



Evaluación de los cambios en la calidad del agua en la cuenca del Río Arenal mediante macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas, afectados por tensores antrópicos derivados del crecimiento turístico en el municipio de San Rafael, Antioquia.

Luisa Fernanda Torres Torres

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesores

Esnedy Hernández Atilano, Doctor (PhD) en Biología

Juan Pablo Serna López, Doctor (PhD) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

| | |
|----------------------------|---|
| Cita | (Torres Torres, 2022) |
| Referencia | Torres Torres, L. F. (2022). <i>Evaluación de los cambios en la calidad del agua en la cuenca del Río Arenal mediante macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas, afectados por tenses antrópicos derivados del crecimiento turístico en el municipio de San Rafael, Antioquia</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Este trabajo fue realizado con el apoyo del grupo de investigación GeoLimna de la Escuela Ambiental, Facultad de ingeniería.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre, por ser siempre un apoyo incondicional.

Agradecimientos

Siempre agradecida a los docentes Esnedý Hernández y Juan Pablo Serna por acoger el desarrollo de esta propuesta de grado. Al grupo GeoLimna por ser apoyo técnico y económico de este trabajo, en especial con los espacios del laboratorio de hidrobiología sanitaria, a Yuri García técnica de laboratorio. A los docentes José Andrés Deosa y Cesar Olmos por su participación en las campañas de muestreo. Al colectivo Somos del Río por ser base del desarrollo de esta propuesta y a los habitantes de la cuenca del Río Arenal por su participación.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 10 |
| Abstract | 11 |
| Introducción | 12 |
| 1 Objetivos | 14 |
| 1.1 Objetivo general | 14 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 2 Marco teórico | 15 |
| 3 Metodología | 17 |
| 3.1 Área de estudio..... | 17 |
| 3.2 Recolección de información..... | 18 |
| 3.3 Diseño experimental..... | 18 |
| 3.4 Determinación de variables hidráulicas | 20 |
| 3.5 Determinación de variables fisicoquímicas..... | 20 |
| 3.6 Determinación de variables microbiológicas | 21 |
| 3.7 Trabajo de campo y laboratorio para la captura de macroinvertebrados acuáticos..... | 21 |
| 3.8 Determinación de índices de diversidad..... | 22 |
| 3.8 Índice bióticos BMWP/Col | 23 |
| 3.9 Procesamiento y análisis de la información | 24 |
| 3.10 Determinación de la percepción de la comunidad..... | 24 |
| 4 Resultados y análisis | 26 |
| 4.1 Variables fisicoquímicas y microbiológicas..... | 27 |
| 4.2 Macroinvertebrados acuáticos, índices de diversidad y BMWP/Col | 36 |
| 4.3 Percepción de la comunidad de la microcuenca del Río Arenal | 48 |
| 5 Conclusiones | 53 |

6 Recomendaciones.....55

Referencias56

Anexos.....60

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Descripción puntos de muestreo sobre el Río Arenal | 19 |
| Tabla 2 Variables fisicoquímicas in situ y determinadas en laboratorio, analizadas en el Río Arenal | 20 |
| Tabla 3 Variables microbiológicas analizadas en el Río Arenal..... | 21 |
| Tabla 4 Índices de diversidad calculados para las familias de macroinvertebrados del Río Arenal | 23 |
| Tabla 5 Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col..... | 24 |
| Tabla 6 Variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el Río Arenal..... | 27 |
| Tabla 7 Estadígrafos descriptivos de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el Río Arenal | 28 |
| Tabla 8 Macroinvertebrados acuáticos recolectados en las diferentes estaciones en el Río Arenal empleando métodos cualitativos y cuantitativos | 37 |
| Tabla 9 Índices de diversidad de las muestras cuantitativas de macroinvertebrados del Río Arenal y Humboldt BMWP/Col de las muestras cuantitativas y cualitativas..... | 43 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Microcuenca del Río Arenal..... | 17 |
| Figura 2 Estaciones de muestreo sobre el Río Arenal..... | 19 |
| Figura 3 Recolección de macroinvertebrados acuáticos empleando la Red surber estación de muestreo E1 Zafra (izquierda) y Red de pantalla estación E2 La Cristalina (derecha) | 21 |
| Figura 4 Separación por grupos similares de una muestra de macroinvertebrados acuáticos, muestra correspondiente a la estación E1 Zafra recolección con Red triangular..... | 22 |
| Figura 5 Acumulado de nubes y precipitación último día del 14 de marzo de 2022, radar geoportamental del SIATA. | 26 |
| Figura 6 <i>Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas in situ determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo.</i> | 30 |
| Figura 7 Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas in situ determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo. | 32 |
| Figura 8 Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo. | 33 |
| Figura 9 Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo..... | 34 |
| Figura 10 Distribución de tendencia central de las variables microbiológicas determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo. | 34 |
| Figura 11 Distribución de tendencia central de las variables microbiológicas determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo. | 35 |
| Figura 12 Análisis de componentes principales (ACP) de variables ambientales en estaciones y muestreos. E: estación, M: muestreo..... | 36 |
| Figura 13 Registro fotográfico familias de macroinvertebrados acuáticos más representativas para ambos muestreos | 41 |
| Figura 14 Familia de macroinvertebrados recolectados en cada estación para el muestreo 1 y 2 de las muestras cualitativas y cuantitativas | 42 |
| Figura 15 Índice BMWP/Col para las muestras cualitativas y cuantitativas de macroinvertebrados del Río Arenal para las 6 estaciones del primer muestreo (M1) y segundo muestreo (M2)..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 16 Distribución de tendencia central de los índices de diversidad y el BMWP/Col determinados en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo..... | 45 |
| Figura 17 Distribución de tendencia central de los índices de diversidad y BMWP/Col determinados en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo..... | 46 |
| Figura 18 Análisis de componentes principales (ACP) de índices de diversidad y componentes en estaciones y muestreos. E: estación, M: muestreo. | 47 |
| Figura 19 Generalidades de la población encuestada habitante de la cuenca del Río Arenal, rango de edades, tiempo viviendo en la zona y ocupaciones..... | 48 |
| Figura 20 Percepción de la importancia del Río Arenal en la economía y cultura del municipio de San Rafael, y del turismo en la economía de la cuenca..... | 49 |
| Figura 21 Percepción sobre la calidad del agua del Río Arenal y la gestión del agua por parte de la administración municipal y el ente regulador. | 50 |
| Figura 22 Percepción de la conservación de los tramos que conforman el Río Arenal , empleados en las campañas de muestreo, y calificación de las principales problemáticas ambientales que afectan el Río Arenal..... | 51 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

| | |
|---------------------------|---|
| ACP | Análisis de componentes principales |
| CE | Conductividad eléctrica |
| DBO₅ | Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días |
| DQO | Demanda química de oxígeno |
| EOT | Esquema de ordenamiento territorial |
| FNU | Formazin Nephelometric Units |
| Km² | Kilómetro cuadrado |
| L/s-Km² | Litros por segundo por kilómetro cuadrado |
| M1 | Muestreo 1 |
| M2 | Muestreo 2 |
| mg/L | Miligramos por litro |
| mm | Milímetros |
| msnm | Metros sobre el nivel del mar |
| mV | milivoltio |
| NMP | Número más probable |
| NSS | Nivel subsiguiente |
| OD | Oxígeno disuelto |
| pH | Potencial de hidrógeno |
| PhD | Philosophiae Doctor |
| PIB | Producto interno bruto |
| PQR | Peticiones, Quejas, Reclamos |
| UdeA | Universidad de Antioquia |
| μS/cm | Microsiemens por centímetro |

Resumen

La microcuenca Río Arenal ubicada en el municipio de San Rafael-Antioquia representa una importante área para el desarrollo económico de esta región. Esta microcuenca se ha visto afectada por la presión ambiental (vertimiento de aguas residuales, cambios del uso del suelo, etc) derivada del manejo turístico del río. Con el objetivo de diagnosticar la calidad del agua y proporcionar una base para futuros procesos de gestión ambiental, control y regulación, se realizó una caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos, además de conocer la percepción de la comunidad sobre la calidad y gestión del río. Para ello se realizaron dos campañas de muestreo en 6 estaciones sobre el cauce del río, se registraron variables *in situ* y se tomaron muestras de agua para ser analizadas en laboratorio, además se encuestaron 45 habitantes de la microcuenca. Los resultados fisicoquímicos y microbiológicos presentaron variaciones leves entre estaciones; la temperatura, pH y turbidez presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los muestreos. Se recolectaron 2136 individuos de macroinvertebrados acuáticos clasificados en 111 morfotipos, que comprenden 66 géneros, 51 familias y 14 ordenes; las familias más representativas fueron Baetidae, Elmidae, y Simuliidae; con la mayor diversidad en la estación E2 y abundancia en la estación E5. El índice BMWP/Col estuvo en los rangos 77-179 indicando aguas de calidad buena. Se concluye que el Río Arenal presenta una condición ecológica buena. Las encuestas indicaron que la comunidad reconoce la vulnerabilidad de la microcuenca y la necesidad de implementar políticas de control y regulación del recurso hídrico.

Palabras clave: calidad del agua, macroinvertebrados acuáticos, BMWP/Col, índices de diversidad.

Abstract

The Arenal River micro-basin located in the municipality of San Rafael-Antioquia represents a key area for economic development. This micro-basin has been affected by environmental pressures (wastewater discharge, changes in land use, etc.) derived from tourism management of the river. To diagnose water quality and provide a basis for future environmental management, control and regulation processes, a physicochemical, microbiological and hydrobiological characterization was carried out using aquatic macroinvertebrates, as well as the community's perception of the river's quality and management. For this purpose, two sampling campaigns were carried out in 6 stations on the riverbed, variables were recorded in situ and water samples were taken for laboratory analysis, and 45 inhabitants of the micro-watershed were surveyed. The physicochemical and microbiological results showed slight variations between stations; temperature, pH and turbidity showed statistically significant differences between campaigns. A total of 2136 individuals of aquatic macroinvertebrates were collected, classified into 111 morphotypes, comprising 66 genera, 51 families and 14 orders; the most representative families were Baetidae, Elmidae, and Simuliidae; with the highest diversity at station E2 and abundance at station E5. The BMWP/Col index was in the ranges 77-179 indicating a good water quality. It is concluded that the Arenal River presents a good ecological condition. The surveys indicated that the community recognizes the vulnerability of the micro-watershed and the need to implement water resource control and regulation policies.

Keywords: water quality, aquatic macroinvertebrates, BMWP/Col, diversity indices.

Introducción

Colombia se clasifica como uno de los países de Latinoamérica y del mundo con mayor oferta hídrica natural, con un rendimiento hídrico de 56 l/s-km² a nivel nacional (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], 2021). Oferta que tiene una gran demanda por parte de varios sectores, en especial el agrícola y el sector energía, uso que se concentra en su mayoría en el área hidrográfica Magdalena-Cauca. En Antioquia, la generación de energía es una de las actividades económicas predominantes, así como el sector turismo que representa el 4% del PIB antioqueño (Gobernación de Antioquia, 2022), turismo que ha tomado fuerza en la zona en los últimos años, en especial al oriente del departamento con una tasa de crecimiento en creación de empresas de turismo del 181% entre 2012 y 2019 (Cámara de Comercio Oriente Antioqueño [CCOA], 2021) recuperándose poco a poco la inversión en el área, especialmente en el sector inmobiliario, centrándose en el aprovechamiento del río desde un uso recreativo y paisajístico, debido a su gran riqueza hídrica representada por ríos, quebradas y precipitaciones anuales. Este crecimiento turístico ha dado paso a procesos de integración regional como la Provincia del Agua, Bosque y el Turismo, conformada por 12 municipios de la región del Oriente Antioqueño, que busca “impulsar el desarrollo económico y social, a través de la integración solidaria y equitativa, bajo criterios de sostenibilidad” (Provincia ABT, 2022, párr. 4).

Uno de los municipios pertenecientes a la Provincia ABT es el municipio de San Rafael, con una extensión territorial de 362 km² a una altitud de 1000 msnm y temperatura media de 17°C a 23°C (Alcaldía San Rafael, 2020); el municipio hace parte de dos cuencas hidrográficas de gran importancia regional, la cuenca del Río Nare y la cuenca del Río Guatapé, esta última presenta mayor dinámica en cuanto al uso y aprovechamiento de los recursos naturales, en especial en la microcuenca Río Arenal que comprende una extensión de 49783 km², además de poseer un interés cultural, turístico y económico, pues es en esta microcuenca donde se desarrollan en su mayoría las actividades relacionadas a estos sectores (Alcaldía San Rafael, 2019). Microcuenca que actualmente se enfrenta a una serie de impactos como vertimientos, mala disposición de residuos sólidos, pérdida de vegetación ribereña, piscícolas, entre otros, relacionados con el notorio crecimiento de la oferta turística del disfrute del río y los paisajes, impactos que se evidencian cada fin de semana con la llegada de cientos de turistas que desarrollan sus actividades en el río sin ningún tipo de control o regulación, acompañado del notorio crecimiento inmobiliario de fincas de

recreo, con un mayor valor comercial en zonas próximas al río, en su mayoría construidas de forma ilegal, pasando por encima de los requisitos estipulados en el EOT del municipio. Todo esto sumado a la incapacidad operativa del municipio para atender estas problemáticas, incorporar en el ordenamiento territorial planes de ordenamiento y manejo de las cuencas, la clasificación de gran parte de la microcuenca El Arenal como restringida parcelación (Alcaldía San Rafael, 2019) y la poca información sobre el estado del río, hacen de la microcuenca del Río Arenal un escenario de gran vulnerabilidad, que requiere una pronta intervención y caracterización.

Sobre la microcuenca del Río Arenal la investigación ha sido limitada, el Plan de Ordenamiento y Manejo de las Microcuencas El Bizcocho y El Arenal (1995) desarrollado por el municipio de San Rafael en convenio con la Corporación Autónoma de las cuencas de los ríos Negro y Nare - CORNARE, realiza una serie de estudios territoriales, hidrológicos e hidráulicos (Alcaldía San Rafael, 2019). Sin embargo, no se ha realizado una actualización de este estudio y el acceso a su contenido es limitado. Almanza (2014) a través de su trabajo de grado *“Planificación para estrategias de conservación y manejo en el nodo de reservas naturales de la sociedad civil en la cuenca el arenal (San Rafael, Antioquia)”* presenta un plan de manejo preliminar en las reservas naturales de la sociedad civil de la zona, por medio de talleres y reuniones con la comunidad, teniendo como resultado un reconocimiento de las principales amenazas del río (descargas de aguas grises y malas prácticas agrícolas), además de recolectar un poco de información sobre la cuenca del Río Arenal y reporte de fauna y flora. Otros trabajos como los de Sanabria (2016) y Pérez-Ballesteros (2016) presentan un enfoque más orientado al manejo turístico del Río Arenal y su relación con las problemáticas derivadas de estas actividades (privatización de áreas, vertimientos de aguas residuales, residuos sólidos, entre otros).

Es por esto, que este trabajo pretende realizar una caracterización fisicoquímica e hidrobiológica del Río Arenal, que permita diagnosticar la calidad del río y proporcione una base para futuros procesos de evaluación de capacidad de carga del río, procesos de gestión ambiental y políticas de control y regulación del uso del recurso. Tomando como base la pregunta de investigación *¿Cómo las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas permiten detectar cambios en la calidad del agua de la cuenca baja del Río Arenal, afectada por tensores antrópicos derivados del crecimiento turístico en el municipio de San Rafael Antioquia?*

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua en un tramo del Río Arenal mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas, identificando tensesores asociados al turismo ribereño en el municipio de San Rafael-Antioquia, incluyendo la percepción de la comunidad.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la calidad del agua del Río Arenal por medio del muestreo de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas.
- Evaluar la distribución de patrones espaciales o temporales de la estructura de la comunidad y las variables ambientales.
- Identificar la percepción de la comunidad sobre el estado y conservación del Río Arenal frente al desarrollo turístico y sobre las diferentes herramientas de gestión del recurso hídrico.

2 Marco teórico

La gestión integral del recurso hídrico ha surgido como respuesta a las problemáticas generadas por la presión del crecimiento poblacional y la contaminación, la gestión integral promueve la protección, manejo, utilización, asignación y conservación del recurso hídrico para maximizar el beneficio socioeconómico, sin comprometer la sostenibilidad del ecosistema (Zamudio, 2012). En Colombia, en 2010 se expidió la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, donde se establecen los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico en el país (SIAC, 2021), dentro de sus objetivos específicos la oferta, demanda y calidad, relacionados con el conocimiento, medición y monitoreo del agua, resaltan la importancia de la caracterización del agua como línea base de la formulación de las políticas relacionadas con su protección.

