

IMPLICACIONES SOCIOAMBIENTALES DE LOS VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA QUEBRADA LA MISIÓN, MOCOA (PUTUMAYO, COLOMBIA)

Socio-environmental Implications of Wastewater Discharges in the La Misión Stream, Mocoa (Putumayo, Colombia)

José Luis Gaviria Daza
Daniel José Barón Zarate
Lady Xiomara Sánchez Pachón
Lorena Agudelo Obando
Iván Camilo Sánchez Rojas
Institución Universitaria del Putumayo, Colombia

JOSÉ LUIS GAVIRIA DAZA

INGENIERO AMBIENTAL. MIEMBRO DEL SEMILLERO HINCHAS DEL MEDIO AMBIENTE, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DEL PUTUMAYO (COLOMBIA). GAVIRIADAZA@GMAIL.COM.
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-5541-6423](https://orcid.org/0000-0001-5541-6423)

DANIEL JOSÉ BARÓN ZARATE

MIEMBRO DEL SEMILLERO HINCHAS DEL MEDIO AMBIENTE, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DEL PUTUMAYO (COLOMBIA). DAJOZARATE99@GMAIL.COM.
[HTTPS://ORCID.ORG/0009-0009-9418-4245](https://orcid.org/0009-0009-9418-4245)

LADY XIOMARA SÁNCHEZ PACHÓN

INGENIERA AMBIENTAL. TECNÓLOGA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL. MIEMBRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS AMAZÓNICOS. MIEMBRO DEL SEMILLERO HINCHAS DEL MEDIO AMBIENTE, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DEL PUTUMAYO (COLOMBIA). LADYXIOMARASANCHEZ16@GMAIL.COM. [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-0641-4231](https://orcid.org/0000-0003-0641-4231)

LORENA AGUDELO OBANDO

LICENCIADA EN FILOSOFÍA E HISTORIA. ESPECIALISTA EN DOCENCIA UNIVERSITARIA. MIEMBRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS AMAZÓNICOS, DIRECTORA DEL SEMILLERO HINCHAS DEL MEDIO AMBIENTE, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DEL PUTUMAYO (COLOMBIA). LORENA.AGUDELO@ITP.EDU.CO.
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-1627-3401](https://orcid.org/0000-0003-1627-3401)

IVÁN CAMILO SÁNCHEZ ROJAS

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA. ESPECIALISTA EN PEDAGOGÍA. MIEMBRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL (GIPSA), UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA (COLOMBIA). IVANCAMILOSANCHEZ8@GMAIL.COM.
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-5959-6695](https://orcid.org/0000-0001-5959-6695)

RESUMEN

Objetivo: Este artículo de investigación tuvo como propósito examinar las implicaciones socioambientales de los vertimientos de aguas residuales en la quebrada La Misión, Mocoa (Putumayo, Colombia), mediante el análisis de la calidad del agua con parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

Materiales y métodos: El estudio se desarrolló entre septiembre y octubre en la microcuenca de la quebrada La Misión, en una zona de alta pluviosidad amazónica. La fuente hídrica se dividió en tres tramos (alto, medio y bajo), identificando y georreferenciando 58 puntos de vertimiento. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, turbidez, alcalinidad, DBO₅, DQO, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), además del cálculo del ICOMO.

Resultados: A lo largo del cauce se evidenciaron descargas domésticas, con mayor concentración en el tramo medio. El pH presentó valores entre 3,26 y 5,52, indicando acidez; el oxígeno disuelto osciló entre 1,25 y 5,92 mg O₂/L, y la turbidez alcanzó 11 NTU. Los coliformes superaron los límites permisibles, mientras que el ICOMO reflejó un nivel de contaminación orgánica medio.

Conclusiones: La quebrada presenta deterioro ambiental asociado a vertimientos sin tratamiento, lo que reduce su capacidad de autodepuración y afecta la calidad del agua. La acidez puede estar influenciada por las condiciones del suelo y las descargas domésticas. Esta situación representa riesgos para la salud pública, evidenciados en los 2924 casos de enfermedades diarreicas reportados en Mocoa, lo que resalta la necesidad de fortalecer el saneamiento y la gestión del recurso hídrico.

PALABRAS CLAVE: aguas residuales, calidad del agua, contaminación hídrica, impacto socioambiental, vertimientos.

ABSTRACT

Objective: This research article aimed to examine the socio-environmental implications of wastewater discharges into the La Misión stream, Mocoa (Putumayo, Colombia) by analyzing water quality using physicochemical and microbiological parameters, as well as the organic matter pollution index (ICOMO).

