

DOI: 10.24850/j-tyca-14-06-05

Artículos

Calidad fisicoquímica del río Mulato en Mocoa Putumayo-Colombia

Physicochemical quality of the Mulato River in Mocoa Putumayo-Colombia

Lorena Agudelo¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1627-3401>

Angie Muñoz², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5367-1279>

Valeria Enriquez³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9555-2331>

Nilsa Silva⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4605-5934>

Ruth Lozano⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6337-3889>

¹Instituto Tecnológico del Putumayo, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM), Putumayo, Colombia, lorena.agudelo@itp.edu.co

²Instituto Tecnológico del Putumayo, Facultad de Ingeniería, Semillero de Investigación Hinchas del Medio Ambiente, Putumayo, Colombia, angiemunoz2020@itp.edu.co

³Instituto Tecnológico del Putumayo, Facultad de Ingeniería, Semillero de Investigación Hinchas del Medio Ambiente, Putumayo, Colombia, valeriaenriquez2020@itp.edu.co

⁴Instituto Tecnológico del Putumayo, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM), Putumayo, Colombia, asilva@itp.edu.co

⁵Instituto Tecnológico del Putumayo, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM), Putumayo, Colombia, gabriela.lozano@itp.edu.co

Autora para correspondencia: Lorena Agudelo-Obando, lorena.agudelo@itp.edu.co

Resumen

El río Mulato abastece de agua para consumo humano el centro del municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, Colombia. Las fuentes hídricas de esta zona del país no cuentan con estudios de calidad actualizados. Por ello, en el presente artículo se informa el análisis de los parámetros fisicoquímicos: pH, turbidez, OD, DBO₅ conductividad, temperatura, DQO y SST; posteriormente, se comparó el análisis estadístico con la normatividad colombiana y se estableció el ICA. Se evidenció que el río Mulato recibe las cargas contaminantes de 35 vertimientos provenientes de dos quebradas tributarias, que incidieron en las alteraciones de los parámetros de turbiedad y pH; en cuanto a la primera, en la parte media el valor fue de 6.38 NTU, el más alto de 3 NTU y en la zona baja de 3.73 NTU; el segundo referente al pH se encuentra entre 5.6 y 5.8. Con los datos obtenidos de las muestras de agua de las tres zonas, tomadas *in situ* y *ex situ*, se estableció que aunque existe

cierto grado de turbidez y contaminación, la calidad del agua del río Mulato se encuentra en aceptable, con alerta verde.

Palabras clave: aguas residuales, análisis fisicoquímicos, saneamiento básico, gestión ambiental.

Abstract

The Mulato River supplies water for human consumption to the center of the municipality of Mocoa, department of Putumayo; the water sources in this area of Colombia do not have updated quality studies. Therefore, this study focused on the analysis of the physicochemical parameters: pH, turbidity, OD, DBO₅, conductivity, temperature, DQO and SST, then the statistical analysis was compared with Colombian regulations and the ICA was established. It was found that the Mulato River receives pollutant loads from 35 discharges from two tributary streams, which had an impact on the alterations of the turbidity and pH parameters; as for the first, in the middle part the value was 6.38 NTU, the highest of the three points, and in the lower zone, 3.73 NTU, and the second, referring to pH, is between 5.6 and 5.8. With the data obtained from the water samples of the three zones, taken in situ and ex situ, it was established that, although there is a certain degree of turbidity and contamination, the water quality of the Mulato River is acceptable with a green alert.

Keywords: Wastewater, physicochemical analysis, basic sanitation, environmental management.

Recibido 29/07/2021

Aceptado 20/04/2022

Publicado online: 07/07/2022

Introducción

Colombia es un territorio conocido a nivel mundial por su riqueza hídrica y biodiversidad, importantes en el desarrollo de diferentes actividades económicas. Domínguez, Rivera, Vanegas y Moreno (2008) afirman que la oferta hídrica de aguas superficiales en Colombia es de 1 150 km³ al año, una estimación alta en cuanto al sistema de abastecimiento del recurso en el país; uno de los sectores con mayor demanda de agua es el agrícola. En el país existen cuatro vertientes principales: Caribe, Pacífico, Orinoco y Amazonas. Cerca del 70 % de la población está asentada en las vertientes del Caribe, siendo los ríos Cauca y Magdalena los más representativos; en las vertientes del Orinoco y el Amazonas se encuentran los ríos más caudalosos del país (Gualdrón, 2018). Dentro de la hidrografía colombiana, uno de los componentes hídricos de gran relevancia en el país es el río Amazonas, una fuente natural y representativa, que abarca una serie de procesos, los cuales aportan a la dinámica ambiental que se desarrolla en la zona. Conforme a lo expuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (IDEAM, 2015), en los resultados del estudio nacional de aguas se estima que el mayor caudal medio obtenido en el río Amazonas corresponde al 35.111 m³/s en el mes de mayo, mientras que en septiembre los análisis estadísticos arrojaron un dato de 18.797 m³/s.



Dicha variación puede ser ocasionada por dos aspectos principales: el extenso recorrido y las diferentes condiciones climáticas que se presentan en la zona.

En la Amazonía colombiana, pese a ser conocida como una zona rica en recursos naturales, sus fuentes hídricas están expuestas a diferentes perturbaciones antrópicas, como vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, disposición de residuos sólidos, actividades agrícolas, porcinas, ganadera y extracción de material de arrastre, que alteran las propiedades del agua, al igual que en otras zonas del país, como es el caso de la quebrada Jui, afluente del río Sinú, donde “los parámetros presentaron mayores concentraciones en las estaciones ubicadas en el área de predominio de la zona urbana, caracterizadas por la influencia de actividades antrópicas, como son vertimiento de aguas residuales domésticas, residuos sólidos, ganadería porcina y minería de arena” (Hernández, Pinedo, Paternina, & Marrugo, 2021). De acuerdo con Torres (2012), “los países en desarrollo en general se ubican en regiones de clima tropical y subtropical y son los que presentan las más bajas coberturas en recolección y tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas”. Ante tal situación, los países implementan alternativas que les permiten tener un control de las aguas residuales, y minimizar el impacto en la salud humana y de los ecosistemas. Buelow *et al.* (2020) destacan que los ecosistemas y su dinámica natural han estado gravemente amenazados por las descargas de aguas residuales y su inevitable control; esto lo verifican Salma, Hossain, Hussain y Hasan (2020) cuando afirman que las aguas residuales se constituyen como fuentes receptoras para la propagación de microbios y la resistencia de

éstos en el medio ambiente. Estas descargas no sólo afectan los ecosistemas acuáticos, sino que generan problemas de salud en las comunidades y, sobre todo, reducen la posibilidad de darles otros usos a las fuentes hídricas. Empleando las palabras de García (2018), en los estudios de calidad, otra de las variables asociadas es el crecimiento poblacional y las actividades de subsistencia, como es el caso de la agricultura, como lo afirman Jaramillo, Cardona y Galvis (2020). Dentro de la región amazónica se encuentra el río Putumayo, ubicado en el municipio de San Francisco, con un área total de 1 479 ha. El caudal hídrico corresponde a $2.96 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este río es utilizado para abastecimiento del casco urbano del municipio de San Francisco (Corpoamazonia, 2010). Una de las problemáticas de los ríos ubicados en la zona del sur de Colombia es la falta de estudios de calidad, por tal razón sus resultados se tornan poco claros y veraces en cuanto a la información obtenida (Barrera, 2017). De la misma manera, Rodríguez (2012) refiere esta situación como una crisis de gobernabilidad sobre el recurso, pues la articulación de políticas públicas han ido en descenso, lo que ha implicado un descontrol sobre los sectores productivos que demandan grandes cantidades de agua en sus industrias o empresas, como también en los hogares de la población. La situación expuesta es vivida en el departamento del Putumayo, lugar en el que ninguno de los 13 municipios que lo conforman dispone de agua potable ni de una planta de tratamiento para las aguas residuales. Por otra parte, los sistemas de abastecimiento y suministro de agua constituyen uno de los factores importantes para el aprovisionamiento, calidad y bienestar de vida de la población. Dichos mecanismos van enteramente arraigados a la sostenibilidad ambiental y económica, las cuales dan paso a la construcción y estructuración de

entes prestadores de servicios de agua. Dichos servicios están fundamentados bajo el cumplimiento del pago de tarifas monetarias que deben tener un nivel óptimo y considerable respecto a los costos de servicio y la capacidad de pago que pueden tener los usuarios que lo utilizan (Briseño & Rubiano, 2018).

A nivel local, en el municipio de Mocoa, el manejo de acueductos es direccionado por la empresa servicios públicos Aguas Mocoa S.A. E.S.P., entidad que gestiona y promueve el suministro de agua a la población urbana y rural del territorio. De entre las fuentes de abastecimiento se encuentra el río Mulato, el cual surte a cierta parte del centro del municipio y donde se desarrolla una dinámica socioeconómica (UNGRD (2018). En términos de la gestión del recurso hídrico, las empresas prestadoras del servicio de acueducto están obligadas a realizar un plan de seguimiento y monitoreo de vertimientos, en razón de que las aguas residuales sin ningún tratamiento están ocasionando cambios significativos en la calidad. En estas tres últimas décadas, los efectos negativos generados sobre los recursos hídricos han llevado a una constante preocupación ambiental, que cada vez gana más adeptos, como lo afirman Oñate y Cortés (2020). Este estudio se realizó en la microcuenca del río Mulato, localizada hacia el centro del municipio de Mocoa y al occidente del sector urbano, en el departamento del Putumayo; desemboca sobre el río Mocoa, en el piedemonte amazónico, sobre el borde oriental de la Codillera Oriental, haciendo parte de la cuenca del río Caquetá y a nivel nacional de la gran cuenca del río Amazonas; es fuente abastecedora del acueducto central de Mocoa. Pertenecen al área de influencia de la microcuenca un total de 10 059

personas, representadas en 2 448 familias; hay dos resguardos indígenas, Camentsa Biya e Inga, que poseen un área de 556.37 ha en Baldíos, un área de protección minera (Corpoamazonia, 2011). En su cuenca media, la intervención antrópica y los asentamientos humanos son evidentes, en donde predominan viviendas rurales, junto con mosaicos de pastos con espacios naturales y bosques secundarios. En su tránsito por las veredas San Luis de Chontayaco y El Líbano, la corriente transita por el resguardo indígena Inga de Líbano, la cual comparte territorio con múltiples arreglos de viviendas rurales construidas y ubicadas linealmente al cauce principal del río Mulato —en ocasiones en zonas vulnerables a los efectos de los eventos generadores de amenaza hidrofuvio torrencial—, las cuales fueron afectadas seriamente por el evento catastrófico del 31 de marzo de 2017 (UNGRD, 2018).