La calidad del agua es un conjunto de características físicas, químicas, composición y estado de los organismos que habitan en ella (Chapman, 1996). Generalmente, se define de acuerdo con una serie de indicadores, que pretenden responder a los cuestionamientos sobre la disponibilidad y restricciones por afectaciones a la oferta o calidad, establecidos para los diferentes usos del recurso hídrico (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2020).

Caracterizar el agua permite conocer el estado actual del recurso hídrico en un espacio y tiempo determinado, para ello se pueden emplear variables físicas, químicas y biológicas que dan información sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico en el ambiente, en su mayoría mediante monitoreo físicos, químicos y microbiológicos, monitoreo hidrobiológico o medición de caudal (Corantioquia, 2022).

Las variables fisicoquímicas dan información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, proporcionando valores de calidad instantánea del agua, sin embargo, no son suficientes para definir la calidad del recurso hídrico, ya que no valoran la alteración del hábitat físico; las variables biológicas por su parte permiten descubrir cambios producidos a los largo del tiempo, basados en las adaptaciones evolutivas y límites de tolerancia de los organismos vivos, por lo que se emplean ambas variables en la caracterización del recurso hídrico (Álvarez, 2005; Samboni et al., 2007).

El componente biológico ha tomado gran importancia en los estudios de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo una serie de ventajas como la posibilidad de tener una visión histórica de los sucesos ocurridos en un largo periodo de tiempo. Todos los organismos acuáticos pueden emplearse como variables biológicas, pero son los macroinvertebrados acuáticos los más utilizados (González, 2016). Los macroinvertebrados acuáticos son aquellos organismos que viven en el fondo de los ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, rocas y troncos sumergidos (Roldán, 2016), además, representan una herramienta de gran importancia en el estudio del recurso hídrico, debido a su amplia diversidad, su periodo de vida, la facilidad de observarse a simple vista e identificarse, la metodología de recolección sencillas y económica, y sobre todo que tienden a formar distintas comunidades asociadas a condiciones físicas y químicas particulares (Álvarez, 2005).

Autores como Álvarez (2005), Ladrera (2012) y Roldán (2016) resaltan la importancia del uso conjunto de diferentes tipos de análisis fisicoquímicos e índices biológicos para el control de la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos, en especial mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos. Ramírez & Gutiérrez (2014) mediante la revisión bibliográfica “*Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras*” reafirman el crecimiento del uso de macroinvertebrados con relación al uso de índices de evaluación de la calidad del agua en Latinoamérica, con la mayoría de las investigaciones sobre localidades de Brasil, Colombia, Argentina y Costa Rica.

En Colombia, entre los antecedentes relacionados con el uso de macroinvertebrados acuáticos para la caracterización de la calidad del agua se encuentran los trabajos realizados por Guerrero-Bolaño et al. (2003) sobre el Río Gaira, Magdalena; Mosquera et al. (2008) sobre el Río Cali, Valle del Cauca; Forero-Céspedes et al. (2013) sobre el Río Opía, Tolima; Gil (2014) sobre el Río Garagoa, Manizales; Madera et al. (2016) sobre el Río Cesar, Cesar; Meneses & Mora (2020) sobre el Río Lili, Valle del Cauca; Nuñez & Fragoso-Castilla (2020) sobre el Río Guatapurí, Valledupar; Quintero et al. (2021) sobre la quebrada Santa Mónica, Antioquia, entre otros.

Por otro lado, autores como Sancho (1994) y Gruter (2013) resaltan la relación del turismo y el impacto ambiental relacionado a alteración, presión y una progresiva sobrecarga sobre el ambiente, y la necesidad de la planificación del territorio en la ejecución y desarrollo de actividades turísticas; si bien el turismo no es la única causa del del cambio ambiental, está igualmente amenazada y afectada por ello.

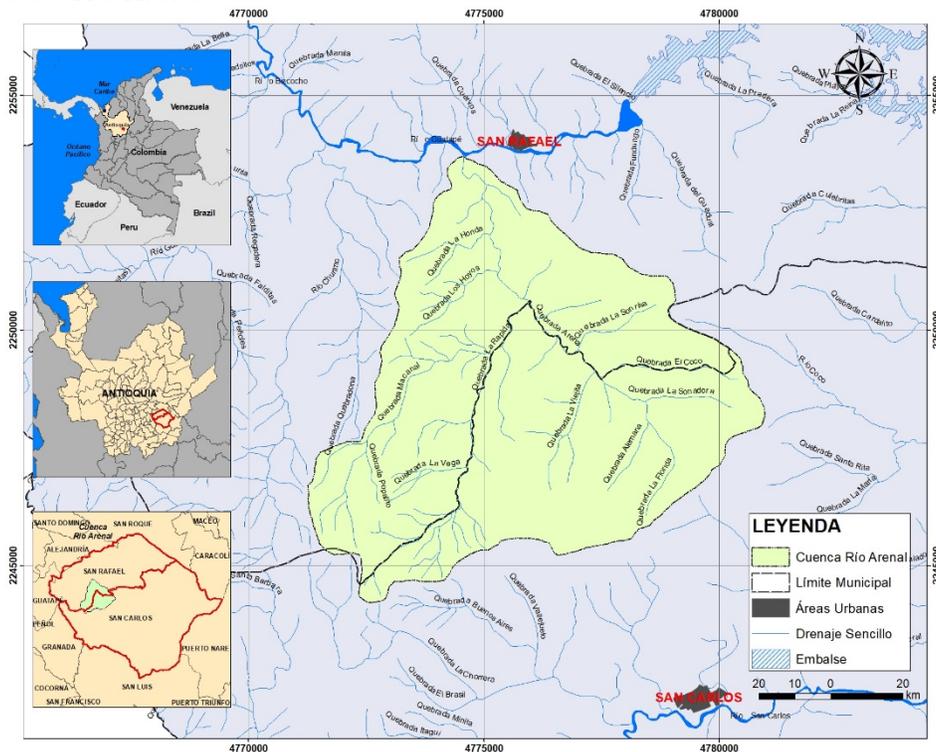
3 Metodología

3.1 Área de estudio

El Río Arenal está ubicado en el municipio de San Rafael al oriente del departamento de Antioquia, la microcuenca del Río Arenal pertenece a la subcuenca del Río Guatapé, que hace parte de la cuenca del Río Samaná Norte y de la cuenca Cornare Embalse y Río Guatapé (NSS1). La microcuenca Río Arenal comprende un área aproximada de 49783 km² a una altitud media de 1000 msnm, con una temperatura promedio de 23°C y una precipitación media de 4200 mm/año (Alcaldía San Rafael, 2019), el Río Arenal representa dentro del municipio una importante área para el desarrollo económico de la zona pues es allí donde se concentran las actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, el turismo y el desarrollo inmobiliario.

Figura 1

Microcuenca del Río Arenal



Nota. Mapa adaptado. Fuente Andrés Estrada Urrea.

3.2 Recolección de información

Se realizó una recolección de información sobre estudios previos en el área de interés, remitiéndose a trabajos de grado, postgrado, artículos científicos y resultados de investigaciones institucionales. Además, investigaciones por parte de actores dentro del municipio como la Red Local de Turismo, información pública presente en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio, así como información desde la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), el archivo y planeación municipal. Por otro lado, se remitió a entidades estatales como la corporación autónoma regional de jurisdicción del municipio, en este caso CORNARE, instituciones públicas como el IDEAM, entidades públicas con infraestructura en el área de estudio como EPM y privadas como ISAGEN, por medio de PQR y correos electrónicos.

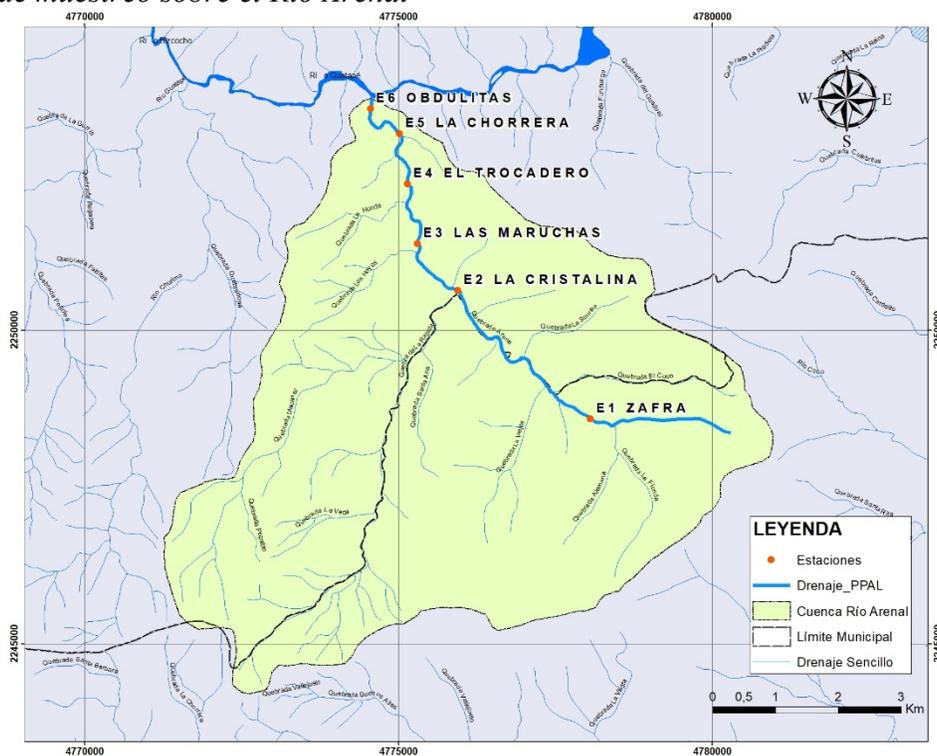
3.3 Diseño experimental

Se realizaron dos campañas de muestreo, según el periodo de lluvias (abril-noviembre) y periodo seco (diciembre-marzo) que se presenta en el municipio de San Rafael. La primera campaña se realizó el 16 de noviembre de 2021 y la segunda campaña los días 14 y 15 de marzo de 2022.

Se escogieron 6 estaciones de muestreo sobre el Río Arenal partiendo de la Reserva Natural de la Sociedad Civil Zafra, como punto accesible en la parte alta de la cuenca, hasta su desembocadura al Río Guatapé. Las 6 estaciones se escogieron teniendo en cuenta el cambio de altitud. También puntos críticos contrastando estaciones donde se evidencia la presencia humana asociada al desarrollo turístico e inmobiliario de la zona. La **Tabla 1** presenta una descripción de cada una de las estaciones empleadas para la caracterización del río.

Tabla 1*Descripción puntos de muestreo sobre el Río Arenal*

| Estación | Referencia | Descripción | Coordenadas | | Altura msnm |
|----------|---------------|---|--------------|--------------|----------------|
| | | | Latitud | Longitud | |
| E1 | Zafra | Parte alta Río Arenal, baja presencia de inmuebles urbanos, zona de Reserva de la Sociedad Civil | 6° 14' 43" N | 75° 0' 31" O | 1070 |
| E2 | La Cristalina | Parte media Río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos, media concentración turística | 6° 15' 52" N | 75° 1' 32" O | 1020 |
| E3 | Las Maruchas | Parte media Río Arenal, media presencia de inmuebles urbanos con dominio de parcelaciones, alta concentración turística | 6° 16' 16" N | 75° 1' 55" O | 1020 |
| E4 | El Trocadero | Parte media Río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos y alta concentración turística | 6° 16' 47" N | 75° 2' 1" O | 1010 |
| E5 | La Chorrera | Parte baja Río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos | 6° 17' 13" N | 75° 2' 4" O | 1000 |
| E6 | Obdulitas | Parte baja Río Arenal, baja presencia de inmuebles urbanos, presencia de ganadería | 6° 17' 26" N | 75° 2' 20" O | 990 |

Figura 2*Estaciones de muestreo sobre el Río Arenal*

Nota. Mapa adaptado. Fuente Andrés Estrada Urrea.

3.4 Determinación de variables hidráulicas

Se realizó la medición de la velocidad promedio de la corriente, empleando un cronómetro, un lazo y un objeto flotante que fuera arrastrado por la corriente, en este caso una esfera plástica. Esta medición para el primer muestreo se realizó en todos los puntos, exceptuando la estación E1 Zafra, ya que no cumplía con una sección de control óptima, debido a la presencia de grandes rocas. Durante el segundo muestreo la medición de la velocidad promedio solo se realizó en la estación E4 El Trocadero, en la estación E1 Zafra no se realizó por las mismas razones del primer muestreo y en las demás estaciones por restricciones relacionadas con el tiempo atmosférico.

3.5 Determinación de variables fisicoquímicas

En cada estación de muestreo se registraron variables fisicoquímicas in situ como oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura y conductividad eléctrica empleando un multiparamétrico. Además, se tomaron muestras de agua que fueron analizadas en el laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Antioquia, para determinar DBO₅, DQO, Nitratos y Ortofosfatos; las muestras para turbiedad fueron analizadas en el laboratorio Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia. La **Tabla 2** presenta la lista de variables fisicoquímicas y su respectivo método.

Tabla 2

Variables fisicoquímicas in situ y determinadas en laboratorio, analizadas en el Río Arenal

| Variables fisicoquímicas | | |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Variable | Unidad | Método |
| Temperatura del agua | °C | |
| Oxígeno disuelto | mg/L O ₂ | |
| Porcentaje de saturación | % | |
| pH | Unidades de pH | Multiparamétrico HQ40d |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | |
| Potencial redox | mV | |
| Turbiedad* | FNU | Turbidímetro HACH 2100Q |
| DBO ₅ * | mg O ₂ /L | Ensayo a 5 días-Sonda Óptica |
| DQO* | mg O ₂ /L | Reflujo Cerrado y Colorimétrico |
| Nitratos* | mg NO ₃ - N/L | Cromatografía Iónica |
| Ortofosfatos* | mg PO ₄ ³⁻ -P/L | Cromatografía Iónica |

*variables determinadas en laboratorio

3.6 Determinación de variables microbiológicas

En cada estación de muestreo se realizó la toma de muestras de agua para ser analizadas en el laboratorio Microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, para determinar la presencia de Coliformes totales y *E. Coli*. La **Tabla 3** presenta las variables microbiológicas y su respectivo método.

Tabla 3

Variables microbiológicas analizadas en el Río Arenal

| Variables microbiológicas | | |
|---------------------------|-------------|-----------------------------------|
| Variable | Unidad | Método |
| Coliformes totales | NMP/ 100 ml | NMP con 3 tubos de 10, 1 y 0.1 ml |
| <i>E. Coli</i> | NMP/ 100 ml | NMP con 3 tubos de 10, 1 y 0.1 ml |

3.7 Trabajo de campo y laboratorio para la captura de macroinvertebrados acuáticos

En cada punto de muestreo se recolectaron macroinvertebrados acuáticos por medio de métodos cuantitativo y cualitativo, el cuantitativo se realizó con una Red surber y el cualitativo empleando recolección manual, Red triangular y Red de pantalla. Las muestras recolectadas se almacenaron y etiquetaron en bolsas plásticas preservadas con alcohol al 70%, para su separación, identificación y conteo en el laboratorio Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia.

Figura 3

Recolección de macroinvertebrados acuáticos empleando la Red surber estación de muestreo El Zafra (izquierda) y Red de pantalla estación E2 La Cristalina (derecha)



Las muestras recolectadas se depositaron en bandejas plásticas y con ayuda de pinzas de punta fina se separaron cuidadosamente los macroinvertebrados del sustrato. Las muestras se conservaron en viales plásticos en alcohol al 70% debidamente rotulados. Por cada estación de muestreo se separaron los organismos por el tipo de red empleada (Red surber margen derecho, Red surber margen izquierdo, Red triangular y Red de pantalla). Posteriormente empleando un estereomicroscopio, se separando los organismos por grupos similares (**Figura 4**), para luego empleando claves taxonómicas (Álvarez, 2005; Domínguez & Fernández, 2009; Roldán, 1996; Roldán, 2003) determinarlos al mayor nivel posible. Además, se apoyó la identificación con trabajos de investigación como los de Gonzáles-Córdoba et al. (2020) y Gutierrez & Dias (2015).

Figura 4

Separación por grupos similares de una muestra de macroinvertebrados acuáticos, muestra correspondiente a la estación El Zafrá recolección con Red triangular



3.8 Determinación de índices de diversidad

Con las muestras de macroinvertebrados debidamente identificadas y contabilizadas se calcularon índices de diversidad para conocer la calidad y las estructuras de las comunidades. Para cada punto se calcularon los índices de Dominancia de Simpson, Diversidad Shannon, Riqueza de

especies y equidad de Pielou por medio del software PAST. La **Tabla 4** presenta los índices de diversidad calculados para las muestras de macroinvertebrados y su respectiva ecuación.

