

## Contaminación microbiana en el río Pachanlica: impacto, percepción y soluciones ambientales.

### Microbial pollution in the Pachanlica River: impact, perception, and environmental solutions.

Sandra Isabel González Polo<sup>1</sup>[0009-0000-6904-8844], Sandra Noemi Escobar Arrieta<sup>2</sup>[0000-0002-3347-0282],  
Andrés Agustín Beltrán Dávalos<sup>3</sup>[0000-0001-6005-8915], Luis Rolando Patiño Pomavilla<sup>4</sup>[0009-0006-0774-7029],  
Valeria Fernanda Flores Cantos<sup>5</sup>[0000-0002-8032-4093], Edgar Alexis Uquillas Romo<sup>6</sup>[0009-0008-3262-6311]

<sup>1-6</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias. EC060155. Riobamba - Chimborazo. Ecuador

<sup>4</sup> Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES), Ecuador

<sup>5</sup> Universidad de Valencia (UV), España

<sup>6</sup> Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), España

{<sup>1</sup>sandra.gonzalez, <sup>2</sup>noemi.escobar, <sup>3</sup>andres.beltran}@esepoch.edu.ec,

<sup>4</sup>lpatino2@indoamerica.edu.ec, <sup>5</sup>vaflocan@alumni.uv.es, <sup>6</sup>edgaralexis@hotmail.es

#### CITA EN APA:

González Polo, S. I., Escobar Arrieta, S. N., Beltrán Dávalos, A. A., Patiño Pomavilla, L. R., Flores Cantos, V. F., & Uquillas Romo, E. A. (2026). Contaminación microbiana en el río Pachanlica: impacto, percepción y soluciones ambientales. *Tesla Revista Científica*, 6(1), e573. <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e573>

Recibido: 2025-10-15

Revisado: 2025-10-27 al 2025-11-20

Corregido: 2025-12-05

Aceptado: 2025-12-20

Publicado: 2026-01-16

#### TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras. The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

#### Resumen.

**Introducción:** La contaminación microbiológica de los cuerpos de agua dulce constituye un problema ambiental y de salud pública, especialmente en zonas influenciadas por actividades agroindustriales y descargas de aguas residuales.

**Objetivo:** Evaluar la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en el río Pachanlica, Ecuador, durante las épocas seca y lluviosa de 2023, y analizar su impacto en la calidad del agua y en la percepción comunitaria.

**Métodos:** Se realizaron mediciones fisicoquímicas in situ y análisis microbiológicos en catorce puntos de muestreo distribuidos a lo largo del río. La determinación de coliformes fecales se efectuó mediante el método del Número Más Probable (NMP), complementado con pruebas bioquímicas confirmatorias para *Salmonella* spp. Asimismo, se aplicó una encuesta estructurada a sectores poblacionales para evaluar percepciones ambientales.

**Resultados:** Se registraron concentraciones de coliformes fecales superiores a 2000 NMP/100 mL durante la época lluviosa en zonas con alta actividad agroindustrial, superando límites normativos. La presencia de *Salmonella* spp. fue del 21,43 % en época seca y del 28,57 % en lluvias. La población manifestó preocupación por la calidad del agua.

**Conclusiones:** El río Pachanlica presenta contaminación microbiológica significativa, mayor en época lluviosa, lo que evidencia la necesidad de fortalecer monitoreo, saneamiento y gestión ambiental.

**Palabras clave:** contaminación del agua, *Escherichia coli*, *Salmonella*, calidad del agua, salud ambiental.

#### Abstract

**Introduction:** Microbiological contamination of freshwater bodies constitutes an environmental and public health problem, particularly in areas influenced by agroindustrial activities and wastewater discharges.

**Objective:** To evaluate the presence of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in the Pachanlica River, Ecuador, during the dry and rainy seasons of 2023, and to analyze their impact on water quality and community perception.

**Methods:** In situ physicochemical measurements and microbiological analyses were conducted at fourteen sampling points along the river. Fecal coliforms were determined using the Most Probable Number (MPN) method, complemented by confirmatory biochemical tests for *Salmonella* spp. Additionally, a structured survey was applied to different population sectors to assess environmental perceptions.

**Results:** Fecal coliform concentrations exceeding 2000 MPN/100 mL were recorded during the rainy season in areas with high agroindustrial activity, surpassing regulatory limits. The presence of *Salmonella* spp. was 21.43% during the dry season and 28.57% during the rainy season. The population expressed concern about water quality.

**Conclusions:** The Pachanlica River shows significant microbiological contamination, which is greater during the rainy season, highlighting the need to strengthen monitoring, sanitation, and environmental management.

**Keywords** water pollution, *Escherichia coli*, *Salmonella*, water quality, environmental health.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua dulce, como los ríos, son fundamentales para la sostenibilidad de los ecosistemas, el abastecimiento de agua potable, la agricultura, y la industria, desempeñando un papel importante en la regulación climática y en la biodiversidad (1). No obstante, estos recursos enfrentan continuamente amenazas debido a las descargas de aguas residuales no tratadas, tanto domésticas como industriales, las cuales alteran la calidad del agua. Lo que genera problemas de salud pública, degradación de hábitats acuáticos, y una afectación a la economía de las comunidades que dependen de estos cuerpos de agua (2).

La evaluación de la calidad microbiológica de los ríos en Ecuador se realiza comúnmente mediante indicadores del grupo coliforme: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *Escherichia coli*. Estos análisis se fundamentan en la presencia de dichas bacterias en las heces de humanos y animales de sangre caliente, indicando contaminación fecal y, por lo tanto, un riesgo potencial de patógenos (3). Sin embargo, otros microorganismos también pueden contribuir a una evaluación más completa de la calidad del agua. Entre ellos se encuentran las bacterias heterótrofas o mesófilas aerobias, *Salmonella spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus*, *Clostridium perfringens* y *Legionella*, así como protozoos, *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*, y virus entéricos (4).

Esta situación genera un riesgo significativo de enfermedades, principalmente en personas que mantienen contacto directo con el agua (5). Además, los problemas de contaminación en los ríos están influenciados por su geografía. Factores como la topografía, el clima, la altitud y el uso del suelo determinan el tipo y la gravedad de los contaminantes que pueden acumularse en sus aguas (6). En muchos países, el consumo de agua contaminada con microorganismos representa un grave riesgo para la salud humana (7), por ello, la microbiología sanitaria es clave para abordar este desafío al proporcionar agua de calidad, reducir la polución y gestionar los desechos de manera adecuada (8).

Los patógenos alteran el equilibrio natural de los cuerpos de agua, afectando la biodiversidad al provocar enfermedades en especies acuáticas y reduciendo la calidad de los hábitats fluviales (9),(10). Los microorganismos tienen la capacidad de adaptarse a los cambios abruptos en el ambiente, lo que les permite sobrevivir en condiciones adversas, multiplicarse y propagarse, generando problemas a nivel global (11). Para la salud pública, estos microorganismos representan un grave riesgo, especialmente en comunidades que dependen de los ríos para el consumo directo de agua y para actividades recreativas o domésticas. Estas actividades facilitan la propagación de enfermedades gastrointestinales, dermatológicas y respiratorias.

La contaminación patógena en los cuerpos de agua subraya la necesidad de un monitoreo riguroso y de medidas preventivas que protejan tanto el ambiente como la salud humana (12). Esta problemática es una responsabilidad compartida entre los gobiernos locales, y las comunidades rurales y urbanas, quienes deben colaborar para abordar la cuestión de forma integral. Los gobiernos locales tienen la obligación de

promover la educación ambiental, garantizar el cumplimiento de las normativas y ejecutar políticas públicas eficaces (11). Además, la comunidad, incluidos los productores agropecuarios, comerciantes y entidades financieras, deben asumir una participación corresponsable en la conservación de los recursos naturales para alcanzar una gestión sostenible de los ríos y sus ecosistemas.