El objetivo del artículo es presentar información sobre el análisis de los parámetros fisicoquímicos que fueron evaluados para hallar el ICA de la fuente hídrica río Mulato, teniendo en cuenta que los ríos del Putumayo en su proceso de gestión no disponen con información actualizada referente a la calidad del agua, que sumado al crecimiento poblacional y la falta de alternativas desaneamiento básico están generando que la comunidad disponga de las aguas residuales sin ningún tratamiento, y que ésta sea utilizada por los acueductos como fuente de abastecimiento para consumo humano.

Materiales y métodos

Las aguas residuales objeto de estudio procedieron de la vereda El Líbano, ubicada en el municipio de Mocoa, las cuales son vertidas en el río Mulato. Para el estudio se dividió la zona en alta (donde aparece la bocatoma); media (primera quebrada tributaria), y baja (segunda quebrada tributaria). En el recorrido se identificaron y caracterizaron los vertimientos, y se evaluaron los parámetros fisicoquímicos. El proceso de identificación y caracterización de los vertimientos tuvo en cuenta las siguientes variables: coordenada, tipo de vertimiento, caudal y procedencia. El análisis fisicoquímico se orientó por medio de los parámetros pH, conductividad, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, temperatura, turbiedad, color y olor. El protocolo, la toma de muestras y los resultados fueron desarrollados por el laboratorio LAGSA, certificado por el IDEAM.

Área de estudio

Mocoa es uno de los municipios de Colombia, se ubica en la parte norte del departamento del Putumayo, en las coordenadas 1° 08' 57" N, 76° 38' 47" O, con una superficie de 1 263 km² y una temperatura de 24.8 °C, y un clima tropical según datos de la alcaldía municipal; el río Mulato está al occidente del municipio de Mocoa (Figura 1); atraviesa el suroccidente del municipio y durante su trayecto recorre lugares como los siguientes: vereda El Líbano, barrio Miraflores, avenida 17 de julio, barrio

Centro, barrio 5 de enero y barrio El Naranjito. La importancia ecológica es diversa, permite albergar a sus alrededores riqueza y abundancia de especies. Recibe cargas contaminantes de centros poblados en su área de influencia, como el vertimiento de aguas residuales, actividades ganaderas, extracción de material de arrastre y actividades agrícolas.

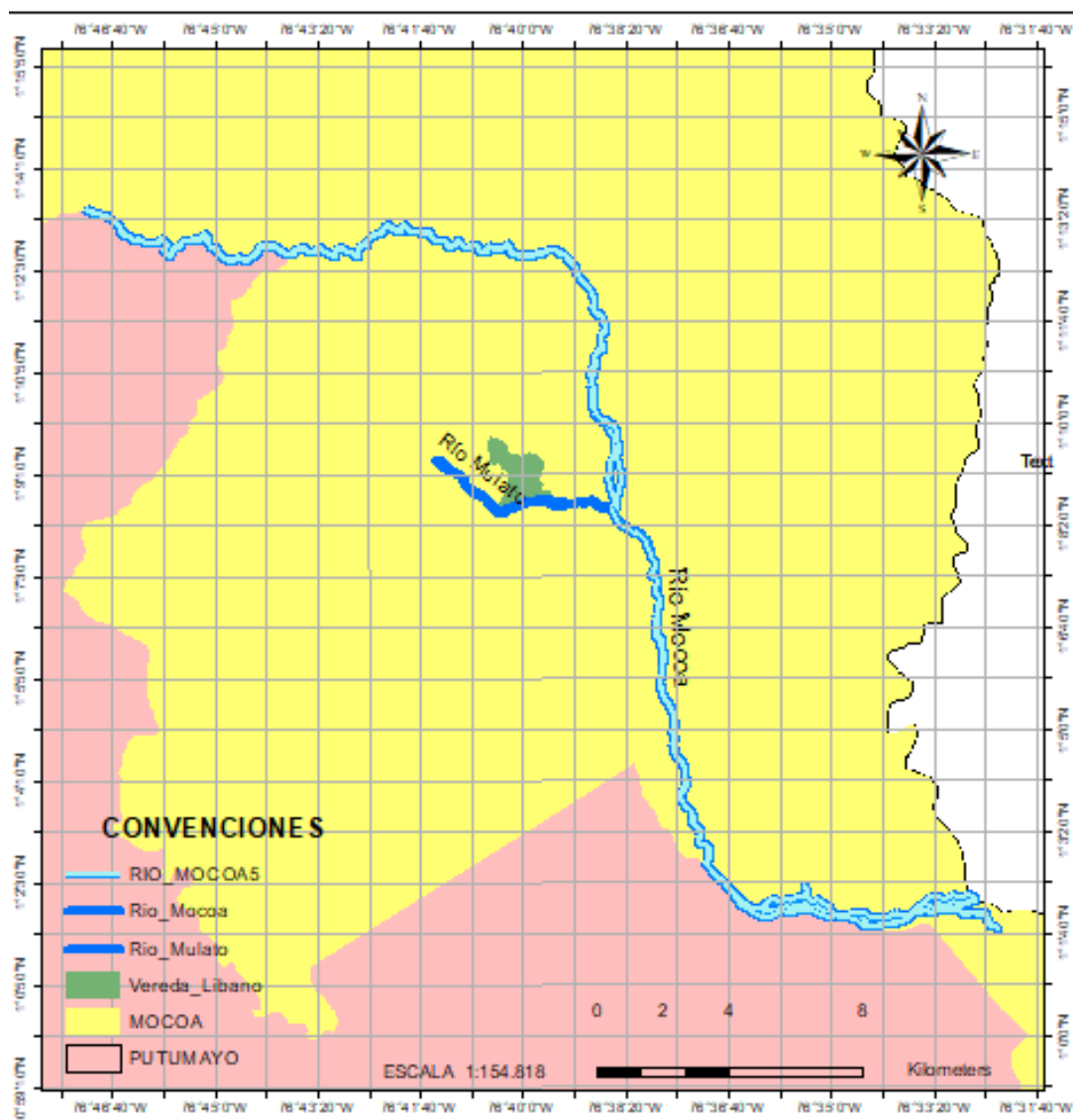


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio.

Para la identificación y caracterización de vertimientos se subdividió la zona en tres partes: zona alta, en la que se ubica la bocatoma del acueducto de la vereda; zona media, donde aparece la primera quebrada tributaria, primer afluente del río Mulato; y zona baja, en su trayecto se encuentra la segunda quebrada tributaria.

Se confirmó un total de 35 vertimientos de aguas residuales, los cuales se detallan en la Tabla 1, clasificados como aguas de tipo doméstico o grises y, aguas negras provenientes de inodoros. Estos dos tipos de aguas residuales se combinaron en varios puntos en un solo tipo de tubería para llegar a su disposición en suelo y/o agua. Además, se verificó la toma del caudal volumétrico, y se clasificó según la zona de ubicación (alta, media, baja), a fin de establecer la magnitud y diferencia de la concentración que se vierte en el río. En seguida se describieron los puntos de mayor perturbación; se estimó el tipo de flujo; medición del material de la tubería; lugar del vertimiento dispuesto; tipo de vertimiento; altitud, y sus respectivas coordenadas. Los puntos de vertimientos se organizaron de manera gráfica en la Figura 2.

Tabla 1. Identificación y caracterización de los vertimientos de la vereda El Líbano.

Fecha	Núm. de monitoreo	Coordenada vertimiento		Tipo de vertimiento		Caudal (l/s)	Lugar de procedencia
		N	W	Intermitente	Continuo		
4/11/2020	1	01° 08' 32.6"	76° 40' 22.8"		X	0.16286645	Vivienda y galpón
4/11/2020	2	01° 08' 33.9"	76° 40' 21.2"		X	0.00449059	Lavadero
4/11/2020	3	01° 08' 34.0"	76° 40' 21.1"		X	0.01807229	Sanitario

Fecha	Núm. de monitoreo	Coordenada vertimiento		Tipo de vertimiento		Caudal (l/s)	Lugar de procedencia
		N	W	Intermitente	Continuo		
4/11/2020	4	01° 08' 38.1"	76° 40' 19.6"	X			Sanitario y lavadero
4/11/2020	5	01° 08' 39.7"	76° 40' 12.5"	X			Sanitario
4/11/2020	6	01° 08' 37.7"	76° 40' 17.0"	X			Sanitario y aguas residuales domésticas grises (ducha)
4/11/2020	7	01° 08' 46.2"	76° 39' 58.3"		X	0.05164934	Sanitario y aguas residuales domésticas
4/11/2020	8	01° 08' 46.3"	76° 39' 58.2"		X	0.00402659	Sanitarios y aguas residuales domésticas
4/11/2020	9	01° 08' 47.6"	76° 39' 57.4"		X	0.02068224	Sanitarios y aguas residuales domésticas
4/11/2020	10	01° 08' 47.2"	76° 39' 56.5"	X			Aguas residuales domésticas grises y sanitarios
4/11/2020	11	01° 08' 47.3"	76° 39' 56.4"		X	0.02519167	Aguas residuales domésticas grises, sanitario
4/11/2020	12	01° 08' 47.5"	76° 39' 56.4"	X			Sanitarios y aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	13	01° 08' 47.1"	76° 39' 56.3"	X			Aguas residuales grises (cocina)
4/11/2020	14	01° 08' 47.5"	76° 39' 56.5"		X	0.00305491	Aguas residuales domésticas y sanitarios
4/11/2020	15	01° 08' 47.4"	76° 39' 56.1"		X	0.03571173	Aguas residuales domésticas grises y sanitarios
4/11/2020	16	01° 08' 47.3"	76° 39' 56.1"	X			Aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	17	01° 08' 47.5"	76° 39' 56.1"	X			Aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	18	01° 08' 47.6"	76° 39' 56.0"	X			Aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	19	01° 08' 47.7"	76° 39' 55.3 "	X			Aguas residuales domésticas grises