Tabla 4

Índices de diversidad calculados para las familias de macroinvertebrados del Río Arenal

| Índices de diversidad | | |
|--|---|--|
| Índice | Ecuación | Factores |
| Riqueza | | Número total de taxa |
| Abundancia | | Número total de individuos |
| Dominancia de Simpson (1949) | $D = \Sigma \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$ | <i>D</i> : índice de dominancia <i>ni</i> : número de individuos por cada uno de los taxa <i>N</i> : número total de individuos |
| Diversidad de Shannon-Weaver (1949) | $H = -\Sigma \frac{ni}{N} \ln \frac{ni}{N}$ | <i>H</i> : índice de diversidad <i>ni</i> : número de individuos por cada uno de los taxa <i>N</i> : número total de individuos <i>ln</i> : logaritmo natural |
| Equidad de Pielou | $J = \frac{H}{Hmax}$ | <i>J</i> : índice de equidad <i>Hmax</i> : máximo valor de H |

Fuente. (Roldán & Ramírez, 2008)

3.8 Índice bióticos BMWP/Col

Para cada punto se estimó el índice BMWP para Colombia modificado de Roldán (2003) por Álvarez Arango (2005). Este índice evalúa la calidad del agua empleando familias de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, a cada familia se le asigna un valor entre 1-10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación, siendo los valores menores las familias más tolerantes. En cada punto la suma de los valores asignados a cada familia indicará el grado de contaminación, mientras mayor sea la suma, menor es la contaminación en el punto. La **Tabla 5** presenta la clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col.

Tabla 5*Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col*

| Calidad | Valor BMWP | Significado | Color |
|-------------|------------|----------------------------------|---|
| Buena | ≥ 150 | Aguas muy limpias |  |
| | 123-149 | Aguas no contaminadas |  |
| Aceptable | 71-122 | Ligeramente contaminadas |  |
| Dudosa | 46-70 | Aguas moderadamente contaminadas |  |
| Crítica | 21-45 | Aguas muy contaminadas |  |
| Muy crítica | < 20 | Aguas fuertemente contaminadas |  |

Fuente. (Álvarez, 2005)

3.9 Procesamiento y análisis de la información

Después de comprobar la normalidad de todas las variables se realizaron pruebas estadísticas. Para aquellas que no cumplieron con el criterio de normalidad se utilizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis.

Con el fin de establecer una ordenación de las variables ambientales con relación a las estaciones, muestreos y variables se realizó un análisis de componentes principales (ACP) que incluyó las estaciones y muestreos.

Previo a este abordaje las variables fueron estandarizadas $(x - \min / \max - \min)$ y transformadas a su raíz cuadrada $(\sqrt{x+1})$. Este análisis se ejecutó en el programa R.

En el análisis de componentes principales las nuevas variables o componentes (independientes entre sí) representan una combinación de las variables originales y un número relativamente pequeño de componentes explica la mayor parte de la variación total de estas variables. Ya que este método de tipo descriptivo básicamente permite obtener una representación dimensional que no supone dependencias.

3.10 Determinación de la percepción de la comunidad

Se realizó un ejercicio de identificación de la percepción de la comunidad sobre el estado y conservación del río Arenal frente al desarrollo turístico y sobre las diferentes herramientas de gestión del recurso hídrico, a partir de una encuesta realizada de forma presencial y virtual, empleando preguntas abiertas, cerradas y escala tipo Likert, la cuál es un método de investigación de campo que permite medir la opinión de un individuo sobre un tema a través de un cuestionario

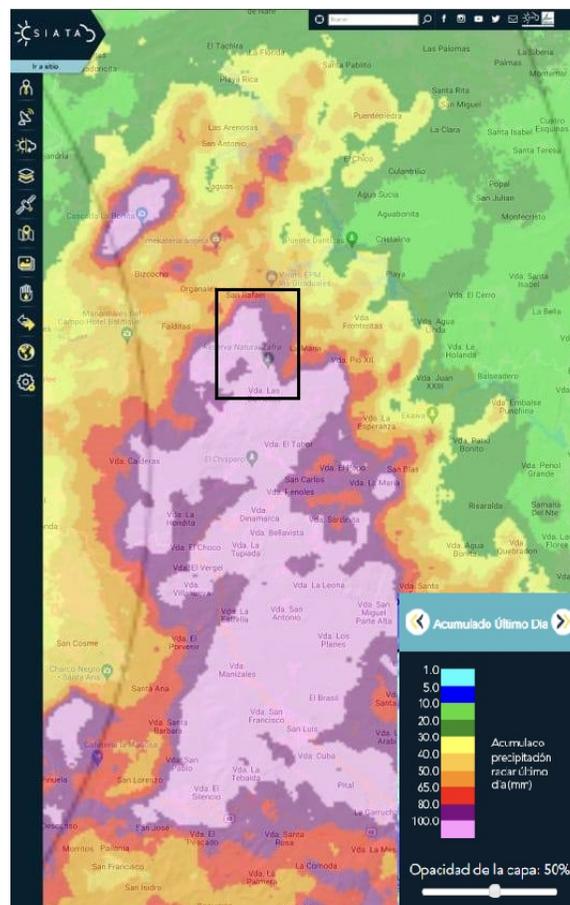
que identifica el grado de acuerdo o desacuerdo de cada pregunta, casi siempre se emplean 5 niveles y su interpretación se realiza mediante métodos estadísticos empleando el programa Microsoft Excel. En este caso, se realizó empleando el programa Forms de Office 365.

4 Resultados y análisis

Teniendo en cuenta la influencia del fenómeno de La Niña en Colombia para los meses que se realizaron los muestreo, para el muestreo 1 (16 de noviembre de 2021) se registraron menos lluvias en comparación al muestreo 2, en especial la noche del 14 de marzo de 2022, donde se presentó un evento atípico de precipitación en la zona, generando crecimiento y desbordamiento del cauce del río Arenal, evento que influyó en algunas variables analizadas, la **Figura 5** muestra una captura de pantalla del acumulado de nubes y precipitación del último día (14 de marzo de 2022) del radar del geoportal del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá-SIATA, donde se evidencia el gran acumulado de precipitación radar último día con valores de hasta 100,0 mm.

Figura 5

Acumulado de nubes y precipitación último día del 14 de marzo de 2022, radar geoportal del SIATA



Nota. Imagen tomada y editada del portal del SIATA, el recuadro negro indica la ubicación de la cuenca del Río Arenal.

4.1 Variables fisicoquímicas y microbiológicas

La **Tabla 6** presenta los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas *in situ* y determinadas en laboratorio, así como las variables microbiológicas para las 6 estaciones en los dos muestreos realizados.

Tabla 6
Variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el Río Arenal

| Variables | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | Muestreo 1 16/11/2021 | | | | | | Muestreo 2 14 -15/03/2022 | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | |
| Fisicoquímicas <i>in situ</i> | T (°C) | 20,3 | 21,0 | 22,3 | 22,3 | 22,6 | 22,7 | 20,0 | 21,6 | 21,6 | 19,6 | 20,1 | 20,9 |
| | O2 (mg/L) | 8,08 | 7,97 | 7,93 | 7,83 | 7,77 | 7,70 | 8,06 | 7,75 | 7,77 | 8,17 | 8,25 | 8,05 |
| | %S O2 | 100,9 | 100,6 | 103,0 | 101,7 | 101,9 | 101,0 | 100,8 | 99,8 | 100,0 | 100,4 | 102,1 | 101,1 |
| | pH | 8,19 | 8,03 | 8,87 | 8,30 | 8,17 | 8,43 | 7,61 | 7,13 | 7,36 | 7,13 | 7,16 | 7,24 |
| | Conductividad (µS/cm) | 24,5 | 28,0 | 27,5 | 29,1 | 29,6 | 30,3 | 29,4 | 35,0 | 32,9 | 22,6 | 23,6 | 25,5 |
| | Potencial Redox (mV) | -80,3 | -48,7 | -92,3 | -63,7 | -56,9 | -72,7 | -35,8 | -8,1 | -19,3 | -6,6 | -8,9 | -12,2 |
| | Fisicoquímicas laboratorio | Turbidez (FNU) | 1,36 | 2,50 | 1,59 | 3,37 | 3,85 | 1,53 | 3,34 | 2,70 | 16,9 | 16,8 | 13,1 |
| DBO5 (mg O2/L) | | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | 13,5 | <4,00 | 4,24 | <4,00 | <4,00 |
| DQO (mg O2/L) | | <10,0 | <10,0 | <10,0 | <10,0 | <10,0 | <10,0 | <10,0 | 27,1 | <10,0 | <10,0 | <10,0 | <10,0 |
| Nitratos (mg NO ₃ -N/ L) | | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,06 | 0,14 | 0,14 | 0,13 |
| Ortofosfatos (mg PO ₄ ³⁻ -P/ L) | | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Microbiológicas | | Coliformes Totales (NMP/100 ml) | 240 | 93 | 460 | 240 | 240 | 460 | 93 | 150 | 240 | 240 | 460 |
| | E. Coli (NMP/100 ml) | 9 | 43 | 43 | 7 | 43 | 23 | 4 | 93 | 43 | 23 | 43 | 23 |

Se puede observar que, a excepción del potencial redox, las variables fisicoquímicas registradas *in situ* no presentaron variaciones considerables entre las diferentes estaciones de los dos muestreos. Para el caso de las variables fisicoquímicas analizadas en el laboratorio, la turbidez

registra un incremento notorio a partir de la estación E3 del M2. La DBO₅ para las estaciones E2 y E4 del M2 presentan valores diferentes a <4,0 mg O₂/L y en cuanto a la DQO solo la estación E2 del mismo muestreo presenta un valor diferente a <10,0 mg O₂/L. Por su parte, los ortofosfatos registran un valor estable de 0,16 mg PO₄³⁻-P/L para todas las estaciones de ambos muestreos.

Los estadígrafos de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el Río Arenal (**Tabla 7**), presentan valores de temperatura entre 19,6-22,7°C para las diferentes estaciones en los dos muestreos realizados, con un coeficiente de variación del 5,2% y el pH con valores entre 7,16-8,87 indicando aguas con un pH neutro-básico, con un coeficiente de variación del 7,7%.

Tabla 7

Estadígrafos descriptivos de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el Río Arenal

| | Variables | Estadígrafos de tendencia central | | | | | |
|----------------------------|---|-----------------------------------|-------|-----------|----------|------|----|
| | | Max. | Mín. | \bar{X} | σ | %CV | N |
| Fisicoquímicas in situ | T (°C) | 22,7 | 19,6 | 21,3 | 1,1 | 5,2 | 12 |
| | O ₂ (mg/L) | 8,25 | 7,70 | 7,94 | 0,18 | 2,3 | 12 |
| | %S O ₂ | 103,0 | 99,8 | 101,1 | 0,9 | 0,9 | 12 |
| | pH | 8,87 | 7,13 | 7,80 | 0,60 | 7,7 | 12 |
| | Conductividad (µS/cm) | 35,0 | 22,6 | 28,2 | 3,7 | 13,1 | 12 |
| | Potencial Redox (mV) | -6,60 | -92,3 | -42,1 | 31,1 | 73,8 | 12 |
| Fisicoquímicas laboratorio | Turbidez (FNU) | 16,9 | 1,36 | 6,59 | 6,18 | 93,9 | 12 |
| | DBO ₅ (mg O ₂ /L) | 13,5 | 4,0 | 4,81 | 2,74 | 56,9 | 12 |
| | DQO (mg O ₂ /L) | 27,1 | 10,0 | 11,4 | 4,94 | 43,2 | 12 |
| | Nitratos (mg NO ₃ . N/ L) | 0,15 | 0,06 | 0,11 | 0,03 | 26,1 | 12 |
| Microbiológicas | Coliformes Totales (NMP/100 ml) | 460 | 93 | 255,5 | 135,4 | 53,0 | 12 |
| | E. Coli (NMP/100 ml) | 93 | 4 | 33,1 | 24,3 | 73,4 | 12 |

El oxígeno disuelto (OD) por su parte presenta valores entre 7,70-8,25 mg/L con un coeficiente de variación de 2,3%; siendo junto al porcentaje de saturación (%S O₂) con registro entre 99,3-103,0% y un coeficiente de variación de 0,9%, las variables menos dispersas. Por el contrario, la conductividad y el potencial redox fueron las variables *in situ* más dispersas con un

coeficiente de variación de 13,1% y 73,8% respectivamente, con valores entre 22,6-35,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad y potencial redox entre -92,3 mV y -6,60 mV.

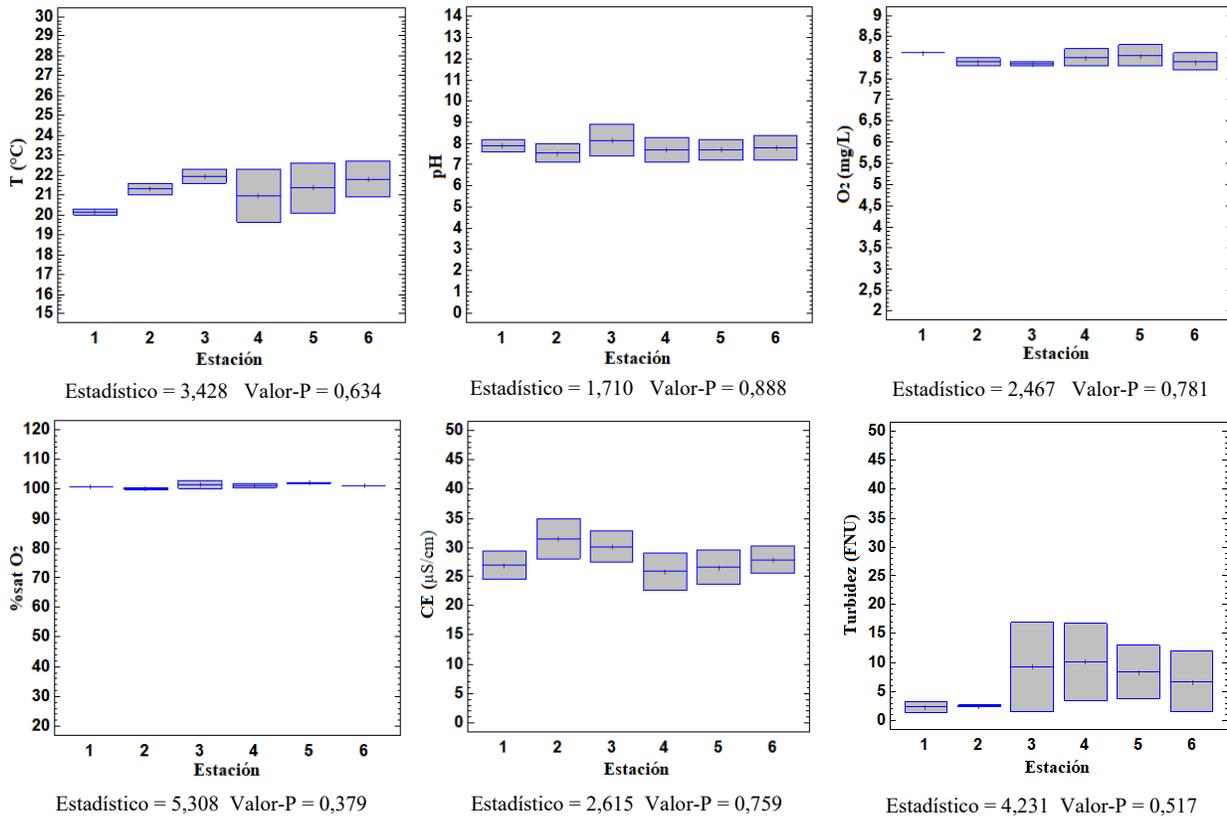
En cuanto a las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio, la turbiedad presenta valores entre 1,36-16,9 FNU con un coeficiente de variación de 93,9%, variable que posiblemente fue influenciada por el evento de precipitación del 14 de marzo de 2022. La DBO_5 registró valores entre <4,0-13,5 mg O_2/L y la DQO valores entre <10,0-27,1 mg O_2/L con un coeficiente de variación de 56,9% para la DBO_5 y 43,2% para la DQO. De los nutrientes analizados los nitratos presentan valores entre 0,06-0,15 mg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{L}$ con un coeficiente de variación de 26,1%, siendo la variable fisicoquímica menos dispersa de las analizadas en laboratorio.