Materials and methods: The study was conducted between September and October in the La Misión stream micro-basin, located in a high-rainfall area of the Amazon rainforest. For this purpose, the water source was divided into three sections (upper, middle, and lower), where 58 discharge points were identified and georeferenced. Physicochemical parameters (pH, temperature, turbidity, alkalinity, BOD₅, COD,

dissolved oxygen, and total suspended solids) and microbiological parameters (total and fecal coliforms) were evaluated, in addition to calculating the ICOMO.

Results: Domestic wastewater discharges were observed along the stream, with the highest concentration in the middle section. The pH ranged from 3.26 to 5.52, indicating acidity; dissolved oxygen ranged from 1.25 to 5.92 mg O₂/L, and turbidity reached 11 NTU. Moreover, coliforms exceeded permissible limits, while the ICOMO index reflected a medium level of organic contamination.

Conclusions: The stream exhibits environmental degradation associated with untreated wastewater discharges, which reduces its self-purification capacity and adversely affects water quality. In particular, acidity may be influenced by soil conditions and domestic wastewater discharges. Ultimately, this situation poses risks to public health, as evidenced by the 2,924 cases of diarrheal diseases reported in Mocoa, thereby highlighting the need to strengthen sanitation and water resource management.

KEYWORDS: wastewater, water quality, water pollution, socio-environmental impact, discharges.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los ecosistemas por actividades antropogénicas ha incrementado en las últimas décadas, lo cual ha afectado la calidad ambiental y el bienestar de las comunidades (Cuadros Segura et al., 2021). El recurso hídrico, esencial para la vida, se encuentra entre los más vulnerables a esta presión, principalmente por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, lo que deteriora sus características fisicoquímicas y microbiológicas (Villegas y Saldaña, 2023). En la Amazonia colombiana, la limitada cobertura de saneamiento y la presión demográfica sobre las fuentes hídricas incrementan el riesgo de contaminación y la exposición a enfermedades de origen hídrico (Sánchez, 2017).

En países en desarrollo, entre el 80 y el 90 % de las aguas residuales son descargadas sin tratamiento en cuerpos de agua, generando impactos ecológicos, sociales y económicos, como la degradación de ecosistemas acuáticos, la pérdida de biodiversidad y la afectación de actividades productivas (Sáenz-Arias et al., 2023). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 80 % de los conflictos relacionados con el agua se deben a su contaminación o disponibilidad limitada, lo que repercute en la gobernanza del recurso y la sostenibilidad de los territorios (OMS, 2023a).

En Colombia, menos del 15 % de las aguas residuales reciben tratamiento adecuado, lo que favorece la presencia de contaminantes microbiológicos en fuentes hídricas utilizadas para actividades domésticas y productivas (Camacho Botero, 2020). De acuerdo con ello, la evaluación de la calidad del agua se fundamenta en el cumplimiento de los límites permisibles establecidos en las resoluciones 631 de 2015 y 2115 de 2007, las cuales regulan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos asociados a vertimientos y agua para consumo humano (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2015; Ministerio de la Protección Social, 2007).

La Amazonia colombiana presenta condiciones ambientales particulares, con precipitaciones anuales entre 2800 y 3200 mm, que influyen en la dinámica hidrológica y en la dilución o concentración

de contaminantes en los cuerpos de agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). Estas condiciones resaltan la importancia de considerar la variabilidad climática en el diseño de estudios de calidad hídrica, con el fin de garantizar la representatividad de los datos obtenidos.

