

## Chironomidae y su relación con variables fisicoquímicas en tres quebradas del río Combeima (Tolima, Colombia)

### Chironomidae and its relationship with physicochemical variables in three streams of the Combeima river (Tolima, Colombia)

Mayra Geraldine Rojas-Céspedes<sup>\*1,2</sup>, Giovany Guevara<sup>2</sup>, Gladys Reinoso-Flórez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>. Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima

<sup>2</sup>. Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima

Recibido: Abril 10 de 2023

Aceptado: Junio 27 de 2023

\*Correspondencia del autor: Mayra Geraldine Rojas-Céspedes

E-mail: mgrojasc@ut.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i35.283>

#### Resumen

**Introducción:** Los quironómidos forman parte de los macroinvertebrados esenciales en la tipificación de hábitats acuáticos, ya que albergan especies sensibles a la contaminación, mientras que otras son indicadoras de ambientes bien conservados. Son organismos claves por su abundancia, diversidad, y capacidad de respuesta a diversas presiones naturales y antropogénicas. **Objetivo:** Determinar las relaciones entre los géneros de la familia Chironomidae y la calidad fisicoquímica del agua. **Materiales y métodos:** Se realizaron seis muestreos en tres quebradas del río Combeima (Las Perlas, La Plata y Cay; Tolima, Colombia). **Resultados:** Se registraron 15594 larvas distribuidas en tres subfamilias y 20 géneros. El análisis de correspondencia canónica (ACC) mostró que *Cardiocladius*, *Polypedilum*, *Thienemannimyia*, *Cricotopus* y *Alotanypus* se relacionaron con procesos de oxidoreducción, mientras que *Chironomus*, *Larsia*, *Cladotanytarsus*, *Onconeura*, *Riethia*, *Paratanytarsus* y *Endotribelos* se asociaron con procesos de mineralización. Adicionalmente, se evaluó la relación de los índices de calidad del agua (ICA, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO) con los géneros de Chironomidae. *Alotanypus* y *Cricotopus*, presentaron asociación con los índices ICOSUS e ICOTRO, mientras que *Cardiocladius*, *Thienemannimyia* y *Polypedilum*, se asociaron con ICOMO; *Saetheria*, *Riethia*, *Larsia*, *Endotribelos*, *Cladotanytarsus*, *Paratanytarsus*, *Onconeura* y *Dicrotendipes* se asociaron con ICOMI. Respecto al ICA, los géneros que se asociaron fueron *Chironomus*, *Rheocricotopus*, *Parametriocnemus*, *Pentaneura* y *Corynoneura*; contrario a *Cryptochironomus* que se separa de cualquier asociación. **Conclusión:** Los resultados revelan que no solo la presencia de materia orgánica facilita el establecimiento de la familia Chironomidae en los cuerpos de agua, sino también las características geomorfológicas propias de las quebradas analizadas.

**Palabras clave:** Bioindicación, Calidad fisicoquímica, Chironomidae, Factores ambientales, Índices de calidad, Quebradas altoandinas.

## Abstract

**Introduction:** Chironomids are part of the essential macroinvertebrates in the typification of aquatic habitats, since they harbor species sensitive to pollution, while others are indicators of well-preserved environments. They are key organisms due to their abundance, diversity, and ability to respond to various natural and anthropogenic pressures. **Objective:** To determine the relationships between the genera of the Chironomidae family and the physicochemical water quality. **Materials and methods:** Six sampling events were realized in three streams of the Combeima River Basin (Las Perlas, La Plata, and Cay; Tolima, Colombia). A total of 15,594 larvae distributed in three subfamilies and 20 genera were recorded. The canonical correspondence analysis (CCA) showed that *Cardiocladius*, *Polypedilum*, *Thienemannimyia*, *Cricotopus* and *Alotanypus* were related to oxidation-reduction processes, while *Chironomus*, *Larsia*, *Cladotanytarsus*, *Onconeura*, *Riethia*, *Paratanytarsus*, and *Endotribelos* were associated with mineralization processes. Additionally, the relationship of the water quality indices (ICA, ICOMO, ICOSUS and ICOTRO) with the genera of Chironomidae was evaluated. *Alotanypus* and *Cricotopus* presented association with the ICOSUS and ICOTRO indices, while *Cardiocladius*, *Thienemannimyia* and *Polypedilum* were associated with ICOMO; *Saetheria*, *Riethia*, *Larsia*, *Endotribelos*, *Cladotanytarsus*, *Paratanytarsus*, *Onconeura*, and *Dicrotendipes* partnered with ICOMI. Regarding the WQI, the genera that were associated were *Chironomus*, *Rheocricotopus*, *Parametricnemus*, *Pentaneura* and *Corynoneura*; contrary to *Cryptochironomus* which separates itself from any association. **Conclusion:** The results reveal that not only the presence of organic matter facilitates the establishment of the Chironomidae family in the water bodies, but also the geomorphological characteristics of the analyzed streams.

**Keywords:** Bioindication, Chironomidae, Environmental factors, High Andean streams Physicochemical quality, Quality indices.

## Introducción

Los macroinvertebrados acuáticos están representados por organismos diversos que realizan interacciones biológicas claves y son considerados bioindicadores de la calidad del agua. Dentro de este grupo se encuentra el orden Diptera, en especial la familia Chironomidae, que incluye insectos ampliamente distribuidos y abundantes en aguas continentales, son de gran importancia en la colonización de cuerpos de agua y sustratos asociados (1), presentes tanto en sistemas acuáticos lenticos como lóticos (2). Es la familia más representativa del orden y es considerada indicadora de las condiciones limnológicas del cuerpo de agua (3), presentan mayor distribución, abarcan amplios gradientes latitudinales, altitudinales y de perturbaciones (4). Las especies dentro de este grupo son capaces de sobrevivir a un conjunto de condiciones extremas que incluyen temperaturas bajo cero, aguas ricas en sal o pobres en oxígeno. El estudio de los quironómidos, ya sea desde el punto de vista taxonómico, o como elementos preponderantes en

la comunidad bentónica, constituye una parte fundamental en las investigaciones, tanto faunísticas, para el conocimiento de la biodiversidad en el territorio, como ecológicas, para la comprensión del estado trófico de los limnotopos, tendiente al mejoramiento de la calidad de sus aguas, cada día en mayor peligro de una pérdida irreversible de las mismas (5).