Por último, las variables microbiológicas coliformes totales y *E.Coli* registraron valores entre 93-460 NMP/100 ml y 4-93 NMP/100 ml respectivamente, con un coeficiente de variación de 53,0% para los coliformes totales y 73,4% para *E.Coli*. La presencia de bacterias coliformes, que habitan los intestinos del hombre y otros organismos de sangre caliente, se asocian a menudo con organismos patógenos, convirtiéndose en un índice de seguridad bacteriológica del cuerpo de agua (Roldán & Ramírez, 2008). Este resultado puede asociarse a la presencia fauna natural o animales domésticos característicos de la zona como vacas, perros, gatos, patos que habitan fincas aledañas al Río Arenal; además la presencia de *E.Coli* podría asociarse a descargas de aguas residuales sobre el río.

Las **Figura 6** y **Figura 7** muestran los boxplot realizados para analizar la distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas in situ comparadas por estación y por muestreo respectivamente. El valor p corresponde a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Valores menores a $p=0.05$ indican diferencias estadísticamente significativas.

Figura 6

Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas in situ determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo



Nota. La variable turbidez se determinó en el laboratorio, pero se incluyó en esta figura para un mejor análisis de las variables fisicoquímicas.

Con relación a la temperatura en las diferentes estaciones, las temperaturas más bajas se registraron en las estaciones E1 y E2, a partir de la estación E3 las temperaturas incrementan casi 2°C y se estabilizan, esto se podría relacionar con la ubicación de los puntos y la vegetación ribereña, ya que las estaciones E1 y E2 se encuentran en la parte alta de la cuenca, con presencia de zonas boscosas, con incidencia moderada de la luz por el dosel de los árboles; por el contrario, las estaciones E3 a E6 se encuentran en la parte media y baja de la cuenca, con zonas de pastos y bosques menos densos. Pese a no presentar una diferencia estadísticamente significativa, el incremento de casi 2°C de temperatura desde una perspectiva de la limnología es importante, ya que la temperatura es un factor limitante en las tasas metabólicas, influye en el ciclo de vida de muchas especies, entre otros (Roldán & Ramírez, 2008).

El pH entre las diferentes estaciones es muy estable, con registro de 7,0-8,0 unidades de pH, con un valor aparentemente mayor en la estación E3. El OD presenta valores muy similares

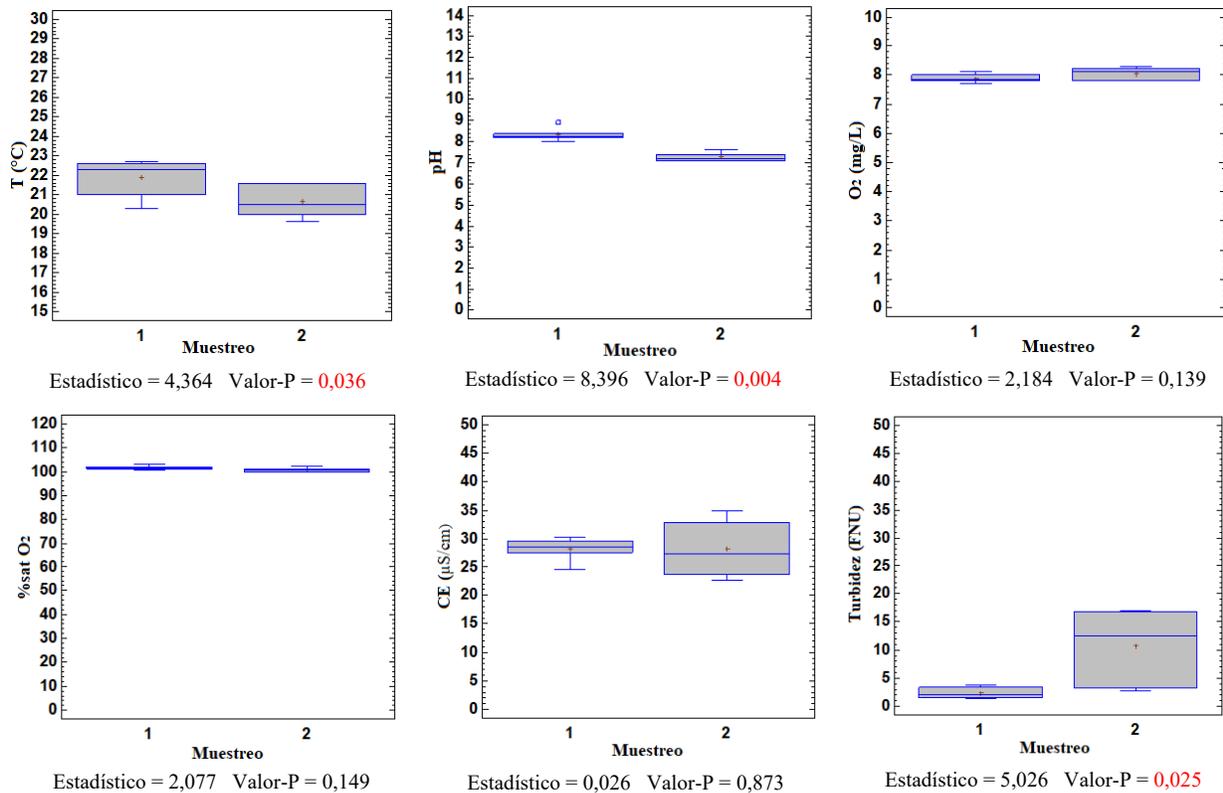
entre las estaciones, al igual que el porcentaje de saturación, estas variables están muy relacionadas al ser este último el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua bajo unas condiciones de temperatura y presión determinadas (Roldán & Ramírez, 2008).

Para el caso de las variables CE y turbidez los valores entre las estaciones presentan algunas diferencias, para el caso de la CE las estaciones E2 y E3 muestran un incremento en la conductividad, no obstante los valores registrados para todas las estaciones son representativos de afluentes de altas montañas andinas (Roldán & Ramírez, 2008); la turbidez presenta un mayor registro desde la estación E3 posiblemente influenciada por el evento de precipitación de la noche del 14 de marzo de 2022, ya que durante la toma de muestras fue notorio el cambio en la turbidez del río, debido a la resuspensión y arrastre de sedimentos favorecido por el caudal del río. Sin embargo, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis realizada a las diferentes variables por estación de muestreo, no indican diferencias estadísticamente significativas.

Al comparar las variables por muestreo (**Figura 7**), la temperatura presenta valores más altos para el muestreo 1 (M1) con un promedio de temperatura de 22°C, en comparación al muestreo 2 (M2) con una temperatura promedio entre 20-21°C; así mismo, el pH registro valores más altos para el M1 con una mediana de más de 8,0 unidades de pH, en comparación al M2 con una mediana de aproximadamente 7,0 unidades de pH; por su parte la turbidez presenta menores valores para el M1 en comparación al M2, presentando estas 3 variables diferencias estadísticamente significativas entre los dos muestreos según la prueba de Kruskal-Wallis, diferencia que no se percibió al comparar las variables por estaciones de muestreo (**Figura 6**).

Figura 7

Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas in situ determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo



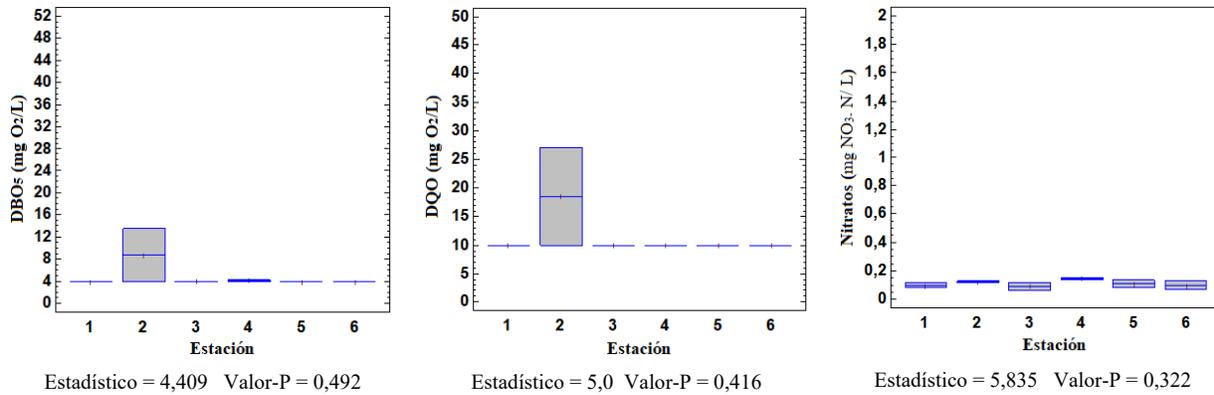
Nota: La variable turbidez se determinó en el laboratorio, pero se incluyó en esta figura para un mejor análisis de las variables fisicoquímicas.

El OD, el porcentaje de saturación y la CE presentan valores de mediana similares entre los dos muestreos realizados y no presentan diferencias estadísticamente significativas lo que indica que las variables no presentan cambios significativos a nivel temporal.

Las **Figura 8** y **Figura 9** muestran los boxplot realizados para analizar la distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio comparadas por estación y por muestreo respectivamente.

Figura 8

Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo



Las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio DBO₅, DQO y Nitratos no muestran diferencias significativas entre las estaciones de muestreo. La DBO₅ con un valor promedio de 4 mg O₂/L y la DQO con 10 mg O₂/L podrían señalar que el Río Arenal no presenta altos niveles de materia orgánica, con una relación DBO₅/DQO de 0,4. Sin embargo, la estación E2 presenta para la DBO₅ y la DQO valores de mediana más altos, que se podrían relacionar con un aporte de materia orgánica o sustancias de interés sanitario, posiblemente influenciado por las lluvias, ya que los valores más altos de DBO₅ y DQO se registraron en el muestreo 2 (**Tabla 6**).

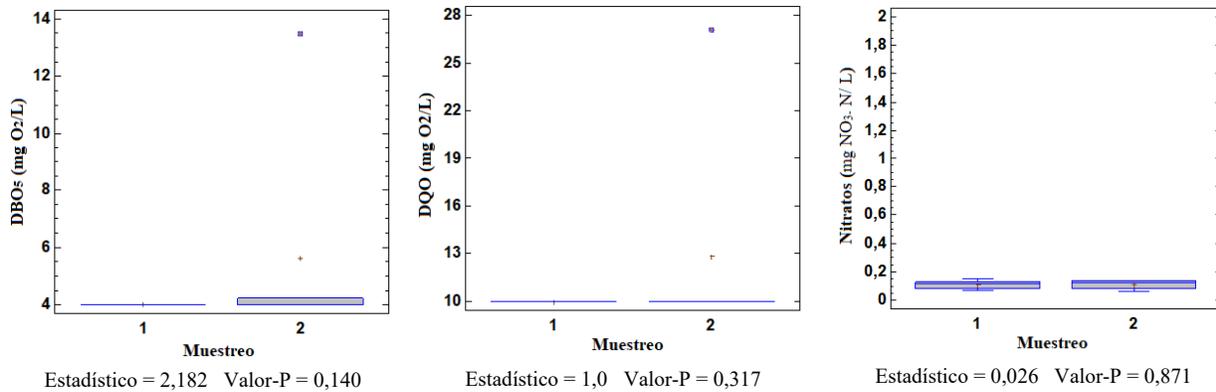
Las concesiones otorgadas dentro de la cuenca del Río Arenal según el ente regulador CORNARE estas relacionadas a abastecimiento doméstico, piscícolas, recreación y deporte. La DBO₅ registra valores dentro de los sugeridos por autores como (Sierra, 2011) para uso recreativo mediante contacto primario (20 mg/L) y uso pecuario (5 mg/L).

Los nitratos con un valor promedio de menos de 0,2 mg NO₃-N/L se encuentran dentro de los límites admisibles para abastecimiento doméstico (10,0 mg/L), uso pecuario (100,0 mg/L), para el uso recreativo la norma establece que el nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporciones que no ocasionen eutrofización (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Adicionalmente con los valores registrados de nitratos se podría clasificar el Río Arenal como oligotrófico ya que los contenidos de nitratos se encuentran entre 0,0-1,0 mg/L (Roldán & Ramírez, 2008).

Figura 9

Distribución de tendencia central de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo

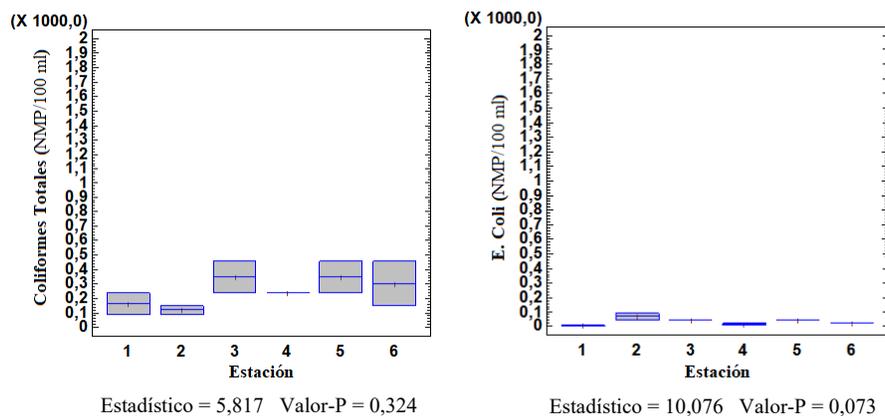


Adicionalmente, al comparar las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio por muestreo la prueba de Kruskal-Wallis no indica diferencias estadísticamente significativas, las variables no presentan cambios significativos a nivel temporal.

Las **Figura 10** y **Figura 11** muestran los boxplot realizados para analizar la distribución de tendencia central de las variables microbiológicas analizadas, comparadas por estación y por muestreo respectivamente.

Figura 10

Distribución de tendencia central de las variables microbiológicas determinadas en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestreo

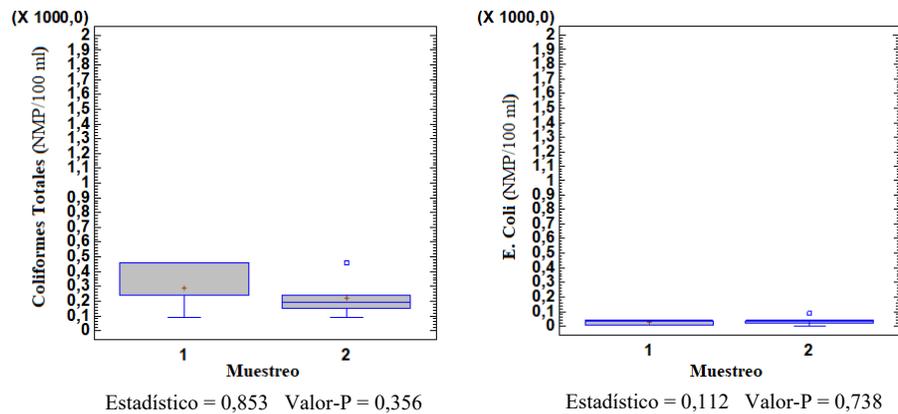


Los coliformes totales muestran valores más bajos para las estaciones E1 y E2, con un incremento a partir de la estación E3; por su parte el registro de *E. Coli* entre las estaciones es muy

estable, los valores registrados de las variables se encuentran dentro de los límites permisibles para el abastecimiento doméstico con potabilización por tratamiento convencional de 20000 microorganismos/100 ml para los coliformes totales y 2000 microorganismos/100 ml para *E.Coli*, así como 1000 microorganismos/100 ml para coliformes totales con potabilización solo por desinfección; adicionalmente las variables se encuentran dentro de los límites para usos recreativos mediante contacto primario de 1000 microorganismos/100 ml para los coliformes totales y 200 microorganismos/100 ml para *E.Coli* (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Sin embargo es importante recalcar la presencia de coliformes totales y *E.Coli* en todas las estaciones analizadas. Ambas variables no presentan diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones.

Figura 11

Distribución de tendencia central de las variables microbiológicas determinadas en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo



Al comparar las variables microbiológicas por muestreo, los coliformes totales indican valores más altos para el M1 en comparación al M2, por otro lado, la variable *E.Coli* presenta valores similares entre los muestreos. La prueba Kruskal-Wallis no indica diferencias significativas entre los muestreos para ambas variables, las variables no presentan cambios significativos a nivel temporal.

La **Figura 12** presenta el análisis de componentes principales (ACP) de variables ambientales y muestreo.

