Bogotá (Cajicá, Colombia) durante La Niña 2011. *Rev Fac Cien Bas*. 2015;11(1): 48-67. Doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.381>
- Lotta IA, Pacheco MA, Escalante AA, González AD, Mantilla JS, *et al.* *Leucocytozoon* diversity and possible vectors in the Neotropical highlands of Colombia. *Protist*. 2016;167(2):185-204. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2016.02.002>
- Martin E, Chu E, Shults P, Golnar A, Swanson D, Benn J, *et al.* *Culicoides* species community composition and infection status with parasites in a urban environment of east central Texas, USA. *Parasit Vect*. 2019;12:39. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3283-9>
- Martins I, Ligeriro R, Hughes RM, Macedo DR, Callisto M. Regionalisation is key to establishing reference conditions for neotropical savanna streams. *Mar Freshwater Res*. 2018;69(1):82-94. Doi: <https://doi.org/10.1071/MF16381>
- Moreno CE. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza: M&T- Manuales y Tesis SEA; 2001. p. 84.
- Mosquera Murillo Z, Mosquera Mosquera MM. Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Choco-Colombia. *Rev UDCA Act Div Cient*. 2017;20(1):149-161. Doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.72>
- Navarrete NA, Fernández E, Contreras G. Abundancia de Quironómidos (Diptera: Chironomidae) en el bordo “JC” del norte del Estado de México en el periodo de secas. *Hidrobiológica*. 2004;14(2):157-160.
- Ospina R, Riss W, Ruiz L. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae) de la Sabana de Bogotá. En: Amat G, Andrade MG, Fernández F, editores. *Insectos de Colombia*. Vol. II. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales; 1999. p. 363-384.

- Oviedo-Machado N, Reinoso-Flórez G. Ecological aspects of Chironomidae larvae (Diptera) of the Opia river (Tolima, Colombia). *Rev Colomb Entomol.* 2018;44(1):101-109. Doi: <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Posada JA, Abril G, Parra LN. Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia.* 2008;30(2):441-450.
- Prat N, Acosta R, Villamarín C, Rieradevall M. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. Barcelona, España: Grupo de Investigación F.E.M. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona; 2018. p. 45.
- Prat N, González-Trujillo JD, Ospina-Torres R. Clave para la determinación de exuvias pupales de quironómidos (Diptera:Chironomidae) de ríos ato-andinos tropicales. *Rev Biol Trop.* 2014;62(4):1385-1406. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.9844>
- Quinn JM, Hickey CW. Characterisation and classification of benthic invertebrate communities in 88 New Zealand rivers in relation to environmental factors. *New Zeal J Mar Fresh.* 1990; 24(3):387-409- Doi: <https://doi.org/10.1080/00288330.1990.9516432>
- Ramírez DF, Talero GM, López RH. Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá, Cajicá-Colombia. *Rev U.D.C.A Act Div Cient. (Colombia).* 2013;16(1): 205 -214. Doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.876>
- Reddy MV, Rao BM. Benthic macroinvertebrates as indicators of organic pollution of aquatic ecosystems in a semi-arid tropical urban system. En: Jeffrey DW, Madden B, editores. *Bioindicator and environment.* London: Academic Press; 1991; p. 65-77.
- Riss W, Ospina R, Gutiérrez JD. Una metodología para el cálculo de valores primarios de bioindicación. *Acta Biol Colomb.* 2002a;7(2):29-35.
- Riss W, Ospina R, Gutiérrez JD. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Caldasia.* 2002b;24(1):135-156.
- Rojas-Sandino LD, Reinoso-Flórez G, Vásquez-Ramos JM. Distribución espacial y temporal de dípteros acuáticos (Insecta: Diptera) en la cuenca del río Alvarado, Tolima, Colombia. *Biota Colomb.* 2018;19:70-91. Doi: <https://doi.org/10.21068/c2018v19n01a05>
- Roldán G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis” 1988. Disponible en: <https://www.ianas.org/docs/books/wbp13.pdf>. Citado: 15 Ago 2019.
- Roldán-Pérez G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev Acad Colomb Cienc Ex Fis Nat.* 2016; 40(155):254-274. Doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Ruiz-Moreno J, Ospina-Torres R, Riss W. Guía para la identificación genérica de larvas de Quironómidos (Diptera Chironomidae) de la sabana de Bogotá. II Subfamilia Chironominae. *Caldasia.* 2000a;22(1):15-33.
- Ruiz-Moreno J, Ospina-Torres R, Gómez-Sierra, Riss W. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la sabana de Bogotá. III. Subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae. *Caldasia.* 2000b;22(1):34-60.
- Secretaría Distrital de Ambiente. Descripción y contexto de las cuencas hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Secretaría Distrital de Ambiente 2015; p. 13. Disponible en: http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=698885eb-239e-4c23-89ca-99d18bef5865&groupId=586236 Citado: 15 Ago 2019.
- Vagnetti R, Miana P, Fabris M, Pavoni B. Self-purification ability of a resurgence stream. *Chemosphere.* 2003;52(10):1781-1795. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00445-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00445-4)
- Vannote RI, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE. The river continuum concept. *Can J Fish Aquat Sci.* 1980;37(1):130-137. Doi: <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Villamarín C, Rieradevall M, Paul MJ, Barbour MT, Prat N. A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: the IMEERA index. *Ecol Indic.* 2013;29:79-92. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.006>
- Wandscheer ACD, Marchesan E, Santos S, Zanella R, Silva MF, Londero GP, *et al.* Richness and density of aquatic benthic macroinvertebrates after exposure to fungicides and insecticides in rice paddy fields. *An Acad Bras Cienc.* 2017;89(1):335-369. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160574>
- Wotton RS, Malmqvist B, Muotka T, Larsson K. Fecal pellets from a dense aggregation of suspension-feeders in a stream: an example of ecosystem engineering. *Limnol Oceanogr.* 1998;43(4):719-25. Doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1998.43.4.0719>