La contaminación de los ríos está influenciada por diversos factores, como el nivel de conciencia ambiental, la educación y la disponibilidad de recursos técnicos, económicos y humanos, así como la implementación de normativas relacionadas con la calidad de los efluentes (13). El estudio tuvo como objetivo contrastar las percepciones y preocupaciones ambientales frente a la contaminación microbiológica en comunidades urbanas y rurales de la microcuenca del río Pachanlica. Se identificaron las diferencias en la valoración del riesgo y en las prácticas de cuidado ambiental para contribuir al diseño de estrategias de manejo integral que promuevan prácticas sostenibles y mejoren la calidad del recurso hídrico.

## 2. METODOLOGÍA O MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Descripción del área de estudio

El río Pachanlica, ubicado en la provincia de Tungurahua, Ecuador, se origina en las estribaciones de los volcanes Carihuairazo, Chimborazo y el nudo del Igualata. Este río pertenece a la subcuenca del Patate y tiene una superficie de 397,60 km<sup>2</sup>, un perímetro de 110,41 km y una longitud máxima de 39,00 km. Su nacimiento está registrado en las coordenadas 1°14'8" S y 78°32'57" W, desembocando finalmente en el río Ambato en las coordenadas 1°27'1" S y 78°44'52" W.

A lo largo de su curso, el río Pachanlica recibe al río Mocha, que pasa a llamarse río Quero y finalmente toma el nombre de río Pachanlica, en un tramo total de 49,23 km. La microcuenca del río se encuentra a elevaciones entre los 2200 y 6200 msnm y está caracterizada por un clima templado-húmedo, con una temperatura promedio de 15°C y una precipitación anual de entre 400 y 600 mm (14). En esta región, el río recibe descargas significativas de aguas residuales domésticas e industriales provenientes de los cantones Mocha, Quero, Cevallos, Ambato y Pelileo. Estos cantones albergan una población de más de 71 266 habitantes, según el censo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (14).

Se realizaron dos muestreos en el río Pachanlica durante el año 2023: uno en época lluviosa (diciembre a mayo) y otro en época seca (junio a noviembre). Estos períodos se eligieron para evaluar cómo las lluvias afectan las concentraciones de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Para determinar los puntos de monitoreo, se consideraron las actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca del río. Se seleccionaron 14 puntos de interés debido a la contaminación microbiológica ocasionada por descargas directas, escorrentías y aguas residuales, cuyos detalles se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Ubicación Geográfica y Características Ambientales de las Estaciones de Muestreo en el Río Pachanlica.

Nombre del punto de muestreo	Coordenadas geográficas		Características
	x	y	
Punto 1	755607	9839137	MOCHA – YANAYACU

Nombre del punto de muestreo	Coordenadas geográficas		Características
	x	y	
			Ubicado a 3000 m s. n. m., el área presenta un ecosistema de ribera medianamente intervenido, con laderas que superan los 45 grados de inclinación, descargas difusas asociadas a actividades ganaderas.
<b>Punto 2</b>	757552	9839935	MOCHA – YANAYACU Situado a 2900 m s. n. m., el área cuenta con un ecosistema de ribera ligeramente intervenido, caracterizado por pequeños valles y colinas con pendientes superiores a los 45 grados, descargas difusas provenientes de actividades ganaderas.
<b>Punto 3</b>	759954	9842301	MOCHA – YANAYACU Ubicado a 2900 m s. n. m., el área presenta un ecosistema de ribera altamente intervenido, caracterizado por valles y colinas con pendientes superiores a los 45 grados. Además, se observa la presencia de una descarga directa de aguas residuales domésticas y la influencia de actividades agrícolas en sus laderas.
<b>Punto 4</b>	760571	9842225	MOCHA – YANAYACU Ubicado a 3000 m s. n. m., el área cuenta con un ecosistema de ribera altamente intervenido, caracterizado por pendientes superiores a los 45 grados. En la zona se evidencian descargas difusas asociadas a actividades ganaderas y la presencia de lixiviados provenientes de un relleno sanitario.
<b>Punto 5</b>	765752	9847949	CEVALLOS – QUERO Ubicado a 2800 m s. n. m., zona de delimitación entre los cantones Cevallos y Quero, esta área presenta una ribera deteriorada debido a la acumulación de residuos sólidos urbanos y a la presencia de descargas directas de aguas residuales domésticas.
<b>Punto 6</b>	767025	9848813	CEVALLOS – QUERO Ubicado a 2700 m s. n. m., en el cantón Quero, esta área se caracteriza por actividades turísticas y recreativas. Presenta un bosque de ribera compuesto principalmente por <i>Eucalyptus globulus</i> más de 25 años, así como depresiones en el río que forman pequeñas cascadas.
<b>Punto 7</b>	768004	9851739	CEVALLOS – BENITEZ Ubicado a 2.700 m s. n. m., en el cantón Cevallos, se caracteriza por la ausencia de bosque de ribera. Es un valle predominantemente agrícola, donde también se utiliza el agua para actividades como la lavandería.
<b>Punto 8</b>	767468	9853523	TOTORAS – SALASACA Ubicado a 2.600 m s. n. m., en el cantón Ambato, este sector presenta una zona de ribera altamente intervenida, con pendientes inferiores a los 45 grados y la presencia de tres descargas directas de aguas residuales industriales. Predominan los huertos frutales y las actividades agrícolas en su entorno.
<b>Punto 9</b>	767861	9854032	TOTORAS – SALASACA Ubicado a 2.600 m s. n. m., en el cantón Ambato, este amplio valle ribereño presenta una zona de ribera altamente intervenida, con la presencia de una descarga directa de aguas residuales industriales. Su entorno se caracteriza por actividades agrícolas, aunque también enfrenta problemas ambientales, como la acumulación de basura y su uso como sumidero de residuos.
<b>Punto 10</b>	767921	9854956	PICAIHUA – SALASACA Situado a 2.600 m s. n. m., en el cantón Ambato, este sector se caracteriza por una zona de ribera altamente intervenida, con pendientes superiores a los 45 grados y la presencia de tres descargas de aguas residuales domésticas e industriales. Su entorno está dominado por actividades agrícolas.
<b>Punto 11</b>	768850	9855000	PICAIHUA – SALASACA Ubicado a 1.600 m s. n. m., en el cantón Pelileo, este sector presenta una zona de ribera intervenida, con pendientes superiores a los 45 grados y una descarga directa proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la comunidad de Salasaca. El área se caracteriza por actividades agropecuarias predominantes.
<b>Punto 12</b>	770027	9857090	PICAIHUA – EL ROSARIO Ubicado a 2.450 m s. n. m., en el cantón Ambato, este valle presenta una notable intervención que ha eliminado la presencia de bosques de ribera. La actividad predominante en la zona es agroproductiva, aunque enfrenta problemáticas ambientales, como descargas de aguas residuales domésticas e industriales y la existencia de escombreras no reguladas.
<b>Punto 13</b>	772691	9863193	PICAIHUA – CHINQUICHA

Nombre del punto de muestreo	Coordenadas geográficas		Características
	x	y	
Punto 14	772716	9863200	Ubicado a 2.800 m s. n. m., en el cantón Ambato, este valle se encuentra altamente intervenido y carece de bosques de ribera. LAS VIÑAS Ubicado a 2.400 m s. n. m., en la zona de descarga del río Ambato, este valle carece de bosques de ribera. Su actividad predominante es agroproductiva.