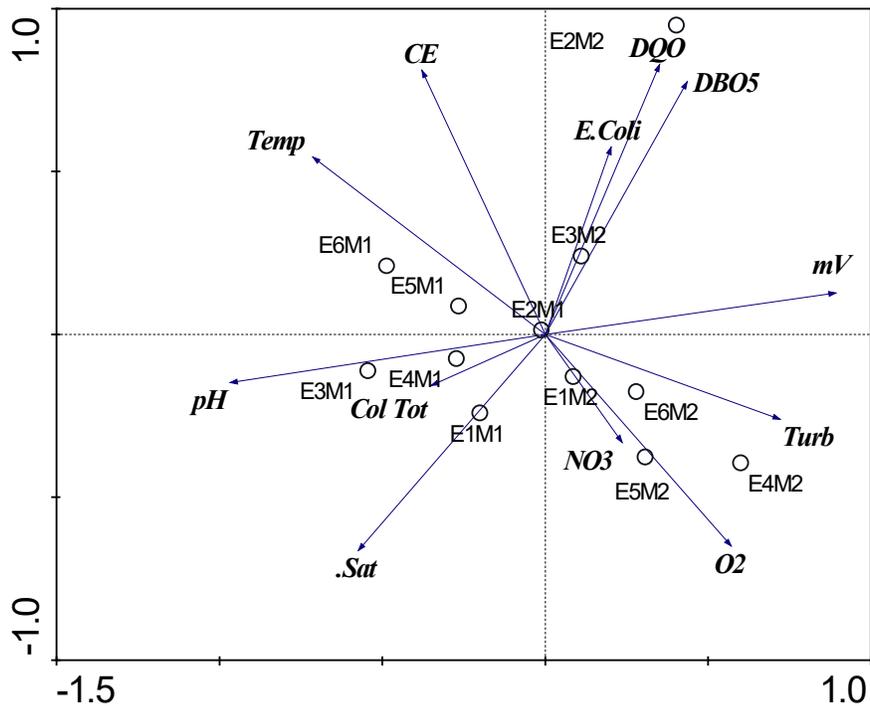
Las diferencias en los resultados de las variables analizadas están asociadas principalmente a la localización de las estaciones y muestreos. El análisis de componentes principales realizado

(Figura 12) indica que el primer componente respondió por el 36.8% y el segundo por el 27.1% de la varianza. Con respecto a la ordenación es claro que la conductividad, la temperatura, el pH y el porcentaje de saturación separan un grupo formado principalmente por el muestreo 1 (M1), mientras la DQO, la DBO₅ y la turbidez tienden a separar un grupo formado por el segundo muestreo (M2).

Figura 12

Análisis de componentes principales (ACP) de variables ambientales en estaciones y muestreos.

E: estación, M: muestreo



4.2 Macroinvertebrados acuáticos, índices de diversidad y BMWP/Col

Se recolectaron 2136 individuos, clasificados al mayor nivel taxonómico posible, la **Tabla 8** presenta las diferentes taxas identificadas, donde se encontraron 111 morfotipos de los cuales 66 se identificaron hasta el nivel de género, 36 hasta el nivel de familia y 9 hasta el nivel de orden.

Tabla 8

Macroinvertebrados acuáticos recolectados en las diferentes estaciones en el Río Arenal empleando métodos cualitativos y cuantitativos

| Orden | Familia | Género | Muestreo 1 16/11/21 | | | | | | Muestreo 2 14-15/03/22 | | | | | |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|------------------------|----|----|----|----|----|
| | | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| Ephemeroptera | Baetidae | <i>Baetis</i> sp | 1 | 14 | 12 | 7 | 4 | 9 | 4 | 62 | 12 | 10 | 2 | 4 |
| | Baetidae | <i>Baetodes</i> sp | 2 | 1 | | 1 | | 2 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | Baetidae | <i>Baetodes pseudospinae</i> | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | Baetidae | <i>Camelobaetidius</i> sp | 6 | 3 | 16 | 6 | 7 | 3 | | | 4 | | 3 | 3 |
| | Baetidae | <i>Mayobaetis</i> | 1 | | | | | | | | 4 | | 1 | |
| | Baetidae | Sin determinar | | 3 | | | | 6 | | 10 | 1 | 1 | 1 | |
| | Leptophlebiidae | <i>Farrodes</i> sp | 4 | | | 1 | 2 | | 14 | | | 4 | 8 | 3 |
| | Leptophlebiidae | <i>Thraulodes</i> sp | 15 | 14 | 5 | 21 | 13 | 1 | 26 | 12 | 9 | 1 | 9 | 7 |
| | Leptohyphidae | <i>Leptohyphes</i> sp | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 6 | 3 | 1 | 6 | |
| | Leptohyphidae | <i>Tricorythodes</i> sp | | | | | | | | | 1 | | | 3 |
| Euthyplociidae | <i>Euthyplocia</i> sp | | 1 | | | | | | 1 | | | | 1 | |
| Odonata | Dicteriadidae (c.f) | Sin determinar | 1 | | | | | | | | | | | |
| | Calopterygidae | <i>Hetaerina</i> sp | 1 | 1 | | | 4 | | | | | | | 1 |
| | Coenagrionidae | <i>Argia</i> sp | | | | 1 | | | 2 | | 1 | | | 2 |
| | Gomphidae | <i>Phyllogomopoides</i> sp | | 1 | | | | | | 5 | | | | 2 |
| | Libellulidae | <i>Brechmorhoga</i> sp (c.f) | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 |
| | Libellulidae | Sin determinar 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | Libellulidae | Sin determinar 2 | | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| | Libellulidae | Sin determinar 3 | | | | | | | | | 1 | 1 | | 2 |
| | Megapodagrionidae | Sin determinar | | | | | | | | 1 | | | | |
| Polythoridae | <i>Polythore</i> sp | | | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | |
| Plecoptera | Perlidae | <i>Anacronuria</i> sp | 4 | 2 | 21 | 14 | 12 | 2 | 5 | 12 | 24 | 2 | 36 | 14 |
| Megaloptera | Corydalidae | <i>Corydalus</i> sp | 1 | 3 | | 1 | | | 4 | 1 | 2 | | 2 | 1 |
| Coleoptera | Curculionidae | Sin determinar | | | | | | 1 | | | | | | |
| | Dryopidae | Sin determinar | | | | | 1 | | | | | | | |
| | Dytiscidae | <i>Copelatus</i> sp | | | | | | | 1 | | | | | |
| | Elmidae | <i>Austrolimnius</i> (Ad) (c.f) | 2 | | 8 | 9 | | | 1 | 1 | 3 | | 4 | |
| | Elmidae | <i>Austrolimnius</i> (L) (c.f) | | 6 | 1 | 8 | 2 | | 3 | 7 | | 1 | 5 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|-------------------------------|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|
| | Elmidae | <i>Cylloepus</i> sp (Ad) | 4 | | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | | 6 | 1 | 2 | |
| | Elmidae | <i>Cylloepus</i> sp (L) (c.f) | | | | 1 | | | 1 | | | | | |
| | Elmidae | <i>Disersus</i> sp (L) | | | | | | | 1 | | 2 | | | 1 |
| | Elmidae | <i>Heterelmis</i> sp (L) | 1 | 4 | | | | | | 1 | 7 | 1 | 4 | |
| | Elmidae | <i>Hexanchorus</i> sp (Ad) | | | 4 | | | | | | | | | |
| | Elmidae | <i>Hexanchorus</i> sp (L) | | | | 1 | | | | 2 | 3 | 2 | 4 | |
| | Elmidae | <i>Macrelmis</i> sp (L) | 2 | | 3 | 1 | | 1 | 6 | 1 | 17 | 1 | 5 | |
| | Elmidae | <i>Macrelmis</i> sp (Ad) | | | | | | | | | | | | 1 |
| | Elmidae | <i>Microcylloepus</i> sp (Ad) | | 2 | 1 | 4 | 3 | | 1 | | 2 | 1 | 3 | 1 |
| | Elmidae | <i>Microcylloepus</i> sp (L) | 1 | 5 | 21 | 9 | 2 | | 1 | 4 | 21 | 2 | 10 | |
| | Elmidae | <i>Neoelmis</i> (Ad) (c.f) | | | | | | | 1 | | | | | |
| | Elmidae | <i>Phanocerus</i> sp (Ad) | 1 | | | | | | | | | | 3 | |
| | Elmidae | <i>Phanocerus</i> sp (L) | | | | | | | | 2 | 1 | | | |
| | Elmidae | <i>Pseudodisersus</i> sp | | | | | | | | 2 | | | 1 | |
| | Elmidae | Sin determinar 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| | Elmidae | Sin determinar 2 | | | | | | | | 3 | | | | |
| | Elmidae | Sin determinar 3 | | | | | | | | | | | | 1 |
| | Hydrophilidae | <i>Hemiosus</i> sp (Ad) (c.f) | | | | | | | | | | | | 1 |
| | Hydrophilidae | <i>Paracymus</i> sp (L) | | | | | | | | | | | 1 | |
| | Psephenidae | <i>Psephenops</i> sp | 1 | 5 | 4 | 2 | 2 | | 2 | 4 | 5 | 1 | 6 | |
| | Ptilodactylidae | <i>Anchytarsus</i> (L) | 3 | | 4 | 1 | | | 1 | 11 | 7 | | 4 | |
| | Ptilodactylidae | Sin determinar | | | | | | | | 1 | | | | |
| | Scirtidae | <i>Scirtes</i> sp | | | | | | | | 1 | | | | |
| | Sin determinar 1 | Sin determinar 1 | | 1 | | | | | | | | | | |
| | Sin determinar 2 | Sin determinar 2 | | | 1 | | | | | | | | | |
| | Belostomatidae | <i>Belostoma</i> | | | | | | | | | 3 | | 1 | |
| | Gerridae | Sin determinar | | | | | 2 | 2 | | | | | | |
| | Hebridae | <i>Hebrus major</i> | | | | 1 | | | | | 2 | 2 | | 1 |
| | Macroveliidae | <i>Macrovelia</i> sp | | | | | | | | 1 | | | | |
| | Naucoridae | <i>Cryphocricos</i> sp | | | | | | | | | 2 | | | |
| | Naucoridae | <i>Limnocoris</i> sp | 1 | 1 | | | | 1 | 9 | 18 | | 18 | 6 | 2 |
| | Notonectidae | <i>Martarega</i> sp | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| | Veliidae | <i>Rhagovelia</i> sp | 24 | | | 22 | 5 | 13 | 80 | 11 | 1 | 15 | 2 | 14 |
| Trichoptera | Anomalopsychidae (c.f) | Sin determinar | 1 | | | | | | | 4 | | 1 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| | Tipulidae | <i>Hexatoma</i> sp | 1 | 2 | 1 | | | | | 2 | 1 | | | |
| | Tipulidae | <i>Hexatoma</i> sp2 | | | | | | | 1 | | | | | |
| | Tipulidae | Sin determinar 1 | 1 | 1 | | | | | | 10 | 1 | | | |
| | Tipulidae | Sin determinar 2 | | | | | | | 1 | 2 | | | | |
| | Simuliidae | <i>Simulium</i> sp | | 86 | 7 | 24 | 259 | 3 | 3 | | 6 | 1 | 7 | 2 |
| | Chironomidae | Sin determinar 1 | | 3 | 1 | 6 | 5 | 1 | 2 | 10 | 2 | | 2 | 1 |
| | Chironomidae | Sin determinar 2 | | | | | | | 3 | | | | | |
| | Chironomidae | Sin determinar 3 | | | | | | | | 2 | | | 1 | |
| | Ceratopogonidae (c.f) | Sin determinar | 1 | | | | | | | | | | | |
| | Sin determinar 1 | Sin determinar 1 | | | | | | | | | | | 1 | |
| Acarina | Acaridae | Sin determinar | 1 | | | | 1 | | 1 | | | 1 | 2 | |
| Decapoda | Pseudothelphusidae (c.f) | Sin determinar | 1 | | | | | | | | | | | |
| Tricladida | DugesIIDae | Sin determinar | | | 1 | | 3 | | | | | | | |
| Architaenioglossa | Ampullariidae | <i>Pomacea</i> | | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| Haplotaxida | Tubificidae (c.f) | Sin determinar | | | | | | | 2 | | | | | |
| TOTAL DE INDIVIDUOS | | | 121 | 185 | 132 | 170 | 374 | 50 | 222 | 275 | 208 | 94 | 184 | 121 |
| RIQUEZA DE MORFOTIPOS | | | 41 | 35 | 26 | 36 | 28 | 18 | 40 | 47 | 45 | 33 | 48 | 37 |

Figura 13

Registro fotográfico familias de macroinvertebrados acuáticos más representativas para ambos muestreos

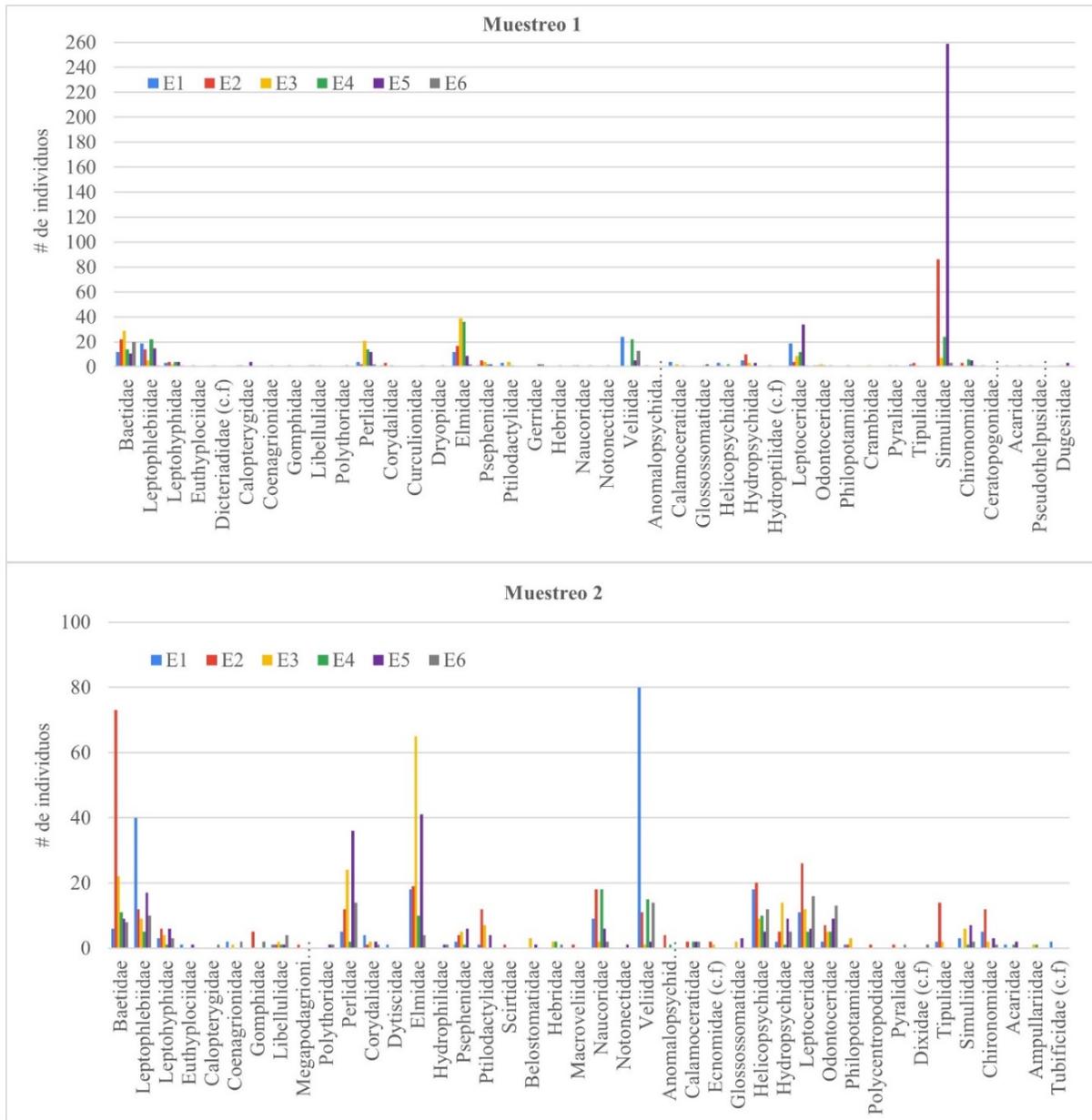


Las familias predominantes para cada muestreo de las muestras cualitativas y cuantitativas se muestran en la **Figura 14**. Para el primer muestreo las familias Baetidae, Leptophlebiidae, Perlidae, Elmidae, Veliidae, Leptoceridae y Simuliidae son las que presentan mayor registro de individuos, resaltando la familia Simuliidae en las estaciones E2 y E5; estas familias pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Hemiptera, Trichoptera y Diptera están relacionadas por lo general a aguas limpias y muy limpias (Róldan, 1996).