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Tabla S1. Variables físicas, químicas, hidrológicas y bacteriológicas en los ríos Bogotá y Fucha en los dos periodos de muestreo (aguas altas: noviembre, diciembre de 2015; aguas bajas: marzo de 2016).

| ÉPOCA | AGUAS ALTAS | | | | | | AGUAS BAJAS | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | RÍO | FUCHA | | | BOGOTÁ | | | FUCHA | | | BOGOTÁ | |
| TRAMO | Alto | Med | Baj | Alt | Med | Baj | Alt | Med | Baj | Alt | Med | Baj |
| Temperatura °C | 10,87 | 12,60 | 12,93 | 10,23 | 11,33 | 12,63 | 12,93 | 13,80 | 16,73 | 12,03 | 13,29 | 16,07 |
| Caudal m ³ s ⁻¹ | 0,71 | 1,10 | 1,17 | 0,55 | 0,79 | 4,05 | 0,14 | 1,06 | 1,26 | 0,08 | 0,53 | 0,58 |
| Unidad de pH | 6,3 | 6,5 | 6,6 | 5,4 | 6,5 | 6,3 | 6,7 | 6,7 | 6,8 | 5,1 | 5,6 | 6,0 |
| Oxígeno Disuelto mg L ⁻¹ | 7,867 | 7,67 | 7,62 | 8,09 | 8,11 | 7,647 | 7,393 | 7,58 | 7,083 | 7,413 | 7,713 | 7,093 |
| Potencial de óxido-reducción mV | 266,1 | 276,5 | 224,6 | 309 | 178,6 | 166,5 | 73,6 | 100 | 31,43 | 235,8 | 122,7 | 98,67 |
| Saturación de Oxígeno % | 100,9 | 101,4 | 100,4 | 103,9 | 104,4 | 99,33 | 99,6 | 102,3 | 101,4 | 99,83 | 103,2 | 99,77 |
| Conductividad µS cm ⁻¹ | 25,6 | 17,64 | 29,6 | 2,743 | 7,01 | 15,78 | 59,6 | 28,6 | 43,97 | 2,1 | 14,84 | 20,1 |
| Sólidos disueltos totales mg L ⁻¹ | 16,45 | 10,82 | 18,13 | 1,724 | 4,41 | 9,693 | 36,77 | 17,21 | 24,8 | 1,247 | 9,01 | 11,41 |
| Nitrato mg NO ₃ ⁻ L ⁻¹ | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| Nitrito mg NO ₂ ⁻ L ⁻¹ | 0,006 | 0,003 | 0,008 | 0 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0 | 0 | 0 |
| Nitrógeno amoniacal mg NH ₃ L ⁻¹ | 0,15 | 0,21 | 0,35 | 0 | 0 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,52 | 0,07 | 0,01 | 0,12 |
| Ortofosfatos mg PO ₄ ⁻³ L ⁻¹ | 0,3 | 0,39 | 0,41 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,2 | 0,95 | 1,01 | 0,04 | 0,3 | 0,7 |
| Sulfatos mg SO ₄ L ⁻¹ | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Coliformes fecales Número más probable (NMP) | 40 | 100 | 7900 | 1,8 | 18 | 2400 | 140 | 4000 | 15000 | 18 | 210 | 250 |
| DBO mg O ₂ L ⁻¹ | 3 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| DQO mg O ₂ L ⁻¹ | 24 | 32 | 32 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 1 |
| P total mg P L ⁻¹ | 0,12 | 0,05 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,42 | 0,43 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| N total mg N L ⁻¹ | 0,65 | 1,04 | 0,65 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |

Tabla S2. Abundancias por m² de géneros del orden Díptera en los ríos Bogotá y Fucha. Se resaltan los valores más elevados.