## 2.2. Medición de parámetros fisicoquímicos *in situ*

Se efectuaron mediciones de parámetros fisicoquímicos utilizando el equipo multiparámetro HANNA HI98199, para la determinación de temperatura, el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el oxígeno disuelto (OD) los que son recomendados para estudios de calidad (15)(16)(17). Estas mediciones proporcionaron datos en tiempo real, lo que permitió evaluar la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo.

## 2.3. Muestreo Microbiológico

Se obtuvieron las muestras en los 14 puntos del río Pachanlica (ver Tabla 1). Las muestras recolectadas en la mañana fueron transportadas al laboratorio de Recursos Hídricos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en frascos plásticos estériles de 125 ml, y almacenadas en una caja fría a 4°C para mantener su integridad. Todo el procedimiento se llevó a cabo en un plazo inferior a 12 horas, cumpliendo con las recomendaciones establecidas por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) (18).

Para verificar la concentración de bacterias coliformes (totales, fecales y *E. coli*), se empleó el método del Número Más Probable (NMP) mediante la técnica de dilución en tubos, utilizando caldo lactosado. La técnica consistió en inocular la muestra de agua de río utilizando diluciones sucesivas de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ . Los tubos con resultados presuntivamente positivos fueron sometidos a pruebas confirmatorias en caldo verde brillante, con concentraciones equivalentes a las de la prueba presuntiva. Cada prueba se incubó a 37°C durante 24 horas (19). Los resultados se interpretaron mediante la tabla de Hoskins para el cálculo del NMP y se expresaron en NMP/100 ml.

Para la determinación cualitativa de *E. coli*, las muestras positivas se sembraron en agar Eosina Azul de Metileno (EMB) mediante la técnica de estría, con el fin de obtener colonias aisladas. Luego de 24 horas de incubación, se observaron colonias características de coliformes fecales. Posteriormente, las cepas presuntivas se sometieron a pruebas bioquímicas para conocer su identidad. Se seleccionaron colonias sospechosas en agar EMB e inocularon en medios diferenciales mediante siembra en estría. Las pruebas bioquímicas realizadas incluyeron Citrato, TSI (triple azúcar hierro), Urea, Zinc y Descarboxilación de Lisina, para confirmar la presencia de *E. coli* (20).

Para identificar la presencia o ausencia de *Salmonella spp.*, una vez diluida la muestra en agua peptonada, se realizó un enriquecimiento selectivo de una alícuota con tetraciónato, específico para *Salmonella spp.* La muestra se incubó entre 41-43 °C durante 24 horas. Posteriormente, se realizó la prueba de aislamiento mediante siembra en agar Salmonella-Shigella (SS), incubando a 37 °C por 24 horas. Finalmente, las colonias sospechosas se sometieron a pruebas bioquímicas para confirmar la presencia de

*Salmonella spp.*, incluyendo Citrato, TSI, Urea, Zinc y Descarboxilación de Lisina, lo cual permitió su identificación (20)

#### 2.4. Método para la recolección de datos de la encuesta

La percepción de preocupaciones de la población se centró en cinco grupos poblacionales: pequeños y grandes comerciantes, trabajadores industriales, agremiados políticos en funciones públicas en áreas rurales y urbanas, y empleados de entidades financieras. Se analizó su percepción respecto a los riesgos microbiológicos asociados con la contaminación y su disposición para adoptar medidas que ayuden a mitigar este problema. Se diseñó un cuestionario estructurado (ver Tabla 2) con preguntas cerradas y escalas basadas en el modelo Likert, para medir el grado de acuerdo o desacuerdo de los encuestados con respecto a diversas afirmaciones. La escala iba de 1 (Totalmente en desacuerdo) a 5 (Totalmente de acuerdo) (Machuca Yaguana et al., 2023). La validez y confiabilidad del instrumento se verificaron mediante el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach, utilizando una muestra representativa de 45 actores sociales (22)

El cuestionario, se distribuyó a una muestra estratificada de los cantones Mocha, Cevallos, Quero, Pelileo y Ambato, priorizando la participación de las directivas de las juntas parroquiales urbanas y rurales.

Para el análisis de los datos, se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS versión 5.1, que permitió realizar un análisis exploratorio de las respuestas. Se emplearon técnicas de estadísticas descriptivas para identificar diferencias significativas entre los segmentos ocupacionales y su zona de procedencia (urbanas y rurales) relacionadas con la contaminación microbiológica y las medidas de gestión del agua.

#### Tabla 2.

Cuestionario aplicado a los grupos poblacionales.

Código	Pregunta
P1	En la Provincia de Tungurahua, actualmente no se prioriza el tratamiento de aguas residuales de sus ciudades y/o comunidades
P2	Se debe impulsar a los empresarios e industriales a asumir la responsabilidad extendida al productor y cumplir con sus declaratorias ambientales para la protección del río Pachanlica
P3	Existen necesidades básicas insatisfechas, como educación y salud, que deberían ser prioritarias antes que la protección del río Pachanlica
P4	La contaminación microbiológica del río Pachanlica está sobreestimada por la población y las empresas que tienen influencia directa en la microcuenca del río
P5	Solo tiene sentido realizar acciones para la restauración del Río Pachanlica si existe un compromiso claro de asignación presupuestaria por parte del Gobierno Provincial y el Estado ecuatoriano
P6	Es importante que todos los habitantes de la provincia de Tungurahua contribuyan económicamente a un fondo para la remediación del río y la prevención de su contaminación
P7	Falta un proceso de educación ambiental formal, promovido desde el Ministerio de Educación, para sensibilizar sobre la contaminación del Río Pachanlica y su impacto en la salud pública
P8	Las cargas microbiológicas de patógenos en el río Pachanlica representan un alto riesgo para la salud pública de la población tungurahense
P9	La jurisdicción en la que vivo tiene una alta responsabilidad en el impacto sobre la calidad del agua del Río Pachanlica y su conservación

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

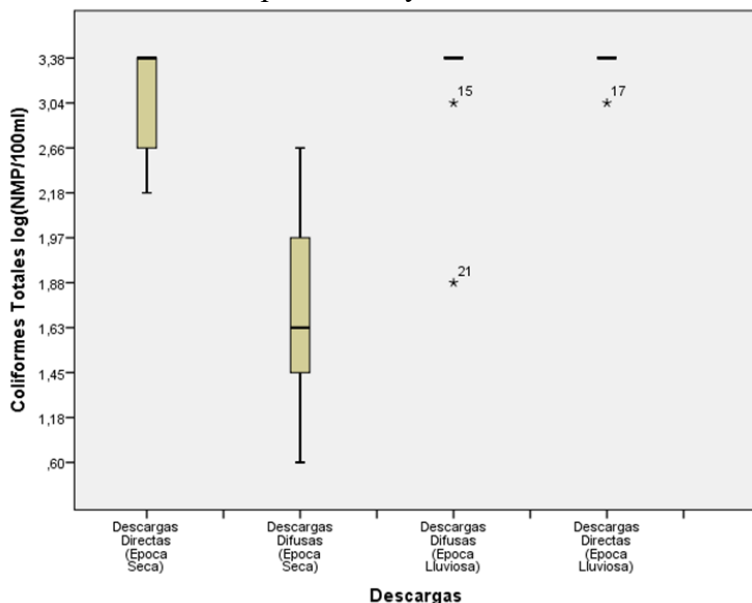
#### Distribución espacial de coliformes totales y fecales

Durante el estudio realizado en la microcuenca del río Pachanlica, se identificó una distribución espacial de coliformes totales (log NMP/100 ml) en función del caudal y del grado de intervención antrópica. En época seca, las descargas directas presentan una mayor concentración de coliformes totales, con poca variabilidad en las muestras, como se evidencia en la Figura 1. Por el contrario, las descargas

difusas presentan una menor concentración y mayor variabilidad. Durante la época lluviosa, ambos tipos de descargas muestran valores atípicos altos, indicando niveles muy elevados de coliformes en ciertos puntos.