En el caso del segundo muestreo las familias Baetidae, Leptophlebiidae, Perlidae, Elmidae, Naucoridae, Veliidae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Odontoceridae, Tipulidae, Chironomidae y Simuliidae presentan mayor registro de individuos, resaltando las familias Baetidae en la estación E2, Elmidae en E3 y Veliidae en E1; al igual que en el M1 las familias registradas pertenecen a órdenes relacionadas con aguas limpias y muy limpias, a excepción de las

familias Tipulidae y Chironomidae del orden Diptera que generalmente están asociadas a aguas contaminadas (Róldan, 1996).

Figura 14
Familia de macroinvertebrados recolectados en cada estación para el muestreo 1 y 2 de las muestras cualitativas y cuantitativas



La **Tabla 9** presenta los índices de diversidad calculados para las muestras cuantitativas de macroinvertebrados para los dos muestreos realizados, para el muestreo 1 en cuanto a la riqueza la estación E2 presenta el mayor número de taxas, seguido de la estación E4; la mayor abundancia se presentó en las estaciones E5 y E4, con un registro de 78 y 47 individuos respectivamente.

En el muestreo 2 la riqueza es mayor en la estación E5 con un registro de 20 taxas, seguido de las estaciones E1 y E2; por otro lado, la abundancia es mayor en la estación E5 con 111 individuos y la estación E1 con 96 individuos registrados.

Tabla 9

Índices de diversidad de las muestras cuantitativas de macroinvertebrados del Río Arenal y Humboldt BMWP/Col de las muestras cuantitativas y cualitativas

| Índice | Muestreo 1 16/11/21 | | | | | | Muestreo 2 14-15/03/22 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| Riqueza | 13 | 19 | 5 | 17 | 12 | 5 | 19 | 19 | 14 | 2 | 20 | 8 |
| Abundancia | 42 | 43 | 15 | 47 | 78 | 28 | 96 | 74 | 39 | 4 | 111 | 20 |
| Dominancia de Simpson (1949) | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,3 |
| Diversidad de Shannon-Weaver (1949) | 2,1 | 2,5 | 1,2 | 2,4 | 2,1 | 1,1 | 2,3 | 2,6 | 2,2 | 0,6 | 2,4 | 1,6 |
| Equidad de Pielou | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| BMWP/Col | 160 | 152 | 116 | 154 | 116 | 77 | 148 | 179 | 163 | 133 | 165 | 165 |

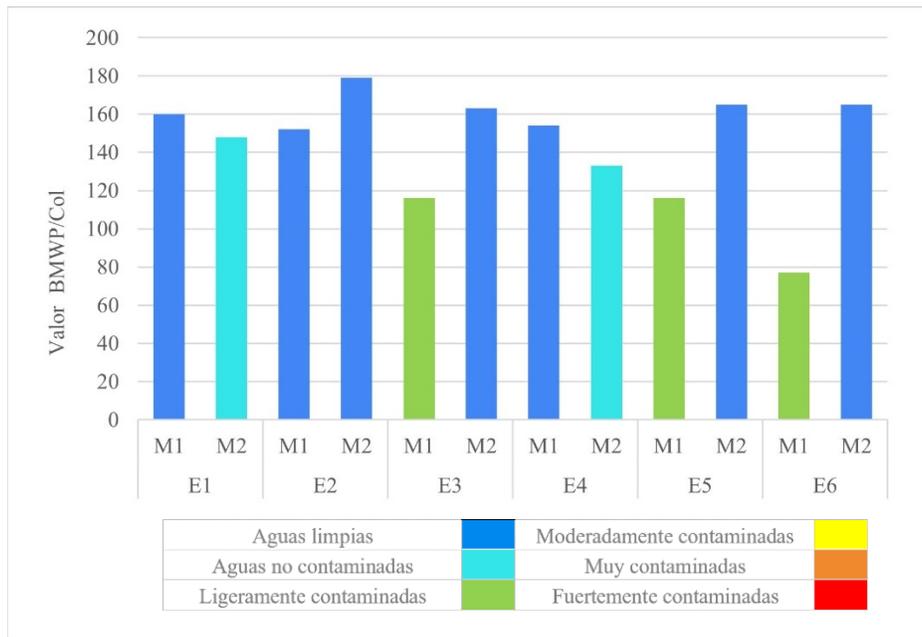
Los valores del índice de Diversidad de Shannon-Weaver obtenidos se encuentran entre 0,6-2,6; con resultados más altos para la estación E2 (M1-M2) con un valor de 2,5 y 2,6 para el muestreo 1 y 2 respectivamente, el registro más bajo se presentó en la estación E4 (M2) con un valor de 0,6. Por otro lado, y muy en relación a los resultados de diversidad, los valores de Dominancia de Simpson registrados se encuentran entre 0,1-0,6; con valores más bajos del índice para las estaciones E2, E4 (M1) y E2, E3, E5 (M2), y resultados más altos para la estación E4 (M2).

En cuanto al índice Equidad de Pielou de las muestras, los resultados se encuentran entre 0,7-0,9; con valores más altos para las estaciones E2 (M1-M2), E4 (M1) y registro más bajo para la estación E6 (M1).

El índice BMWP/Col calculado para las muestras cualitativas y cuantitativas, presenta un puntaje entre 77-179, con el registro más alto para la estación E2 (M2) y más bajo para la estación E6 (M1).

Figura 15

Índice BMWP/Col para las muestras cualitativas y cuantitativas de macroinvertebrados del Río Arenal para las 6 estaciones del primer muestreo (M1) y segundo muestreo (M2)



El índice BMWP/Col clasifica para el primer muestreo las estaciones E1, E2 y E4 con aguas de calidad buena relacionadas a aguas limpias, y las estaciones E3, E5 y E6 del mismo muestreo con aguas de calidad aceptable ligeramente contaminadas, esto se debe a la predominancia de las familias Baetidae y Elmidae en las estaciones E3 y E6, con un puntaje asignado de 7, y la familia Simullidae en la estación E5 con un puntaje de 5, lo que influye en la suma para el cálculo del índice de cada estación, así como la riqueza de morfotipos que presentan las estaciones (**Tabla 8**).

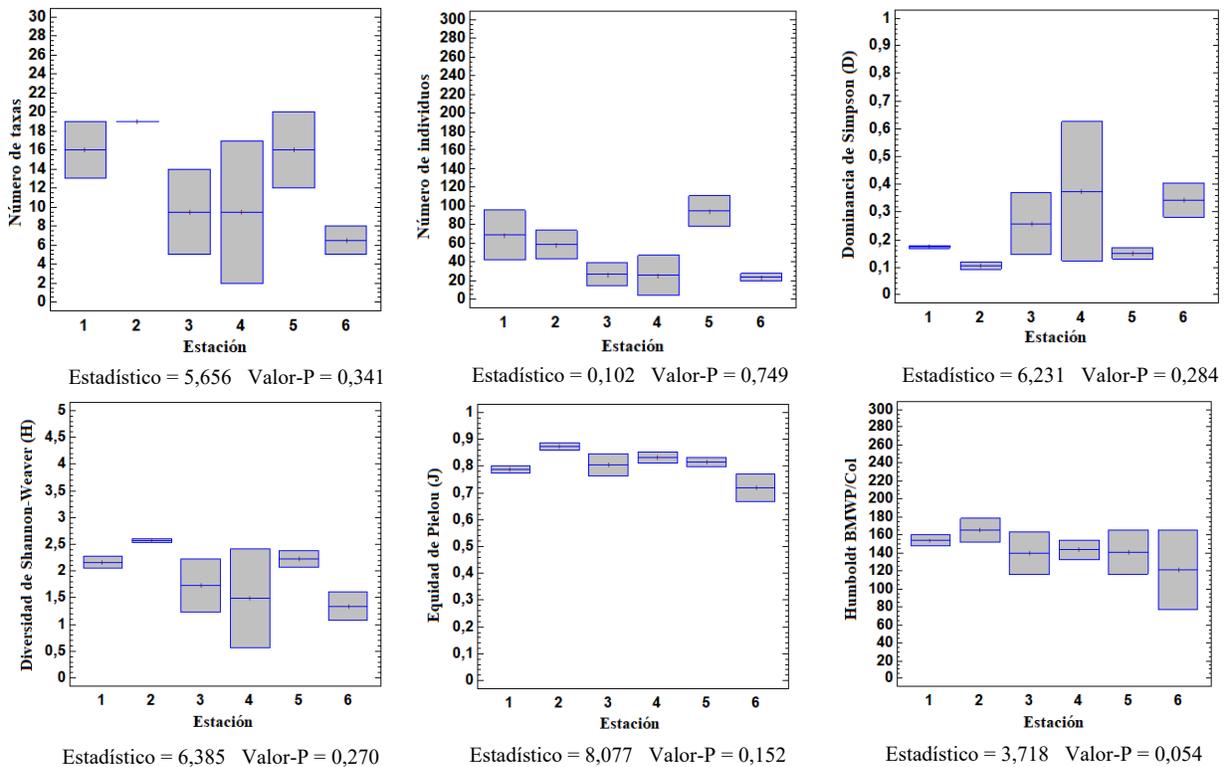
Para el segundo muestreo el índice BMWP/Col clasifica todos los tramos con una calidad buena, relacionando las estaciones E2, E3, E5 y E6 con aguas limpias y las estaciones E1 y E4 con aguas no contaminadas, en el segundo muestreo además de las familias Baetidae y Elmidae, predominaron las familias Perlidae, Leptophlebiidae y Leptoceridae con puntaje asignado de 10, 9 y 8 respectivamente, que influyen en la suma de cada estación, además se registraron mayor número de taxas en cada estación (**Tabla 8**).

Las **Figura 16** y **Figura 17** muestran los boxplot realizados para analizar la distribución de tendencia central de los índices de diversidad y el BMWP/Col, comparados por estación y por

muestreo respectivamente. El valor p corresponde a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Valores menores a $p=0.05$ indican diferencias estadísticamente significativas.

Figura 16

Distribución de tendencia central de los índices de diversidad y el BMWP/Col determinados en el Río Arenal para las 6 estaciones de muestre.



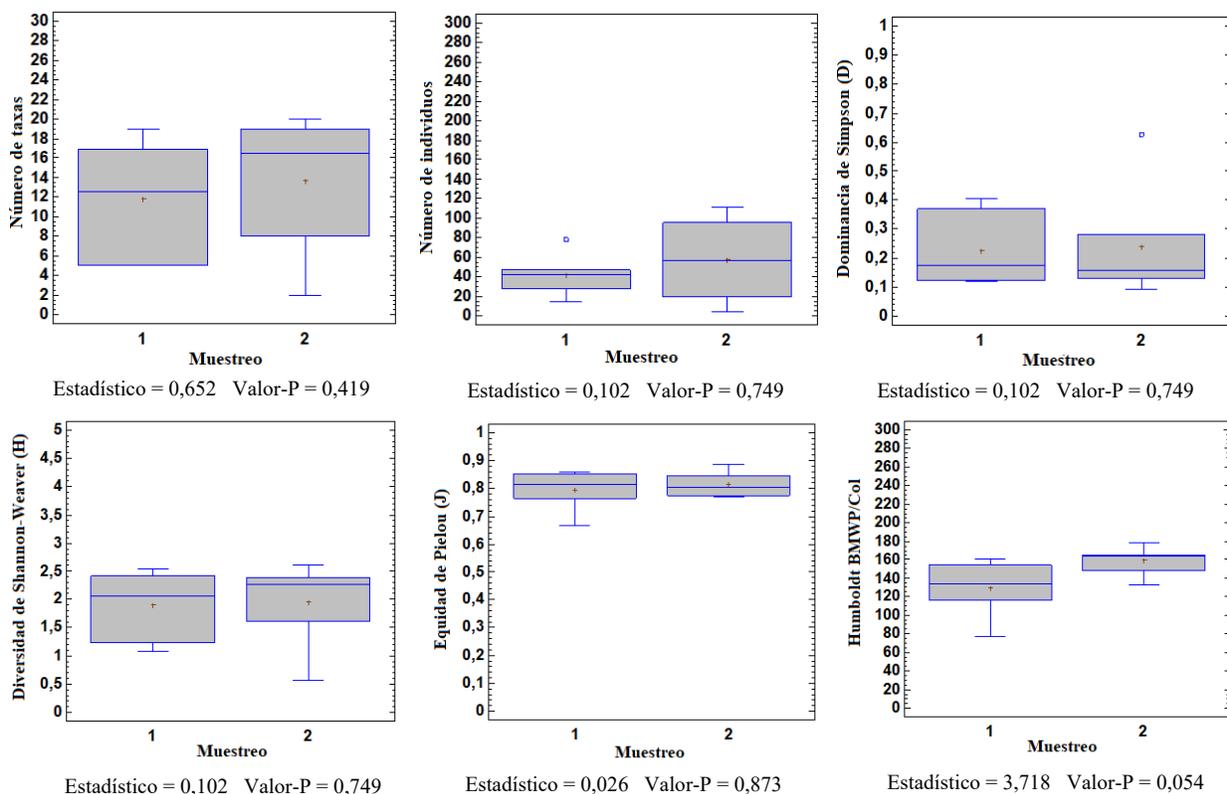
La riqueza representada en número de taxas y la abundancia en número de individuos presentan valores más altos para las estaciones E2 y E5 respectivamente, y valores más bajos de ambos índices para la estación E6, con una mayor riqueza aguas arriba de la cuenca en comparación a las estaciones aguas abajo. Así mismo, la estación E6 presenta los valores más bajos de los índices Diversidad (H) y Equidad (J), sin embargo, en cuanto a la dominancia (D) junto a la estación E5 presenta los valores más altos, esto puede estar relacionado a las características de la estación de muestreo E6 con una velocidad de la corriente baja, sustratos homogéneos de arenas en el lecho del río, entre otros que pueden limitar la colonización de diferentes taxas de macroinvertebrados. A diferencia de las estaciones aguas arriba que presentan valores de los índices de Diversidad (H) y Equidad (J) más altos y Dominancia (D) más bajos, en especial la estación E2 que presenta corrientes más altas y mayor heterogeneidad del sustrato, con cantos rodados medianos, así como

mayor presencia de hojarasca que pueden favorecer la colonización de diferentes taxas (Álvarez Arango, 2005)

El índice BMWP/Col presenta valores similares entre las estaciones de muestreo E1, E3, E4 y E5, la estación E2 muestra el puntaje más alto con una mediana de 160 y la estación E6 el puntaje más bajo con una mediana de 120 aproximadamente. Para todos los índices analizados la prueba de Kruskal-Wallis no indica diferencias estadísticamente significativas, los índices no presentan diferencias significativas espacialmente.

Figura 17

Distribución de tendencia central de los índices de diversidad y BMWP/Col determinados en el Río Arenal para las dos campañas de muestreo



Al comparar los diferentes índices por muestreo realizado, la riqueza (número de taxas) y abundancia (número de individuos) presenta una mediana más alta en M2 en comparación al M1. No obstante la diversidad (H), Dominancia (D) y Equidad (J) presenta valores muy similares en cuanto a las medianas comparando los dos muestreos. El índice BMWP/Col presenta valores más

altos para el M2 en comparación a M1, sin embargo, ambos muestreos de acuerdo con el índice se clasifican en aguas de calidad buena (Álvarez, 2005).

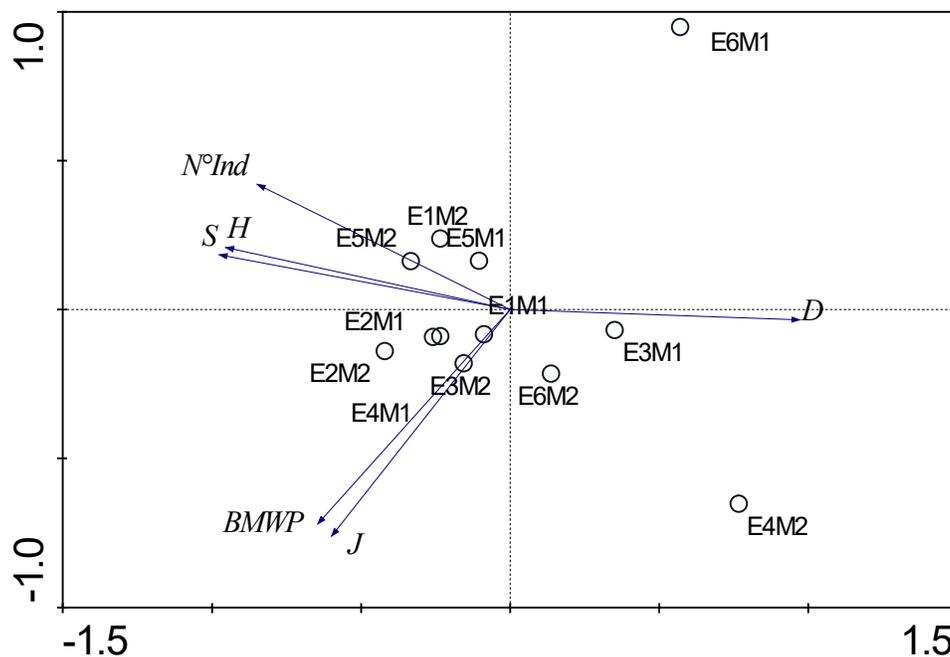
El evento de precipitación del 14 de marzo de 2022 posiblemente influyó en algunos índices, especialmente en el número de individuos registrados ya que el crecimiento y desbordamiento del cauce realizó un arrastre de sedimentos que se evidenció aguas abajo durante el segundo día del muestreo 2 con grandes depósitos de arenas en la estación E6 con presencia de macroinvertebrados de la familia Ampullariidae; pese a este evento, los índices comparados por muestreos no presentan diferencias estadísticamente significativas.