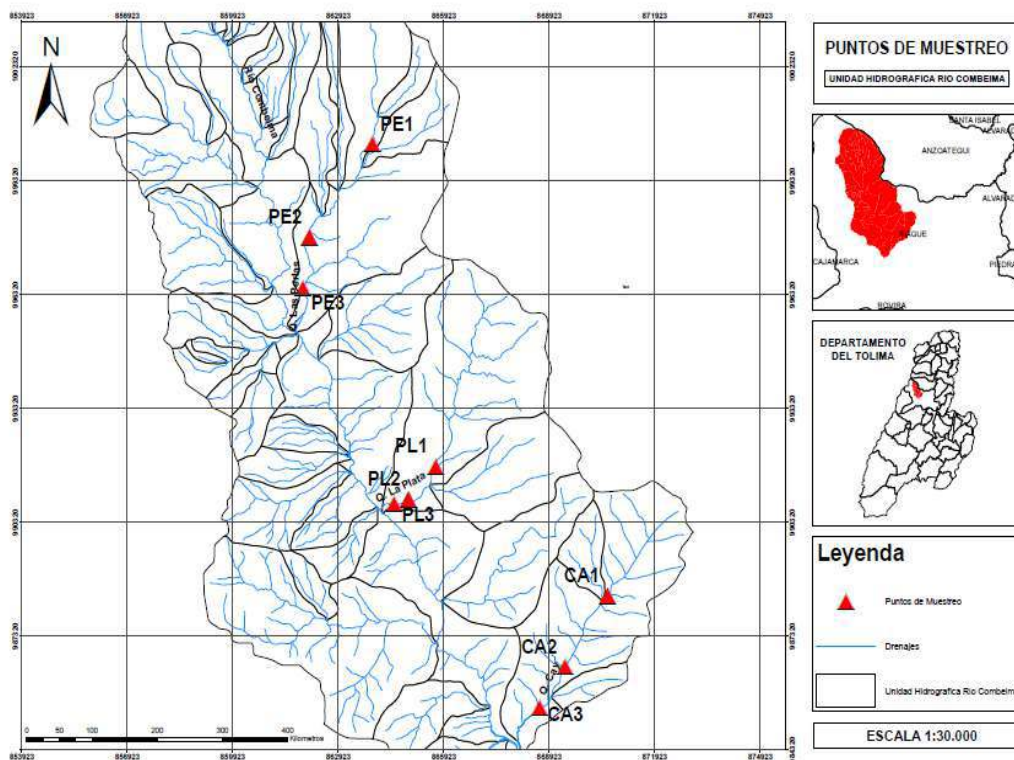
Los indicadores bióticos son una de tantas herramientas para establecer la calidad ecológica y la calidad en función del uso que se da a los cuerpos de agua. Entre ellos los taxones de Chironomidae se consideran excelentes bioindicadores de alteraciones o de condiciones particulares del agua y del ecosistema acuático en general, debido a su alta diversidad de especies, con casi 900 especies descritas en el Neotropico (6 y 7), y a la sensibilidad ante los cambios en el uso del suelo (8); son fáciles de capturar en el agua, y las determinaciones taxonómicas pueden realizarse con diferentes estadios. Dada la importancia de ésta biota por su abundancia,

diversidad, capacidad de respuesta a diversas presiones naturales y antropogénicas se desarrollo el presente estudio orientado a determinar las posibles relaciones entre los géneros de la familia Chironomidae y la calidad fisicoquímica en tres quebradas del río Combeima (Las Perlas, Plata y Cay). La información registrada serán una base importante para el conocimiento taxonómico y ecológico de los quironómidos a nivel regional y en el país, así mismo se generará un conocimiento relevante para futuros estudios de bioindicación y para el diseño de planes y programas de manejo de estos ambientes dulceacuícolas y de su biota.

### Materiales y Métodos

**Área de estudio.** El presente estudio se realizó en las quebradas Las Perlas (PE), La Plata (PL), y Cay (CA), tributarias de la cuenca del río Combeima (área de 27,421 ha), que a su vez pertenece a la cuenca del río Coello. Las tres microcuencas se ubican dentro de las

zonas de vida preMontano, Montano bajo y Montano (1000 - 3000 m s.n.m.) con una temperatura que oscila entre los 6 - 24°C (clima: templado cálido y templado frío). Esta cuenca se localiza en la vertiente oriental de la cordillera Central (04°19'30" - 04°39'57" N; 75°10'11" - 75°23'23" O) en el departamento del Tolima, zona central de Colombia (Figura 1). Su rango altitudinal incluye desde los 5,225 m en su nacimiento en el nevado del Tolima hasta 648 m s.n.m. en su desembocadura en el río Coello (9). Los muestreos (M1 - M6), se realizaron en agosto (M1= bajas lluvias), octubre (M2= altas lluvias) y noviembre (M3= transición bajas lluvias) de 2015 y febrero (M4= transición bajas lluvias), abril (M5= altas lluvias) y mayo (M6= transición bajas lluvias) de 2016. La zona representa uno de los lugares de mayor afluencia turística del municipio de Ibagué. Las microcuencas seleccionadas, en general, presentan efectos de degradación antropogénica por ganadería, agricultura y urbanización.



**Figura 1.** Ubicación de las tres microcuencas tributarias de la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia). Fuente. Autores, 2023.

**Trabajo de campo:** Los quironómidos analizados provienen de colectas de macroinvertebrados realizadas por el Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), en las quebradas mencionadas, en tres zonas de muestreo (parte alta [1], media [2], y baja [3]). La recolecta del material biológico se realizó siguiendo los protocolos y técnicas propuestas por Wantzen y Rueda (11). Los organismos se almacenaron en frascos plásticos y se preservaron en alcohol al 70%. A nivel temporal, se utilizó la información de los registros pluviométricos históricos (~10 años) suministrados por el IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Esta información se utilizó posteriormente para relacionar las variables fisicoquímicas y de calidad de agua, con la diversidad y abundancia de los taxones identificados.

**Trabajo de laboratorio:** En el Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima (Ibagué, Colombia), se realizó la separación e identificación a nivel de género. Los especímenes fueron conservados en tubos Vacutainer® con alcohol al 70%. Se realizó el proceso de montaje y fijación de placas (micropreparados) del 10% de la muestra. Para tal fin se utilizaron las claves de Roldán (1996) (2), Ospina et al. (1999) (12), Ruiz-Moreno et al. (2000a, b) (13 y 14), Epler (2001) (15), Paggi (2001) (16), Courtney y Merritt (2008) (17), Merritt et al. (2008) (18), Ferrington (2008) (19), Domínguez y Fernández (2009) (20), Prat et al. (2011) (21), Trivinho-Strixino (2011) (22), y Andersen et al. (2013) (23).

**Parámetros fisicoquímicos.** Se registraron *in situ*: oxígeno disuelto, % saturación de oxígeno, conductividad y temperatura del agua. Igualmente se tomaron muestras para análisis *ex situ* de pH, turbiedad, DQO, alcalinidad, cloruros, dureza, sólidos totales, sólidos suspendidos, fosfatos, nitratos, coliformes totales y fecales, por parte del Laboratorio de Servicios de Extensión y Análisis Químico (LASEREX) de la Universidad del Tolima.

**Análisis de datos.** Se calculó la abundancia relativa ( $AR\% = (ni/N)*100$ ), para los géneros encontrados. Se realizó un análisis de correlación entre las variables fisicoquímicas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson ( $P < 0.05$ ) o Spearman (24). Con el fin de analizar el grado de asociación entre las variables fisicoquímicas y los géneros de quironómidos, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), con PastProgram® version 3 (25).

**Calidad del agua.** Se emplearon las variables fisicoquímicas para la determinación de los índices asociados con el Índice de Calidad del Agua - WQI (Water Quality Index) (26, 27, 28 y 29): ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica), ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos), ICOTRO (Índice por Contaminación Trófica), e ICOMI (Índice de Contaminación por Materia Inorgánica).