Fecha	Núm. de monitoreo	Coordenada vertimiento		Tipo de vertimiento		Caudal (l/s)	Lugar de procedencia
		N	W	Intermitente	Continuo		
4/11/2020	20	01° 08' 47.6"	76° 39' 55.7"	X			Aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	21	01° 08' 47.5"	76° 39' 55.8"		X	0.59535622	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises (lavadero, ducha)
4/11/2020	22	01° 08' 47.9"	76° 39' 55.7"		X	0.16617737	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	23	01° 08' 49.8"	76° 39' 55.6"		X	0.1997071	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	24	01° 08' 49.9"	76° 39' 57.1"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina)
4/11/2020	25	01° 08' 47.2"	76° 39' 53.2"		X	0.6	Aguas residuales domésticas negras
4/11/2020	26	01° 08' 47.2"	76° 39' 53.3"		X	0.00308642	Aguas residuales domésticas negras
4/11/2020	27	01° 08' 47.2"	76° 39' 53.2"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina)
4/11/2020	28	01° 08' 47.1"	76° 39' 53.3"		X	0.2	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises
4/11/2020	29	01° 08' 47.0"	76° 39' 53"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina y lavadero)
4/11/2020	30	01° 08' 46.4"	76° 39' 53.3"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina y ducha)
4/11/2020	31	01° 08' 46.2"	76° 39' 53.3"		X	0.49742995	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises (cocina, lavadero y ducha)
4/11/2020	32	01° 08' 45.9"	76° 39' 53.2"		X	0.13636364	Sanitarios y aguas residuales domésticas grises (cocina, ducha)
4/11/2020	33	01° 08' 45.9"	76° 39' 53.0"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina)

Fecha	Núm. de monitoreo	Coordenada vertimiento		Tipo de vertimiento		Caudal (l/s)	Lugar de procedencia
		N	W	Intermitente	Continuo		
4/11/2020	34	01° 08' 45.6"	76° 39' 54.0"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina y lavadero)
4/11/2020	35	01° 08' 45.4"	76° 39' 52.2"	X			Aguas residuales domésticas grises (cocina y lavadero)



Figura 2. Localización geográfica de vertimientos.

Aforo del río Mulato

La Tabla 2 muestra la medición del caudal. Para ello, se seleccionó un tramo de aproximadamente 20 metros de largo por 12 metros de ancho, que presentó un cauce amplio con alta manifestación de material rocoso, lo cual implica que el río mantenga una fuerte corriente torrencial.

Tabla 2. Caudal (Q) del tramo alto del río Mulato.

Velocidad (V)		Área (A)		Caudal (V * A)
Distancia del recorrido (m)	Tiempo (s)	Profundidad (cm)	Ancho (m)	
20	12.85	14	12	5.119 m ³ /s
20	18.43	26	12	
20	19.64	32	12	
20	21.44	40	12	
20	16.37	41	12	
20	23.06	72	12	
20	20.47	57	12	
20	19.79	56	12	
20	23	48	12	
20	17.85	42	12	
20	24.39	45	12	
20	23.22	40.5	12	
Promedio	20.04	42.79		

Recolección y análisis de muestras

Para evaluar los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, oxígeno disuelto, color y olor, se procedió de manera *in situ*, y los parámetros demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, turbiedad y sólidos suspendidos totales (*ex situ*) de forma puntual. La muestra de cada parámetro *in situ* y *ex situ* mencionados requirió tomar muestras de agua homogenizadas en las zonas alta, media y baja, recolectadas bajo los criterios de colecta establecidos para estos casos. El análisis de dichos parámetros requirió de la toma de muestras de agua en la zona alta, media y baja, a fin de conocer las propiedades fisicoquímicas que estaban siendo alteradas por los vertimientos de la vereda. Los métodos utilizados por el laboratorio LAGSA fueron los dispuestos en la Tabla 3.

Tabla 3. Técnicas para el muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Método	Unidades
pH	SM 4500-H+B	Unidades de pH
Conductividad	SM 2510 B	μS/cm
Demanda química de oxígeno	SM 5220 D	mg O ₂ /l
Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210 B, SM 4500O-C, SM 4500 O-G	mg O ₂ /l
Oxígeno disuelto	ASTM D888 Met C	mg O ₂ /l
Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	mg/l
Temperatura	SM 2550 B	°C
Turbiedad	SM 2130 B	NTU

Muestreo en la zona alta

La zona seleccionada para el primer punto de muestreo fue la bocatoma, fuente de abastecimiento del sistema de acueducto. Se realizó el muestreo *in situ* (a) en el punto seleccionado y *ex situ* (b) en la toma de muestras homogenizadas para los parámetros descritos. Para la DQO, se debieron añadir como conservante 15 gotas de ácido sulfúrico, así la muestra mantuvo un $\text{pH} < 2$.

Muestreo en la zona media

En este punto se identificó la primera quebrada tributaria afluyente del río Mulato que vierte flujos de tipo intermitente. El punto de muestreo de los parámetros se hizo en un caudal medio con poco torrente, sin choque de rocas y profundidad media.

Muestreo en la zona baja

En este sector se reconocieron cerca de 28 vertimientos de flujo continuo e intermitente a lo largo del trayecto de la quebrada. También se observó una serie de perturbaciones, y se confirmó la presencia de vectores, como moscas y malos olores, debido a la descarga de agua residual. En seguida y para tomar los parámetros fisicoquímicos *in situ*, fue necesario hacerlo

unos metros abajo, en la fuente hídrica, a fin de conocer su variabilidad en el río. Se hizo la toma de parámetros *ex situ* (turbiedad, SST, DQO, DBO₅). En la Tabla 4 se registran los datos recolectados en campo.

Tabla 4. Resultados de campo para cada zona del río Mulato.

Ítem	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Punto de muestreo	Bocatoma	Zona media	Zona baja
Fecha (a/m/d)	20/10/2020	20/10/2020	20/10/2020
Latitud (N)	1° 08' 32.1"	01° 08' 38.9"	01° 08' 43.9"
Longitud (W)	76° 40' 20.5"	76° 40' 08.4"	76° 39' 50.3"
pH (unidades de pH)	5.60	5.80	5.67
Temperatura agua (°C)	24.2	24.8	25.2
Conductividad (µS/cm)	67.6	65.2	67.2
Oxígeno disuelto (mg/l)	7.34	7.13	7.19
Olor*	Aceptable	Aceptable	Inaceptable
Color*	< 10	< 10	> 10

*Parámetros organolépticos.

Resultados

Dentro de los datos recogidos en la investigación, en términos de la caracterización de los vertimientos procedentes de la vereda El Líbano y las propiedades fisicoquímicas del río Mulato, se obtuvieron los siguientes resultados.

Se caracterizaron 35 vertimientos procedentes de dos quebradas tributarias, expuestos en la Tabla 1, procedentes de las aguas residuales domésticas.

El caudal evaluado en el río Mulato fue de 5.119 m³/s (se puede observar en la Tabla 2). Según la RAS 2000, en los numerales 3.4.2.6, con este caudal se categoriza como una fuente hídrica ecológica, ya que mantiene un nivel adecuado para la captación de agua dentro del sistema de abastecimiento para consumo humano y, sobre todo, para la permanencia de procesos ecológicos, como es la vegetación ribereña, situada a lo largo del margen de su recorrido. Además, estar situado en una zona Amazónica implica la presencia de altas precipitaciones, lo que genera el aumento del caudal del río y la capacidad de depuración del mismo.

Para el cálculo del caudal se procedió con las siguientes operaciones:

- Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{D}{t} V = \frac{20 \text{ m}}{20.04 \text{ seg}}$$

$$V = 0.998 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

- Cálculo de área:



$$A = \text{profundidad} * \text{ancho}$$

$$A = 0.4279 \text{ m} * 12 \text{ m}$$

$$A = 5.13 \text{ m}^2$$

- Cálculo del caudal (Q):

$$Q = \text{velocidad} * \text{área}$$

$$Q = 0.998 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 5.13 \text{ m}^2$$

$$Q = 5.119 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Los resultados de los análisis *in situ* y *ex situ* en las tres zonas delimitadas para el estudio permitieron comprender el comportamiento de la fuente y las alteraciones generadas por la descarga de aguas residuales domésticas al río Mulato, provenientes de la vereda El Líbano. Los parámetros estudiados fueron:

pH. El agua en las tres estaciones del río Mulato presentó un potencial de hidrógeno (pH) de 5.6 a 5.8 (Figura 3), es decir, una

característica ácida. En las partes alta y baja del río, el pH no varió y se mantuvo en un rango entre 5.60 y 5.67; aunque hubo un incremento del parámetro en la zona media de 5.8, se observó que esta parte del río está expuesta a actividades humanas, como es el caso de la extracción de arena.