La **Figura 18** presenta el análisis de componentes principales (ACP) de los índices de diversidad y componentes en estaciones y muestreos.

Con respecto a la ordenación de los índices el primer componente respondió por el 69.5% y el segundo por el 18% de la varianza. Con respecto a la agrupación generada la dominancia tomó en común la posición de la estación 6 en ambos muestreos. Por su parte la mayoría de las estaciones y muestreos se agrupó con los índices de diversidad, riqueza, densidad y particularmente el índice BMWP tomó la misma tendencia del vector de la Equidad (J).

Figura 18

Análisis de componentes principales (ACP) de índices de diversidad y componentes en estaciones y muestreos. E: estación, M: muestreo

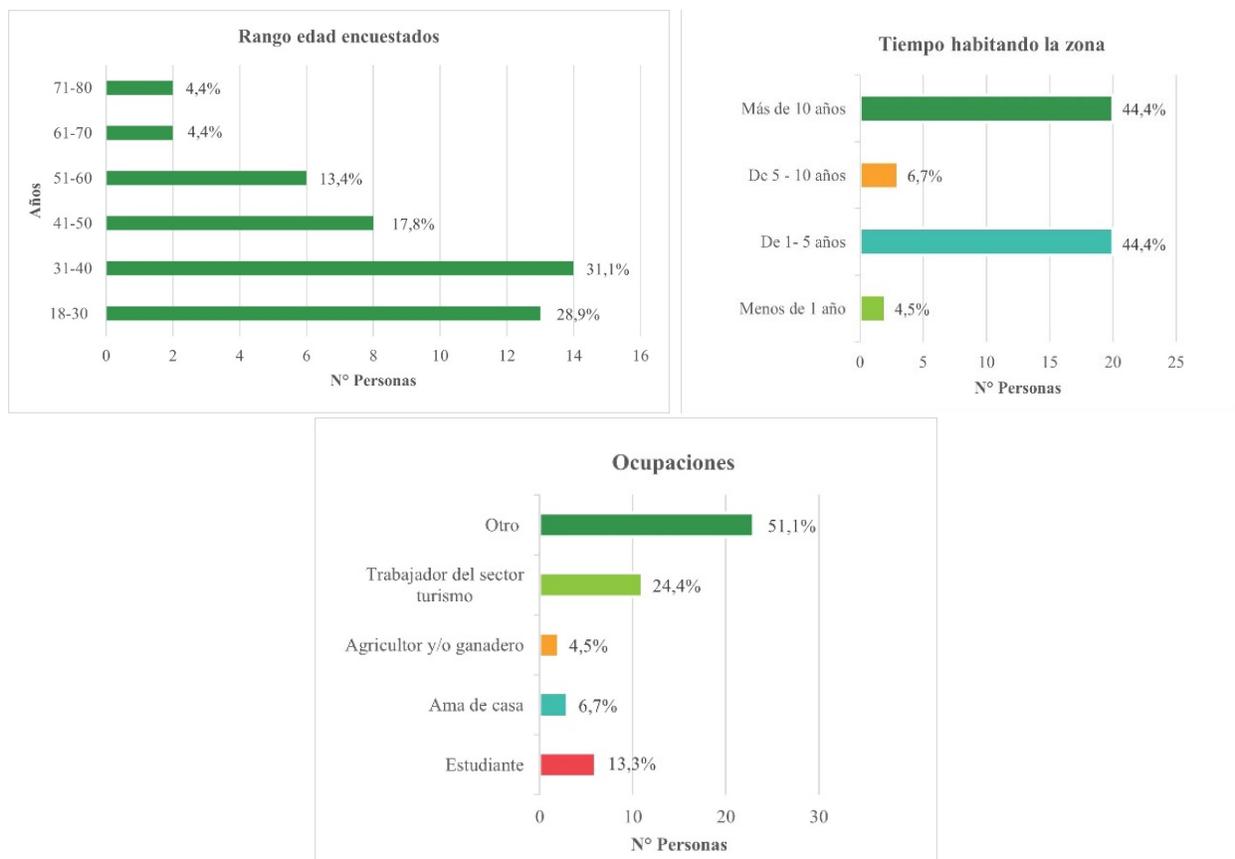


4.3 Percepción de la comunidad de la microcuenca del Río Arenal

Se encuestaron 45 personas habitantes de la parte alta, media y baja de la cuenca del Río Arenal, de edades entre los 18-80 años, de las cuales un 4,5% habitan la zona hace menos de un año, un 44,4% de 1-5 años, un 6,7% de 5-10 años y un 44,4% hace más de 10 años; con un porcentaje considerable de habitantes que migraron recientemente a la cuenca, posiblemente relacionado con el crecimiento poblacional de esta; las principales ocupaciones de los encuestados están relacionadas a trabajos en el sector turismo con un 24,4% y un 51,1% a otras ocupaciones diferentes a estudiantes, ama de casa o agricultor y/o ganadero, en la que resaltan ocupaciones como docente, construcción, artesanos, entre otros. En la **Figura 19** se muestran algunas generalidades de la población encuestada.

Figura 19

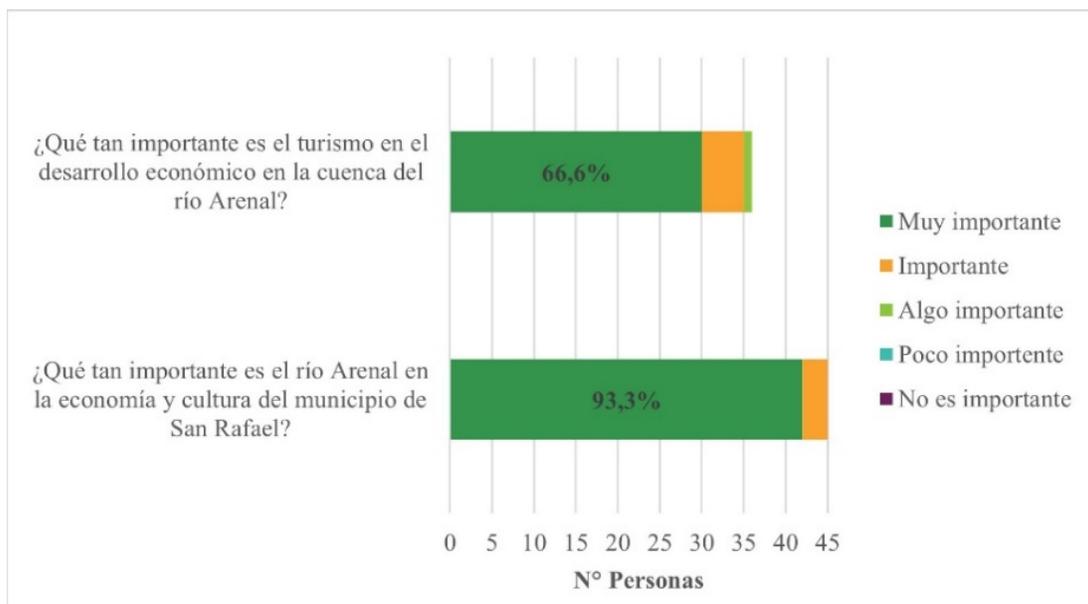
Generalidades de la población encuestada habitante de la cuenca del Río Arenal, rango de edades, tiempo viviendo en la zona y ocupaciones



De las actividades comerciales realizadas en la cuenca, el turismo es considerada la actividad más común (84,4%), seguida de la agricultura (8,9%) y la ganadería (4,4%); además, el turismo es considerado muy importante o importante en el desarrollo económico de la cuenca del Río Arenal, y a su vez el Río Arenal es considerado muy importante por un 93,3% de los encuestados, en la economía y cultura del municipio de San Rafael.

Figura 20

Percepción de la importancia del Río Arenal en la economía y cultura del municipio de San Rafael, y del turismo en la economía de la cuenca

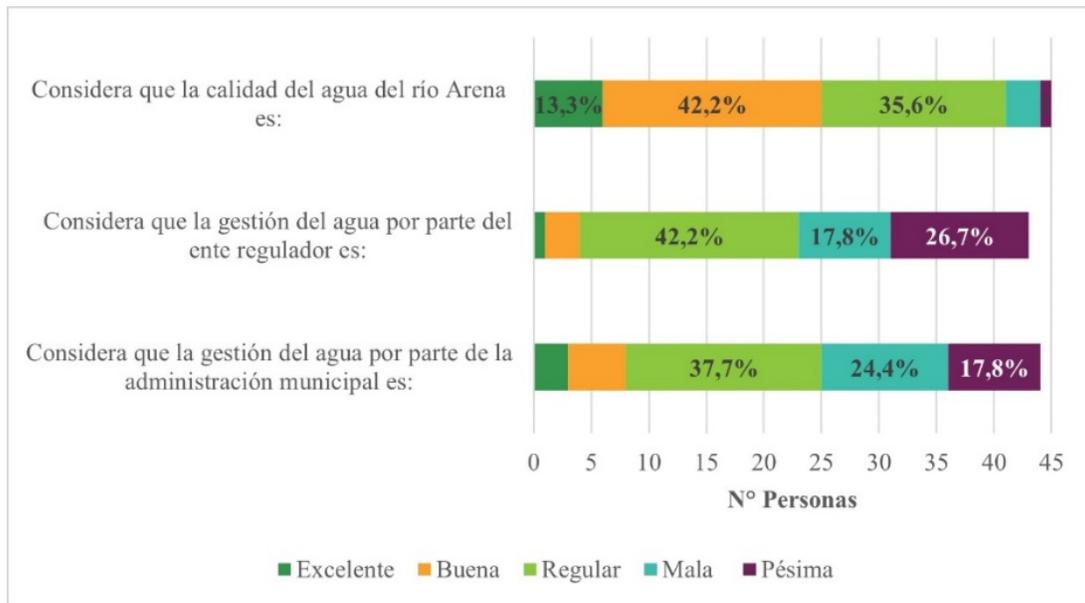


Por otra parte, de los 45 encuestados, 19 personas (42,2%) indican no participar directa o indirectamente de las actividades ecoturísticas que se realizan en la zona; los 26 restantes (57,8%) indican si participar de las actividades ecoturísticas principalmente por medio del alquiler de cabañas, venta de comestibles o como guías turísticos. Sin embargo, el 80% de los encuestados indican no recibir o percibir alguna información, indicación o guía, por parte de la administración municipal, con relación a las actividades ecoturísticas y la gestión y planificación de la cuenca. Calificando la gestión del agua por parte de la administración municipal como regular (37,8%) y mala (24,4%); además, la gestión del agua por parte del ente regulador fue calificada como regular (42,2%) y pésima (26,7%) como se puede evidenciar en la información presentada en la **Figura 21**. Sumado a esto, 34 de los habitantes (75,6%) indican conocer al menos uno de los instrumentos

de la gestión ambiental (EOT, POMCA, PORH, DRMI, PMA), los 11 restantes (24,4%) indican no conocer ninguno de los instrumentos antes mencionados.

Figura 21

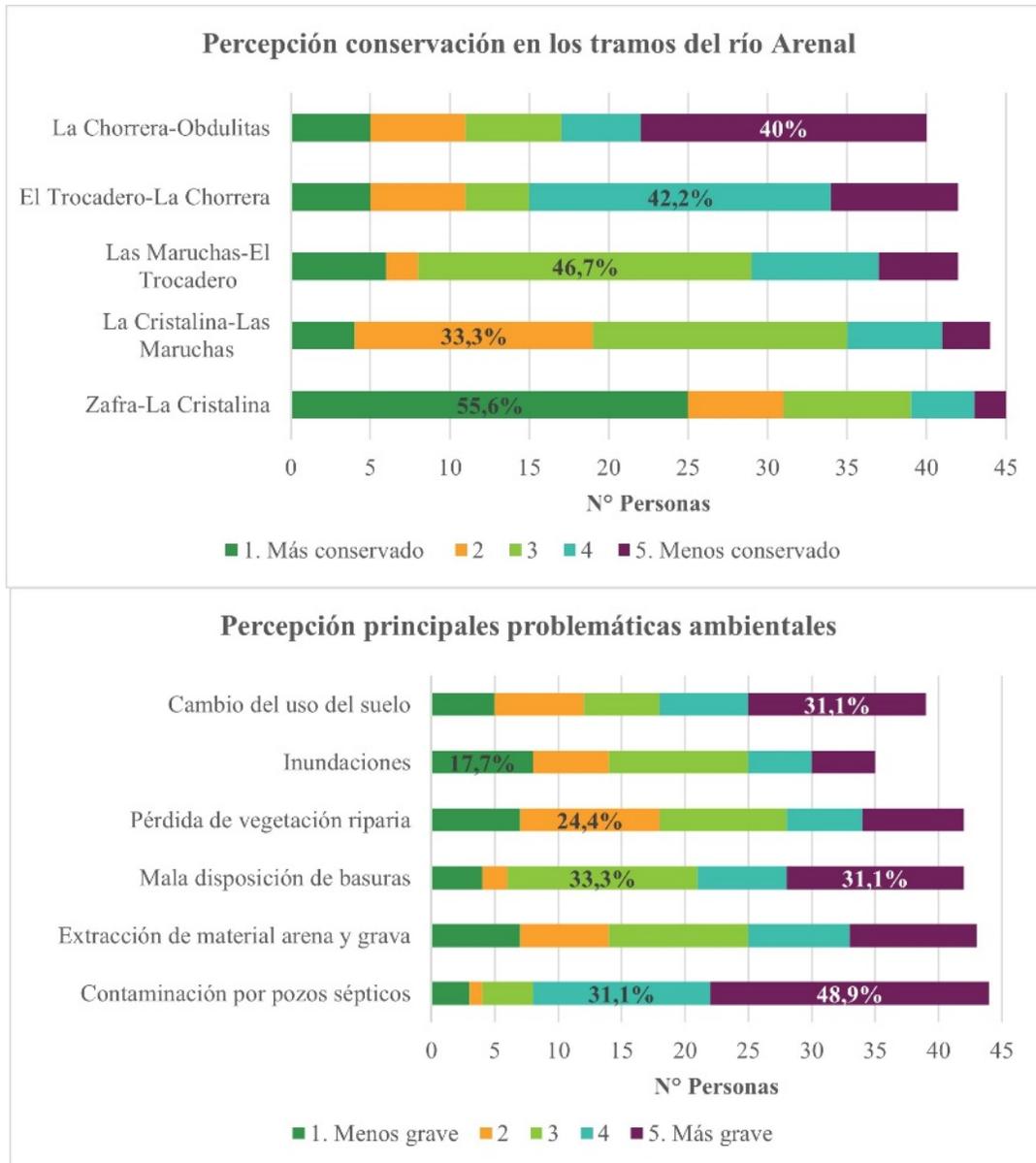
Percepción sobre la calidad del agua del Río Arenal y la gestión del agua por parte de la administración municipal y el ente regulador



Referente a la percepción sobre la calidad del agua en el Río Arenal, 19 (42,2%) de los encuestados consideran buena la calidad del agua, 16 (35,6%) la consideran regular y solo 6 (13,3%) la considera excelente. Clasificando el tramo Zafra-La Cristalina como el más conservado en cuanto a calidad del agua y vegetación ribereña, con un 55,6% y el tramo La Chorrera-Obdulitas como el menos conservado con un 40%, como se muestra en la **Figura 22**. Adicionalmente, de las principales problemáticas ambientales identificadas en la cuenca (**Figura 22**), los encuestados perciben las inundaciones (17,7%) como la problemática menos grave en comparación a las demás, la contaminación por pozos sépticos (48,9%) y cambio del uso del suelo (31,1%) como las problemáticas más graves que afectan la cuenca del Río Arenal.