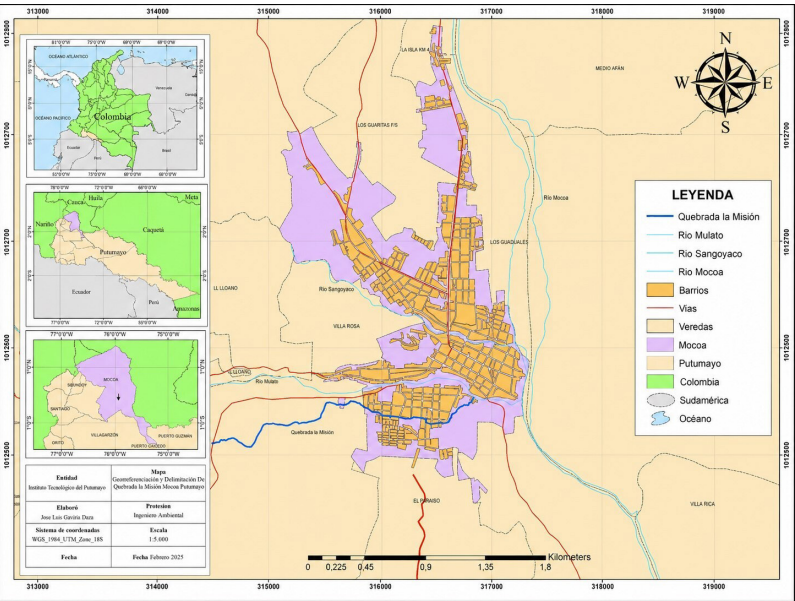
En este contexto, resulta relevante considerar que las condiciones naturales de los suelos amazónicos, particularmente en el departamento del Putumayo, presentan una tendencia ácida que puede influir en la calidad del agua. Estudios en fuentes hídricas cercanas, como el río Mulato en Mocoa, han evidenciado valores de pH entre 5,6 y 5,8, reflejando esta característica regional (Agudelo et al., 2023). Sin embargo, valores de pH extremadamente bajos, como los identificados en este estudio, no son habituales en aguas residuales domésticas, que suelen presentar condiciones cercanas a la neutralidad. Por ello, se plantea como hipótesis que la acidez observada puede estar asociada tanto a las características naturales del entorno amazónico como a posibles aportes antrópicos, lo que hace necesario un análisis detallado para su adecuada interpretación.

En el departamento del Putumayo, ningún municipio cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales. En particular, en el municipio de Mocoa, la falta de un sistema de alcantarillado adecuado ocasiona que las descargas domésticas se viertan directamente en los cuerpos de agua (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2018). En este sentido, esta investigación se orientó a la caracterización de los vertimientos que llegan a la quebrada La Misión, con el fin de evaluar su calidad fisicoquímica y microbiológica mediante el uso del ICOMO. Este estudio busca aportar evidencia científica para la gestión del recurso hídrico y la toma de decisiones en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con agua limpia y saneamiento (ODS 6).

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la microcuenca de la quebrada La Misión (figura 1), ubicada en el suroccidente de Mocoa,

departamento del Putumayo (1°08'57" N, 76°38'47" O). Para su análisis, la fuente hídrica se subdividió en tres secciones: parte alta (nacimiento fuente hídrica); parte media (mayor presencia de asentamientos); y parte baja (desembocadura en el río Mulato).



Nota. Ubicación geográfica de la microcuenca de la quebrada La Misión en el municipio de Mocoa (Putumayo, Colombia).
Fuente: elaboración propia (2025).

Figura. Localización geográfica de la quebrada La Misión

Tabla 1. Vertimientos en la quebrada La Misión

N° de Vertimientos	Coordenada		Tipo		Origen	Observación
	Latitud N	Longitud W	Intermitente	Continuo		
5	1,1419	76,64904	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
4	1,14189	76,6487	X		Doméstico	Manguera 2"

Continúa...

6	1,14188	76,64848	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
3	1,14183	76,64837	X		Doméstico	Canaleta zinc
5	1,14196	76,6483	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
3	1,14198	76,64835	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
2	1,14184	76,64824	X		Doméstico	Manguera 4"
4	1,14196	76,64857	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
5	1,14192	76,64874	X		Doméstico	Canaleta zinc
3	1,14197	76,64869	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
3	1,14188	76,6487	X		Doméstico	Manguera 2"
4	1,14187	76,6492	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
3	1,14198	76,6484	X		Doméstico	Tubo PVC 2"
4	1,14193	76,6486	X		Doméstico	Manguera 2"

Nota: Caracterización de puntos de vertimiento en la quebrada La Misión, incluyendo coordenadas geográficas, tipo de descarga, origen y condiciones de vertimiento.

Fuente: elaboración propia (2025).

La fase de muestreo se llevó a cabo durante septiembre y octubre, periodo caracterizado por condiciones de alta pluviosidad propias de la región amazónica, con precipitaciones anuales entre 2800 y 3200 mm. Para el proceso de caracterización de los vertimientos, se realizó un recorrido por la fuente hídrica. Se identificaron y georreferenciaron 58 puntos de vertimiento (tabla 1), los cuales se clasificaron de acuerdo con el tipo de vertimiento, origen y observación.