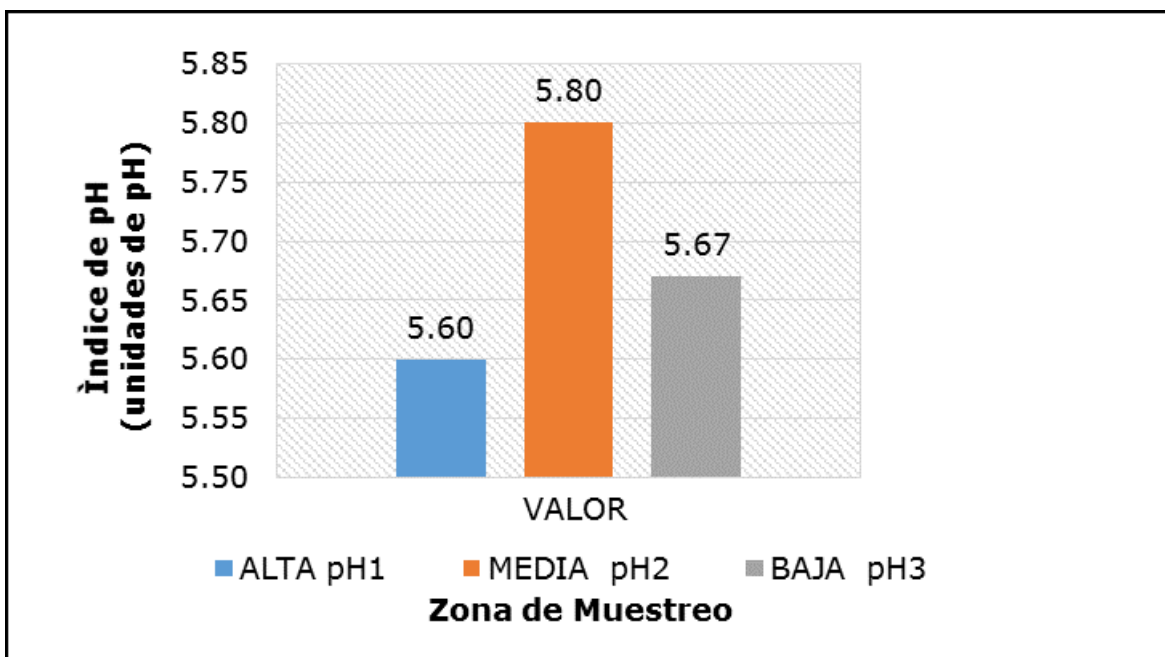


Figura 3. Estimación de variabilidad para el parámetro pH *in situ*.

Conductividad. El valor más alto en relación con las tres zonas (Figura 4) se presentó en la parte alta y baja del río, con un puntaje entre 67.6 y 67.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo este último influenciado por la quebrada tributaria que más afectación presentó en la descarga de vertimientos de aguas residuales. La zona media tuvo un valor bajo, con un 65.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las tres zonas; los valores estipulados quedaron dentro del rango

establecido por la RAS 2000 Título B, con un valor máximo permitido de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

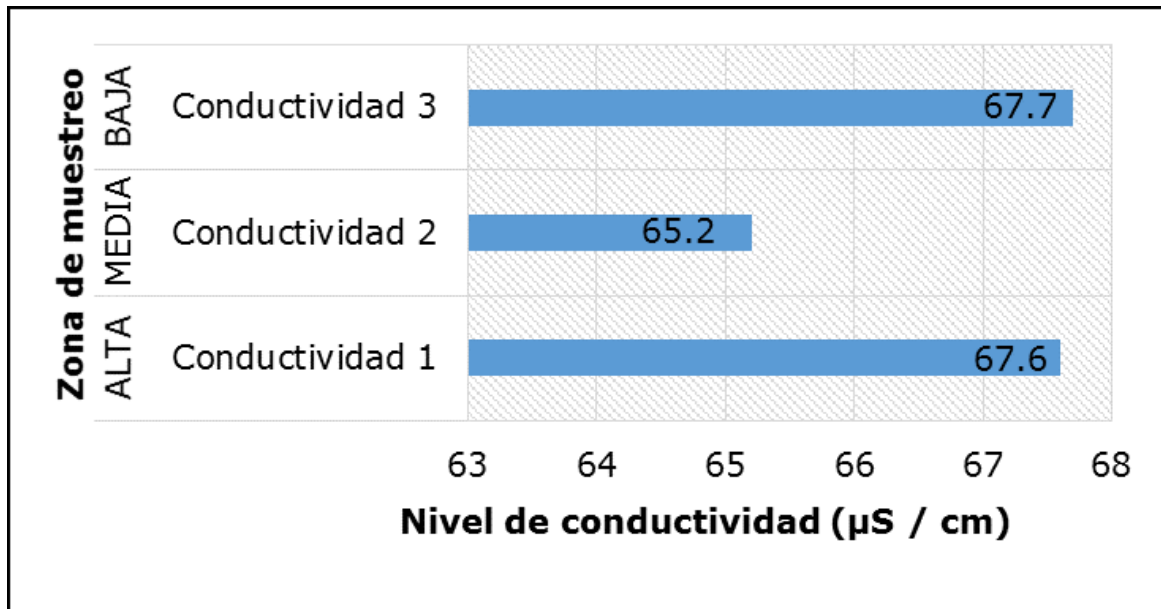


Figura 4. Valoración de conductividad.

Demanda química de oxígeno. En las tres zonas de muestreo se evidenció un equilibrio en la concentración de $< 2 \text{ mg O}_2/\text{l}$, según los análisis de laboratorio. Teniendo en cuenta los datos obtenidos en los tres puntos (Figura 5), el nivel < 2 de DQO está dentro del rango establecido por la Resolución 0631 de 2015, que establece un valor máximo admisible de $200 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Además, a esto se suma la autodepuración del río, ayudado por la presencia de material rocoso y las altas precipitaciones que generan crecimientos súbitos, lo que genera un constante cambio ecológico.

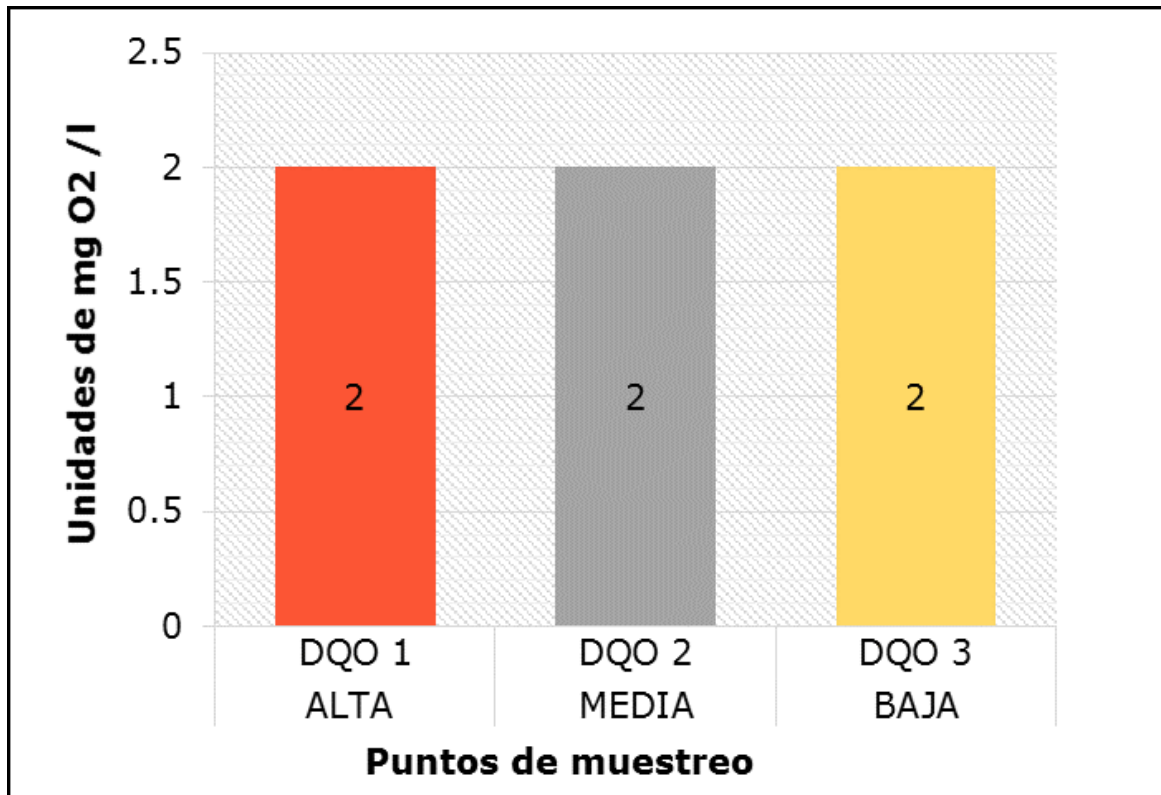


Figura 5. Comparación de parámetro DQO.

Demanda biológica de oxígeno. La tendencia equilibrada que se analizó, evidenció que en los tres puntos de muestreo no existe variabilidad alguna. En relación con los índices dados en las tres estaciones del río Mulato (Figura 6), dichos niveles de DBO₅ se mantuvieron en un equilibrio bajo de < 2, y entre el estándar estipulado por la RAS 2000, los rangos de 1 a 3 mg O₂/l son dados como valores aceptables para la calidad de agua, en este caso, en la zona alta, en donde se encuentra la bocatoma.

