Análisis limnológico del río Arenal, San Rafael (Antioquia, Colombia), bajo influencia turística

Limnological Analysis of the Arenal River, San Rafael (Antioquia, Colombia), Under Tourist Influence

Luisa F. Torres *, *Esnedy Hernandez* *, *Juan Pablo Serna*
Grupo de investigación GeoLimna, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen

La microcuenca del río Arenal, ubicada en el municipio de San Rafael, Antioquia, representa una importante área para el desarrollo económico de esta región. Sin embargo, la zona se ha visto afectada por presiones antrópicas (vertimiento de aguas residuales, cambios en el uso del suelo, etc.) derivadas del desarrollo 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 (MA) y se levantó información sobre la percepción de la comunidad acerca de la calidad y el manejo del río. Se evaluaron dos campañas de muestreo (noviembre de 2021 y marzo de 2022) en seis estaciones a lo largo del río, en donde se registraron variables ambientales e hidrobiológicas, y se ejecutó una encuesta de percepción a 45 habitantes de la región. Los resultados reflejan variaciones leves entre estaciones, y la temperatura, el pH y la turbidez presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los muestreos. En el caso de los MA, se recolectaron 2,136 individuos, clasificados en 14 órdenes, 51 familias y 66 géneros. Las familias más representativas fueron Baetidae, Elmidae y Simuliidae, con la mayor diversidad en la estación E2 y la abundancia más alta en la estación E5. El índice BMWP/Col estuvo entre los valores 77-179 en las diferentes estaciones, lo que indica aguas de buena calidad. Se concluye que el río Arenal presenta una condición ecológica buena. Las encuestas muestran que la comunidad reconoce la vulnerabilidad de la microcuenca y la necesidad de implementar políticas de control y regulación del recurso hídrico.

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

Abstract

The Arenal River micro-basin, located in the municipality of San Rafael, Antioquia, represents an important area for the economic development of this region. However, the area has been affected by anthropogenic pressures (wastewater discharges, land-use changes, etc.) derived from the touristic development of the river. With the aim of diagnosing water quality and providing a basis for future processes of environmental management, control, and regulation, a physicochemical, microbiological, and hydrobiological characterization was carried out through the use of aquatic macroinvertebrates (AM), and information was gathered regarding the community's perception of the river's quality and management. Two sampling campaigns were conducted (November 2021 and March 2022) at six stations along the river, where environmental and hydrobiological variables were recorded, and a perception survey was conducted with 45 residents of the region. The results reflect slight variations among stations, and temperature, pH, and turbidity showed statistically significant differences between sampling periods. In the case of AM, 2,136 individuals were collected, classified into 14 orders, 51 families, and 66 genera. The most representative families were Baetidae, Elmidae, and Simuliidae, with the highest diversity at station E2 and the highest abundance at station E5. The BMWP/Col index ranged between 77 and 179 across the different stations, indicating good water quality. It is concluded that the Arenal River presents a good ecological condition. The surveys show that the community recognizes the vulnerability of the micro-basin and the need to implement water resource control and regulation policies.

Key words: BMWP/Col; water quality; diversity index; aquatic macroinvertebrates;

***Autor de correspondencia:** luisa.torrest@udea.edu.co
Editor: Juan Carlos Narvaéz
Recibido: 28 de agosto de 2024
Aceptado: 08 de mayo de 2025
Publicación en línea: 01 de julio de 2025
Citar como: Torres, L. F., Hernández, E. y Serna, J. P. (2024). Análisis limnológico del río Arenal, San Rafael (Antioquia, Colombia), bajo influencia turística. *Intropica*, 19(2). https://doi.org/10.21676/23897864.5613

CC BY NC SA

Introducción

Una de las actividades económicas asociadas al aprovechamiento de los ríos y quebradas desde un uso recreativo y paisajístico en Antioquia es el turismo. Este sector aporta el 4 % del producto interno bruto del departamento (PIB), y entre 2012 y 2019 registró un incremento del 181 % en creación de empresas (Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño [CCOA], 2021). Este crecimiento ha dado paso a procesos de integración regional como la denominada "Provincia del Agua, Bosque y el Turismo" (Provincia ABT, 2022), conformada por 12 municipios del oriente antioqueño. Uno de estos territorios pertenecientes a la Provincia ABT es San Rafael, el cual hace parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Nare y Guatapé. En dicha zona se encuentra la microcuenca del río Arenal, con una extensión de 49,78 km^2, que influencia en la cultura, el turismo y, en consecuencia, la economía regional (Alcaldía de San Rafael, 2019).

En el área del río Arenal se han realizado trabajos importantes de gestión de impactos por vertimientos, disposición de residuos sólidos, pérdida de vegetación ribereña y licenciamientos piscícolas, entre otros fenómenos que se han agudizado por el notorio crecimiento de la oferta turística del río Arenal y sus paisajes, la frecuencia e intensidad de actividades sin regulación y el crecimiento inmobiliario de fincas de recreo, que además incrementan su valor comercial según la cercanía al cuerpo de agua. Algunas de estas viviendas, además, se construyen por fuera de los criterios establecidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) municipal con relación a la protección de las rondas hídricas (Acuerdo 251 de 2011 de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [Cornare]), a la densidad de viviendas y al máximo de dos niveles, sin incluir un sótano, permitido en la zona rural (Alcaldía de San Rafael, 2019).

Estudios como el realizado por Osorio (2017) indican que en países como Colombia existe una limitación operativa para atender las problemáticas señaladas e incorporar en el ordenamiento territorial planes de manejo eficientes que se adapten a los usos de las cuencas. Esto se debe a que las decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial a menudo están influenciadas por la burocracia y la fragmentación institucional, lo que restringe la capacidad de adoptar instrumentos de gestión ajustados a las características específicas de estas zonas hidrográficas.

Actualmente, gran parte de la microcuenca del Arenal se encuentra clasificada como parcelación restringida, lo que permite limitar el desarrollo de ciertas actividades debido a restricciones legales, ambientales o de ordenamiento territorial (Alcaldía de San Rafael, 2019). Sin embargo, la poca información sobre el estado del río expone al sistema a una gran vulnerabilidad ante la creciente intervención humana, que desconoce su estructura ecológica de soporte.

Los únicos estudios existentes de la microcuenca del río Arenal son los del Plan de Ordenamiento y Manejo de las Microcuencas El Bizcocho y El Arenal (1995), desarrollado por el municipio de San Rafael en convenio con Cornare (Alcaldía de San Rafael, 2019). Por lo tanto, no se cuenta con información actualizada acerca de la calidad ecológica del cuerpo de agua en combinación con su uso turístico. Como reporte parcial, solo se destaca el trabajo de Almanza (2014), quien documentó información sobre la fauna y la flora en esta zona hidrográfica y propuso un plan de manejo preliminar en las reservas naturales de la sociedad civil de la región, elaborado por medio de talleres y reuniones con la comunidad. De esta forma se reconocieron como principales amenazas del ecosistema las descargas de aguas grises y las malas prácticas agrícolas. Otros trabajos, como los de Sanabria (2016) y Pérez-Ballesteros (2016), presentan un enfoque más orientado al desarrollo turístico en la región y su relación con las problemáticas derivadas de estas actividades (privatización de áreas, vertimientos de aguas residuales, residuos sólidos, entre otras).