Caudal de la quebrada La Misión

La medición de caudal se realizó mediante el método del flotador (tabla 2). Se delimitó un tramo de 15 metros en cada punto de estudio y se midieron el ancho y la profundidad. Para el cálculo del aforo, se emplearon una barra y una cinta métrica. La velocidad del cauce se determinó utilizando esferas de icopor de 5 mm de diámetro, cronometrando el tiempo que tardaron en recorrer el tramo. El caudal (*Q*) se calculó con la ecuación 1:

$$Q = A * V \tag{1}$$

Tabla 2. Caudal de la quebrada La Misión

Parte	Área (m2)	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
Alto	0,14	0,27	0,0378	37
Medio	0,139	0,338	0,04691	46,91
Baja	0,213	0,425	0,091	91

Nota: Los valores en L/s corresponden a la conversión directa de m³/s. Las variaciones entre tramos reflejan cambios en la geometría del cauce y la dinámica del flujo en la quebrada.

Fuente: elaboración propia (2025).

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, se analizaron parámetros fisicoquímicos *in situ* (pH, temperatura y turbiedad) y *ex situ* (alcalinidad, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales), así como microbiológicos (coliformes fecales y totales). Los protocolos y técnicas de muestreo fueron establecidos por el Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas (LAGSA). Los métodos empleados se describen a continuación.

La alcalinidad total se determinó mediante el método SM 2320 B. Para ello, se tomó una muestra de 100 mL de agua en una probeta y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Posteriormente, utilizando una bureta, se tituló con ácido sulfúrico estándar 0,02N hasta alcanzar un pH de 4,5, registrando el volumen de titulante consumido, expresándolo en mg CaCO3/L. Los sólidos suspendidos totales se determinaron filtrando 100 mL de muestra en un filtro de microfibra de vidrio pretratado, secado a 104 °C hasta peso constante. Por otro lado, los parámetros pH, turbiedad y temperatura se determinaron de forma *in situ* con el uso de un medidor portátil multiparámetro; este fue sumergido en el cuerpo de agua durante cinco minutos para lograr una lectura óptima e inmediata.

Para establecer la DBO_5 , las muestras se ajustaron a pH 7 con NaOH 0,1 N y se dispusieron en botellas Winkler de 300 mL. Se midió el oxígeno disuelto inicial, se sellaron y se incubaron a 20 ± 1 °C durante 5 días, junto con el blanco, el control de cepa y el estándar. La demanda química de oxígeno DQO se evaluó por reflujo cerrado y método colorimétrico; se mezclaron 2,5 mL de muestra o blanco con 1,5 mL de solución de digestión 0,1 N y 3,5 mL de ácido sulfúrico con 5,5 g de Ag_2SO_4/kg . Tras sellar y agitar, se incubaron en un termoreactor a 150 °C por 2 horas, expresado en mg O_2/L . La concentración de oxígeno disuelto se evaluó con una sonda digital HI 764113 para medición óptica de oxígeno disuelto de forma directa.

Las muestras microbiológicas (coliformes totales y coliformes fecales) se determinaron con el método SM9223 (enzima-sustrato). Se midieron 100 mL de muestra en frascos estériles, se añadió reactivo Colilert, se agitó y se vertió en una bandeja Quanti-Tray/2000, que luego fue sellada e incubada a 35 ± 5 °C por 24 horas. Los coliformes totales se identificaron por el color amarillo, y los fecales por fluorescencia bajo luz UV (366 nm). Estos fueron expresados en NMP/100 mL.

Con el fin de determinar el nivel de contaminación orgánica en la fuente hídrica, se aplicó el ICOMO, el cual integra tres parámetros: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y coliformes totales (Ramírez et al., 1997). El ICOMO se calcula como el promedio de los índices de estas variables, cada una evaluada en una escala de 0 a 1, donde valores cercanos a 0 indican baja contaminación y cercanos a 1, alta contaminación. Este se calcula con base en la ecuación 2:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxígeno\%}) \quad (2)$$

La tabla 3 presenta el grado de contaminación según el rango de valor que se obtenga en ICOMO.

Tabla 3. Grado de contaminación por materia orgánica

Escala de valores ICOS		
Rango	Contaminación	Indicador
0 - 0.2	Ninguna.	Muy buena
>0.2 - 0.4	Baja.	Buena
>0.4- 0.6	Media.	Media
>0.6 - 0.8	Alta.	Mala
>0.8 - 1	Muy alta.	Pésima

Nota. Clasificación del grado de contaminación por materia orgánica según los rangos del índice ICOMO y su interpretación cualitativa de la calidad del agua.

Fuente: adaptado de Ríos (2023).

La articulación de la georreferenciación de los puntos de vertimiento, la estimación de caudales y la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permitió estructurar un diagnóstico integrado de la calidad del agua en la quebrada La Misión. La aplicación del ICOMO facilitó la consolidación de las variables analizadas en un indicador del nivel de contaminación orgánica, permitiendo su interpretación espacial a lo largo del cauce.