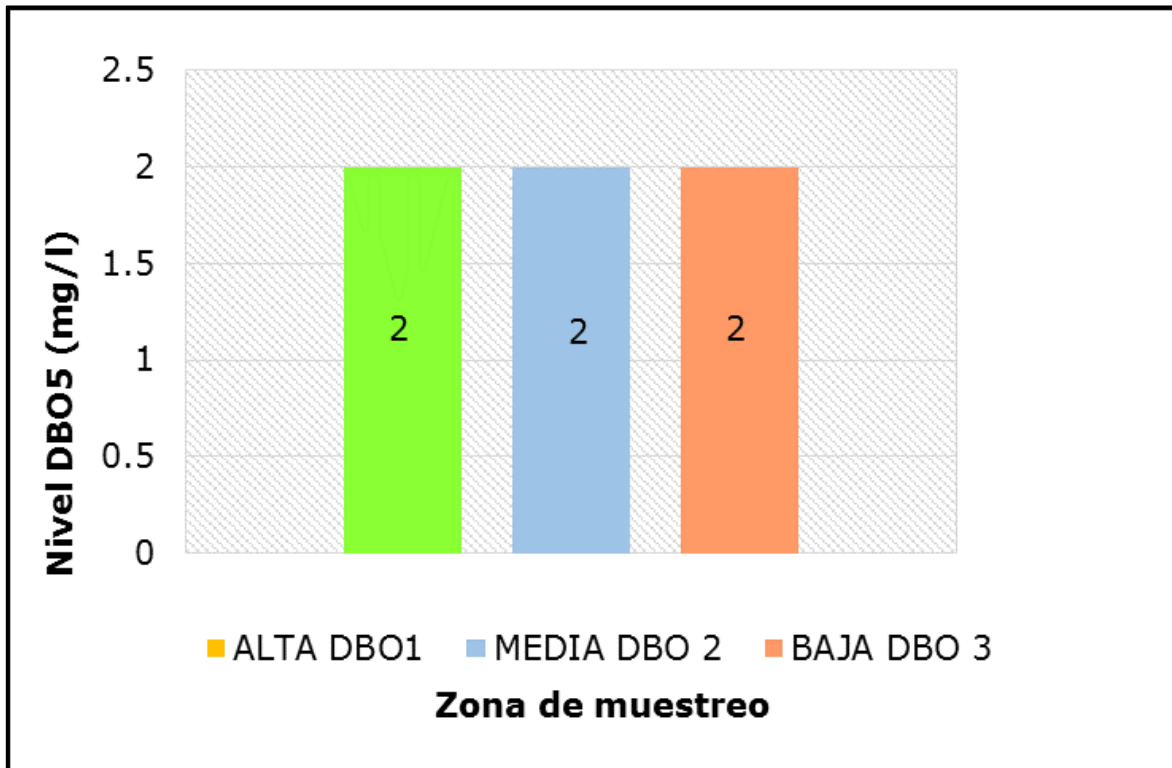


Figura 6. Comportamiento de la DBO₅.

Oxígeno disuelto. Los tres puntos de muestreo en el río Mulato (Figura 7) presentaron un rango entre 7.19 y 7.34 mg/l O₂, siendo el primero el valor más bajo para la primera zona y, el segundo el nivel más alto para el punto en el que se encuentra ubicada la bocatoma. Los balances estadísticos establecieron que con respecto a la resolución 1 096 de 2 000, este parámetro exige un valor admisible ≥ 4.0 para calificar a la fuente como aceptable.

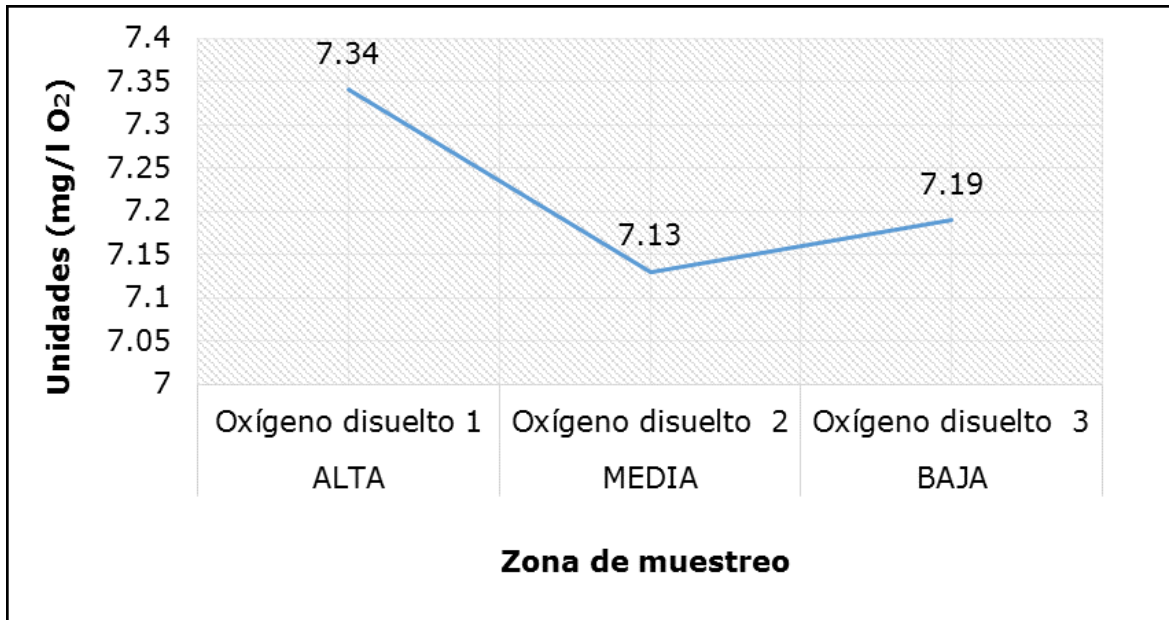


Figura 7. Medición de oxígeno disuelto.

Sólidos suspendidos totales (SST). En la Figura 8 se aprecia que la concentración de este parámetro se ponderó como < 15 mg/l en las tres zonas de muestreo, lo cual evidencia que no hubo variación alguna y sí un valor constante en las tres. Los resultados estimados se encuentran dentro del límite máximo permisible de 100 mg/l.

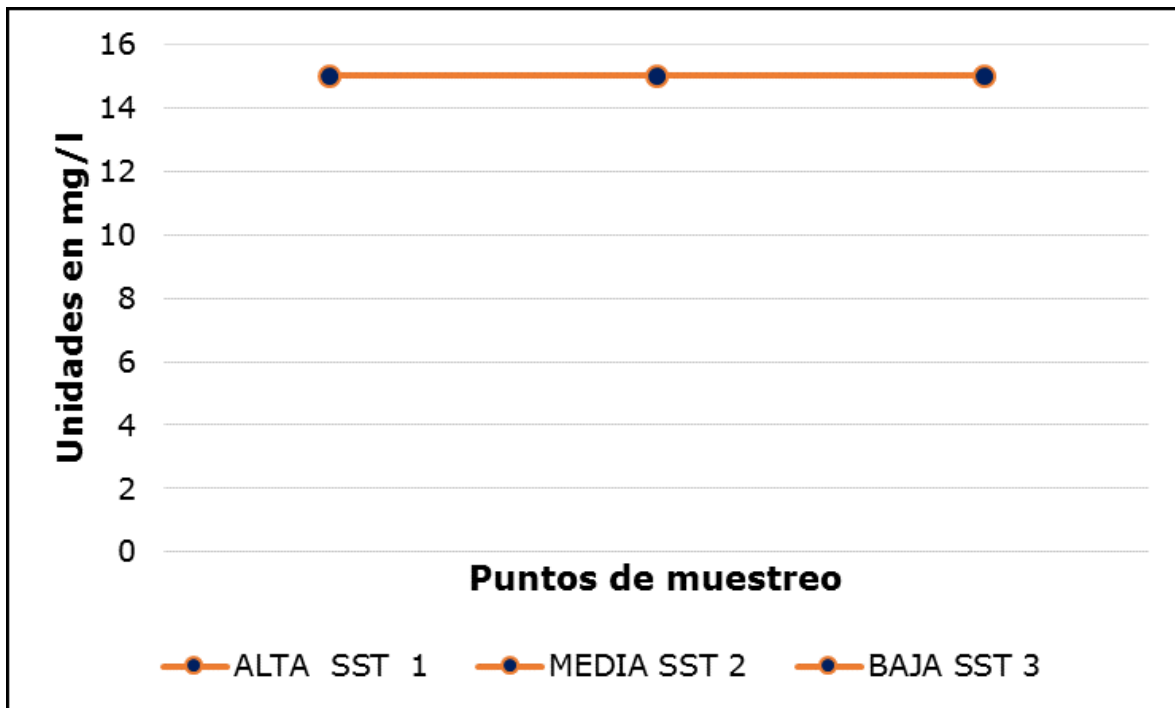


Figura 8. Concentración de STT.

Temperatura. La variación de la temperatura en las tres zonas estudiadas es notable, con respecto del incremento consecutivo de los grados en la fuente hídrica (Figura 9). En la zona alta de la bocatoma, se presenta una temperatura de 24.2 °C, mientras que en la zona media se incrementa en 0.6 °C; es decir, presenta una temperatura de 24.8 °C, con respecto de la primera. Pero en la zona baja se observa el mayor índice de temperatura, con un valor de 25.2 °C, tal vez debido a la falta de vegetación, pues no existe capacidad boscosa. El rango ponderado de la temperatura en las zonas alta, media y baja se encuentra en un nivel óptimo, y en una variable significativa para la estabilidad ecológica del sistema y otros factores.