## Resultados

**Composición general y aspectos ecológicos.** Se recolectaron 15594 larvas pertenecientes a 3 subfamilias y 20 géneros (Tabla 1). La subfamilia más abundante fue Orthoclaadiinae con 13697 larvas (87,84%) con los géneros *Cardiocladius*, *Corynoneura*, *Cricotopus*, *Onconeura*, *Parametriocnemus*, *Rheocricotopus* y *Thienemanniella*; seguida de Chironominae con 1367 individuos (8,77%) con *Chironomus*, *Cladotanytarsus*, *Cryptochironomus*, *Dicrotendipes*, *Endotribelos*, *Paratanytarsus*, *Polypedilum*, *Riethia* y *Saetheria*; mientras que la subfamilia Tanypodinae presentó la menor abundancia relativa en todo el estudio con 530 organismos (3,40%). El género más abundante dentro de la subfamilia Orthoclaadiinae fue *Cricotopus* con el 66,19%, seguido de *Parametriocnemus* con 5,81% siendo los valores más altos reportados en todo el estudio. Para la subfamilia Chironominae el género con mayor abundancia fue *Polypedilum* con 5,18% seguido de *Paratanytarsus* con 2,58%. Por su parte la subfamilia Tanypodinae registró a *Pentaneura* como el género más abundante, representando el 2,91% del estudio.

**Tabla 1.** Composición taxonómica y abundancia de larvas de la familia Chironomidae en las quebradas Las Perlas, La Plata y Cay en el río Combeima (Tolima, Colombia), registradas en nueve puntos de muestreo durante agosto, octubre, noviembre de 2015 y, febrero, abril y mayo de 2016.

| Subfamilia             | Género                  | Abundancia | Porcentaje de Abundancia Relativa (%AR) |
|------------------------|-------------------------|------------|---|
| <b>Chironominae</b>    | <i>Polypedilum</i>      | 807        | 5,18                                    |
|                        | <i>Paratanytarsus</i>   | 402        | 2,58                                    |
|                        | <i>Endotribelos</i>     | 40         | 0,26                                    |
|                        | <i>Riethia</i>          | 32         | 0,21                                    |
|                        | <i>Saetheria</i>        | 32         | 0,21                                    |
|                        | <i>Chironomus</i>       | 25         | 0,16                                    |
|                        | <i>Dicrotendipes</i>    | 17         | 0,11                                    |
|                        | <i>Cladotanytarsus</i>  | 11         | 0,07                                    |
|                        | <i>Cryptochironomus</i> | 1          | 0,01                                    |
| <b>Orthoclaadiinae</b> | <i>Cricotopus</i>       | 10321      | 66,19                                   |
|                        | <i>Cardiocladius</i>    | 1050       | 6,73                                    |
|                        | <i>Parametriocnemus</i> | 906        | 5,81                                    |
|                        | <i>Onconeura</i>        | 881        | 5,65                                    |
|                        | <i>Rheocricotopus</i>   | 320        | 2,05                                    |
|                        | <i>Corynoneura</i>      | 218        | 1,40                                    |
|                        | <i>Thienemanniella</i>  | 1          | 0,01                                    |
| <b>Tanypodinae</b>     | <i>Pentaneura</i>       | 454        | 2,91                                    |
|                        | <i>Larsia</i>           | 54         | 0,35                                    |
|                        | <i>Alotanypus</i>       | 14         | 0,09                                    |
|                        | <i>Thienemannimyia</i>  | 8          | 0,05                                    |
|                        | <b>Total</b>            | 15594      | 100                                     |

Fuente. Autores, 2023.

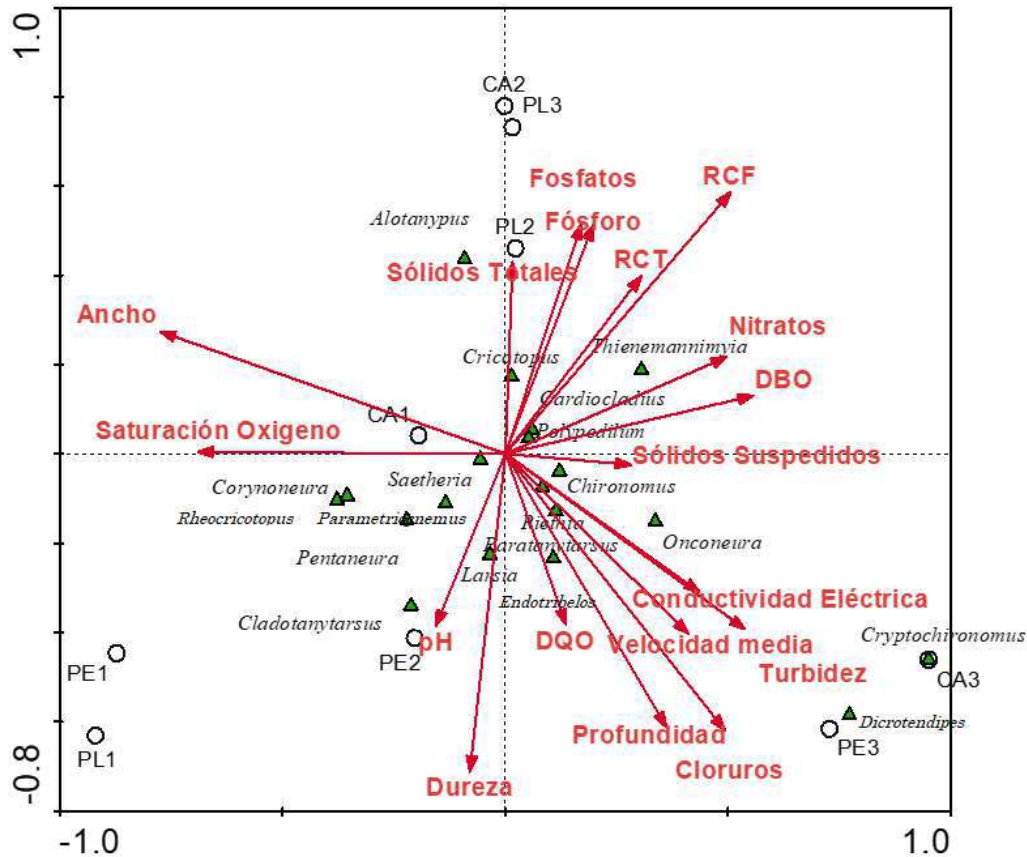
**Relación de las variables fisicoquímicas con los géneros de la familia Chironomidae.**

Según el test de Monte Carlo (Tabla 2), las variables que influyeron directamente sobre los géneros de la familia Chironomidae, fueron ancho, velocidad, coliformes fecales y coliformes totales. A pesar de que las últimas tres variables no presentaron valores  $P < 0.05$ , se tuvieron en cuenta en el análisis debido a que el lambda ( $\lambda$ ) y la longitud del vector fueron altos. En el diagrama de ordenación (Figura 2) se observa la forma en la que se asocian estas variables con los géneros y con las zonas de muestreo.

**Tabla 2.** Parámetros físicos y químicos con efectos condicionantes de los puntos de muestreo evaluados en tres quebradas de la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

| Variable                        | LambdaA ( $\lambda$ ) | P-valor |
|---------------------------------|-----------------------|---------|
| <b>Ancho</b>                    | 0.08                  | 0.004   |
| <b>Velocidad</b>                | 0.06                  | 0.106   |
| <b>Coliformes Fecales (RCF)</b> | 0.04                  | 0.108   |
| <b>Coliformes Totales (RCT)</b> | 0.04                  | 0.222   |
| <b>Profundidad</b>              | 0.03                  | 0.226   |
| <b>DQO</b>                      | 0.03                  | 0.240   |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>          | 0.02                  | 0.274   |
| <b>pH</b>                       | 0.01                  | 1.000   |

Fuente. Autores, 2023.