**Figura 1.**

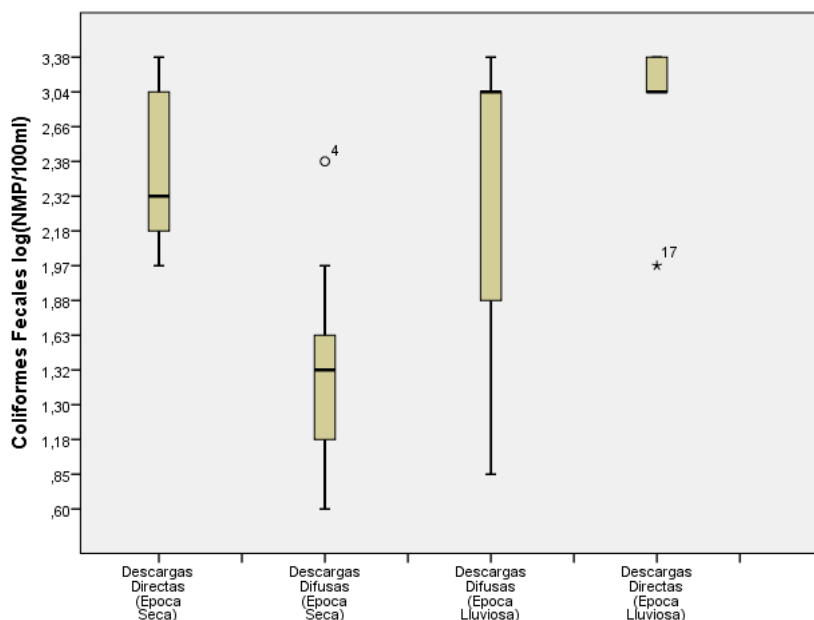
Logaritmos de las concentraciones de coliformes totales en descargas directas y descargas difusas del río Pachanlica durante épocas seca y lluviosa en 2023.



Por otra parte, en la Figura 2, que representa el análisis de la distribución espacial de coliformes totales, se evidencia que las descargas directas en época seca presentaron las concentraciones más elevadas, con una mediana superior a 3,0 log (NMP/100 ml) y sin valores atípicos, determinando una contaminación homogénea. Por otro lado, las descargas difusas en época seca mostraron una menor concentración y mayor dispersión de datos, reflejando una variabilidad en las fuentes de contaminación.

**Figura 2.**

Logaritmos de las concentraciones de coliformes fecales en descargas directas y descargas difusas del río Pachanlica durante épocas seca y lluviosa en 2023.

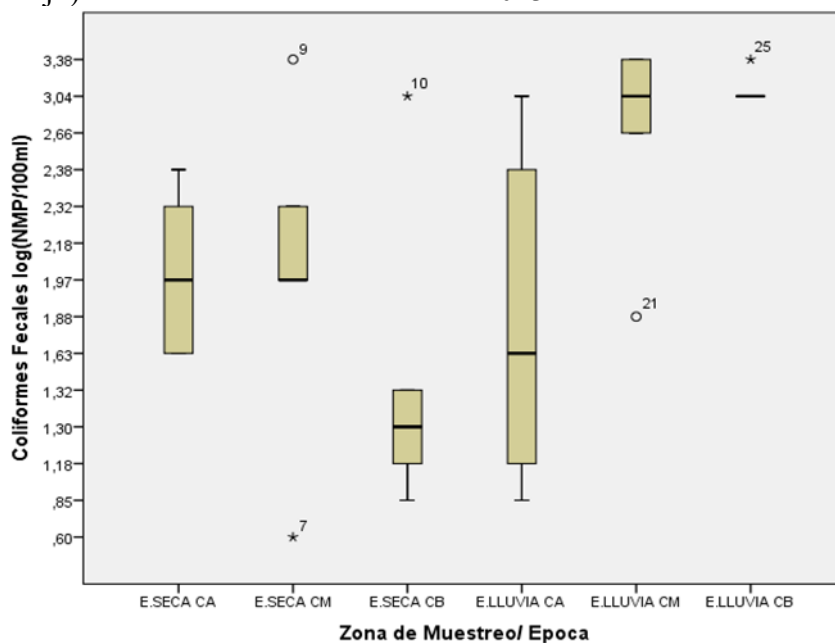


Durante la época lluviosa, tanto las descargas directas como las difusas evidenciaron valores atípicos, asociados con una alta carga microbiológica. Estos puntos atípicos fueron causados por fenómenos hidrometeorológicos, como lluvias intensas que arrastran residuos orgánicos, incluida materia fecal, hacia el cauce del río.

La Figura 3 muestra la distribución logarítmica de coliformes fecales en el río Pachanlica, clasificada por zonas de muestreo (alta, media y baja) y épocas climáticas (seca y lluviosa). En la cuenca alta, durante la época lluviosa, se observa una variabilidad significativa con valores que alcanzan niveles superiores a 3,0 log (NMP/100 ml). En la cuenca media, los valores son constantes entre épocas, sin niveles elevados. En la cuenca baja, los valores disminuyen en época seca, pero presentan un ligero aumento durante la época lluviosa. Los valores atípicos indican eventos puntuales de contaminación microbiológica.

### Figura 3.

Logaritmos de las concentraciones de coliformes totales y fecales– zona del muestreo (caudal alto, medio y bajo) en el río Pachanlica durante el 2023.



### Evaluación cualitativa de presencia de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*

El análisis microbiológico realizado en los 14 puntos del río Pachanlica evidenció una alta presencia de *E. coli* enteropatógena ambas épocas climáticas (seca y lluviosa), con frecuencia de 92,86% en los dos períodos. Por otro lado, la presencia de *Salmonella spp.* fue significativamente menor, con una frecuencia del 21,43% en época seca y del 28,57% en época lluviosa.

En la Tabla 3 se puede observar que los puntos P5 y P10 fueron los únicos que presentaron las dos bacterias en ambas épocas. Durante la época seca, *Salmonella spp.* se detectó principalmente en los puntos medios y bajos del río (P5, P9 y P10), mientras que en época lluviosa su aparición fue más dispersa (P5, P8, P10 y P13).

Estos resultados indican una contaminación microbiológica persistente por *E. coli* a lo largo del río y una presencia puntual de *Salmonella spp.*

### Tabla 3.

Frecuencia de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* en 14 puntos de muestreo durante épocas seca y lluviosa.