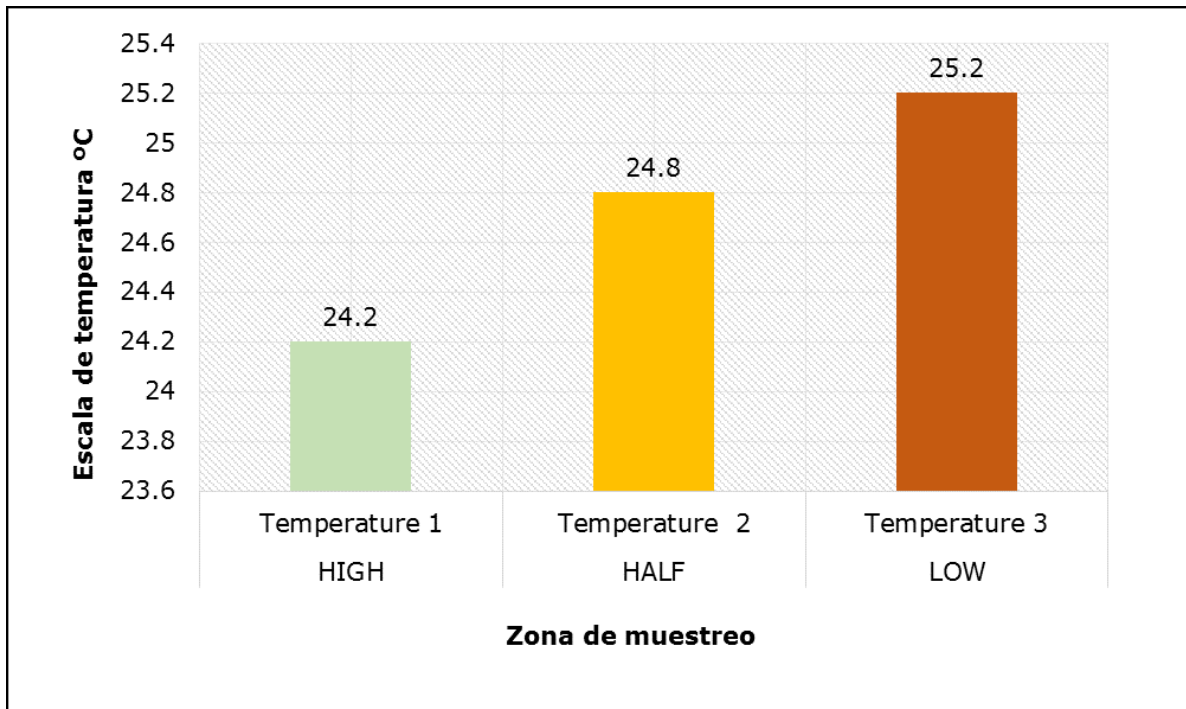


Figura 9. Valores de temperatura para las zonas alta, media y baja.

Turbiedad. La turbiedad evaluada presenta marcadas oscilaciones que varían en las tres zonas de muestreo e indican una vulnerabilidad en la fuente (Figura 10). Referente a este parámetro, el resultado de la turbiedad arrojó valores sobresalientes, pues el río está localizado sobre zona montañosa, bajo la vegetación y clima tropical, razón por la cual las precipitaciones son comunes. En el caso de la zona media, su valor fue de 6.38 NTU, el más alto de los tres puntos; y en la zona baja, de 3.73 NTU, estimación baja que sobrepasa el límite permitido. Si los niveles de turbiedad aumentan, pueden generar una resistencia en los microorganismos, que impediría una correcta desinfección del líquido.

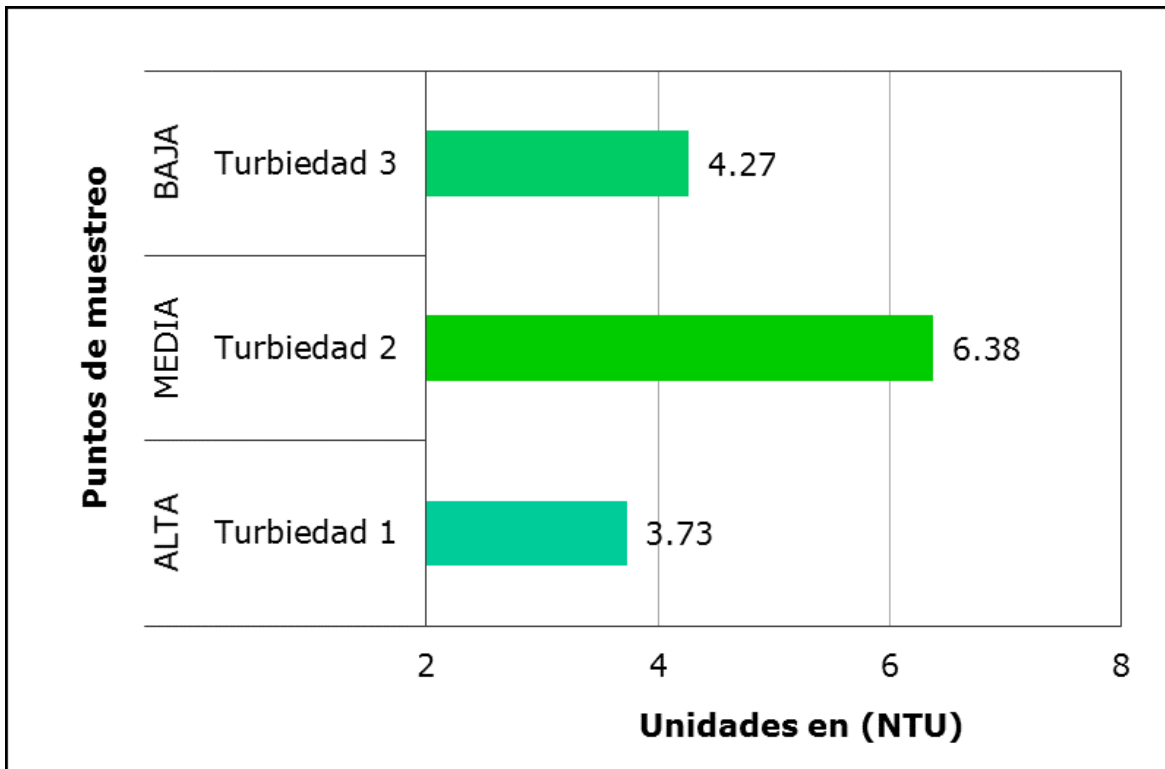


Figura 10. Valores de turbiedad en las tres zonas de muestreo.

Color y olor. El análisis organoléptico evidenció que el parámetro de color en la zona alta y media es aceptable e inaceptable para la zona baja (Figura 11) debido a la perturbación generada por la descarga de aguas residuales en la quebrada. Asimismo, para el parámetro de olor en las zonas alta y media no se presentó alteración alguna; en la zona baja sí se alcanzan a percibir olores desagradables, producto de las aguas residuales que se vierten sin ningún tratamiento.

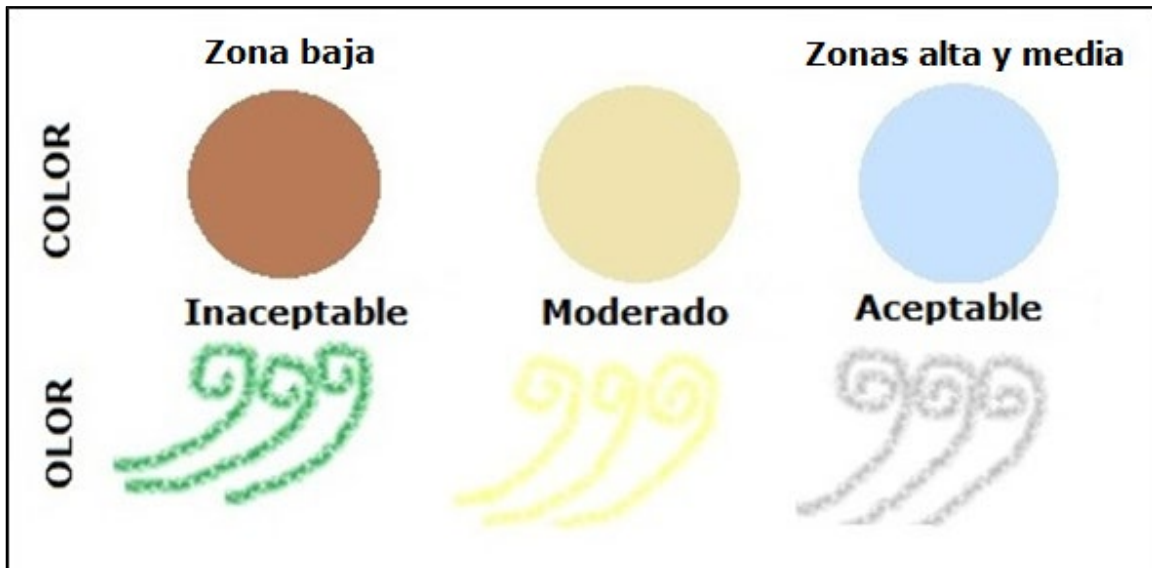


Figura 11. Valores de color y olor en las tres zonas de muestreo.

Índice de calidad del agua para los puntos alto y bajo

Para determinar el índice de la calidad del agua del río Mulato, en las zonas alta y baja se tuvo en cuenta la guía metodológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

La fórmula que se empleó para encontrar el índice de cada parámetro asignado en las estaciones de muestreo fue:

$$ICA_{njk} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde ICA_{njt} es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial, en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables; W_i , el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i ; I_{ikjt} , el valor calculado de la variable i (obtenido al aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente) en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición hecha en el trimestre k del periodo t ; n es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5 o 6, según la medición del ICA que se seleccione.

Esta fórmula se usó para hallar el ICA promedio en las dos zonas muestreadas:

$$ICA \text{ Promedio }_{njt} = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right) / m$$

Donde m es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador $1 \leq m \leq 4$, si el periodo es anual.

Los cálculos realizados se compararon con lo que se determina en la normatividad colombiana, teniendo en cuenta que la fuente hídrica está siendo utilizada como abastecedora de un acueducto. El IDEAM establece descripción cualitativa y cuantitativa (Tabla 5).

Tabla 5. Calificación de calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.00-0.25	Muy mala	Rojo
0.26-0.50	Mala	Naranja
0.51-0.70	Regular	Amarillo
0.71-0.90	Aceptable	Verde
0.91-1.00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM (2015).