**Figura 2.** Análisis de correspondencia canónica (ACC) de los géneros de la familia Chironomidae y las variables físicas y químicas evaluadas durante los seis periodos de estudio, para los nueve puntos de muestreo. Fuente. Autores, 2023.

El análisis de correspondencia canónica (ACC), reveló que *Cardiocladus*, *Polypedium* y *Thienemannimyia* presentan una relación positiva con variables como DBO<sub>5</sub>, nitratos y coliformes fecales, siendo esta última la variable que más aumento registra; *Cricotopus* y *Alotanypus* se asociaron con sólidos totales, fósforo y fosfatos, predominantes en CA2, PL2 y PL3. Los géneros *Chironomus*, *Onconeura*, *Riethia*, *Paratanytarsus* y *Endotribelos* mostraron una asociación con conductividad eléctrica, velocidad media, turbidez, profundidad, cloruros y DQO; por el contrario, *Larsia* y *Cladotanytarsus*, mostraron una fuerte relación con pH y Dureza, y *Pentaneura*, *Parametriocnemus*, *Saetheria*, *Rheocricotopus* y *Corynoneura*; mostraron una alta asociación con % de saturación de oxígeno. Cabe resaltar que *Cryptochironomus* y *Dicrotendipes* se limitan a determinados puntos de muestreo y se separan de cualquier asociación con los parámetros fisicoquímicos, esto se debe a que no presentaron abundancias relevantes dentro del estudio.

**Índices de calidad de agua: ICA, ICOSUS, ICOTRO e ICOMO**

**Índice de calidad del agua (ICA).** El rango de valores para el ICA fue de 64 a 86; el valor máximo lo registró la estación PL1 en mayo de 2016, de calidad buena; por el contrario, la estación CA3 que obtuvo un valor de 64, de categoría media (Tabla 3). A nivel general, la mayoría de los puntos de muestreo, reflejaron valores de calidad buena.

**Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).** Los registros mostraron poca variación entre los puntos de muestreo, pues oscilaron entre 0,03 mg/L y 0,14 mg/L, resultados que indican nula contaminación por sólidos suspendidos en el cuerpo de agua (Tabla 3).

**Índice de contaminación trófica (ICOTRO).** Los meses que presentaron un valor alto de característica hipereutrófica, fueron agosto de 2015 en CA2 y CA3 con 14,04 mg/L y 1,58 mg/L; y para febrero de 2016 en PE3 y CA3 con valores de 1,1 mg/L y 1 mg/L, respectivamente (Tabla 3).

**Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).** Durante los muestreos realizados, se evidenció que en agosto de 2015, PL2 y CA3 registraron valores elevados con 0,94 y 0,87, respectivamente. Durante octubre de 2015, PL2, CA1 y CA2 registraron de igual manera, valores altos con 0,93, 1,04 y 0,85 cada una; finalmente, para el mismo año, en diciembre, se registraron valores elevados en CA2 y CA3 con 0,84 y 0,95. En 2016 no se registraron valores elevados para este índice, ya que los rangos se ubicaron en categoría media, baja o ninguna (Tabla 3). Durante mayo de 2016, todos los puntos de muestreo reflejaron valores bajos, casi nulos de ICOMO.

**Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).** Los resultados reflejaron los valores más elevados para agosto de 2015 en PE2 y PE3 con 1,78 y 1,44, respectivamente; para octubre de 2015 en PE2 y PE3 con 10,13 y 3,39; en noviembre 2015 en PE2 y PE3 1,49 y 1,44. Por su parte, febrero de 2016 registró valores altos en PE1, PE2, PE3, PL2 y PL3 con 5,07; 53,87; 34,77; 0,79; 0,90, respectivamente. Durante abril de 2016 en PE1, PE2, PE3, PL2 y PL3 se registraron de igual manera los valores más elevados con 1,51, 22,38, 12,54 cada una, respectivamente. Finalmente, en mayo de 2016 se registraron también valores altos en PE1 con 17,21; PE2 con 29,99 y PE3 con 2,39 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Índices de calidad (ICA, ICOSUS, ICOTRO, ICOMO, ICOMI) registrados en los puntos de muestreo de tres quebradas en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

| Muestreo                     | Puntos de muestreo | ICA | Contaminación | ICOSUS | Contaminación | Fósforo total (mg/L) | ICOTRO         | ICOMO | Contaminación | ICOMI | Contaminación |
|------------------------------|--------------------|-----|---------------|--------|---------------|----------------------|----------------|-------|---------------|-------|---------------|
| Agosto - septiembre (2015)   | PE1                | 83  | Buena         | 0,09   | Ninguna       | 0,24                 | Eutrófico      | 0,31  | Baja          | 0,52  | Media         |
|                              | PE2                | 76  | Buena         | 0,05   | Ninguna       | 0,24                 | Eutrófico      | 0,33  | Baja          | 1,78  | Muy alta      |
|                              | PE3                | 78  | Buena         | 0,04   | Ninguna       | 0,24                 | Eutrófico      | 0,28  | Baja          | 1,44  | Muy alta      |
|                              | PL1                | 83  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,2                  | Eutrófico      | 0,33  | Baja          | 0,12  | Ninguna       |
|                              | PL2                | 79  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,2                  | Eutrófico      | 0,94  | Muy alta      | 0,16  | Ninguna       |
|                              | PL3                | 78  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,27                 | Eutrófico      | 0,70  | Alta          | 0,17  | Ninguna       |
|                              | CA1                | 80  | Buena         | 0,13   | Ninguna       | 0,1                  | Eutrófico      | 0,60  | Alta          | 0,13  | Ninguna       |
|                              | CA2                | 70  | Buena         | 0,14   | Ninguna       | 14,04                | Hipereutrófico | 0,44  | Media         | 0,14  | Ninguna       |
|                              | CA3                | 64  | Media         | 0,05   | Ninguna       | 1,58                 | Hipereutrófico | 0,87  | Muy alta      | 0,32  | Baja          |
| Octubre (2015)               | PE1                | 73  | Buena         | 0,03   | Ninguna       | 0,15                 | Eutrófico      | 0,27  | Ninguna       | 0,75  | Baja          |
|                              | PE2                | 77  | Buena         | 0,03   | Ninguna       | 0,41                 | Eutrófico      | 0,44  | Media         | 10,13 | Muy alta      |
|                              | PE3                | 68  | Media         | 0,04   | Ninguna       | 0,12                 | Eutrófico      | 0,77  | Alta          | 3,39  | Muy alta      |
|                              | PL1                | 79  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,12                 | Eutrófico      | 0,41  | Baja          | 0,04  | Ninguna       |
|                              | PL2                | 76  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,2                  | Eutrófico      | 0,93  | Muy alta      | 0,18  | Ninguna       |
|                              | PL3                | 80  | Buena         | 0,04   | Ninguna       | 0,7                  | Eutrófico      | 0,69  | Alta          | 0,19  | Ninguna       |
|                              | CA1                | 76  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,26                 | Eutrófico      | 1,04  | Muy alta      | 0,19  | Ninguna       |
|                              | CA2                | 71  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,24                 | Eutrófico      | 0,85  | Muy alta      | 0,18  | Ninguna       |
|                              | CA3                | 69  | Media         | 0,05   | Ninguna       | 0,59                 | Eutrófico      | 0,68  | Alta          | 0,32  | Baja          |
| Noviembre - diciembre (2015) | PE1                | 77  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,43  | Media         | 0,51  | Media         |
|                              | PE2                | 73  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,43  | Media         | 1,49  | Muy alta      |
|                              | PE3                | 71  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,38  | Baja          | 1,44  | Muy alta      |
|                              | PL1                | 80  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,78  | Alta          | 0,00  | Ninguna       |
|                              | PL2                | 80  | Buena         | 0,07   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,70  | Alta          | 0,44  | Media         |
|                              | PL3                | 76  | Buena         | 0,03   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,77  | Alta          | 0,50  | Media         |
|                              | CA1                | 72  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,54  | Media         | 0,20  | Ninguna       |
|                              | CA2                | 76  | Buena         | 0,06   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,84  | Muy alta      | 0,20  | Ninguna       |
|                              | CA3                | 71  | Buena         | 0,05   | Ninguna       | 0,5                  | Eutrófico      | 0,95  | Muy alta      | 0,40  | Baja          |