PUNTO	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIOSA	
	<i>Salmonella</i> spp.	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i> spp.	<i>E. coli</i>
P1	-	+	-	+
P2	-	+	-	-
P3	-	+	-	+
P4	-	+	-	+
P5	+	+	+	+
P6	-	+	-	+
P7	-	-	-	+
P8	-	+	+	+
P9	+	+	-	+
P10	+	+	+	+
P11	-	+	-	+
P12	-	+	-	+
P13	-	+	+	+
P14	-	+	-	+
<b>Frecuencia (%)</b>	21,43%	92,86%	28,57%	92,86%

**Percepción de la población de Tungurahua sobre la gestión del río Pachanlica**

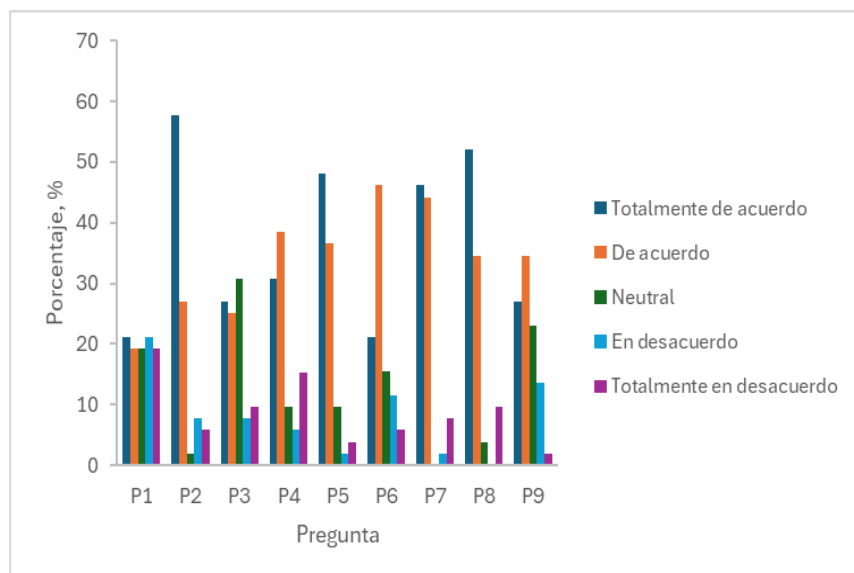
En los resultados de la Figura 4 se refleja la percepción de la población de Tungurahua sobre la gestión del río Pachanlica. Más del 20% de los encuestados coincidieron en que no se prioriza el tratamiento de aguas residuales (P1), mientras que más del 50% apoyaron que los empresarios asuman mayor responsabilidad ambiental (P2). En el caso de P3, las opiniones estuvieron divididas, pero predominó el acuerdo en que necesidades básicas como salud y educación aún no han sido resueltas.

La mayoría de los encuestados estuvo de acuerdo en que la contaminación microbiológica podría estar sobreestimada por la población (P4), y más del 40% consideró que las acciones de restauración deben ser respaldadas por el Gobierno (P5). En P6, aunque las respuestas tuvieron mayor dispersión, se evidenció cierto apoyo a la creación de un fondo ciudadano para la remediación ambiental.

Entre las percepciones más compartidas se ubicó la falta de educación ambiental formal (P7), al igual que la conciencia del riesgo sanitario por patógenos en el río (P8). Finalmente, una proporción importante de personas reconoció la responsabilidad de sus propias jurisdicciones en la calidad del agua del Pachanlica (P9), lo que sugiere apertura a procesos de corresponsabilidad comunitaria en su conservación.

**Figura 4.**

Resultado de las percepciones sobre la contaminación microbiológica en las comunidades urbanas y rurales de la microcuenca del río Pachanlica.



## Soluciones Ambientales

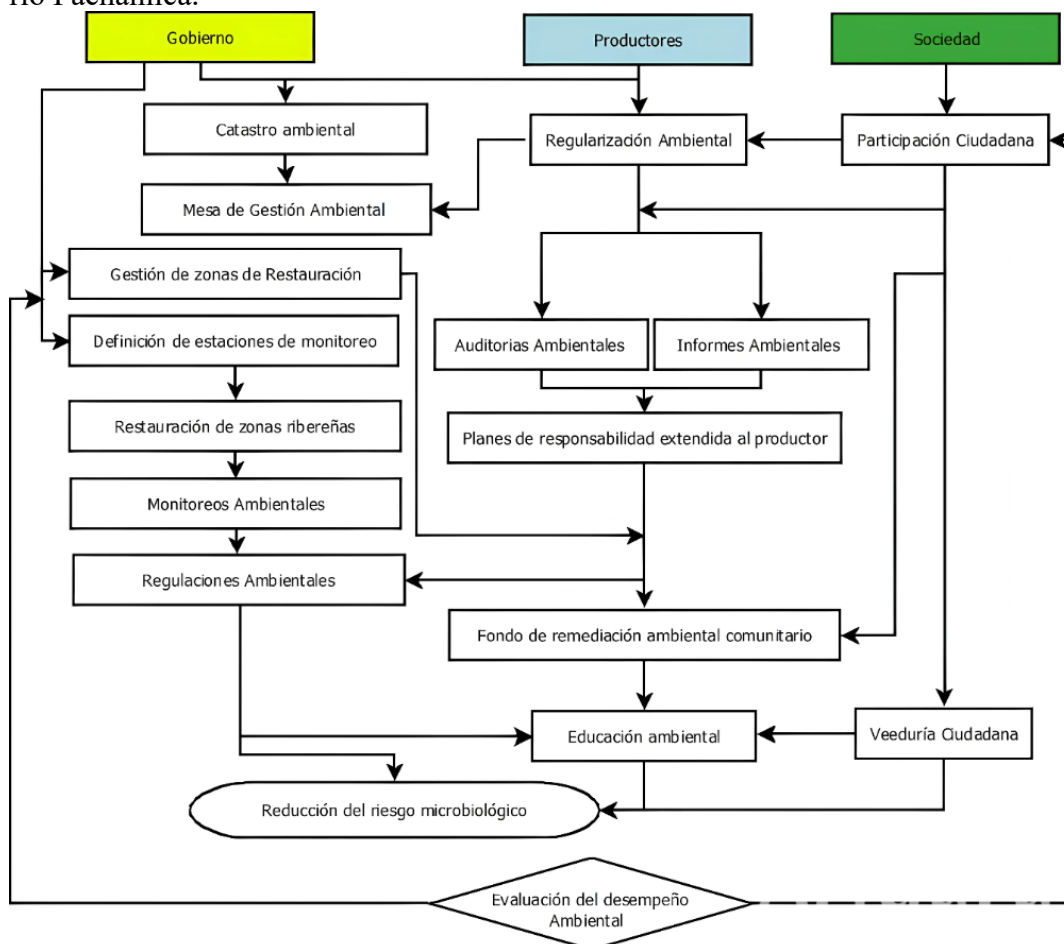
El diagrama presentado en la Figura 5 ilustra una propuesta de gobernanza ambiental desarrollada a partir de un análisis participativo en la microcuenca del río Pachanlica, en Tungurahua, Ecuador. La estructura refleja el consenso de los actores entrevistados, quienes destacaron la urgencia de impulsar la responsabilidad extendida del productor, exigiendo a empresarios e industriales cumplir con sus compromisos y declaratorias ambientales como una vía efectiva para proteger el río.

Asimismo, se identificó una demanda prioritaria por la asignación de un presupuesto sostenido por parte del Gobierno Provincial y el Estado ecuatoriano, ya que, sin este respaldo financiero, los esfuerzos de restauración carecerían de viabilidad. Complementariamente, se plantea la creación de un fondo comunitario de remediación ambiental, financiado mediante contribuciones voluntarias de la ciudadanía tungurahuesa, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de las intervenciones.

Finalmente, los actores coincidieron en la necesidad crítica de establecer un proceso formal de educación ambiental desde el Ministerio de Educación, que aborde la contaminación del río y su conexión directa con la salud pública y los derechos colectivos.

### Figura 5.

Propuesta de gobernanza ambiental construida a partir de un análisis participativo en la microcuenca del río Pachanlica.