El ICA para la fuente hídrica río Mulato se presenta en La Tabla 6. El índice de calidad para la zona alta es de 0.76, y para la baja 0.758, es decir, que según la calificación del ICA, y teniendo en cuenta los parámetros de la Tabla 5 del IDEAM, la calidad del agua se considera aceptable y con señal de alerta verde, no representa peligro para la salud humana; sin embargo, no se hace referencia a un consumo directo, sino que el agua sometida a los tratamientos que establece la normatividad, puede ser utilizada para este fin. Pese a que la referencia del IDEAM y el resultado ICA es favorable, la empresa de acueducto debe tener en cuenta algunas variables, como el crecimiento poblacional, el asentamiento en estas zonas de Mocoa y los escasos recursos de la población rural para la

construcción de pozos sépticos que minimicen el impacto a las fuentes hídricas.

Tabla 6. Valores de índice de calidad de agua para cinco parámetros.

Parámetro evaluador	Unidades de medida	Valor índice de parámetro de la zona alta (Z1)	Valor índice de parámetro de la zona baja (Z2)
pH	Unidad de pH	1	1
Conductividad	μS/cm	0.15	0.15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0.91	0.91
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	0.975	0.975
Oxígeno disuelto	% Saturación	0.74	0.73
Total índice de calidad de agua (ICA)		0.76	0.758
Descriptor de calidad	Aceptable con alerta verde		

Discusión

El río Mulato tiene un caudal de 5.119 m³/s, que favorece el proceso de depuración natural y le permite controlar las cargas contaminantes que le aportan sus dos quebradas tributarias. Por el contrario, los índices biológicos informan sobre la situación momentánea y lo acontecido antes de la toma de muestras. Los medios más estables están muy diversificados, aunque pequeñas alteraciones no afectan la diversidad,

sino que inducen su incremento, porque las especies intolerantes u oportunistas desaparecen o disminuyen (Guzy, 2019). Por tal razón, medir la diversidad es una forma de detectar la contaminación. El problema consiste en hacer corresponder a un cierto valor de índice un significado respecto de la calidad.

El río Mulato presenta un potencial de hidrógeno (pH) entre 5.6 y 5.8. Al compararlo con un estudio realizado en Costa Rica, en el que se analizó el pH para evaluar la calidad de agua para consumo humano en tres sectores, y de acuerdo con Pérez (2016), se encontraron diferencias entre las zonas, estableciendo que “la variabilidad del pH de un sector a otro puede verse influenciada por el tratamiento aplicado al agua o por el tipo de cuenca del cual proviene debido a la riqueza de minerales que ésta posee, lo que altera el potencial de hidrógeno presente en el agua”. En estudios fisicoquímicos realizados por Aguas Mocoa, en el sector Las Palmeras, en la parte alta del río Mulato, se registró un pH de 7.13, que comparado con los datos recogidos, evidencia que la fuente hídrica a medida que se desciende va teniendo una pérdida considerable de este parámetro.

En cuanto a la conductividad, el valor obtenido en la parte alta y baja del río fue 67.6 y 67.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, y coincide con otros estudios referenciados por Aveiga, Noles, De-la-Cruz, Peñarrieta y Alcantara (2019), en los que se afirma que “la mayor conductividad en sitios perturbados ha sido reportada y se asocia con la mayor entrada de materia orgánica, nutrientes y mayor concentración de iones producto del impacto humano y también con la mayor entrada de sedimentos debido a la falta de vegetación ribereña”, y coincide con Sulbarán-Rangel,

Madrigal-Oliveira, Romero-Arellano y Guzmán-González (2019), cuando afirman que “La conductividad tuvo valores altos en estaciones de monitoreo en las que hubo presencia de aguas residuales”. Dos meses después de las tomas realizadas en la vereda El Líbano, la empresa de acueducto realizó estudios fisicoquímicos en la parte de arriba del río Mulato, sector Las Palmeras, en los que la conductividad tuvo un valor de 164.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$; estas variaciones pudieron ser influidas por el horario en el que se tomó la muestra y la zona alta de la fuente hídrica rodeada por montaña.

Respecto al oxígeno disuelto, hubo diferencia entre las zonas de muestreo, que osciló en un rango entre 7.19 y 7.34 mg/l O_2 ; el nivel más alto se registró en la zona donde se encuentra la bocatoma; estos resultados se compararon con el estudio llevado a cabo en Ecuador, en el que se estableció el impacto ambiental generado por el vertimiento de aguas residuales en la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, los valores más bajo de la constante de consumo de oxígeno y de reoxigenación, respectivamente, y que indican los tramos del río en los cuales la capacidad de autodepuración fue menor (Gutiérrez, 2018). De la misma manera, en el estudio de impacto de las aguas residuales del municipio de Ayapel en calidad de agua de la Ciénaga se establecieron zonas de muestreo y se tuvieron presentes las variaciones horarias (Chalarca, Mejía, & Aguirre, 2006), considerando que las diferencias temporales horarias en las concentraciones de OD sí son representativas. Sin embargo, autores como Pérez, Nardini y Galindo (2018), cuestionando los requerimientos establecidos por la OMS, afirman que niveles ideales

de oxígeno disuelto de 14.6 mg/l evidentemente es una exigencia adicional extrema; este valor solo es posible a temperatura de 0 °C.

En referencia a la temperatura, la zona baja presentó un incremento de 0.7 °C con relación a la zona alta; De acuerdo con Chatanga, Ntuli, Mugomeri, Keketsi y Chikowore (2019), el aumento de temperatura podría deberse al hecho de que el segmento del río en ese tramo es más abierto y menos profundo, lo que permite un mayor intercambio de calor con la atmósfera. Teniendo en cuenta a Posada, Mojica, Pino, Bustamante y Monzón (2013), "Existe abundante evidencia de que la temperatura de una corriente de agua, bajo condiciones de equilibrio, está relacionada con la temperatura del aire ambiente en una forma propia para cada corriente considerada, con un comportamiento que se ajusta a una línea de tendencia que en algunos casos puede ser lineal y en otros tiene un comportamiento un poco más complejo".

Los niveles de DBO₅ se mantuvieron en un equilibrio. De acuerdo con Gualdrón (2018), resultados de la investigación realizada a los ríos de Colombia en 2016, señalan que la demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO₅) presentó un valor promedio de 6.7 mg/l, considerándose dentro del límite permisible para calidad de agua para hábitat de peces. Los diferentes estudios han considerado que las variaciones en el DBO₅ se deben a las descargas de aguas residuales, teniendo en cuenta a Jaramillo *et al.* (2016). La variación mensual de la DBO₅ presenta valores máximos en los abril y mayo, meses en los que se realiza la cosecha principal de café en la región. Esto implica una mayor generación de carga contaminante (2.3 ton DBO₅ /día). Por otro lado, Cerdeña, Lázaro y Vàsquez (2014), en el estudio de contaminación de las aguas del río Itaya

en el Perú, evidenciaron que el cociente de DBO_5/DQO en el puerto Masusa es de 0.46 y el del río Amazonas es de 0.5, considerando que en ambos casos la materia orgánica presente en las aguas es fácilmente biodegradable.

Escobal, Chávez y Roncal (2020) refieren que el agua con abundantes sólidos no suele ser potable y puede inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Tal como lo hacen notar Aveiga *et al.* (2019), la más alta concentración de sólidos totales (360 mg.l^{-1}) fue encontrada en el punto control (Azucena), lo que se relaciona con la alta concentración de sulfatos (212 mg.l^{-1}); mientras que para los sólidos suspendidos (SS), la tendencia fue de incremento a nivel del embalse (zona 2) y la subcuenca (zona 3). Esto evidenció la incorporación de sedimentos y aguas residuales provenientes de actividades domésticas a lo largo del curso de agua.

La turbiedad tuvo variaciones en las tres zonas, en palabras de Rodríguez, Polania, Zapata, Villegas y Montañez (2019), según la normatividad colombiana, sobre una gran cantidad de ríos de esta nación se presentan partículas en suspensión que reducen la transparencia del agua, la cual es exhibida por los procesos de arrastre y remoción de tierra, y los vertimientos de tipo industrial y/o urbano.

En el departamento del Putumayo no existen artículos publicados que hagan referencia a investigaciones similares, no obstante, se dispone de alguna literatura gris que se utilizó como insumo para generar el contraste con los resultados obtenidos. Así, Muñoz (2017), en el estudio realizado con la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía Colombiana (Corpoamazonia), los parámetros fisicoquímicos

pH y conductividad fueron bajos con respecto a los analizados en la presente investigación; caso contrario para el oxígeno disuelto, el cual adquirió un aumento significativo en los análisis efectuados. Referente al estudio citado, el pH en la parte alta tuvo un valor de 7.37, y 5.60 unidades de pH para los resultados actuales. Un factor que pudo generar esta disminución es la alta cantidad de material rocoso y el tipo de suelo presente en la fuente hídrica, lo que posibilita una mayor disolución de sus componentes en el agua como el aluminio, otro aspecto a considerar es la presencia de materia orgánica. Al respecto, Barahona-Palomo y Beita-Sandi (2011) afirman que la concentración de ésta genera un control en el pH en correlación, que con la disolución del aluminio provocará una liberación de H⁺, reduciendo el pH en el agua.

Otro parámetro que evidenció cambios fue la conductividad. Los valores que mostraron diferencia significativa se obtuvieron en la parte media de la fuente 93 para el estudio citado y 65.2 mS/cm, respectivamente, siendo una de las variables incidentes el caudal del río Mulato, equivalente a 1.462 y 5.119 l/s. La conductividad obtenida fue mayor en relación con el estudio realizado por Muñoz (2017), lo cual se puede atribuir a que el estudio de este último se realizó días después de una avenida fluviotorrencial presentada en la zona y la presente investigación tres años después de dicho evento. Además, la conductividad mostró una reducción ocasionada por el aumento de iones en la fuente, originado por el incremento de la precipitación presente en la zona (Morell-Bayard, Bergues-Garrido, & Portuondo-Ferrer, 2015).