|                |     |    |       |      |         |      |                |       |         |       |          |
|----------------|-----|----|-------|------|---------|------|----------------|-------|---------|-------|----------|
| Febrero (2016) | PE1 | 78 | Buena | 0,06 | Ninguna | 0,4  | Eutrófico      | 0,38  | Baja    | 5,07  | Muy alta |
|                | PE2 | 72 | Buena | 0,05 | Ninguna | 0,6  | Eutrófico      | 0,32  | Baja    | 53,87 | Muy alta |
|                | PE3 | 66 | Media | 0,07 | Ninguna | 1,1  | Hipereutrófico | 0,42  | Media   | 34,77 | Muy alta |
|                | PL1 | 79 | Buena | 0,06 | Ninguna | 0,5  | Eutrófico      | 0,30  | Baja    | 0,15  | Ninguna  |
|                | PL2 | 71 | Buena | 0,06 | Ninguna | 0,9  | Eutrófico      | 0,51  | Media   | 0,79  | Alta     |
|                | PL3 | 79 | Buena | 0,10 | Ninguna | 0,7  | Eutrófico      | 0,37  | Baja    | 0,90  | Muy alta |
|                | CA1 | 71 | Buena | 0,13 | Ninguna | 0,8  | Eutrófico      | 0,57  | Media   | 0,45  | Media    |
|                | CA2 | 68 | Media | 0,12 | Ninguna | 0,9  | Eutrófico      | 0,54  | Media   | 0,24  | Baja     |
|                | CA3 | 68 | Media | 0,11 | Ninguna | 1    | Eutrófico      | 0,51  | Media   | 0,38  | Baja     |
| Abril (2016)   | PE1 | 76 | Buena | 0,06 | Ninguna | 0,36 | Eutrófico      | 0,34  | Baja    | 1,51  | Muy alta |
|                | PE2 | 74 | Buena | 0,05 | Ninguna | 0,8  | Eutrófico      | 0,24  | Baja    | 22,38 | Muy alta |
|                | PE3 | 77 | Buena | 0,06 | Ninguna | 0,45 | Eutrófico      | 0,59  | Media   | 12,54 | Muy alta |
|                | PL1 | 80 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,12 | Eutrófico      | 0,13  | Ninguna | 0,13  | Ninguna  |
|                | PL2 | 78 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,26 | Eutrófico      | 0,27  | Baja    | 0,29  | Baja     |
|                | PL3 | 78 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,4  | Eutrófico      | -0,09 | Ninguna | 0,22  | Baja     |
|                | CA1 | 76 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,35 | Eutrófico      | 0,25  | Baja    | 0,28  | Baja     |
|                | CA2 | 79 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,41 | Eutrófico      | 0,33  | Baja    | 0,20  | Ninguna  |
|                | CA3 | 76 | Buena | 0,04 | Ninguna | 0,46 | Eutrófico      | 0,41  | Media   | 0,20  | Ninguna  |
| Mayo (2016)    | PE1 | 78 | Buena | 0,04 | Ninguna | 0,38 | Eutrófico      | 0,27  | Baja    | 17,21 | Muy alta |
|                | PE2 | 84 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,34 | Eutrófico      | 0,16  | Ninguna | 29,99 | Muy alta |
|                | PE3 | 83 | Buena | 0,04 | Ninguna | 0,26 | Eutrófico      | 0,06  | Ninguna | 2,39  | Muy alta |
|                | PL1 | 86 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,28 | Eutrófico      | -0,05 | Ninguna | 0,14  | Ninguna  |
|                | PL2 | 80 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,13 | Eutrófico      | -0,02 | Ninguna | 0,31  | Baja     |
|                | PL3 | 80 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,09 | Eutrófico      | 0,27  | Baja    | 0,32  | Baja     |
|                | CA1 | 78 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,2  | Eutrófico      | 0,02  | Ninguna | 0,23  | Baja     |
|                | CA2 | 81 | Buena | 0,04 | Ninguna | 0,32 | Eutrófico      | 0,01  | Ninguna | 0,25  | Baja     |
|                | CA3 | 79 | Buena | 0,03 | Ninguna | 0,3  | Eutrófico      | 0,19  | Ninguna | 0,31  | Baja     |

Fuente. Autores, 2023.

**Relación de los índices de calidad del agua con los géneros de la familia Chironomidae.**

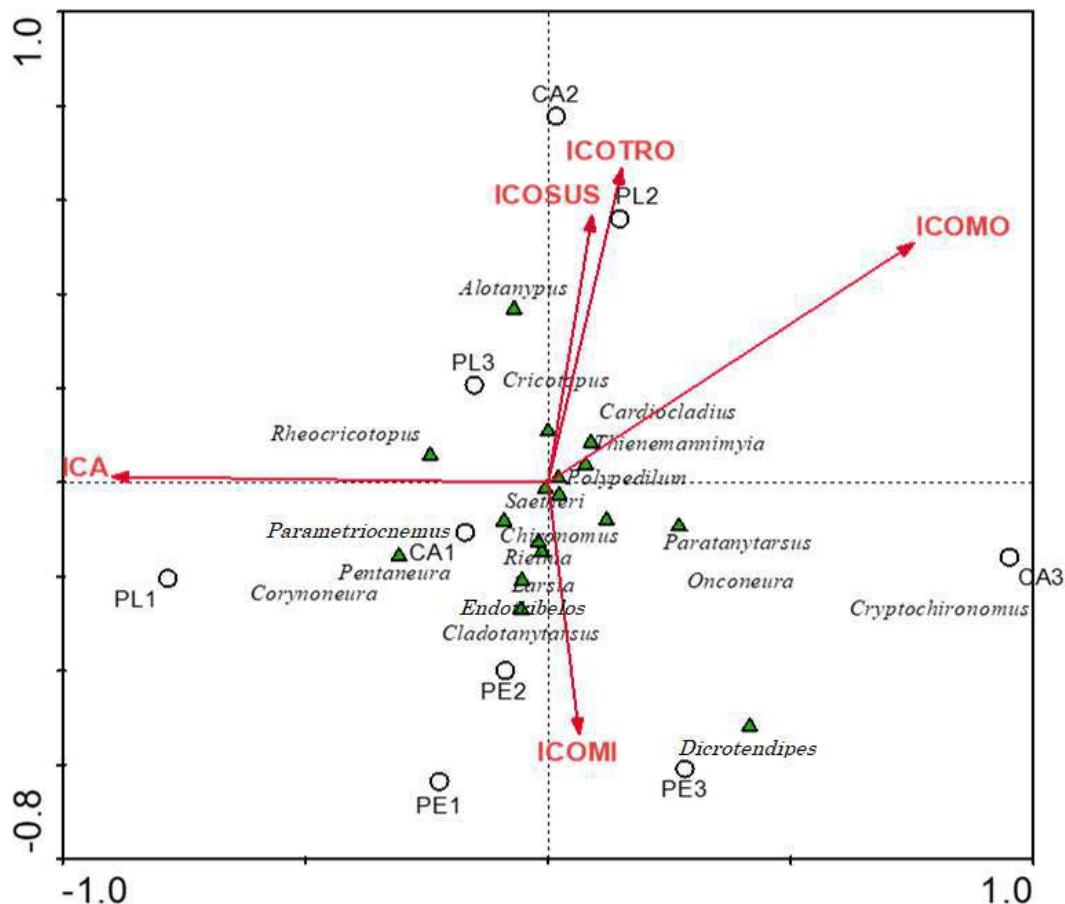
Según el test de Monte Carlo (Tabla 4), los índices que influyeron directamente sobre los géneros de la familia Chironomidae, fueron ICA, ICOSUS e ICOMO. A pesar de que los dos últimos índices no presentaron valores significativos ( $P < 0.05$ ) se tuvo en cuenta en el análisis debido a que el lambda ( $\lambda$ ) y la longitud del vector fueron altos. En el diagrama de ordenación (Figura 3) se observa la forma en la que se asocian estos índices con los géneros y con los puntos de muestreo.