RESULTADOS

Se confirmaron cincuenta y ocho puntos de vertimiento originados por actividades domésticas, en su mayoría provenientes del barrio José Homero, distribuidos a lo largo de la fuente hídrica. Estas descargas se localizaron especialmente en la parte media de la quebrada, donde confluyen con el río Mulato. Durante los recorridos se evidenció la presencia de vectores como moscas, zancudos y gallinazos.

La concentración de puntos de vertimiento en la parte media de la quebrada coincide con la alta densidad poblacional del barrio José Homero, lo que favorece la proliferación de vectores, que promueven la transmisión de enfermedades, generando condiciones que afectan el bienestar comunitario en el territorio. A nivel global,

los vectores asociados a condiciones insalubres representan el 17 % de las problemáticas socioambientales relacionadas con la contaminación y degradación de ecosistemas (Intriago-Guillén et al., 2023).

En cuanto al caudal, se observó un aumento progresivo desde la parte alta hasta la parte baja, registrándose 37 L/s en el punto alto, 46,91 L/s en el punto medio y 91 L/s en el punto bajo. El incremento del caudal aguas abajo se atribuye a diversas fuentes naturales que confluyen en la quebrada La Misión y por los aportes residuales. En ese sentido, se ha informado que estos últimos y las descargas directas en la ribera del cauce contribuyen al aumento del caudal, lo que impacta en el grado de contaminación, afectando la calidad de agua desde su nacimiento (González Plaza, 2020).

Los parámetros fisicoquímicos mostraron variaciones importantes a lo largo del cauce (tabla 4). El pH presenta un rango entre 3,26 y 5,52 unidades. El pH registrado está por debajo del rango permisible de 6 a 9 establecido por la Resolución 631 de 2015 (Minambiente, 2015), lo que indica una acidez elevada que altera el equilibrio químico del agua y afecta la actividad microbiana esencial para los procesos de autodepuración (Yáñez Torrente, 2018). El valor mínimo registrado (pH 3,26) evidencia acidez extrema. En la región amazónica es común la presencia de pH ácido debido a suelos altamente meteorizados y a la descomposición de materia orgánica; sin embargo, valores tan bajos sugieren adicionalmente la influencia de vertimientos domésticos sin tratamiento, que incrementan la carga orgánica y favorecen la formación de compuestos acidificantes.

La concentración de oxígeno disuelto presentó un valor mínimo de 1,25 mg O₂/L en la parte alta, un incremento hasta 5,92 mg O₂/L en la parte media y una disminución a 4,51 mg O₂/L en la parte baja. Los valores bajos de oxígeno disuelto en la parte alta (1,25 mg O₂/L) limitan la presencia de fauna acuática. Aunque se observa un aumento en la parte media, la disminución en la parte baja podría deberse al ingreso continuo de materia orgánica por vertimientos, lo que reduce la capacidad de recuperación natural del ecosistema (Montalván-Estrada et al., 2018).

La turbidez pasó de 1,29 NTU en la parte alta a 4,40 NTU en la media, alcanzando 11 NTU en la baja. La temperatura se mantuvo relativamente estable, con 23,7 °C en la parte alta, 25,5 °C en la media y 25,3 °C en la baja. El incremento de la turbidez, hasta alcanzar 11 NTU en la parte baja, supera el límite establecido de 1 NTU para reducir riesgos microbiológicos. La turbidez señala la existencia de partículas coloidales, minerales u orgánicas en el agua, lo que podría ser un indicador de contaminación y constituir un riesgo para la estabilidad ecológica y el uso del recurso por parte de la comunidad (Milojkovic et al., 2019). En un estudio en el que se evaluó la influencia de la turbiedad en el tratamiento de agua, se evidenció la necesidad de que los niveles de turbiedad sean inferiores al 1,0 NTU para controlar los riesgos asociados a la contaminación fecal y química, además de demostrar que la turbidez presenta una correlación lineal significativa con la presencia de coliformes totales y fecales (Martínez-Orjuela et al., 2019).

La demanda química de oxígeno (DQO) presentó valores de 2, 11 y 27 mg O₂/L, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) se mantuvo constante entre 2 y 3 mg O₂/L. La relación DQO/DBO₅ sugiere que, aunque existe materia orgánica biodegradable, en algunos puntos la biodegradabilidad es limitada, favoreciendo el crecimiento de microorganismos como bacterias y hongos, consumiendo el oxígeno disponible para la fauna y flora acuática, lo que puede alterar la calidad del agua, elevar el pH y generar la desaparición de especies (Raffo Lecca, 2014).