## Discusión:

### Distribución espacial de coliformes totales y fecales

Durante la época seca, los resultados revelaron que las descargas directas presentan concentraciones elevadas de coliformes totales con baja variabilidad. Esta observación es consistente con el estudio realizado en Dakota del Sur, Estados Unidos, donde se identificaron las descargas directas como fuentes únicas e identificables de contaminantes, responsables de niveles elevados y homogéneos de coliformes en ríos (23). Además, dicho estudio señala que, en periodos de clima seco, la contaminación tiende a prevalecer debido a la ausencia de dilución por lluvias y al menor arrastre de fuentes difusas.

En contraste, las descargas difusas durante la misma época presentaron menor concentración y mayor dispersión de datos, lo que sugiere que la contaminación podría originarse de manera dispersa, posiblemente a través de la escorrentía agrícola o de infiltraciones desde suelos contaminados. Según Pavan (24), la lluvia ligera y la escorrentía en áreas agrícolas generan pulsos intermitentes de bacterias fecales, lo que resulta en una variabilidad intrínseca en las descargas difusas.

Durante la época lluviosa, se observó la aparición de valores atípicos altos en ambos tipos de descarga, lo que evidenció una intensificación de la contaminación asociada a eventos climáticos extremos (10). La presencia de *outliers* (valores atípicos) refleja episodios puntuales de escorrentía intensa, los cuales movilizan materia fecal almacenada en superficies expuestas, incrementando abruptamente la carga bacteriana en el agua (25).

Según Cáceres, las lluvias intensas generan incrementos repentinos (*spikes*) en la concentración de coliformes debido al arrastre superficial de contaminantes. Además, se ha demostrado que la movilidad hidrológica y la intensificación de eventos pluviales incrementan la variabilidad de los indicadores de contaminación microbiológica en ríos de cuencas agrícolas y semiurbanas(26).

Los resultados obtenidos en la Figura 2 sugieren una fuente constante y localizada de contaminación fecal, lo que coincide con lo documentado por Lindholm. Este autor señala que las zonas medias y bajas de las cuencas tienden a acumular descargas residuales de origen doméstico e industrial, agravadas por la limitada capacidad de renovación del agua en estos sectores (27). Las descargas puntuales, como las provenientes de conexiones domiciliarias no tratadas o mal gestionadas, son responsables de esta contaminación homogénea, tal como lo han evidenciado investigaciones previas en sistemas hídricos rurales (28).

Por otro lado, las descargas difusas durante la época seca muestran menores concentraciones y mayor dispersión de datos, lo que refleja una contaminación más variable, posiblemente asociada a escorrentía agrícola y ganadera(16). Este patrón coincide con lo reportado por Campuzano (18), quienes señalaron que la variabilidad espacial se intensifica cuando las fuentes de contaminación son dispersas y sujetas a condiciones como uso del suelo y pendientes. Durante la época lluviosa, tanto las descargas directas como las difusas registraron valores atípicos, lo que indica eventos puntuales de alta carga microbiológica(20). Estos picos pueden explicarse por el arrastre superficial de materia fecal y sedimentos

contaminados desde las partes altas hacia los cursos medios y bajos de la cuenca, fenómeno también reportado en el Delta del Danubio durante eventos de tormenta(28).

Además, al analizar la distribución altitudinal de la contaminación, se observa que las zonas altas presentan concentraciones de coliformes significativamente menores. Esto puede atribuirse a la menor intervención humana y a la calidad del agua proveniente de fuentes naturales como manantiales y páramos (29). Investigaciones recientes destacan la importancia estratégica de conservar estos ecosistemas altoandinos, tanto por su función ecológica como por su papel en garantizar el abastecimiento de agua limpia a las comunidades ubicadas aguas abajo (30). En este contexto, la gestión integrada de cuencas debe priorizar medidas de protección y monitoreo diferenciadas según la zona altitudinal y el tipo de descarga (31).

Se puede determinar eventos de precipitación intensa que pueden generar arrastre superficial de excretas animales o remoción de bacterias acumuladas en sedimentos (Figura 3). Este comportamiento también ha sido observado en cuencas montañosas, donde se identifican spikes microbiológicos luego de tormentas debido a la escasa cobertura vegetal y el aumento del escurrimiento superficial (32). Por su parte, la cuenca media muestra estabilidad entre estaciones climáticas, lo que podría estar relacionado con una mayor cobertura vegetal o con un equilibrio entre las fuentes de contaminación y los procesos de autodepuración del ecosistema(33).

En cuanto a la cuenca baja, se observó una disminución en los niveles de coliformes durante la época seca, posiblemente debido a la reducción de la escorrentía superficial y a la sedimentación de partículas contaminadas (34). Sin embargo, en época lluviosa se presenta un ligero aumento de concentración, que podría explicarse por la acumulación y posterior movilización de contaminantes provenientes de zonas medias y altas de la cuenca (1).

### **Evaluación cualitativa de presencia de *Salmonella spp* y *Escherichia coli*.**

Los resultados obtenidos evidencian una elevada frecuencia de *E. coli* tanto en época seca como lluviosa, mientras que *Salmonella spp.* presentó menor frecuencia. Este comportamiento es similar al reportado en un estudio realizado en una playa de Argentina, donde se observó una mayor frecuencia de bacterias fecales en sedimentos asociada al incremento de visitantes (15). En este estudio, el aumento de *Salmonella spp.* en época lluviosa se vinculó con el arrastre de contaminantes desde zonas agrícolas o urbanas (30).

Por otro lado, investigaciones han indicado que *E. coli* es un indicador universal de contaminación fecal en fuentes de agua y que su presencia es más consistente debido a la persistencia de fuentes de contaminación, como descargas domésticas e industriales (32).

Asimismo, la detección de *Salmonella spp.* muestra una menor prevalencia, aunque sigue siendo significativa, con frecuencias del 21.43 % en la época seca y un incremento al 28.57 % durante las lluvias. Esto coincide con la investigación de Bell et al. (2021), quienes señalaron que las lluvias intensifican la

contaminación por patógenos más resistentes y menos abundantes, como *Salmonella*, a través del escurrimiento de desechos animales y aguas residuales no tratada.

Según (35) en un estudio realizado en San José de Chimbo, provincia de Bolívar, Ecuador, se detectó la presencia de *Salmonella spp.* en el 10 % de las muestras de agua analizadas. El mayor número de muestras contaminadas se encontró en las fuentes de consumo directo, mientras que las muestras obtenidas directamente del talud no parecían estar contaminadas.

En línea con estos hallazgos, la presencia de ambas bacterias en el punto P5 durante todo el año sugiere una fuente constante de contaminación, probablemente relacionada con descargas directas de aguas residuales domésticas y la acumulación de residuos sólidos urbanos (36). De manera similar, el punto P10 muestra altos niveles de contaminación por patógenos. Esto atribuible a tres descargas de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, en un entorno donde se realizan actividades agrícolas, lo que intensifica la presión sobre la calidad del agua (37).

En contraste, la ausencia de *Escherichia coli* en el punto P7 durante la época seca podría estar asociada con condiciones locales más favorables, como una mayor cobertura vegetal ribereña, menor densidad poblacional, ausencia de descargas domésticas directas y la presencia de fuentes naturales de recarga, como manantiales. Estas condiciones contribuyen a una mejor calidad del agua, al reducir el ingreso de contaminantes microbiológicos. Además, se ha observado que en esta zona el agua es utilizada incluso para actividades como el lavado de ropa, lo cual refuerza la percepción comunitaria de que el impacto de fuentes contaminantes en esta área es mínimo(38).