**Tabla 4.** Índices de calidad con efectos condicionantes en los puntos de muestreo de tres quebradas en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

| Variable | LambdaA ( $\lambda$ ) | P-valor |
|----------|-----------------------|---------|
| ICA      | 0.08                  | 0.010   |
| ICOSUS   | 0.04                  | 0.100   |
| ICOMO    | 0.04                  | 0.224   |
| ICOTRO   | 0.03                  | 0.432   |
| ICOMI    | 0.03                  | 0.602   |

Fuente. Autores, 2023.





**Figura 3.** Análisis de correspondencia canónica (ACC) de los géneros de la familia Chironomidae y los índices de calidad del agua, evaluados durante los seis periodos de estudio, para los nueve puntos de muestreo. Fuente. Autores, 2023.

El análisis de correspondencia canónica (ACC) mostró que *Alotanytus* y *Cricotopus*, presentaron asociación con ICOSUS e ICOTRO; mientras que *Cardiocladius*, *Thienemannimyia* y *Polypedilum*, se asociaron positivamente con el ICOMO. Por otra parte, *Saetheria*, *Riethia*, *Larsia*, *Endotribelos*, *Cladotanytarsus*, *Paratanytarsus*, *Onconeura* y *Dicrotendipes* mostraron una asociación con el ICOMI. Respecto al índice de calidad del agua (ICA), los géneros que se asociaron fueron *Chironomus*, *Rheocricotopus*, *Parametriocnemus*, *Pentaneura* y *Corynoneura*. *Cryptochironomus* se separó de cualquier asociación con los índices de calidad del agua, esto debido a que no presentaron abundancias importantes dentro del estudio.

### Discusión

El análisis de correlación de Pearson, mostró una fuerte correlación de la temperatura con nitratos y coliformes totales, lo cual se soporta con el hecho de que la concentración de nutrientes se incrementa a bajas temperaturas (30). Estos nutrientes pueden ser producidos por fuentes tanto naturales como y/o antropogénicas, como la

agricultura y ganadería intensiva (31). Por su parte, los coliformes fecales fueron mayores en la época lluviosa que se asocia con un (32), situación evidenciada en el presente estudio en octubre y agosto de 2015, donde la carga de coliformes fue alta, correspondientes a temporadas de altas lluvias según el histórico del IDEAM.

El pH y los nitratos, muestran también una fuerte correlación; sin embargo, los valores registrados para el pH son de carácter básico, así mismo la presencia de nitratos en el cuerpo de agua se deben a actividades agrícolas que producen un lixiviado en asociación con cationes (calcio, magnesio y potasio), que deja un exceso de iones H<sup>+</sup> en la superficie del suelo, que luego por escurrimiento son transportados al flujo de agua (33), cabe resaltar que para los procesos de nitrificación se recomiendan valores de pH que superen la neutralidad (34). A su vez, la alcalinidad y la conductividad mostraron una correlación igualmente fuerte, esto debido a la concentración de sales solubles presentes en el cuerpo de agua, donde a mayor conductividad eléctrica, mayor es la concentración de sales (35).

Respecto al análisis de correlación de Spearman, se evidenció que el área de estudio tiene una fuerte correlación positiva con el caudal ( $\rho = 0,83$ ;  $P = 0,006$ ) esto se debe a la relación directamente proporcional del área con el caudal (36); así mismo la velocidad y el caudal presentan correlación positiva, estas relaciones se deben posiblemente por la composición geomorfológica de los puntos de muestreo, ya que son cuerpos de agua de alta montaña, ubicadas en áreas de difícil acceso y típicamente de pequeñas dimensiones de captación, relieve pronunciado y de pendientes altas (37). Al relacionar las variables ambientales con Chironomidae, se encontró en el ACC que *Cardiocladius*, *Polypedilum* y *Thienemannimyia* presentaron una relación positiva con nutrientes y con variables bacteriológicas como DBO<sub>5</sub>, nitratos, coliformes totales y coliformes fecales, siendo esta última la variable que más aumento registró. A su vez, *Cricotopus* y *Alotanypus* se asociaron con sólidos totales, fósforo y fosfatos, predominantes en CA2, PL2 y PL3; variables estrechamente relacionadas con procesos de oxidación-reducción de la materia orgánica, indicando un alto ingreso de materia orgánica al cuerpo de agua, relacionado con procesos de eutrofización. Por su parte, *Chironomus*, *Onconeura*, *Riethia*, *Paratanytarsus* y *Endotribelos* mostraron una asociación con conductividad eléctrica, velocidad media, turbidez, profundidad, cloruros y DQO; todas ellas asociadas a procesos de mineralización, y de sedimentación, producto del arrastre de material alóctono en el proceso de escorrentía, erosión, entre otros (38). De igual manera, *Larsia* y *Cladotanytarsus*, mostraron una fuerte relación con pH y Dureza.

*Pentaneura*, *Parametriocnemus*, *Saetheria*, *Rheocricotopus* y *Corynoneura*, mostraron una alta asociación con porcentaje de saturación de oxígeno. Los gases disueltos como la DBO<sub>5</sub> se determinan por la cantidad de materia orgánica que ingresa en los ecosistemas, ya sea de origen natural en forma de hojarasca o artificial por descargas residuales. En tales casos el oxígeno se consume para degradar la materia orgánica, sin embargo, al ser ecosistemas de alta montaña, la alta pendiente provee constantemente la perfusión de oxígeno al ecosistema acuático, por lo que este no se ve afectado y está en concentraciones suficientes para suplir todos los procesos químicos y biológicos de las microcuencas y la fauna de quironómidos (26). Los nitratos y coliformes, se asociaron con un alto grado de intervención antrópica, en particular en las quebradas Plata y Cay, cuyos puntos de muestreo están ubicados en áreas de influencia ganadera y urbanización, lo que propicia el aumento de

materia orgánica hacia las zonas bajas (39).