Los sólidos suspendidos totales fueron inferiores a 15 mg/L en los tres puntos de muestreo. La alcalinidad total fue de 5 mg CaCO₃/L en la parte alta, 42,6 mg CaCO₃/L en la media y 52,0 mg CaCO₃/L en la baja. Los sólidos suspendidos totales se mantuvieron por debajo de 15 mg/L; no obstante, en Arauca se han reportado valores superiores (25-29 mg/L) vinculados a descargas residuales, lo que demuestra cómo la carga contaminante puede alterar la calidad del agua y favorecer condiciones de deterioro ambiental. De manera similar, el incremento de la alcalinidad en la parte baja podría estar asociado a la disolución de compuestos carbonatados o al

aporte de residuos domésticos, situación que refleja la sensibilidad de este parámetro frente a las actividades humanas. Estos cambios evidencian el impacto antrópico sobre el ecosistema acuático, implicando riesgos socioambientales por la alteración de los procesos de autodepuración y la disminución del potencial de uso del recurso (Rueda et al., 2019).

En los parámetros microbiológicos, los coliformes totales registraron valores significativos asociados al aporte de materia orgánica con rangos de 6400 y 36 000 NMP/100 mL, mientras que los coliformes fecales oscilaron desde menos de 1 NMP/100 mL en la parte baja hasta 4100 NMP/100 mL.

Los valores de coliformes totales y fecales superaron los límites establecidos para agua de consumo humano (0 UFC/100 mL) según la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda], 2007), lo que representa una alteración significativa de la calidad del recurso y refleja condiciones que afectan el equilibrio ecológico y generan problemáticas en el acceso a agua segura para actividades domésticas y recreativas. En la literatura científica se reporta ampliamente que la presencia de coliformes en fuentes hídricas constituye un factor crítico de contaminación con repercusiones en la integridad ambiental y la sostenibilidad de los territorios (Chavarría Márquez et al., 2023).

A nivel global, la OMS estima que cada año mueren aproximadamente 1 millón de personas por diarrea asociada a la falta de agua potable segura, saneamiento e higiene adecuados; de ese total, 395 000 muertes corresponden a niños menores de 5 años, muchas de ellas prevenibles (OMS, 2023b). Estos datos globales evidencian la urgencia de fortalecer la gestión del recurso hídrico en territorios vulnerables como Putumayo, donde en 2024 se reportaron 11 229 casos de EDA en el departamento, siendo Mocoa el municipio con la mayor cantidad (2924). Hasta julio de 2025, se han reportado 6942 casos en el departamento del Putumayo, de los cuales 1963 corresponden a su capital Mocoa (Secretaría de Salud del Putumayo, 2024).

Además, estudios internacionales recientes han advertido que las aguas residuales urbanas actúan como reservorios significativos de bacterias resistentes a antibióticos, con hallazgos como el 90 % de *Escherichia coli*, 58 % de *Klebsiella pneumoniae* y 55 % de *Pseudomonas aeruginosa*, junto con la identificación de genes de resistencia a aminoglucósidos (aadA, 41 %), sulfonamidas (Sul1 y Sul3, 35 %), tetraciclinas (Tet A/B/D, 29 %) y cefalosporinas (bla_{CTX-M}, 12 %) (Rahim et al., 2024). Este hallazgo es clave desde la perspectiva socioambiental, dado que la proliferación de bacterias resistentes en cuerpos de agua aumenta la presión sobre los ecosistemas y dificulta los procesos de restauración y gestión sostenible del recurso.

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) registró valores de 0,50 en la parte alta, 0,41 en la media y 0,47 en la baja, ubicándose en el rango de contaminación media (0,4-0,6). Estos resultados evidencian una presión orgánica moderada y constante a lo largo del sistema hídrico.

Este comportamiento representa un riesgo socioambiental relevante, especialmente para el río Mulato, que actúa como fuente abastecedora para la ciudad de Mocoa. La acumulación constante de materia orgánica sin tratamiento no solo genera deterioro ecológico, que afecta procesos como la oxigenación, el equilibrio microbiológico y la estabilidad de los hábitats acuáticos, sino que también reduce el potencial de uso del recurso por parte de las comunidades locales, limitando actividades como el abastecimiento, la recreación o el aprovechamiento productivo del agua (Salcedo et al., 2020).

Los hallazgos de este estudio deben situarse dentro del contexto de las metas nacionales de saneamiento. Aunque Colombia se ha comprometido a incrementar el porcentaje de aguas residuales urbanas tratadas a 60,4 % para 2026 y 68,6 % para 2030, conforme al marco del sexto ODS (Minvivienda, 2025), departamentos como Putumayo permanecen significativamente por debajo de dichos estándares.