En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo aportar una evaluación limnológica espacial y temporal en un tramo del río Arenal mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos (MA) y variables fisicoquímicas. A su vez, se propuso identificar factores positivos y tensores asociados al turismo ribereño percibidos por la comunidad, que se involucró en esta investigación por medio de encuestas, dado su rol como actores del sistema fluvial.

Materiales y métodos

Área de estudio

El río Arenal está ubicado entre los municipios de San Rafael y San Carlos, al oriente del departamento de Antioquia. Esta microcuenca (figura 1) pertenece a la subcuenca del río Guatapé, que hace parte a su vez de la cuenca del río Samaná

Norte y de la cuenca Cornare Embalse y río Guatapé (nivel subsiguiente 1 [NSS1]). El área de influencia del río comprende aproximadamente 49,78 km2, con un 55 % de su extensión en el municipio de San Rafael y el 45 % restante en San Carlos. Su altitud media es de 1.000 m s. n. m. y presenta una temperatura promedio de 23 °C y una precipitación media de 4.200 mm/año (Alcaldía de San Rafael, 2019).

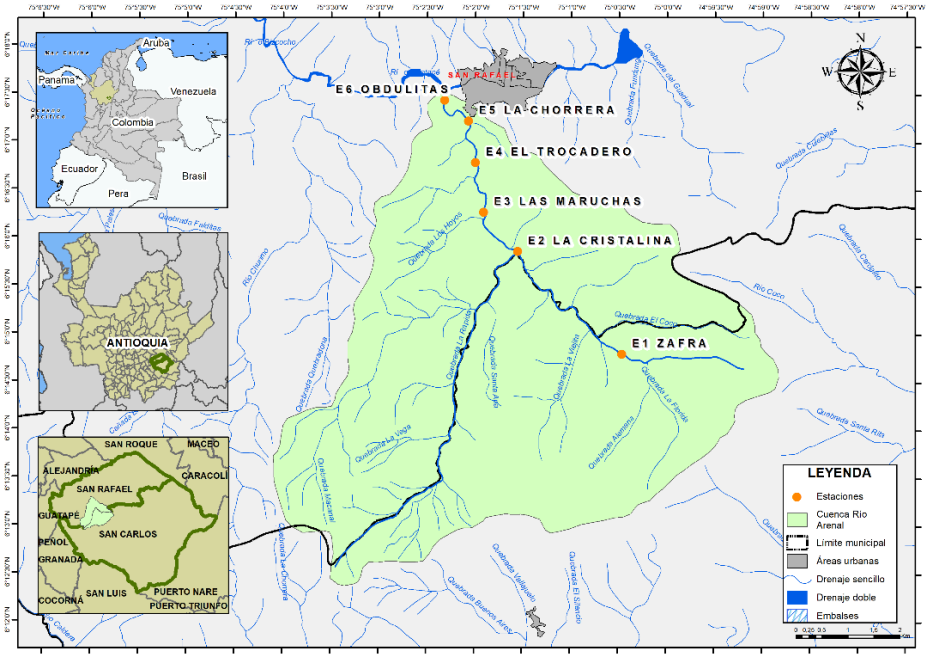

Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Arenal y estaciones de muestreo.

Tabla 1. Descripción puntos de muestreo sobre el río Arenal.

Estación	Referencia	Descripción	Coordenadas		Altura
			Latitud	Longitud	(m s. n. m.)
E1	Zafra	Parte alta del río Arenal, baja presencia de inmuebles urbanos, zona de reserva de la sociedad civil. Corriente rápida, sustrato rocoso con acumulación de hojarasca, bosques de galería frondosos.	6°14′43″ N	75°0′31″ O	1.070
E2	La Cristalina	Parte media del río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos, media concentración turística. Corriente lenta, sustrato arenoso con bosques de galería intervenidos. Acumulación de hojarasca en una sección del tramo.	6°15′52″ N	75°1′32″ O	1.020
E3	Las Maruchas	Parte media del río Arenal, media presencia de inmuebles urbanos con dominio de parcelaciones, alta concentración turística. Corriente rápida, sustrato areno-rocoso, depósito de arenas, bosque de galería intervenido.	6°16′16″ N	75°1′55″ O	1.020
E4	El Trocadero	Parte media del río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos y alta concentración turística. Corriente rápida, sustrato areno-rocoso, con presencia de grandes rocas, Poca acumulación de hojarasca.	6°16′47″ N	75°2′1″ O	1.010
E5	La Chorrera	Parte baja del río Arenal, alta presencia de inmuebles urbanos. Corriente lenta, sustrato rocoso con acumulación de hojarasca, bosque de galería intervenido.	6°17′13″ N	75°2′4″ O	1.000
E6	Obdulitas	Parte baja del río Arenal, baja presencia de inmuebles urbanos, presencia de ganadería. Corriente lenta, sustrato arenoso, margen izquierdo del río con bosque abundante, margen derecha con pastos limpios.	6°17′26″ N	75°2′20″ O	990

El 58,31 % del área de la microcuenca se encuentra dentro del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Las Camelias, y el resto del territorio está destinado a parcelaciones ecoturísticas. Además, en la zona hay seis reservas naturales de la sociedad civil (RNSC), que es una forma de conservación voluntaria. El río Arenal representa una importante área para el desarrollo económico de la región, pues allí se concentran las actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, el turismo y el sector inmobiliario.

Diseño muestral

Se realizaron dos campañas de muestreo: una en la época de lluvias (abril-noviembre) y otra en la temporada seca (diciembre-marzo), propias del municipio de San Rafael. La primera se ejecutó el 16 de noviembre de 2021, y la segunda, los días 14 y 15 de marzo de 2022. Se escogieron seis estaciones de muestreo sobre el río Arenal (figura 1), partiendo de la Reserva Natural de la Sociedad Civil Zafra, en la parte alta de la microcuenca, a 1 070 m s. n. m., hasta la estación Obdulitas, localizada en la desembocadura al río Guatapé, a 990 m s. n. m. La tabla 1 describe cada una de las estaciones empleadas para la caracterización del río.