Los agentes que pudieron provocar el alza del oxígeno disuelto son las precipitaciones, la luz solar y la vegetación amazónica presente

alrededor del río, ya que la relación entre ellas promueve una subida de oxígeno en el agua, así lo aseguran Muñoz *et al.* (2015), quienes resaltan que la radiación solar aumenta la temperatura del agua y por ende una mayor fotosíntesis en el lecho del río; por tanto, el oxígeno disuelto es mayor que el consumo. Para el caso del río Mulato, se comparó la parte alta. Los valores fueron 5.09 mg/l para el estudio citado y 7.34 mg/l registrada en la presente investigación.

Conclusiones

El río Mulato recibe las descargas de aguas residuales de dos quebradas ubicadas en las coordenadas 01° 08' 39.7" N y 76° 40' 12.5 "W para la primera quebrada, y 01° 08' 47.2" N y 76° 39' 53.2 "W para la segunda. Se evidencia que aunque existe cierto grado de turbidez y contaminación, la calidad del agua del río Mulato no presenta un impacto ambiental grave, gracias a la acción de autodepuración natural y la influencia del material rocoso que recorre su caudal. Las quebradas tributarias no descargan igual cantidad de carga contaminante y por no persistir una alteración directa no se evidencia si existe un impacto indirecto, a pesar de los vertimientos en las tres zonas objeto de estudio.

La falta de alcantarillado público impide que la comunidad adelante una correcta gestión y disposición de las aguas residuales, y que las viertan en las quebradas, sin tener en cuenta la importancia ecológica que representan. En el marco de la gestión integral del recurso hídrico, la comunidad tiene una corresponsabilidad en el manejo de las aguas residuales; sin embargo, las diversas investigaciones advierten que los

recursos económicos no les permiten construir pozos sépticos que podrían minimizar el problema. Por tal razón, esta investigación considera que en atención a los intereses ambientales y la disposición de recursos, la implementación de los programas de reconversión del agua, la sensibilización ambiental y el aprovechamiento de los residuos de las actividades económicas de la comunidad de la vereda El Líbano son alternativas que se pueden trabajar de manera eficiente en un proceso articulado entre la academia, comunidad e institucionalidad.

La no potabilización de agua y la ausencia de planta de tratamiento de aguas residuales y alcantarillado público en Mocoa, capital del departamento del Putumayo, aunado a la inexistencia de información publicada a manera de productos de nuevo conocimiento inherentes a estudios de calidad de agua en la región, convierten el presente artículo en un acervo bibliográfico con un aporte valioso para que la comunidad implemente acciones acordes con sus recursos y que garanticen la sostenibilidad del agua.

Agradecimientos

Al Grupo de Investigación en Recursos Naturales Amazónicos y al Semillero de Investigación Hinchas del Medio Ambiente del Instituto Tecnológico del Putumayo.

Referencias

- Aveiga, A. M., Noles, P., De-la-Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcantara, F. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*, 10(3), 30-41. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n3.423>
- Barahona-Palomo, M., & Beita-Sandi, W. (2011). Físico-química de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón, península de Osa, Costa Rica. *Revista de Investigación UNED*, 2(2), 157-179. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>
- Barrera, D. V. (2017). *El monitoreo de la calidad del agua en ríos caudalosos de Colombia* (pp. 1-15). Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16477/BARRERANI%C3%91ODERLYVIVIANA2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Briseño, H., & Rubiano, J. (2018). El servicio de agua potable para uso residencial. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 235-242. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.682>
- Buelow, E., Gaschet, M., Lourenço, J., Kennedy, S. P., Rico, A., Wiest, L., Ploy, M. C., & Dagot, C. (2020). Hospital discharges in urban sanitation systems: Long-term monitoring of wastewater resistome and microbiota in relationship to their eco-exposome. *Water Research X*, 7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100045>

- Cerdeña, C. P., Lázaro, W., & Vásquez, A. (2014). Contaminación de las aguas del río Itaya por las actividades portuarias en el Puerto Masusa, Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica*, 100-105. DOI: <https://doi.org/10.22386/ca.v4i1.73>
- Chatanga, P., Ntuli, V., Mugomeri, E., Keketsi, T., & Chikowore, N. V. (2019). Análisis de la situación de la calidad fisicoquímica, bioquímica y microbiológica del agua a lo largo del río Mohokare, Lesotho. *La Revista Egipcia de Investigación Acuática*, 45(1), 45-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.12.002>
- Chalarca, D. A., Mejía, R., & Aguirre, N. J. (2006). *Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga*. (pp. 41-58). Recuperado de <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fwww.redalyc.org%2Farticulo.oa%3Fid%3D43004004>
- Corpoamazonia, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía. (2010). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca alta del río Putumayo*. Recuperado de https://www.corpoamazonia.gov.co/images/Publicaciones/11%202010_Pomca_cuenca_alta_rio_Putumayo/7%202010_POMCA_Cuenca_alta_Rio_Putumayo.pdf
- Corpoamazonia, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía. (2011). *Caracterización ambiental plan departamental de agua departamento de Putumayo*. Recuperado de http://www.corpoamazonia.gov.co/files/documento_putumayo.pdf

- Domínguez, E. A., Rivera, H. G., Vanegas, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 32(123), 195-212. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Efrain-Dominguez-Calle/publication/228463075_Demanda-oferta_de_agua_y_el_indice_de_escasez_de_agua_como_herramientas_de_evaluacion_del_recurso_hidrico_colombiano/links/00b4952f3daff28cd2000000/Demanda-oferta-de-agua-y-
- Escobal, L., Chávez, G. E., & Roncal, M. R. (2020). Eficiencia del tejido vegetal de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* (F. Ritter) Ostolaza y *Espostoa mirabilis* F. Ritter (*Cactaceae*) en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas-Amazonas. *Arnaldoa*, 27(1), 157-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27108>
- García, F. R. (2018). Aguas residuales urbanas y sus efectos en la comunidad de Paso Blanco, municipio de Jesús María, Aguascalientes. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(16), 267-293. DOI: <https://doi.org/10.21696/rcsl9162018760>
- Gutiérrez, L. S. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Centro Azúcar*, 45(1), 73-83. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000100008

- Guzy, J. H. (2019). Respuestas diferenciales de conjuntos de anfibios y reptiles al tamaño de las zonas de amortiguamiento ribereñas dentro de los bosques gestionados. New York. *EcolAppl*, 29. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1995>
- Gualdrón, D. L. (2018). Evaluación de la calidad de agua de los ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 83-102. DOI: <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Hernández, U., Pinedo, J., Paternina, R., & Marrugo, J. L. (2021). Evaluación de calidad del agua en la quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 24(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/E_NA_2014.pdf
- Jaramillo, M. F., Cardona D. A., & Galvis, A. (2020). Reutilización de las aguas residuales municipales como estrategia de prevención y control de la contaminación hídrica. Caso de estudio: cuencas de los ríos Bolo y Frayle (Colombia). *Ingeniería y Competitividad*, 22(2). DOI: <https://doi.org/10.25100/iyc.v22i2.9412>

- Jaramillo, M. F., Galvis, A., Escobar, M., Fomi, L., David, P., Siebel, J., Lozano, G., Rodríguez, C., Castaño, J., & Sabas, C. (2016). Integración de los modelos WEAP y QUAL2K para la simulación de la calidad agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: cuenca del río La vieja, Colombia. *Aqua-LAC*, 8(2), 14-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.29104/phi-aqualac/2016-v8-2-02>
- Morell-Bayard, A., Bergues-Garrido, P., & Portuondo-Ferrer, E. (2015). Valoración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río San Juan en los periodos húmedo y seco de 2014. *Ciencia en su PC*, 1, 1-12. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181338814001>
- Muñoz, H., Osorio, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5), 59-74. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000500005&lng=es&tlng=es
- Muñoz, Y. L. (2017). *Evaluación de índice de escasez del agua superficial neta y análisis de la calidad del agua en la microcuenca el Mulato del municipio de Mocoa Putumayo*. Recuperado de <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/1731>
- Oñate, H. C., & Cortés, G. Y. (2020). Estado del agua del río César por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col. *Tecnura*, 24(65), 39-48. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15766>

- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pérez, J., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis comparativo de índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia. *SciELO Analytics*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46146927009>
- Posada, E., Mojica, D., Pino, N., Bustamante, C., & Monzón, A. (2013). *Establecimiento de índices de calidad ambiental de DYNA*, 192-200. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/38234/42275>
- Rodríguez, S. C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 99-112. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284/37827>
- Rodríguez, J., Polania, A., Zapata, E., Villegas, P., & Montañez, M. N. (2019). Caracterización físicoquímica del agua de la quebrada La Toma de la ciudad de Neiva, Huila, Tolima, Colombia. *Teknos*, 27-36. Recuperado de <https://dialnet.uniroja.es/servlet/articulo?codigo=7444773>

- Salma, K. S., Hossain, A. K., Hussain, S. Z., & Hasan, N. (2020). Utilización de langostinos para reducir el valor de DBO y DQO de aguas residuales textiles. *Ingeniería y Tecnología más Limpia*, 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100021>
- Sulbarán-Rangel, B. C., Madrigal-Oliveira, A. E., Romero-Arellano, V. H., & Guzmán-González, C. A. (2019). Nanomateriales celulósicos para la adsorción de contaminantes emergentes. *Tecnura*, 23(62), 13-20. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15451>
- Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*, 18, 115-129. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5688315>
- UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres. (2018). *Diagnóstico socioterritorial de las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas la Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa-Putumayo*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27207/Productos_Mocoa3_Diagn%C3%B3stico_Socioterritorial.pdf?sequence=2&isAllowed=y