Tabla 4. Métodos y parámetros de la quebrada La Misión

Parámetro	Método	Unidad	Zona alta	Zona media	Zona baja
Alcalinidad total	SM 2320 B	mg CaCO ₃ /L	5	42.6	52.00
Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210B, SM4500 O-C, SM 4500 O-G	mg O ₂ /L	< 2.0	3	<2
Demanda química de oxígeno	SM 5220 D	mg O ₂ /L	< 2	11	27
Oxígeno disuelto	ASTM D888 Met C	mg O ₂ /L	1.28	5.92	4.51
NMP Coliformes totales	SM 9223B	NMP/ 100 ml	6.400	900000	360000
NMP Coliformes fecales	SM 9223 B	NMP/ 100 ml	<1	3000	4100
pH (in situ)	SM 4500-H+B	Unidades de pH	3.26	5.29	5.52
Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	mg/L	< 15.0	< 15.0	< 15.0
Temperatura	SM 2550 B	°C	23.7	25.5	25.2
Turbiedad	SM 2130B	NTU	1.29	4.40	11

Nota. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en la quebrada La Misión, incluyendo métodos analíticos y variación espacial en las zonas de estudio.

Fuente: elaboración propia (2025).

En conjunto, los resultados evidencian una alteración progresiva de la calidad del agua a lo largo del cauce, asociada a la incidencia de vertimientos domésticos y al incremento del caudal aguas abajo. Las variaciones en parámetros como pH, oxígeno disuelto, turbidez, DQO y coliformes indican condiciones de deterioro que afectan los procesos de autodepuración y el equilibrio ecológico del sistema. La persistencia de valores fuera de los rangos permisibles y la presencia significativa de contaminación microbiológica reflejan una presión antrópica constante sobre la fuente hídrica, configurando un escenario de riesgo para su uso y para la sostenibilidad ambiental del territorio.

CONCLUSIONES

La quebrada La Misión, en Mocoa (Putumayo), evidencia un escenario crítico de deterioro ambiental asociado a la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. La identificación de 58 puntos de descarga doméstica, junto con la alteración de parámetros fisicoquímicos como pH ácido, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, incremento en turbidez y alcalinidad, y niveles elevados de coliformes totales y fecales, confirma una presión antrópica sostenida sobre la microcuenca.

El Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), con valores medios en todo el cauce, refleja una afectación constante que limita la capacidad de autodepuración del ecosistema. Esta condición genera impactos socioambientales concretos, como el deterioro de la biodiversidad acuática, la afectación de la calidad del río Mulato como fuente de abastecimiento, la reducción de la disponibilidad de agua para usos domésticos y el incremento del riesgo sanitario, evidenciado en la incidencia de enfermedades de origen hídrico en la población.

En este contexto, y de acuerdo con los lineamientos del Plan de Acueducto y Alcantarillado del municipio, se proyecta la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la cual representa una alternativa viable para reducir la carga contaminante. Complementariamente, se propone fortalecer estrategias de gestión integral que incluyan monitoreo continuo, control de vertimientos, soluciones descentralizadas en zonas no conectadas y procesos de educación ambiental comunitaria.

En conjunto, este estudio aporta evidencia clave para sustentar intervenciones que integren saneamiento básico, restauración ambiental y gobernanza del recurso hídrico, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente aquellos vinculados al manejo responsable del agua y la protección de ecosistemas.

REFERENCIAS

- Agudelo, L., Muñoz, A., Enríquez, V., Silva, N. y Lozano, R. (2023). Calidad fisicoquímica del río Mulato en Mocoa, Putumayo (Colombia). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 14(6), 158-203. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-06-05>
- Camacho Botero, L. A. (2020). La paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en el sector rural colombiano. *Revista de Ingeniería*, 49, 38-51. <https://doi.org/10.16924/revinge.49.6>
- Chavarría Márquez, E. Y., Huamaní Astocaza, L. L., Basurto Contreras, C. M., Gutierrez Collao, J. E. y Cusiche Huamaní, M. L. (2023). Determinación clásica de coliformes fecales en agua entubada en el distrito de Ahuaycha, Perú. *Revista Alfa*, 7(21), 560-566. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.236>
- Cuadros Segura, F. D., Moyano Salcedo, A. J., Pabon Laverde, A. M. y Trujillo Arias, J. V. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. *Tecnura*, 25(68), 43-62. <https://doi.org/10.14483/22487638.16273>
- Echeverry Calvache, J. A., Meza Segura, N. E. y Sánchez Rojas, I. C. (2023). Efectos del Naproxeno como Contaminante Emergente en Ecosistemas Acuáticos. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias (FAGROPEC)*, 15(2), 44-63. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v15n2a4>
- González Plaza, J. C. (2020). *Diagnóstico del manejo de las aguas residuales realizado a la empresa aguas del Sinú S.A. E.S.P. en el municipio de San Andrés de Sotavento, Córdoba, en el periodo 2010-2018*.
- Intriago-Guillén, M. J., Palacios-Lucas, L. G. y Vallejo-Valdivieso, P. A. (2023). Comportamiento de enfermedades vectoriales en una población manabita, Ecuador. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida*, 7(14), 54-68. <https://doi.org/10.35381/s.v.v7i14.2562>
- Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2019). *Revista UIS Ingeniería municipal Evaluation of turbidity as a parameter indicator of treatment in a drinking water treatment plant*. 19(1), 15-24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1>