Determinación de variables fisicoquímicas

En cada estación de muestreo se registraron in situ las siguientes variables: oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura del agua, porcentaje de saturación de oxígeno (%S O2), conductividad eléctrica y potencial rédox con un equipo multiparamétrico (HQ40d). Además, se tomaron muestras de agua para analizarlas en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Antioquia y determinar la demanda biológica de oxígeno (DBO5) mediante un ensayo de cinco días con sonda óptica, la demanda química de oxígeno (DQO) por reflujo cerrado y colorimetría, y los nitratos y los ortofosfatos a través de cromatografía iónica. La turbidez se estimó como unidades nefelométricas de formacina (UNF) en el Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia por medio de un turbidímetro HACH (2100Q).

Determinación de variables microbiológicas

En cada estación se tomaron muestras de agua en frascos de vidrio esterilizados, las cuales se analizaron en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia para determinar la presencia de coliformes totales y de *Escherichia coli* por el método del número más probable (NMP) con tres tubos de 10 mL, 1 mL y 0,1 mL.

Muestreo e identificación de macroinvertebrados acuáticos

En cada punto de muestreo se recolectaron macroinvertebrados acuáticos con métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, se empleó una red Surber de 30x30 cm de área en ambas márgenes del río, y para el segundo se utilizaron las técnicas de recolección manual, red triangular y red de pantalla. Las muestras recolectadas, cuatro por cada estación, se almacenaron y etiquetaron en bolsas plásticas y se preservaron con alcohol al 70 %.

La separación, la identificación y el conteo de macroinvertebrados se hicieron en el Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia. Para ello, se separaron los organismos por grupos similares empleando un estereomicroscopio y claves de identificación (Álvarez, 2005; Domínguez y Fernández, 2009; Roldán, 1996, 2003), determinando el nivel taxonómico más detallado posible. Este proceso se apoyó además con trabajos de investigación como los de González-Córdoba et al. (2020) y Gutiérrez y Dias (2015).

Cálculo de índices de diversidad e índice biótico BMWP/Col

Con las muestras cuantitativas de macroinvertebrados debidamente identificadas y contabilizadas, se calcularon índices de diversidad para conocer la riqueza y las estructuras de las comunidades. En cada punto se calcularon los índices de dominancia de Simpson, diversidad de Shannon, riqueza y abundancia de especies y equidad de Pielou por medio del software de análisis estadísticos PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001). Asimismo, en todas las estaciones se calculó el índice BMWP para Colombia adaptado por Roldán (2003) y modificado por Álvarez (2005).

Procesamiento y análisis estadístico de la información

Después de comprobar la normalidad de todas las variables, se realizaron pruebas estadísticas. Para aquellos datos que no cumplieron con el criterio de normalidad, se utilizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis con el programa R. Asimismo, con el fin de explorar la organización de las variables ambientales con relación a las estaciones y los muestreos, se

llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP). Previo a estos procesos, las variables se estandarizaron (x-mín/máx-mín) y se transformaron a su raíz cuadrada (√x+1), también mediante el software R.

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

Determinación de la percepción de la comunidad

Durante el mes de junio del 2022, se realizó un ejercicio con las personas que habitan la microcuenca para caracterizar sus percepciones sobre el estado ecológico y la conservación del río Arenal frente al desarrollo turístico y sobre las diferentes herramientas de gestión del recurso hídrico. Para este fin, se aplicó una encuesta de forma presencial y virtual, con preguntas abiertas, cerradas y de escala tipo Likert (Canto de Gante *et al.*, 2020) mediante el programa Forms de Office 365.

Resultados

Teniendo en cuenta la influencia del fenómeno de La Niña en Colombia reportado por el Instituto Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022), el muestreo 1 (M1) realizado el 16 de noviembre de 2021 estuvo influenciado por menos lluvias en comparación con el muestreo 2 (M2) efectuado del 14 al 15 de marzo de 2022. La noche del 14 de marzo se registró un crecimiento y desbordamiento del cauce del río Arenal (Cornare, 2022).

Variables fisicoquímicas y microbiológicas

La tabla 2 presenta un compendio de las variables ambientales y microbiológicas consideradas en cada estación y muestreo. En primer lugar, entre los registros in situ, se reportan temperaturas de 19,6 °C y 22,7 °C, con el valor más alto para la estación E6 (Obdulitas: predios de ganadería) del M1, sin diferencias estadísticamente significativas entre estaciones. Sin embargo, se obtuvieron resultados más altos en noviembre (M1), con un promedio de 22 °C, en comparación con marzo (M2), cuyas lecturas estuvieron entre 20 °C y 21 °C. En este caso, por campañas de muestreo, sí se hallaron diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis (tabla 3).

Con respecto al pH, se registró una variación entre estaciones de valores en el rango de 7,0 y 8,0 unidades, con un valor aparentemente mayor en la estación E3 (Las Maruchas: dominio de parcelaciones). Además, los cambios entre campañas de muestreo también se asociaron a medias entre 8,0 y 7,0 unidades (M1 y M2 respectivamente), con diferencias estadísticas en el pH entre los muestreos (tabla 3).

El OD y el porcentaje de saturación de oxígeno registraron promedios de 7,94 mg/L y 101,1 % respectivamente, y fueron las variables menos dispersas, con un coeficiente de variación de 2,3 % y 0,9 %, en ese mismo orden. Por el contrario, la conductividad y el potencial rédox, que tuvieron medias de 28,2 µS/cm y –42,1 mV respectivamente, fueron las variables in situ más dispersas, con coeficientes de variación de 13,1 % para la primera y 73,8 % para el segundo. Sin embargo, estos parámetros no presentaron diferencias significativas entre estaciones ni entre campañas de muestreo según la prueba de Kruskal-Wallis.

En cuanto a las variables fisicoquímicas analizadas en el laboratorio, se registró un incremento notorio en la turbidez a partir de la estación E3 del M2 (tabla 2), con un espectro espacial de 1,36-16,9 UNF. En este caso, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre estaciones, pero sí entre campañas de muestreo (tabla 3), asociadas a una media de 2,0 UNF para el M1 y 10,0 UNF para el M2.

La DBO5 tuvo valores menores a 4,0 mg/L O2 para todas las estaciones, excepto en E2 (La Cristalina: fincas de recreo) y E4 (El Trocadero: concentración de turistas) durante el M2, cuando se registraron demandas de 13,5 mg O2/L y 4,24 mg O2/L, respectivamente. Por su parte, la DQO no superó 1,0 mg O2/L, salvo en la estación E2 del M2, donde alcanzó los 27,1 mg O2/L (tabla 2). Con respecto a los nutrientes, las formas inorgánicas de nitratos presentaron valores entre estaciones de 0,06-0,15 mg NO3- N/L, y los ortofosfatos no mostraron variaciones, con un valor constante de 0,16 mg PO43- P/L (tabla 2).