### **Percepción de la población de Tungurahua sobre la gestión del río Pachanlica**

La percepción pública sobre la contaminación de los ríos es importante para la implementación de medidas de mitigación que sean efectivas (39). Investigaciones en el río Milagro, ubicado en la provincia del Guayas, han revelado un nivel bajo de conciencia y conocimiento preventivo en la población respecto a la contaminación ambiental del río y los efectos que tiene en la salud y ambiente (31). Este desconocimiento puede obstaculizar los esfuerzos por mejorar la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos (40). Además, la falta de educación ambiental formal, tanto en el currículo educativo como en campañas comunitarias, limita el desarrollo de una corresponsabilidad ciudadana para la conservación de los recursos hídricos (32).

La eutrofización causada por el exceso de nutrientes provenientes de actividades humanas, como la agricultura, y el vertido de aguas residuales, también contribuyen a la proliferación de microorganismos patógenos en los cuerpos de agua. Este proceso promueve el crecimiento de bacterias coliformes y cianobacterias tóxicas, afectando la calidad del agua e incrementando el riesgo de enfermedades gastrointestinales y dermatológicas, especialmente en poblaciones vulnerables (41). Además, la eutrofización reduce los niveles de oxígeno disuelto, altera la estructura de las comunidades acuáticas y disminuye la resiliencia del ecosistema (33).

En este contexto, es importante adoptar enfoques integrales que consideren la salud humana, animal, y ambiental de manera conjunta, como lo propone la iniciativa "Una Salud" (One Health) (42). La implementación de estrategias One Health permite una mejor evaluación del riesgo, mayor coordinación interinstitucional y un manejo más eficiente de los recursos para intervenciones sostenibles.

En Ecuador, aunque existen normativas ambientales como el Acuerdo Ministerial 097-A, que regula los límites permisibles de vertidos, la falta de control efectivo y seguimiento sistemático limita su impacto. Con el fin de mejorar la situación del río Pachanlica, es fundamental fortalecer las capacidades institucionales de los gobiernos locales y provinciales, así como incentivar la participación de la ciudadanía (2). Estas acciones deben incluir educación ambiental fundamentada en evidencia científica, inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales y programas de monitoreo microbiológico continuo con participación comunitaria (43).

### **Soluciones Ambientales**

La estructura planteada en la Figura 5 responde a principios clave de la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), que promueven la participación efectiva de múltiples actores, el financiamiento sostenible y el monitoreo basado en evidencia (44). La incorporación de la responsabilidad extendida del productor (REP) fortalece el control de las descargas industriales e internaliza los costos ambientales, una estrategia que ha demostrado ser eficaz en diversos contextos latinoamericanos (Delmas et al., 2019).

Asimismo, la restauración ecológica de ríos solo puede consolidarse si está acompañada de una gobernanza sólida, articulada con financiamiento público-privado y mecanismos de rendición de cuentas comunitaria (Postel & Richter, 2012). En esa línea, la creación de un fondo de remediación ambiental comunitario es coherente con las recomendaciones de la CEPAL (2021), que destaca la necesidad de mecanismos financieros descentralizados para la gestión hídrica en cuencas degradadas.

Finalmente, la educación ambiental formal cumple un rol esencial en la generación de cambios de comportamiento a largo plazo, especialmente cuando se vincula con problemáticas sanitarias y el acceso a agua segura (UNEP, 2016; Cedeño & Torres, 2023). En conjunto, este modelo demuestra cómo el diseño participativo puede articular soluciones técnicas y sociopolíticas con alto potencial de implementación local.

## **4. CONCLUSIONES**

La investigación realizada en la microcuenca del río Pachanlica evidenció una fuerte presión antrópica sobre la calidad microbiológica del agua, reflejada en concentraciones elevadas de *Escherichia coli* (92,86%) durante ambas épocas y presencia de *Salmonella spp.* en hasta el 28,57% de los puntos evaluados. Estos datos confirman la existencia de una contaminación persistente asociada a descargas domésticas, industriales, actividades agropecuarias, y escorrentías no controladas.

La relación entre coliformes fecales y totales mostró ser una herramienta útil y accesible para el diagnóstico del riesgo microbiológico, dada su sensibilidad y representatividad en diferentes tramos del cauce. Además, los valores registrados en puntos con caudal bajo y mediano, especialmente en época

lluviosa, evidencian que las lluvias intensifican el arrastre de contaminantes, mientras que la temperatura y la falta de tratamiento residual agravan la carga patógena.

Por otro parte, las percepciones sociales reflejan una creciente preocupación ciudadana por el deterioro de los recursos hídricos, junto con una demanda por mayor corresponsabilidad entre los sectores público, privado y comunitario. La encuesta mostró apoyo al fortalecimiento del marco normativo, la educación ambiental formal y la creación de fondos de remediación hídrica, lo cual sugiere la existencia de una base social dispuesta a participar en procesos de gobernanza ambiental. Es imprescindible articular esfuerzos desde el enfoque de justicia hídrica y salud pública para mitigar los impactos actuales y prevenir escenarios de riesgo futuro en la región andina ecuatoriana.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existen conflicto de intereses con su investigación

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

<i>Participar activamente en:</i>	<i>Autor 1.</i>	<i>Autor 2,3</i>	<i>Autor 4,5,6</i>
<i>Conceptualización</i>	X	X	X
<i>Análisis formal</i>	X	X	X
<i>Adquisición de fondos</i>	X	X	X
<i>Investigación</i>	X	X	X
<i>Metodología</i>	X	X	X
<i>Administración del proyecto</i>	X	X	X
<i>Recursos</i>	X	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X	X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X	X
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X	X

## REFERENCIAS

- Ponce MBM. Determinación de las áreas de interés hídrico en una microcuenca abastecedora de una ciudad alto andina. 2023;13(1):104–16.
- Tenemaza Solórzano HF, Loor-Basurto WA, Guerrero-Alcívar MS. Planta de tratamiento de aguas residuales (ptar): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado en la ptar el Tambo. MQRInvestigar. 2024;8(2):918–32.
- Leal GRG. Microbiología del agua - Conceptos y aplicaciones. 2012. 262–263 p.
- Grajales Bobadilla EA. Que ocasiona la contaminación del agua; una amenaza silenciosa para la vida. 2024;(June):0–11. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/381157218>
- Khosrowshahi JE, Ahad M, Salmanov O. Effect of seasonal variations in the microbiological quality of water ( a Case study in Ahar River and Sattar Khan Dam of Iran ). 2020;11(5):184–94.
- Cagle R, Ramachandran P, Reed E, Commichaux S, Mammel MK, Lacher DW, et al. Microbiota of the Hickey Run Tributary of the Anacostia River. Microbiol Resour Announc. 2019;8(12):6–8.
- Pauta-Calle G, Vázquez G, Abril A, Torres C, Loja-Sari M, Palta-Vera A. Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador. Maskana [Internet]. 2020;11(2):46–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.18537/mskn.11.02.05>
- Sánchez JA, Cuadro GM, Díaz MT, Silva MÁ. Nivel de conocimiento sobre parasitosis intestinal en madres, padres y cuidadores, Cotopaxi, Ecuador. Rev Cuba Reumatol [Internet]. 2023;25(1):e1107. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcur/v25n1/1817-5996-rcur-25-01-e1107.pdf>
- Navarrete AA, Arenas MC. Paisajes patrimoniales. Resiliencia, resistencia y metrópoli en América Latina. Paisajes patrimoniales. Resiliencia, resistencia y metrópoli en América Latina. 2020.
- Araujo. DYJ. “Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río sendamal, celendín.” Sustain [Internet]. 2019;11(1):1–14. Available from: <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://w>