| FAMILIA | GÉNERO | AGUAS ALTAS | | | | | | AGUAS BAJAS | | | | | | |
|-----------------------|---|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|------|
| | | RÍO FUCHA | | | RÍO BOGOTÁ | | | RÍO FUCHA | | | RÍO BOGOTÁ | | | |
| | | Alto | Medio | Bajo | Alto | Medio | Bajo | Alto | Medio | Bajo | Alto | Medio | Bajo | |
| CHIRONOMIDAE | Djalmabatista | | | | | | 11,1 | 14,8 | | 14,4 | | | | |
| | Hudsonimyia | 3,7 | 3,7 | 10,7 | 3,7 | | | 7,4 | | | 7,4 | | | |
| | Ablabesmyia | | | | | | 11,1 | | | | | | | |
| | Pentaneura | 27,4 | 14,8 | 6,7 | 69,6 | 75 | 28,1 | 361,2 | 377,2 | 14,8 | 355,9 | 418,9 | 377,4 | |
| | Larsia | | 7,4 | 7,4 | 3,7 | 14,8 | | | | | | | | |
| | Genero no identificado de Orthoclaadiinae | 7,5 | 1049 | 1022 | | | 73,3 | 15187 | 61,5 | 1554 | 2997 | 410,1 | 2708 | 3594 |
| | Thienemanniella | | | | 35,9 | | 84,9 | 28,8 | 799,1 | | 38,8 | 114,1 | 19,4 | |
| | Corynoneura | | | | | | 137,7 | 460,2 | 42,7 | 65,5 | | 1003 | 378,1 | |
| | Nanocladius | | | 50 | | | | | | 33,1 | | 23,7 | | |
| | Genero 6 | | | | | | 10 | | | | 7,4 | 10 | | |
| | Cardiocladius | | | | | | | 55 | | | | 71,3 | 63,5 | |
| | Parakiefferiella | | | | | | | 3,7 | | | 3,3 | | | |
| | Cricotopus | 116,8 | 1096 | 914,3 | 148,8 | 226,6 | 1182 | 97,4 | 972,7 | 955,9 | 408,1 | 1510 | 660,9 | |
| | Parametriocnemus | | | | 32,2 | 14,8 | 29,6 | | | | | 33,3 | | |
| | Limnophyes | | | 16,7 | | | | | | | | | | |
| | Riethia | 5,6 | 14,8 | 50 | | 156,2 | 88,9 | 294 | 508,5 | 100,2 | 3,3 | 141,6 | | |
| | Chironomus | | 23,3 | 111,1 | | | 16,7 | | | 27,6 | | | | |
| | Tanytarsus | 3,7 | | 3,7 | 20,7 | 3,7 | 197,1 | 985,2 | 634,4 | 23,7 | | 28,9 | 1813 | |
| | Polypedilum | | | | | | 59,3 | | | | | | | |
| | Podonomus | 399,2 | 232 | 50,4 | | 14,3 | | 10,3 | 41,6 | | | 6,7 | | |
| Parochlus | 6,7 | 10 | | | 7 | | | | | | | | | |
| SIMULIIDAE | Simulium | 24,4 | | 2,3 | 20,7 | 803,4 | 2777 | 52,2 | 38,2 | | 10,7 | 2052 | 4244 | |
| | Gigantodax | 61,9 | 25,2 | 13,4 | 51,8 | 122,2 | 3,3 | 110,2 | 131,1 | 3,7 | 48 | 55,3 | | |
| CERATOPOGONIDAE | Atrichopogon | | | | | 6,7 | | | | | | | | |
| | Bezzia | 7,4 | | | 14,1 | 3,7 | 7,4 | | | | 3,3 | 51,9 | | |
| | Culicoides | | 3,3 | | | | | | | | | | | |
| BLEPHARICERIDAE | Paltostoma | 63,7 | | | | | | 23,7 | 5,5 | | | 33,5 | | |
| | Limonicola | 118,5 | 3,3 | | | | | 41,1 | | | | 20,5 | | |
| MUSCIDAE | Limnophora | | | | | | 3,7 | 3,7 | | 154,4 | 3,7 | | | |
| | Lispe | | | 66,7 | | | | 3,7 | | | | | | |
| EMPIDIDAE | Hemerodromia | | | | | | | 3,7 | | | | | | |
| | Chelifera | | 7,4 | | | | 25,6 | 7,4 | 3,7 | 7,6 | | 10,7 | | |
| PSYCHODIDAE | Psychoda | | 3,3 | 14,8 | | | | | | | | | | |
| | Maruina | 16,7 | | | | | | | | | | | | |
| | Clogmia | 7,4 | | | | | | | | 7,6 | | | | |
| DOLICHOPODIDAE | Rhaphium | | 6,7 | 8,3 | | | 20,7 | 5,1 | | | | | | |
| LIMONIIDAE | Limonia | 6,7 | 6,7 | 10,7 | | | 3,7 | | | 3,3 | 7,4 | 6,7 | 20 | |
| | Hexatoma | | | | 3,7 | | | | | | | | | |
| | Molophilus | 37 | 7,4 | 11,1 | | | | | | | | | | |
| PERISCHELIDIDAE | Stenomicro | | | 3,7 | | | | | | | | | | |
| TOTAL, TAXONES | | 17 | 17 | 19 | 11 | 16 | 20 | 19 | 13 | 12 | 14 | 17 | 10 | |