Por su parte, las variables microbiológicas de coliformes totales y E. coli registraron valores en los rangos de 93-460 NMP/100 mL y 4-93 NMP/100 mL, respectivamente. La cantidad más alta de coliformes totales ocurrió en las estaciones E3, E6 (M1) y E5 (M2), y la de E. coli, en E2 (M2). La prueba de Kruskal-Wallis no indicó diferencias significativas entre estaciones o campañas de muestreo para estas variables (tabla 3).

Tabla 2. 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 *in situ*	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
	O_2 (mg/L)	8,0	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7	8,0	7,7	7,7	8,1	8,2	8,0
	%S O_2	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	8,1	8,0	8,8	8,3	8,1	8,4	7,6	7,1	7,3	7,1	7,1	7,2
	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 rédox (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 (UNF)	1,3	2,5	1,6	3,3	3,8	1,5	3,3	2,7	16,9	16,8	13,1	12,0
	DBO5 (mg O_2/L)	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	13,5	<4,0	4,2	<4,0	<4,0
	DQO (mg O_2/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)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
	Ortofosfatos (mg PO43- P/ L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Microbiológicas	Coliformes totales (NMP/100 mL)	240	93	460	240	240	460	93	150	240	240	460	150
	E. coli (NMP/100 mL)	9	43	43	7	43	23	4	93	43	23	43	23

Tabla 3. Estadígrafos descriptivos de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el río Arenal. El valor p corresponde a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para las variables por estaciones (E) y muestreos (M); valores menores a p=0.05 indican diferencias estadísticamente significativas.

	Variables	Estadígrafos de tendencia central							
		Máx.	Mín.	$\overline{X}$	σ	%CV	Valor P		N
							E	M	
Fisicoquímicas *in situ*	T (°C)	22,7	19,6	21,3	1,1	5,2	0,634	0,036	12
	O_2 (mg/L)	8,25	7,70	7,94	0,18	2,3	0,781	0,139	12
	%S O_2	103,0	99,8	101,1	0,9	0,9	0,379	0,149	12
	pH	8,87	7,13	7,80	0,60	7,7	0,888	0,004	12
	Conductividad (µS/cm)	35,0	22,6	28,2	3,7	13,1	0,759	0,873	12
	Potencial rédox (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	0,517	0,025	12
	DBO5 (mg O_2/L)	13,5	4,0	4,81	2,74	56,9	0,492	0,140	12
	DQO (mg O_2/L)	27,1	10,0	11,4	4,94	43,2	1,416	0,317	12
	Nitratos (mg NO_3- N/ L)	0,15	0,06	0,11	0,03	26,1	0,322	0,871	12
Microbiológicas	Coliformes totales (NMP/100 mL)	460	93	255,5	135,4	53,0	0,324	0,356	12
	E. coli (NMP/100 mL)	93	4	33,1	24,3	73,4	0,073	0,738	12

El ACP (figura 2) indica que el primer componente respondió por el 36,8 % de la varianza, y el segundo, por el 27,1 %. Con respecto a la ordenación, la conductividad, la temperatura, el pH y el porcentaje de saturación conformaron un grupo integrado principalmente por datos del M1, mientras que la DQO, la DBO5 y la turbidez tendieron a segregar un conjunto de registros del M2.

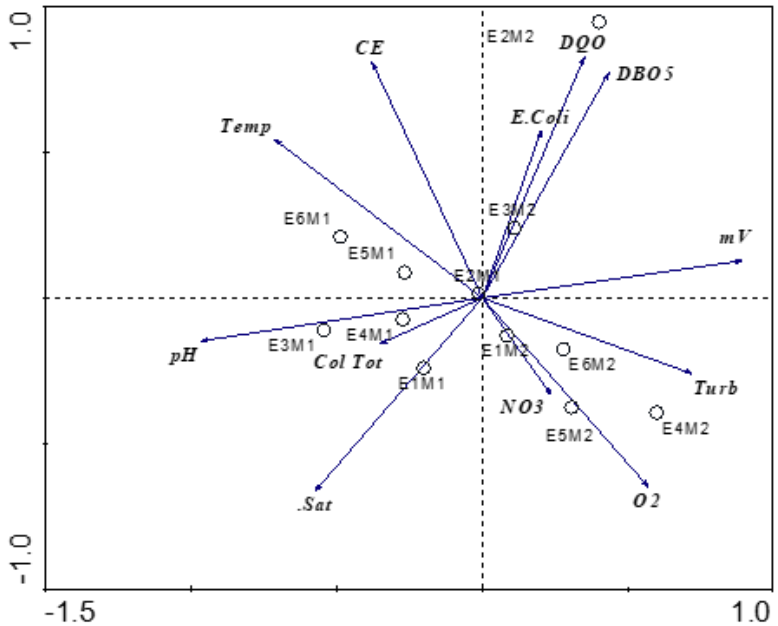

Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) de variables ambientales en estaciones y muestreos E: estación; M: muestreo.

Macroinvertebrados acuáticos, índices de diversidad y BMWP/Col

Se recolectaron 2136 individuos, pertenecientes a 14 órdenes, 51 familias y 66 géneros. Las familias predominantes de las muestras cualitativas y cuantitativas para M1 y M2 se muestran en la figura 3. Baetidae, Leptophlebiidae, Perlidae, Elmidae, Veliidae, Leptoceridae y Simuliidae presentaron el mayor número de individuos; en especial, Simuliidae en las estaciones E2 y E5 (La Chorrera: parte baja de la microcuenca) del M1, y Baetidae en E2, Elmidae en E3 y Veliidae en E1 (Zafra: zona de reservas forestales de la sociedad civil) del M2.

Los índices de diversidad y biótico BMWP calculados para las muestras cuantitativas de macroinvertebrados en las dos campañas se pueden observar en la tabla 3 y 4. En cuanto a riqueza, representada en el número de taxones, las estaciones E2 (19 taxones) y E5 (20 taxones) se destacan con los mayores valores para el M1 y el M2, respectivamente. Por su parte, la abundancia más alta, reflejada en la cantidad de individuos, se dio en la estación E5 de ambos muestreos, con un registro de 78 individuos en M1 y 111 en M2. Estos índices presentaron una media de 12 taxones y 42 individuos en M1, frente a una media de 14 taxones y 57 individuos en M2.

Con un valor promedio de 1,89 y un coeficiente de variación de 32,0 %, la diversidad de Shannon-Weaver para el M1 registró su valor más alto en la estación E2 (2,5), y el más bajo, en E6 (1,1). En el M2, la diversidad promedio fue de 1,95, y el coeficiente de variación estuvo en 38,9 %, con el mayor dato en E2 (2,6), y el menor en E4 (0,6).

Muy en relación con la diversidad, la dominancia de Simpson promedio para el M1 fue de 0,23, y su coeficiente de variación, 55,1 %; para el M2, los valores se ubicaron en 0,24 y 82,6 %. Este fue el índice de mayor dispersión en ambos muestreos. Por el contrario, la equidad de Pielou, con medias de 0,8 y 0,81 y coeficientes de variación de 9,0 % y 5,5 % en los M1 y M2, respectivamente, fue el índice menos disperso en las dos campañas.