Los valores del índice de calidad del agua (ICA) en los puntos de muestreo, reflejaron un leve deterioro de la fuente hídrica, posiblemente relacionadas con el arrastre de material particulado y disuelto, por la presencia de materia orgánica natural –MON– y de origen antrópico, principalmente de descargas de aguas residuales domésticas procedentes de las zonas aledañas, por escorrentía agrícola, entre otros factores (27). Respecto al ICOSUS, no se evidenció contaminación por compuestos inorgánicos. Los resultados del ICOTRO, revelaron que los puntos de muestreo presentan características de eutrofia, esto sugiere una alta presencia de fósforo total sobre el cuerpo de agua. Esta situación se registra particularmente en CA2, CA3 y PE3, que reflejan una característica hipereutrófica, con altos contenidos de nutrientes y producción vegetal, zonas donde predominan *Cardiocladius*, *Cricotopus* y *Onconeura*. Este proceso puede ser un fenómeno natural de los cuerpos del agua altoandinos, cuyas respuestas se ven aceleradas por intervenciones humanas como descargas de nutrientes y aumento de erosión (40).

Los valores altos del ICOMO registrados en el estudio, indican aguas con presencia moderada de agentes contaminantes, esto por la presencia de materia orgánica en la corriente y de sólidos suspendidos, debido a la alta concentración de coliformes totales como consecuencia de la recepción de aguas residuales domésticas en zonas aledañas (28). Se sabe que los coliformes son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, lo que imparte un grado de contaminación microbiológica sobre los puntos de muestreo, por lo que eleva los valores del índice. Además, al aumentar la cantidad de materia orgánica por vertimientos y escorrentía también aumentan los coliformes totales y por ende disminuye el oxígeno disuelto, lo cual eleva aún más el valor del ICOMO (29). Por su parte, los valores elevados del ICOMI, especialmente en la quebrada Las Perlas, mostró que las actividades domésticas y agrícolas de las comunidades próximas a cada uno de los puntos de muestreo, pueden estar afectando el cuerpo de agua, por causa de los aportes de desechos realizados al mismo.

En cuanto a la relación entre los índices de calidad del agua y los géneros registrados en el presente estudio, se evidenció que *Alotanypus* y *Cricotopus*, mostraron asociación con ICOSUS e ICOTRO, lo cual se pudo corroborar con la asociación individual de estos géneros y las

variables fisicoquímicas. Es de resaltar que *Cricotopus* se ha reportado como un género altamente tolerante a la contaminación orgánica, por lo cual se le considera un taxón euritópico (42). A su vez, *Cardiocladius*, *Thienemannimyia* y *Polypedilum* se asociaron con el ICOMO, lo cual concuerda con la asociación de estos géneros y las variables fisicoquímicas estudiadas previamente, las cuales se relacionaron con procesos de oxido-reducción; lo que sugiere, que la intervención antrópica de las quebradas como la materia orgánica, hojarasca, agricultura, ganadería y descargas de aguas residuales, juegan un papel importante en el establecimiento de estos géneros; además el tipo de sustrato permite que el agua al chocarse con las rocas incorpore el oxígeno en el agua, permitiendo así la oxidación de muchos de los compuestos orgánicos (43).

Por su parte, *Saetheria*, *Riethia*, *Larsia*, *Endotribelos*, *Cladotanytarsus*, *Paratanytarsus*, *Onconeura* y *Dicrotendipes*, se asociaron con el ICOMI. *Chironomus*, *Rheocricotopus*, *Parametriocnemus* y *Corynoneura* mostraron una fuerte asociación con ICA. Es importante mencionar que *Chironomus* se registró en zonas que según los valores del ICA se encontraron en una categoría de contaminación media. Este género es caracterizado por su tolerancia a la intervención antrópica (44). Lo anterior indica que este género puede estar asociado con condiciones de deterioro, situación evidente en las quebradas La Plata y Cay. Respecto a los demás géneros asociados a este índice, se puede mencionar que son géneros de baja tolerancia a condiciones de contaminación, es decir, sensibles a la variación ambiental (3). Por lo tanto, pueden ser asociados con condiciones de buena calidad del agua, esto debido a que según los resultados del índice categorizan el área con condiciones de calidad buena. A pesar de que existen limitaciones en el conocimiento ecológico de los quironómidos en países de los Andes Tropicales (3), se ha verificado con estudios previos, la presencia de estos géneros en lugares conservados y con buena calidad de agua (43).

## Conclusiones

Las quebradas evaluadas evidenciaron procesos de intervención antrópica por agricultura, ganadería, turismo y urbanización, aspectos que se denotan en una biota diversa y abundante de Chironomidae en determinados tramos, particularmente los géneros *Cricotopus* y *Parametriocnemus* de la subfamilia Orthoclaadiinae, como los de mayor abundancia a nivel espacial y temporal, demostrando una alta tolerancia a las perturbaciones presentes en las corrientes.

La familia Chironomidae se ha relacionado de manera general con corrientes con un alto porcentaje de materia orgánica, sin embargo, a nivel de género se encontró que sólo *Cardiocladius*, *Polypedilum*, *Thienemannimyia*, *Cricotopus*, *Alotanypus* se relacionaron con procesos de oxidorreducción, mientras que *Chironomus*, *Larsia*, *Cladotanytarsus*, *Onconeura*, *Riethia*, *Paratanytarsus* y *Endotribelos* se encontraron asociados a procesos de mineralización. Lo anterior demuestra que no solo la presencia de materia orgánica facilita el establecimiento de los organismos de la familia Chironomidae en los cuerpos de agua, sino también las características geomorfológicas propias de las quebradas.

**Agradecimientos.** Al Grupo de Investigación en Zoología (GIZ) de la Universidad del Tolima (GIZ-UT), por el apoyo logístico en laboratorio y por el financiamiento parcial de la investigación. Al programa de Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad del Tolima. A los evaluadores y al Comité Editorial de la Revista por sus sugerencias para mejorar la presentación final del artículo.

**Conflicto de intereses y financiación.** Los autores declaran que no tienen algún conflicto de interés. Este proyecto contó con el apoyo del Grupo de Investigación en Zoología (GIZ) de la Universidad del Tolima.