Figura 22

Percepción de la conservación de los tramos que conforman el Río Arenal, empleados en las campañas de muestreo, y calificación de las principales problemáticas ambientales que afectan el Río Arenal



El aumento del turismo, las construcciones como cabañas, hoteles, estaderos, parqueadero y vías, así como el crecimiento poblacional, son los principales cambios identificados por los habitantes en los últimos 10 años, cambios que relacionan con el incremento de la contaminación por vertimientos de aguas negras y grises, mayor presencia de basuras en la zona, pérdida de vegetación, paisaje y privatización de los accesos al río. También, el mejoramiento en las vías de

acceso y oportunidades de empleo son identificados como cambios importantes en los últimos años. En un horizonte de 10 años, más del 80% de los encuestados coinciden en que la calidad del agua del Río Arenal desmejorará, relacionada en su mayoría con los vertimientos de aguas negras y la mala gestión, planificación y control sobre las actividades realizadas en la cuenca. Frente a estas problemáticas, 29 personas indican participar o conocer iniciativas en pro de la conservación del Río Arenal, en su mayoría desde la organización comunitaria (reservas, juntas de acción comunal, escuelas) y las acciones individuales.

Por último, dentro de las acciones que se proponen desde los habitantes para hacerle frente a estas problemáticas, destacan la educación ambiental, la construcción consciente y regulada, la regulación de pozos sépticos e implementación de tecnologías apropiadas como baños secos, biofiltros, entre otros.

5 Conclusiones

Basados en los resultados de las diferentes variables e índices analizados, se concluye que el tramo del Río Arenal evaluado presenta una buena condición ecológica, evidenciada en principio por valores de conductividad eléctrica y nitratos característicos de afluentes de alta montaña libres de altas concentraciones de nutrientes o ambientes oligotróficos, por otra parte, los registros para las variables pH, nitratos, DBO₅, coliformes totales y coliformes fecales se encuentran dentro de lo establecido en la norma para los usos (abastecimiento doméstico, piscícolas, recreación y deporte) otorgados desde el ente regulador.

Adicionalmente, los valores de las variables fisicoquímicas y microbiológicas presentaron una variación leve entre las estaciones, solo la temperatura, el pH y la turbidez presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos muestreos. Se concluye, además, que en el tramo evaluado las presiones derivadas del manejo turístico del río, a la fecha no representan un fuerte impacto en la calidad fisicoquímica y biológica del agua. Sin embargo, los boxplot que analizaron la distribución de tendencia central mostraron un punto de cambio a partir de la estación E3 (Las Maruchas), ubicada en la parte media del tramo evaluado, que se podría asociar con las posibles afectaciones antrópicas relacionadas con la densidad de hoteles, cabañas, estaderos, etc., que se presentan a partir de este punto, y debido a su presencia se genera aporte de vertimiento de aguas residuales, residuos sólidos, pérdida de vegetación ribereña para facilitar el ingreso a los diferentes balnearios, entre otros. Evidenciando la necesidad de un monitoreo continuo que permita conocer los cambios en la microcuenca para conservar las características de calidad actuales del río, ya que los resultados pueden estar influenciados por las lluvias persistentes en la zona relacionadas al fenómeno de La Niña, así como apostarle al análisis de otras variables que refuercen la comprensión de la calidad del agua del Río Arenal, o un monitoreo continuo que demuestre la alta amortiguación del río frente a un turismo de rápido crecimiento.

Con respecto al análisis ecológico, el Río Arenal presenta una alta abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos soportados en la condición fisicoquímica, hidráulica y de diversidad de hábitats que favorecen la colonización de diferentes taxas. El índice BMWP/Col clasificó la calidad del agua como buena en todas las estaciones según la distribución de tendencia central del índice, con aguas muy limpias en las estaciones E1, E2, E4 con un puntaje aproximado de más de 150 o no contaminadas en las estaciones E3, E5 y E6 con una mediana de entre 120-150

aproximadamente. Además, se reconoce la importancia de implementar tanto métodos cuantitativos como cualitativos en la recolección de macroinvertebrados acuáticos con el fin de evitar sesgos en el cálculo de los diferentes índices.

Cabe resaltar que sobre el Río Arenal la información es escasa, por lo cual no se cuenta con registros anteriores relacionados con alguna de las variables analizadas, lo que dificulta conocer los posibles cambios sobre la microcuenca con respecto a la actualidad, que puede generar una subestimación con relación a comprender la vulnerabilidad de la microcuenca.

En cuanto a la percepción de la calidad del agua y la gestión del Río Arenal, los habitantes de la microcuenca reconocen la vulnerabilidad del río y la necesidad de implementar políticas de control y regulación sobre el recurso hídrico, además de fortalecer los procesos comunitarios en beneficio del río que se vienen ejecutando en la zona desde diferentes organizaciones comunitarias.

6 Recomendaciones

Debido a la importancia económica, social y cultural de la microcuenca del Río Arenal, es importante fortalecer el levantamiento de información base de la microcuenca, además de apostarle a la realización de un estudio de capacidad de carga de la microcuenca. Si bien la determinación de la calidad del agua del Río Arenal registra aguas de calidad buena, el progresivo desarrollo inmobiliario sin la regulación y control necesario podría comprometer la calidad del Río Arenal.

El Río Arenal presenta una gran diversidad y riqueza de macroinvertebrados acuáticos, por lo que, se sugiere la implementación de planes de manejo ambiental para su conservación; además de incluir planes de manejo que comprendan otras comunidades hidrobiológicas, algas, peces, plantas acuáticas.

Documentos como “Plan de ordenamiento y manejo de las microcuencas El Bizcocho y El Arenal” del año 1995 contienen información relevante que puede permitir conocer los cambios de la microcuenca, por ello es relevante su actualización.

El desarrollo de este trabajo de grado se vio marcado por la influencia del fenómeno de La Niña, por lo que es recomendable implementar un monitoreo continuo de las diferentes variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrometeorológicas, que comprendan otras épocas de transición, ya que la información actual es escasa.

Referencias

- Alcaldía San Rafael. (2019). *Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT] Municipio San Rafael, Antioquia*.
- Alcaldía San Rafael. (2020). *Alcaldía Municipal de San Rafael Antioquia: Nuestro municipio*. <http://www.sanrafael-antioquia.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Almanza García, E. P. (2014). *Planificación para estrategias de conservación y manejo en el nodo de reservas naturales de la sociedad civil en la cuenca el arenal (San rafael, antioquia)*[tesis de pregrado, Universidad de Antioquia]. Universidad de Antioquia.
- Álvarez Arango, L. F. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogotá, D.C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Cámara de Comercio Oriente Antioqueño [CCOA]. (2021). *Cámara de Comercio Oriente Antioqueño: Oferta de turismo oriente antioqueño. Infome 2020-2021*. <https://bit.ly/3R7KkrT>
- Chapman, D. V. (1996). *Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. World Health Organization, UNESCO & United Nations Environment Programme (2nd ed.). London: E & FN Spon. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Corantioquia. (2022). *Programa Integral Red Agua-PIRAGUA: Caracterización del agua*. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia: <https://piragua.corantioquia.gov.co/piragua/caracterizacion-del-agua/>
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología* (Primera ed.). Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Forero-Céspedes, A. M., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OPIA (TOLIMA-COLOMBIA) MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS. En *Caldasia* (Vol. 35, No.2, pp. 371-387). <https://www.jstor.org/stable/90008350>

- Gil Gómez, J. A. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE VARIABLES FÍSICO QUÍMICAS, Y LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA* [tesis de maestría, Universidad de Manizales]. Universidad de Manizales.
- Gobernación de Antioquia. (2022). *Gobernación de Antioquia: Se firmó compromiso en pro de "Antioquia Destino Turístico Sostenible"*. <https://bit.ly/3xQo3bA>
- González-Córdoba, M., Zúñiga, M., & Manzo, V. (2020). La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 522-553. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1062>
- González Pérez, A. M. (2016). *Hidrobiológicos Jurisdicción de Corantioquia*. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- Gruter, M. (2013). Impactos negativos del turismo. En V. Torres Lezama, & E. P. Araujo Bocangel (Eds.), *Antropología del Turismo. La industria sin chimeneas* (pp. 63-70). Qosqo: TINKUY.
- Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A., & Núñez-Padilla, N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 43-55. Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/2wR333Z>
- Gutierrez, Y., & Dias, L. G. (2015). Ephemeroptera (Insecta) de Caldas - Colombia, claves taxonómicas para los géneros y notas sobre su distribución. *Papéis Avulsos De Zoologia*, 55(2), 13-46. <https://doi.org/10.1590/0031-1049.2015.55.02>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2020). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM: AGUA - Indicadores hídricos*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- Ladrera Fernández, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*, 39, 24-29. <https://bit.ly/3LC2bGC>
- Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados

- Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información tecnológica*, 27(4), 103-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- Meneses Ayala, N., & Mora Vargas, P. D. (2020). *Caracterización socio-ecológica del río Lili en su parte media para aportar a los futuros procesos de planificación urbana, enfocado a la cultura del agua en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia* [tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. Repositorio Universidad Autónoma de Occidente. <http://red.uao.edu.co//handle/10614/12430>
- Mosquera R, D., Palacios P., M. L., & Soto D, A. (2008). Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, valle del Cauca, Colombia; usando Macroinvertebrados acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 20, 130-143. <https://bit.ly/3SmFYhJ>
- Nuñez, J. C., & Fragoso-Castilla, P. J. (2020). Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca media del río Guatapurí (Valledupar, Colombia). *Información tecnológica*, 31(6), 207-216. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000600207>
- Pérez Ballesteros, P. A. (2016). *La sostenibilidad en el manejo de recursos de uso común, como elemento dinamizador del ecoturismo comunitario en el municipio de San Rafael, Antioquia* [tesis de pregrado, Universidad Externado de Colombia]. Universidad Externado de Colombia.
- Provincia ABT. (2022). *Provincia del Agua, Bosque y el Turismo*. <https://provincia-abt.gov.co/es/nosotros>
- Quintero, N. E., Serna, J. P., Vélez, F. d., & Aguirre, N. J. (2021). Análisis hidrobiológico y sanitario de la quebrada Santa Mónica. Concordia Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica* 17(33), 9-21. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n33a1>
- Ramírez, A., & Gutiérrez Fonseca, P. E. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical*, 62(Suppl. 2), 9-20. <https://bit.ly/3dADvSa>
- Róldan, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo FEN-Colombia. Colciencias-Universidad de Antioquia. Bogotá: Presencia Ltda.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Medellín: Universidad de Antioquia.

- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda ed.). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://bit.ly/3ydo0qw>
- Sanabria Garzón, D. (2016). *Implementación del Rango de Oportunidades para Visitantes en Áreas Protegidas (Rovap) para el manejo turístico en áreas riparias. Caso de estudio: río Arenal* [tesis de pregrado, Universidad Externado de Colombia]. Universidad Externado de Colombia.
- Sancho, A. (1994). Impactos medioambientales del turismo. En *Introducción al Turismo* (pp. 243-362). Organización Mundial del Turismo. <https://bit.ly/2Eq21mn>
- Sierra, C. A. (2011). *CALIDAD DEL AGUA-Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (2021). *Sistema de Información Ambiental de Colombia: Oferta del agua*. <http://www.siac.gov.co/web/siac/ofertaagua>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (2021). *Sistema de Información Ambiental de Colombia: Gestión del Agua*. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/gestionagua>
- Zamudio Rodríguez, C. (2012). GOBERNABILIDAD SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA: ENTRE AVANCES Y RETOS. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 99-112. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284>

Anexos

Anexo 1. Formato encuesta realizada a la comunidad

Encuesta trabajo de grado - Luisa Torres

Objetivo general

Evaluar los cambios en la calidad del agua en la cuenca baja del río Arenal mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas, afectados por tensores antrópicos derivados del crecimiento turístico en el municipio de San Rafael-Antioquia, que apoye la integración de actores estratégicos en la gestión del recurso hídrico.

Objetivos específicos

1. Determinar la calidad del agua del río Arenal por medio del muestreo de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas.
2. Identificar la percepción de la comunidad sobre el estado y conservación del río Arenal frente al desarrollo turístico y sobre las diferentes herramientas de gestión del recurso hídrico.

Nombre:

Edad:

Ocupación:

- Estudiante
- Ama de casa
- Agricultor y/o ganadero
- Trabajador sector turismo
- Otro

Tiempo viviendo en la zona:

- Menos de 1 año
- De 1 - 5 años
- De 5 - 10 años
- Más de 10 años

1. ¿Qué tan importante es el río Arenal en la economía y cultura del municipio de San Rafael?

- Muy importante
- Importante
- Algo importante
- Poco importante
- No es importante

2. ¿Cuál es la actividad comercial más común de la cuenca del río Arenal?

- Agricultura
- Ganadería
- Turismo
- Minería
- Otro

3. ¿Qué tan importante es el turismo en el desarrollo económico en la cuenca del río Arenal?

- Muy importante
- Importante
- Algo importante
- Poco importante
- No es importante

4. ¿Participa usted directa o indirectamente de las actividades ecoturísticas que se realizan en la zona, es decir, en temporada alta de turismo realiza alguna actividad como guía, venta de comestibles, alquiler de cabañas u otros elementos, etc?

- No
- Si. ¿Cuál?

5. Teniendo en cuenta la respuesta anterior, por parte de la administración municipal percibe o ha recibido usted alguna información, indicación o guía, en relación con estas actividades económicas y la gestión y planificación de la cuenca del río Arenal?

- Si
- No

6. ¿Cuáles son las problemáticas ambientales que más se presentan en la zona del río Arenal? (clasificarlas de 1 a 5, siendo 5 la problemática que considera más grave y 1 la menos grave)

- () Contaminación por pozos sépticos
- () Extracción de material arena y grava
- () Mala disposición de basuras
- () Pérdida de vegetación riparia
- () Inundaciones
- () Cambio del uso del suelo

7. Considera que la calidad del agua del río Arena es:

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala
- Pésima

8. De los siguientes tramos del Río Arenal, clasifique de 1 a 5 según considere cuales se encuentran más conservados (calidad del agua y vegetación ribereña), siendo 5 el tramo menos conservado y 1 el más conservado:

- () Zafra - La Cristalina
- () La Cristalina - Las Maruchas
- () Las Maruchas - El Trocadero
- () El Trocadero - La Chorrera
- () La Chorrera - Obdulitas

9. ¿Qué cambios ha percibido en los últimos 10 años en la zona?

10. Considera que la gestión del agua por parte de la administración municipal es:

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala
- Pésima

11. Considera que la gestión del agua por parte del ente regulador (Cornare) es:

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala
- Pésima

12. Conoce o ha escuchado hablar sobre alguno de los siguientes instrumentos de la gestión ambiental:

- EOT
- POMCA
- PORH
- DRMI
- PMA
- Ninguno

13. Que tan de acuerdo está con la siguiente frase: “El desarrollo turístico ha contribuido al deterioro de la cuenca del río Arenal, por el vertimiento de aguas negras y pérdida de vegetación por la infraestructura inmobiliaria (hoteles, estaderos, casas de campo, entre otros) ”.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

14. ¿Conoce o hace parte de iniciativas privadas (sociales y comunitarias) para conservar el río Arenal y por tanto mejorar la calidad del agua?

15. Según el estado actual de la cuenca y las diferentes actividades económicas que se realizan en ella, ¿cómo piensa que será la calidad del agua del Río Arenal en unos 10 años?

16. ¿Cuáles crees que deben ser las acciones para que el Río Arenal se conserve y mejore su calidad de agua?

Anexo 2. Evidencia fotográfica trabajo de campo

Registro de variables fisicoquímicas



Toma de muestras de agua



Recolección manual de macroinvertebrados acuáticos



Toma de muestras de agua



Recolección empleando Red de pantalla



Recolección empleando Red Surber



Encuesta de percepción a los habitantes de la microcuenca Río Arenal



Anexo 3. Registro fotográfico principales familias de macroinvertebrados acuáticos registrados



Simuliidae



Elmidae



Baetidae



Veliidae



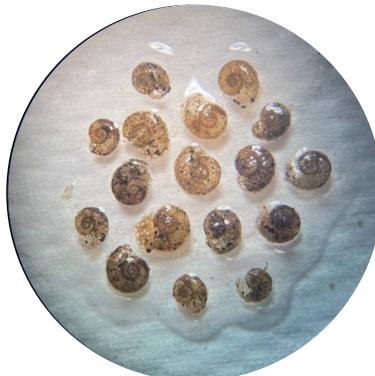
Leptophlebiidae



Leptoceridae



Perlidae



Helicopsychidae



Hydropsychidae