Por otro lado, el índice BMWP/Col registró un puntaje promedio de 129 para M1 y 159 en M2. En el primer muestreo, este parámetro clasificó a las estaciones E1, E2 y E4 como de calidad buena, es decir, de aguas limpias, y a E3, E5 y E6 como de calidad

aceptable, con aguas ligeramente contaminadas. Para el segundo muestreo, este mismo indicador clasificó todos los tramos con una calidad buena, categorizando a E2, E3, E5 y E6 con aguas limpias, y a E1 y E4 como de aguas no contaminadas.

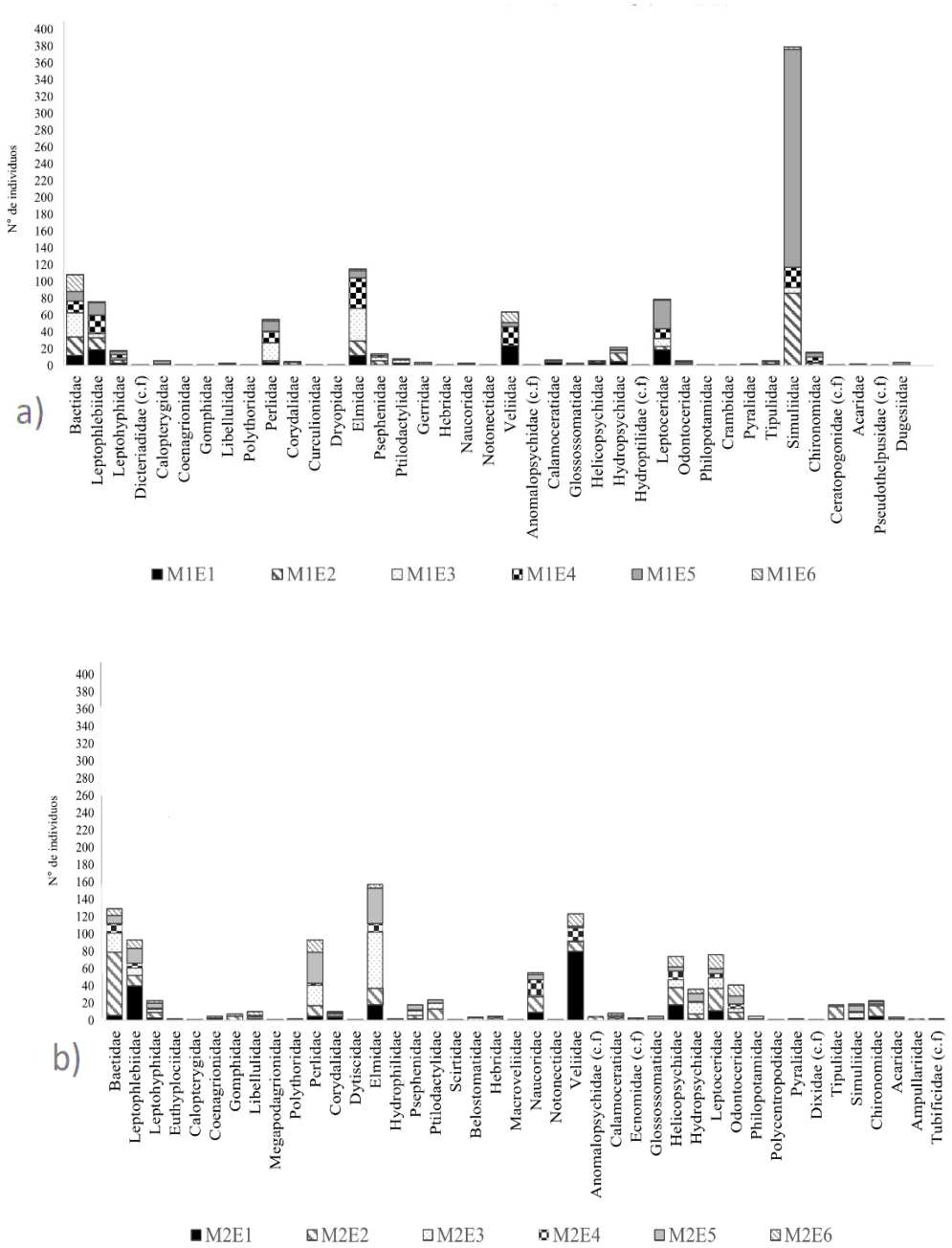

Figura 3. Familia de macroinvertebrados recolectados en cada estación mediante métodos cualitativos y cuantitativos: a) muestreo 1; b) muestreo 2.

Tabla 4. Estadígrafos descriptivos de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en el río Arenal El valor p corresponde a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para las variables por estaciones (E) y muestreos (M); valores menores a p=0,05 indican diferencias estadísticamente significativas. Nota: El valor p corresponde a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para las variables por estaciones (E) y muestreos (M); valores menores a p=0,05 indican diferencias estadísticamente significativas.

	Variables	Estadígrafos de tendencia central							
		Máx.	Mín.	$\overline{X}$	σ	%CV	Valor P		N
							E	M	
Fisicoquímicas *in situ*	T (°C)	22,7	19,6	21,3	1,1	5,2	0,634	0,036	12
	O_2 (mg/L)	8,25	7,70	7,94	0,18	2,3	0,781	0,139	12
	%S O_2	103,0	99,8	101,1	0,9	0,9	0,379	0,149	12
	pH	8,87	7,13	7,80	0,60	7,7	0,888	0,004	12
	Conductividad (µS/cm)	35,0	22,6	28,2	3,7	13,1	0,759	0,873	12
	Potencial rédox (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	0,517	0,025	12
	DBO5 (mg O_2/L)	13,5	4,0	4,81	2,74	56,9	0,492	0,140	12
	DQO (mg O_2/L)	27,1	10,0	11,4	4,94	43,2	1,416	0,317	12
	Nitratos (mg NO_3- N/ L)	0,15	0,06	0,11	0,03	26,1	0,322	0,871	12
Microbiológicas	Coliformes totales (NMP/100 mL)	460	93	255,5	135,4	53,0	0,324	0,356	12
	E. coli (NMP/100 mL)	93	4	33,1	24,3	73,4	0,073	0,738	12

Tabla 5. Índice de diversidad de las muestras cuantitativas de macroinvertebrados del río Arenal y BMWP/Col de las muestras cuantitativas y cualitativas. Nota: E: estación de muestreo; $\overline{X}$: media; % CV: coeficiente de variación en porcentaje.