- Miljojkovic, D., Trepšić, I., & Milovancevic, M. (2019). Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 527, 121171. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121171>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Miambiente]. (2015). Resolución 631 de 2015: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda]. (2007). Resolución 2115 de 2007: *Por medio de la cual se señalan características*, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda]. (2025). Saneamiento de vertimientos.
- Montalván-Estrada, A., Yuri Aguilera-Corrales, D., Brígido-Flores, O., Veitia-Rodríguez, E. y Lázaro Rodríguez-LaO, L. (2018). Procesos de contaminación-purificación en aguas superficiales afectadas por el vertimiento de efluentes de una tenería. *Revista Cubana de Química*. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v31n1/2224-5421-ind-31-01-65.pdf>
- Moretti-Villegas, L. F. y Valiente-Saldaña, Y. M. (2023). Contaminación ambiental y sus efectos en la salud pública. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(1), 257-268. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2784>
- Moretti-Villegas, Liliana Fabiola, & Valiente-Saldaña, Yoni Mateo. (2023). Contaminación Ambiental y sus Efectos en la Salud Pública. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8 (Supl. 1), 257-268. Epub 05 de junio de 2024. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2784>
- Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Rodeada de fuentes hídricas, pero sin agua potable, la ironía del Amazonas*. <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/es/c/1382766/>

- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023a). Agua para consumo humano.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023b). *Drinking water*.
- Ortega Ramírez, A. T. y Sánchez Rodríguez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121-134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Palacin Salcedo, J. J., Tanus, J. L. y López Hoyos, I. D. (2020). Implementación de un sistema natural para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Estudio de caso para una institución educativa del municipio de Malambo, Colombia. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5(1), 92-103. <https://doi.org/10.23850/23899573.2382>
- Raffo Lecca, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rahim, K., Nawaz, M. N., Almehmadi, M., Alsuwat, M. A., Liu, L., Yu, C., & Khan, S. S. (2024). Public health implications of antibiotic resistance in sewage water: an epidemiological perspective. *Bioresources and Bioprocessing*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00807-y>
- Recavarren Ríos, E. (2023). Índices de contaminación (ICOS) del agua residual generada en fabricación de vinos y piscos. *Revista de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva*, 13(15),
- Rueda, F. V., Molano Guarín, A. F. y Pramparo, L. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26)17-26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>
- Sáenz-Arias, S., Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T. L., Blandon, L., Espinosa Díaz, L. F., Vivas-Aguas, L. J., & Canals, M. (2023). Pollution by wastewater discharges: A review on microorganism-microplastic interactions and their possible environmental risks in Colombian coastal waters. In *Ecosistemas*, 32(1). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>
- Sánchez, I., Bello, W., España, K., León, P., Ortiz, O., Osorio, R., Treco, R. y Osorio, R. (2017). Identificación de *Leptospira*

serovariedad *Icterohaemorrhagiae* en un paciente canino con enfermedad renal en el municipio de Florencia-Caquetá, Colombia: descripción de un caso clínico. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 18(10), 1–8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63653470032>

Secretaría de Salud del Putumayo. (2024). *Enfermedades transmitidas por alimentos y vehiculizadas por el agua*.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UN-GRD]. (2018). Plan Comunitario para la Gestión del Riesgo. https://www.mocoa-putumayo.gov.co/GestionDelRiesgo/GestionRiesgo/Planes%20%202023/PCGRD_CINCO_ENERO.pdf

Yáñez Torrente, S. (2018). *Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales contruidos de flujo vertical*. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente_Sandra_TFG_2018.pdf