## Referencias

1. Rodríguez C, Quiroz M, Badii Z, Solís R. (2004). Riesgos entomológicos asociados a aguas contaminadas. *Rev. Salud Publica Nutr.*, 5 (3): 1– 8.
2. Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, Pama Editores Ltda. Bogotá, Colombia. 217 pp.
3. López, R, Talero, G. (2014). Densidad larval de Chironomidae (Insecta: Diptera) en un meandro del Río Bogotá (Cajicá, Colombia) durante la niña 2011.
4. Ashe P, Murray D, Reiss F. (1987). The zoogeographical distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera). *Ann. Limnol. - Int. J. Limn.*, 23 (1): 27–60.
5. Paggi A. (2003). Los Quironómidos (Diptera) y su empleo como bioindicadores. *Biol. Acuát.*, 21: 50–57.
6. Spies M, Reiss F. (1996). Catalog and bibliography of Neotropical and Mexican Chironomidae (Insecta, Diptera). *Spixiana*, 22: 61–119.
7. Spies M, Andersen J, Epler H, Watson C. (2009). Chironomidae (non-biting midges). In: *Manual of Central American Diptera*. B. V. Brown (Ed.): 437–480. NRC Research P, Ottawa.
8. Kranzfelder P, Ferrington, C. (2018). Chironomidae (Diptera) species diversity of estuaries across a land use gradient on the Caribbean coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 66(3): 118–134.
9. Váquiro-Capera C, Reinoso Flórez, G, Guevara G. (2020). Estadios ninfales de *Anacroneturia* spp. (Plecoptera: Perlidae) y su relación con variables fisicoquímicas en tres microcuencas del río Combeima (Ibagué, Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fis. Nat.*, 44(171), 458–470. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.951>
10. Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA. (2006). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Coello. Ibagué: CORTOLIMA. p. 1036.
11. Wantzen K, Rueda G. (2009). Técnicas de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. En: Domínguez, E., Fernández, H.R. (Eds.). *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán Argentina, pp. 17–45.
12. Ospina R, Riss W, Ruiz J. (1999). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae) de la Sabana de Bogotá. I. Subfamilia Orthocladiinae. pp. 363–384. En: Amat-G., G.; Andrade-C., M. G.; Fernández, F. (Eds.). *Insectos de Colombia II*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras, no. 13, Santafé de Bogotá, 433 p.
13. Ruiz J, Ospina R, Gómez H, Riss W. (2000a). Guía para la identificación genérica de larvas de Quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la sabana de Bogotá. II Subfamilia Chironominae. *Caldasia*, 22(1): 15–33
14. Ruiz J, Ospina R, Gómez H, Riss W. (2000b). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la sabana de Bogotá. III. subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae. *Caldasia*, 22 (1): 34–60.
15. Epler J. (2001). *Identification Manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina*. Crawfordville: North Carolina Department of Environment and Natural Resources.
16. Paggi A. (2001). Diptera: Chironomidae. En: Fernández, H.; Domínguez, E. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán (Argentina). Editorial Universitaria de Tucumán.
17. Courtney G, Merritt R. W. (2008). Aquatic Diptera part one: Larvae of aquatic Diptera. En Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (Eds.). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* 4 ed. Pp: 687–722. Dubuque, Iowa, USA: Kendall/Hunt Publishing Company.
18. Merritt R. W., Cummins K. W., Berg M. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company. 1214 pp.
19. Ferrington C. (2008). Global diversity of non-bitingmidges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater. *Hydrobiología*, 595: 447–455.
20. Domínguez E, Fernández H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo. 656 pp.
21. Prat N, Acosta R, Villamarín C, Rieradevall M. (2011). *Guía para el reconocimiento de las larvas de*

- Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Recuperado de: <http://www.ub.edu/riosandes/index.php/guiachiros.html>
22. Trivinho-Strixino S. (2011). Larvas de Chironomidae. Guia de identificação. São Carlos, Depto Hidrobiologia/Lab. Entomologia. Aquática/UFSCar. 371p.
  23. Townsend C., Hildrew A. (1994). Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwat. Biol.*, 31: 265–275.
  24. Andersen Trond, Torbjorn E & Cranston P. (2013). 1. The larvae of the Holarctic Chironomidae - Introduction. In: Andersen, T. Cranston, P.S. & Epler J.H. (Sci. eds): The larvae of Chironomidae (Diptera) of the Holarctic region – Keys and diagnoses. *Insect Syst. Evol.*, 66: 7–12.
  25. Sokal R, Rohlf F. (1981). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman & Co., New York.
  26. Hammer O, Harper D, Ryan P. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electronica*, 4(1):1–9.
  27. Ramírez A, Viña G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de Análisis*, BP Exploration - Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santafé de Bogotá.
  28. Torres P, Cruz C, Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Rev. Ing. Univ. Medellín*, 8(15, Suppl. 1): 79–94. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242009000300009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300009&lng=en&tlng=es).
  29. Zabala J. (2018). Determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (ica e icos) sobre tramos superficiales del río de oro y río vetas para el análisis y verificación del cumplimiento de la normatividad colombiana. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <http://www.cdmb.gov.co/web/images/Documentacion/sitios%20de%20interes/TESIS%20JUDITH%20ZABALA%20CDMB.pdf>
  30. Zorro A, Garzón J, Zamora D. (2020). Informe técnico: índice de calidad del agua, WQI, en los puntos de monitoreo de la red de calidad de hídrica de Bogotá-tradicional para año 2020. Secretaría distrital de ambiente dirección de control ambiental subdirección del recurso hídrico y del suelo grupo: Recurso hídrico superficial.
  31. Cervantes R, López S, González E, Futema S. (2010). Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceanides*, 25: 111–120. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v25i2.87>
  32. Andreu J, García E, Pulido A, Hernández A. (2000). Caracterización hidrogeológica de la Sierra de la Horna (Alicante). *Geogaceta*, 27: 7–10.
  33. Him J, Arena E, Bósquez K. (2019) « VERAGUAS»., *Tecnociencia*, 21(2): 13–30. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/569>
  34. Beita W, Barahona M. (2011). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *Cuad. Inv. UNED*, 2(2): 157–179. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>
  35. Cárdenas G, Sánchez I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Univ. Salud*, 15(1): 72–88. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lng=en&tlng=es).
  36. Vásquez L, Valencia C. (2019). Aporte de los parámetros de alcalinidad total y conductividad eléctrica para la autodepuración de corrientes superficiales. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil. Bogotá D.C
  37. Grenouillet G, Pont D, Herisse, C. (2004). Within-basin fish assemblage structure: the relative influence of habitat versus stream spatial position on local species richness. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 61: 93–102.
  38. Osorio V. (2019). Integralidad hidrogeomorfológica de un río de montaña, San Lorenzo, Carmen de Viboral – Antioquia (Colombia). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental. Medellín, Colombia.
  39. Rojas M, Forero A, Reinoso G. (2018). Dípteros acuáticos (Insecta) y su relación con las variables físicas y químicas en un río con bosque seco tropical, Natagaima, Tolima – Colombia. *Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.)*, 1(30): 18–31. <https://revistaacbb.org/r/index.php/acbb/article/view/151>

40. Roldán G, Ramírez J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia.
41. Piedrahita J. (2018). Análisis del índice de calidad del agua (ICA) e índice de contaminación del agua (ICOS) en quebrada Villa ubicada en el Bagre, Antioquia. Vicerrectoría General de Universidad Abierta y a Distancia, Facultad de Ciencias y Tecnologías.
42. Chavarro A, Gélvez E. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. Mutis, 6(2): 19-31. <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1148>
43. Meza A, Rubio J. (2012). Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Chinchiná. Caldasia, 34(2): 443– 456.
44. González M, Rodríguez W. (2019). Valores primarios de bioindicación para exuvias pupales de 16 Taxones de Chironomidae habitando En Quebradas Urbanas Altoandinas en Bogotá, D.C.
45. Coffman W, Ferrington L. (1996). Chironomidae. Págs. 635–754 en: R. W. Merritt, & K. W. Cummins (eds.). Aquatic insects of North America. Third Edition. Kendall/Hunt Publishing Company. U.S.A.