Índice	Muestreo 1 16/11/21								Muestreo 2 14-15/03/22							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	$\overline{X}$	% CV	E1	E2	E3	E4	E5	E6	$\overline{X}$	% CV
Riqueza	13	19	5	17	12	5	12	49,7	19	19	14	2	20	8	14	53,3
Abundancia	42	43	15	47	78	28	42	50,3	96	74	39	4	111	20	57	74,9
Dominancia de Simpson	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,4	0,23	55,1	0,2	0,1	0,1	0,6	0,1	0,3	0,24	82,6
Diversidad de Shannon-Weaver	2,1	2,5	1,2	2,4	2,1	1,1	1,89	32,0	2,3	2,6	2,2	0,6	2,4	1,6	1,95	38,9
Equidad de Pielou	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,80	9,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,81	5,5
BMWP/Col	160	152	116	154	116	77	129	24,9	148	179	163	133	165	165	159	10,1

En general, en el segundo muestreo todos los índices presentaron promedios más altos en comparación con la primera campaña. De igual forma, los coeficientes de variación fueron mayores en el M2, excepto para la equidad de Pielou y para el BMWP/Col. Así, en su mayoría los índices del M2 mostraron mayor dispersión.

Percepción de la comunidad acerca del río Arenal

Se encuestó a 45 habitantes de las partes alta, media y baja de la microcuenca del río Arenal, de edades entre los 18 y 80 años. Un 4,5 % de estas personas habitaban la zona hacía menos de un año; un 44,4 % llevaban allí de uno a cinco años; un 6,7 %, de cinco a diez años; y un 44,4 %, más de diez años. Las principales ocupaciones de los encuestados corresponden a trabajos en el sector turístico, con un 24,4 %, y de docencia, construcción y artesanía, con un 51,1 %; el porcentaje restante abarca a estudiantes, amas de casa, agricultores y ganaderos.

De las actividades comerciales realizadas en la microcuenca, el

turismo es la 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 microcuenca del río Arenal, y a su vez el 93,3 % de los encuestados afirman que dicho cuerpo de agua es "muy importante" en la economía y la cultura del municipio de San Rafael.

Por otra parte, de los 45 encuestados, 19 (42,2 %) indicaron no participar directa o indirectamente en las actividades ecoturísticas que se realizan en la zona; los 26 restantes (57,8 %) afirmaron que sí hacen parte de ellas, principalmente por medio del alquiler de cabañas, venta de comestibles o como guías. Sin embargo, el 80 % de las personas consultadas aseguraron no recibir o percibir alguna información u orientación por parte de la administración municipal en relación con las prácticas ecoturísticas y la gestión y planificación de la microcuenca.

Asimismo, los participantes calificaron el manejo del agua por parte de la administración municipal como regular (37,8 %) o malo (24,4 %), y el del ente regulador como regular (42,2 %) o pésimo (26,7 %) (figura 4). También, 34 de los habitantes (75,6 %) mencionaron conocer al menos uno de los instrumentos de gestión ambiental (Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT], Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas [POMCA], Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico [PORH], DRMI, Plan de Manejo Ambiental [PMA]); y los 11 restantes (24,4 %) afirmaron no saber de ninguno de estos mecanismos.

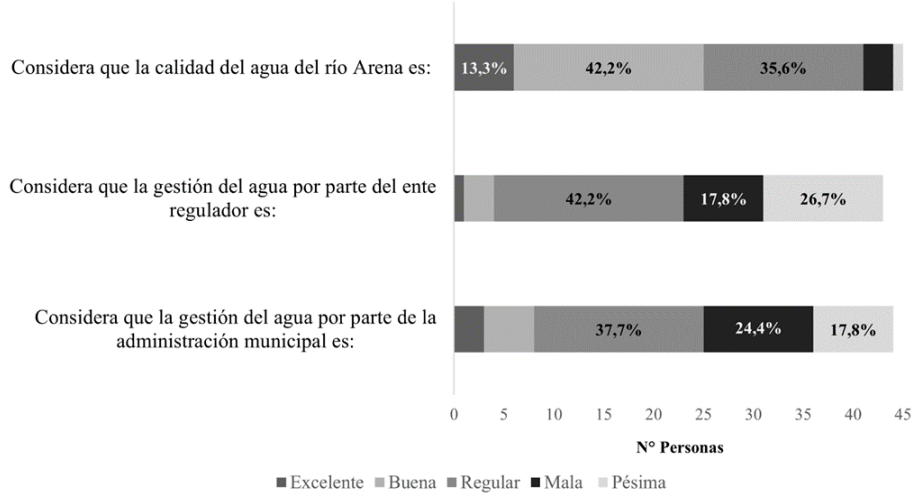

Figura 4. Percepción de los habitantes sobre la calidad del agua del río Arenal y la gestión del agua realizada por la administración municipal y el ente regulador.

uso del patrón silvestre, se considera una alternativa viable en el manejo de la marchitez vascular, al reducir significativamente la enfermedad en más del 64 %, coincidiendo con las investigaciones.

Con referencia a la calidad del agua en el río Arenal, 19 (42,2 %) de los encuestados la consideraron buena; 16 (35,6 %) la calificaron regular; y solo 6 (13,3 %) la estimaron excelente (figura 4). A su vez, el 55,6 % de los participantes clasificó el tramo Zafra-La Cristalina como el más conservado en cuanto a calidad del agua y vegetación ribereña, y un 40 % definió al segmento La Chorrera-Obdulitas como el menos conservado (figura 5a).

Adicionalmente, entre las principales problemáticas ambientales identificadas en la microcuenca (figura 5b), los encuestados perciben las inundaciones (17,7 %) como las menos graves. En cambio, la contaminación por pozos sépticos (48,9 %) y el cambio del uso del suelo (31,1 %) se señalan como los impactos más severos que afectan a la zona hidrográfica del río Arenal.

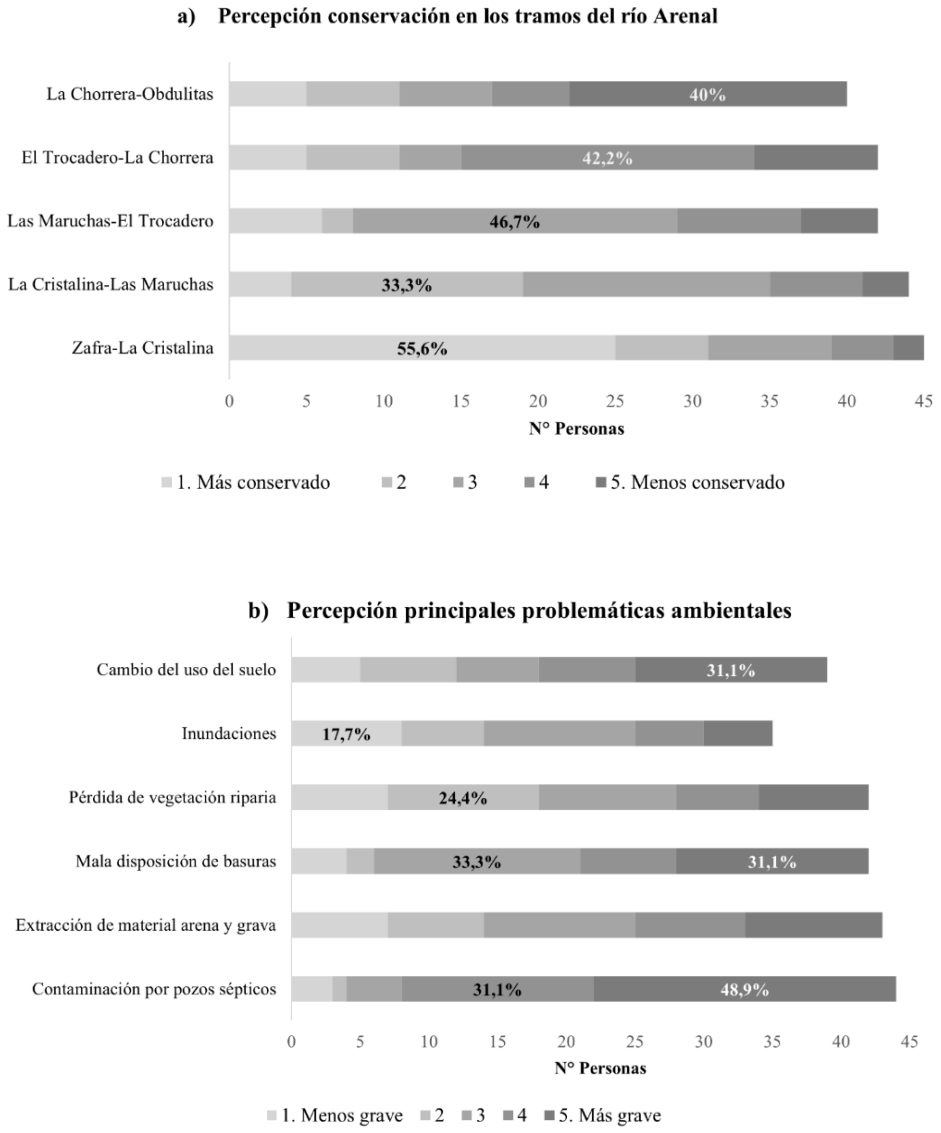

Figura 5. Percepción los habitantes sobre el río Arenal: a) conservación de los tramos empleados en las campañas de muestreo; b) principales problemáticas ambientales que afectan a la microcuenca.

Discusión

Las diferencias en los resultados de las variables analizadas están asociadas principalmente a la localización de las estaciones y a la época de muestreo. Así, las temperaturas más bajas se registraron en las dos primeras estaciones, y a partir de la tercera (Las Maruchas) su valor se incrementó aproximadamente en 2 °C. Este cambio se podría relacionar con la hora de la medición o con la ubicación de los puntos, en la parte alta de la microcuenca, donde el dosel de los árboles ribereños provoca una incidencia moderada de la luz, mientras que en las zonas media y baja del río predominan los pastos y bosques menos densos.

Pese a no presentar una diferencia estadísticamente significativa entre estaciones (tabla 3), el incremento de la temperatura a partir de la estación E3 podría ser relevante ya que este es un factor limitante en las tasas metabólicas que influye en el ciclo de vida de los organismos (Roldán y Ramírez, 2008). Por otro lado, para el caso de la conductividad eléctrica, la media fue de 28,2 µS/cm, un valor bajo y representativo de corrientes de alta montaña andina (Roldán y Ramírez, 2008).

Las concesiones otorgadas dentro de la microcuenca del río Arenal, según el ente regulador Cornare, han sido para abastecimiento doméstico, actividades piscícolas, recreación y deporte. Para la sección del río Arenal estudiada, el principal uso es el recreativo mediante contacto primario, teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para este aprovechamiento en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El pH, con valores entre 7,0 y 8,0 unidades, indicó aguas de neutras a ligeramente básicas, y el porcentaje de saturación de oxígeno, con una media de 101 %, estuvo dentro de los límites admisibles para dicho propósito.

Adicionalmente, la norma establece que el nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporciones que no ocasionen eutrofización. Para el caso del río Arenal, los nitratos tuvieron un promedio de 0,11 mg NO3- N/L, cumpliendo con lo establecido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Este valor, a su vez, permite clasificar a este cuerpo de agua como oligotrófico, ya que el contenido de nitratos se encuentra en el rango 0,0-1,0 mg/L (Roldán y Ramírez, 2008).

La DBO5, con un promedio de 4 mg O_2/L, y la DQO, con una media de 10 mg O_2/L, señalan que el río Arenal no tiene niveles altos de materia orgánica y que buena parte de la que está presente corresponde a fracciones de difícil biodegradación (p. e., madera), como se desprende de la relación DBO5/DQO=0,4 (Von Sperling, 2005). Solo la estación E2 del M2 registró valores de DBO5 y DQO moderadamente altos (tabla 2), que se podrían relacionar con un aporte de materia orgánica o sustancias de interés sanitario, posiblemente influenciado por la época de lluvia, que facilita la escorrentía. Sin embargo, los resultados de DBO5 están dentro de los sugeridos por autores como Sierra (2011) para uso recreativo mediante contacto primario (hasta 20 mg/L).

La presencia de bacterias coliformes, que habitan los intestinos del hombre y de otros organismos de sangre caliente, se asocian a menudo con organismos patógenos, de manera que constituyen un índice de seguridad bacteriológica del cuerpo de agua (Benjumea Hoyos *et al.*, 2023). Los promedios registrados en la microcuenca estudiada, de 256 NMP/100 mL de coliformes totales, se ha señalado podrían relacionarse con la descarga de aguas negras o a la presencia de fauna natural o animales domésticos característicos de la zona, como vacas, perros, gatos y patos que habitan fincas aledañas al río Arenal. Del mismo modo, la concentración de *Escherichia coli* detectada (promedio de 33 NMP/100 mL) puede asociarse con descargas de aguas residuales domésticas al río (Múñoz Villareal, 2018).
Sin embargo, los números registrados para coliformes totales y para *Escherichia coli* se encuentran dentro de los límites admisibles en la norma para fines recreativos mediante contacto primario, de 1000/100 mL y 200/100 mL, respectivamente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Aun así, es importante recalcar la presencia de estos organismos en todas las estaciones analizadas.

Por otro lado, las familias de macroinvertebrados acuáticos registradas están en su mayoría relacionadas con aguas limpias y muy limpias, así como a corrientes rápidas (para el caso de las familias Baetidae y Simuliidae) y moderadas (Elmidae). Sin embargo, otras de las halladas, como Tipulidae y Chironomidae, generalmente se asocian a aguas con contaminación orgánica (Roldán, 1996).

En cuanto a los índices de diversidad, el sector alto de la microcuenca presentó valores de riqueza, abundancia, diversidad (H) y equidad (J) más altos y de dominancia (D) más bajos. Estos resultados se relacionan con las corrientes más rápidas de ese segmento del río, la mayor heterogeneidad de sustratos, incluyendo cantos rodados medianos, y la alta presencia de hojarasca, factores que pueden favorecer la colonización de diferentes taxones (Rabeni y Minshall, 1977; Guinard *et al.*, 2013).

Por el contrario, las estaciones de la microcuenca baja, con menores velocidades de corriente y sustratos homogéneos de arenas en el lecho del río, tienen condiciones que podrían limitar la colonización de diferentes taxones de macroinvertebrados acuáticos (Álvarez, 2005). Aun así, el índice BMWP/Col promediado entre muestreos clasificó la calidad del agua de las diferentes estaciones como buena, lo que ratifica los resultados de las diferentes variables e índices analizados. Por lo tanto, es posible concluir que el tramo del río Arenal evaluado presenta una buena condición ecológica.

Desde la percepción de los habitantes de la microcuenca, el aumento del turismo, la construcción de cabañas, hoteles, estaderos, parqueadero y vías, así como el crecimiento poblacional (relacionado con un porcentaje considerable de habitantes que migraron recientemente a la región) fueron los principales cambios identificados en los últimos diez años (Cárdenas *et al.*, 2023). Para los pobladores de la zona, estas transformaciones han aumentado la contaminación por vertimientos de aguas negras y grises, la presencia de basuras

en la zona, la pérdida de vegetación y las modificaciones en el paisaje, a la vez que han fomentado la privatización de los accesos al río.

Los habitantes reconocen, a su vez, el mejoramiento de las vías de acceso y el aumento de las oportunidades de empleo como cambios positivos e importantes en los últimos años. No obstante, en un horizonte de diez años, más del 80 % de los encuestados coinciden en que la calidad del agua del río Arenal se deteriorará, debido principalmente a los vertimientos de aguas negras, la mala gestión y la falta de planificación y control sobre las actividades desarrolladas en la microcuenca. Esta percepción coincide con las problemáticas que enfrentan las comunidades cercanas a ríos con proyección turística en Antioquia (Arango *et al.*, 2008; Posada *et al.*, 2013).

Frente a las problemáticas identificadas, 29 personas indicaron que participan o conocen iniciativas en pro de la conservación del cuerpo de agua, en su mayoría desde la organización comunitaria (reservas, juntas de acción comunal, escuelas), pero también mediante acciones individuales. Por último, dentro de las acciones que los habitantes proponen para hacerles frente a las prácticas que pueden afectar al río, se destacan la educación ambiental, la construcción consciente y regulada, la regulación de pozos sépticos y la implementación de tecnologías apropiadas como baños secos y biofiltros, entre otras,

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Luisa F. Torres, Esnedy Hernandez, Juan Pablo Serna: Conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, administración del proyecto, revisión, escritura y edición.

Agradecimientos

Al grupo de investigación GeoLimna de la Universidad de Antioquia 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.

Referencias

Acuerdo 251 de 2011 [Corporación Autónoma Regional de las cuencas Río Negro y Nare -CORNARE]. Por medio del cual se fijan Determinantes Ambientales para la reglamentación de las rondas hídricas y las áreas de protección o conservación aferentes a las corrientes hídricas y nacimientos de agua en el Oriente del Departamento de Antioquia, jurisdicción de CORNARE. 10 de agosto de 2011.

Alcaldía San Rafael. (2019). Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT] Municipio San Rafael, Antioquia.

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.

Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E. y Monsalve, A. de J. (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, (9), 121–141.

Benjumea Hoyos, C. A., Carmona Ramírez, A. y Castro Martínez, A. (2023). Calidad fisicoquímica y microbiológica de los ríos asociados a un embalse tropical de montaña en el periodo 2010–2018 (ríos Nare, Nusito y San Lorenzo). *Revista Lasallista de Investigación*, 20(1), 103–122. https://doi.org/10.22507/rli.v20n1a7

Cámara de Comercio Oriente Antioqueño [CCOA]. (2021). Cámara de Comercio Oriente Antioqueño: Oferta de turismo oriente antioqueño. Informe 2020-2021.

Canto de Gante, Á. G., Sosa González, W. E., Bautista Ortega, J., Escobar Castillo, J. y Santillán Fernández, A. (2020). Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social. *Revista de la alta tecnología y sociedad*, 12(1).

Cárdenas Cardona, J. F., y Restrepo Marín, K. (2013.). Identificación de áreas protegidas intervenidas por la expansión urbana en el municipio de San Rafael, Antioquia [Trabajo de grado, Universidad

Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60216

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.

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [CORNARE]. (2022). Boletín de condiciones y alertas hidrometeorológicas de Cornare. Centro de monitoreo y alertas Cornare.Boletín 15 de Marzo-Mañana No. 051. ALERTA CLIMA – CORNARE

Domínguez, E., y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología (Primera ed.). Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.

Gonzáles-Córdoba, M., Zúñiga, M., y 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

Gutierrez, Y., 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

Guinard, J. D. C., Ríos, T., y Bernal Vega, J. A. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 61–70.

Hammer Ø, Harper D, Ryan D.(2001). PAST: paleontological statistics software package for education anddata analysis. PAST: Palaeontol Electr 2001; 4(1): 1–9. Available from: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). S*eguimiento al ciclo ENOS: El Niño Oscilación del Sur* (Boletín No. 163, 46 p.).

Muñoz Villarreal, L. L. (2018). Caracterización de las aguas tratadas en zonas bananeras y su incidencia sobre la calidad ambiental del río Apartadó mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. *Ambiente y Desarrollo*, 22(43). https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.catz

Osorio, A. (2017). Ordenamiento territorial ambiental y gestión de cuencas hidrográficas [tesis de posgrado, Universidad Católica de Manizales]. Universidad Católica de Manizales

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.

Posada, E., Mojica, D., Pino, N., Bustamante, C., y Monzón Pineda, A. (2013). Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia. *Dyna*, 80(181), 192-200

Provincia ABT. (2022). Provincia del Agua, Bosque y el Turismo. https://provincia-abt.gov.co/es/nosotros

Rabeni, C. F., y Minshall, G. W. (1977). Factors Affecting Microdistribution of Stream Benthic Insects. *Oikos*, 29(1), 33–43. https://doi.org/10.2307/3543290

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. y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Segunda ed.). Medellín: Universidad de Antioquia.

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.

Sierra, C. A. (2011). Calidad del agua-Evaluación y disgnóstico. Medellín: Universidad de Medellín.

Von Sperling, M.V. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Vol. 1. DESA-UFMG, Belo Horizonte.