- [www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
11. Williams CJ, Frost PC, Morales-Williams AM, Larson JH, Richardson WB, Chiandret AS, et al. Human activities cause distinct dissolved organic matter composition across freshwater ecosystems. *Glob Chang Biol*. 2016;
  12. Pauta G, Velasco M, Gutiérrez D, Vázquez G, Rivera S, Morales Ó, et al. Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana* [Internet]. 2019;10(2):76–88. Available from: <http://dx.doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
  13. Ubillús Farfán SW, Contreras Rivera RJ, López Sánchez RN, Patiño Ramírez S, Sáenz Avila JC. Políticas públicas y la gestión de la calidad ambiental para la descontaminación de ríos. Vol. 6, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2022. 927–952 p.
  14. Ummah MS. Censo Ecuador cuenta conmigo. *Sustain* [Internet]. 2019;11(1):1–14. Available from: [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
  15. Ling TY, Soo CL, Liew JJ, Nyanti L, Sim SF, Grinang J. Application of Multivariate Statistical Analysis in Evaluation of Surface River Water Quality of a Tropical River. *J Chem*. 2017;2017.
  16. Escandón C, Cáceres M. Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo. [Tesis Pregr Univ Politécnica Sales Sede Cuenca [Internet]. 2022;1–147. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21649/1/UPS-CT009509.pdf>
  17. Thùy PTT, Việt NV, Phương NKL, Chun-Hung L. Water Quality Assessment Using Water Quality Index: a Case of the Ray River, Vietnam. *TNU J Sci Technol*. 2021;226(06):38–47.
  18. Campuzano C, Hansen AM, De Stefano L, Martinez-Santos P, Torrente D, Willaarts B. Water resources assessment in Latin America. *Water Food Wellbeing Lat Am Caribbean Soc Environ Implic a Glob Econ*. 2014;(March).
  19. Huallpara L, Ormachea M, García ME. Assessment of the quality of physicochemical and bacteriological parameters of water springs of la paz city, Bolivia. *Rev Boliv Química*. 2017;34(4):104–11.
  20. Veenakumari AN, Arun SJ, Sundareshan S, Sheela P, Prashanth S, Rani K, et al. Isolation and antibiogram of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp . isolated from diarrheic cow calves. 2023;12(7):300–7.
  21. Machuca Yaguana JA, Aldonado Machuca MEM, Vences Vences FV. Tratamiento y representación de datos provenientes de escalas tipo Likert. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip*. 2023;7(4):736–47.
  22. Casa M, Cusi L, Vilca L. Percepciones sobre contaminación ambiental y actitudes en estudiantes universitarios. *Rev Innova Educ*. 2019;1(3):391–9.
  23. Salam S. Variability of *E. coli* in Streambed Sediments and its Implication for Water Quality. 2019;
  24. Pavan JV, Masachessi G, Prez VE, Di Cola G, Re VE, Nates SV. Evaluación de la calidad de aguas superficiales en espacios recreacionales, una propuesta integradora de marcadores químicos y microbiológicos. *Rev Fac Cienc Med Cordoba*. 2022;79(2):210–4.
  25. Fernández Ortega J, Barberá Fornell JA, Martín Rodríguez JF, Andreo Navarro B. Turbidez y distribución del tamaño de partículas en el agua subterránea como parámetros de alerta temprana frente a la contaminación fecal en un manantial kárstico. *Geogaceta*. 2023;74:63–6.
  26. Casares MV, DE CABO LI. Trend analysis of water quality monitoring data for El Riachuelo (Matanza-Riachuelo Basin, Argentina). *Rev Int Contam Ambient*. 2018;34(4):651–65.
  27. Lindholm-Lehto PC. Biosorption of heavy metals by lignocellulosic biomass and chemical analysis. *BioResources*. 2019;14(2):4952–95.
  28. Páll E, Niculae M, Kiss T, Şandru CD, Spînu M. Human impact on the microbiological water quality of the rivers. *J Med Microbiol*. 2013;62(PART 11):1635–40.
  29. Prario MI, Lucero M, Saicha A V., Patat ML, Espinosa MB, Cecchi FA. Distribución estacional de indicadores fecales en una playa recreacional del litoral Atlántico de Argentina. *Rev Int Contam Ambient*. 2024;40:241–50.
  30. Bell RL, Kase JA, Harrison LM, Balan K V., Babu U, Chen Y, et al. The persistence of bacterial pathogens in surface water and its impact on global food safety. *Pathogens*. 2021;10(11):1–33.
  31. Fernández-Ronquillo M, Fernández-Solís T, Solís-Beltrán G. Percepción de la población sobre los niveles de contaminación ambiental del Río Milagro y grado de conocimiento preventivo social sobre el efecto de su carga contaminante. *Rev Cienc Unemi* [Internet]. 2016;9(21):125–34. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661267011/582661267011.pdf>
  32. Sáenz-Arias S, Garcés-Ordóñez O, Córdoba-Meza TL, Blandon L, Espinosa Díaz LF, Vivas-Aguas LJ, et al. Pollution by wastewater discharges: A review on microorganism-microplastic interactions and their possible environmental risks in Colombian coastal waters. *Ecosistemas*. 2023;32(1).

33. Paerl HW, Otten TG. Duelling “CyanoHABs”: Unravelling the environmental drivers controlling dominance and succession among diazotrophic and non-N<sub>2</sub>-fixing harmful cyanobacteria. *Environ Microbiol*. 2016;18(2):316–24.
34. Anderson C, Jacobson S. Barriers to environmental education: How do teachers’ perceptions in rural Ecuador fit into a global analysis? *Environ Educ Res* [Internet]. 2018;24(12):1684–96. Available from: <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1477120>
35. Bayas-Morejón F, Salazar-Ramos S, Beltrán K, Verdezoto L. Aislamiento e identificación molecular de *Salmonella* spp., a partir de muestras de agua de consumo humano. *Rev InGenio*. 2022;5(1):65–70.
36. Gulias AJ, Vigo EP De, CONAMA (Congreso Nacional de Medio ambiente de España), Paiva DME de, Freitas MAV, Barbosa MC, et al. Plan de recepción y manipulación de desechos generados por los buques y residuos de carga. *Rev la CEPAL* [Internet]. 2015;1980(May 2019):2014–5. Available from: [https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/25031/TFM000848.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1d0B1ImVsImb4JUsTbP0btE8mQ5coiI67wIM9kDNxXFCsRanu-C6YrmIo%0Ahttps://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10672/Iván Santiago](https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/25031/TFM000848.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1d0B1ImVsImb4JUsTbP0btE8mQ5coiI67wIM9kDNxXFCsRanu-C6YrmIo%0Ahttps://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10672/Iván%20Santiago)
37. Larreal J, Rojas M, Romeu B. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. *Cenic, Ciencias Biológicas*. 2013;44(Contaminación fecal):24–34.
38. Feng Y, Chenglin L, Bowen W. Evaluation of heavy metal pollution in the sediment of Poyang Lake based on stochastic geo-accumulation model (SGM). *Sci Total Environ*. 2019;659.
39. Departamento de Salud y Servicios Humanos de Michigan. Coliformes en el agua potable. *Dep Medio Ambient Gd Lagos y Energía Michigan* [Internet]. 2021; Available from: [https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/mdhhs/Folder1/Folder37/Coliform\\_Bacteria\\_02-07-2020\\_FINAL\\_SPANISH.pdf?rev=0cdc255c3bcd42d19a7c09c5934a5780](https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/mdhhs/Folder1/Folder37/Coliform_Bacteria_02-07-2020_FINAL_SPANISH.pdf?rev=0cdc255c3bcd42d19a7c09c5934a5780)
40. Camargo JA, Alonso A. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Rev Ecosistemas*. 2007;
41. Gil-mora JE. Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip*. 2022;6(1):3722–48.
42. Destoumieux-Garzón D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, et al. The one health concept: 10 years old and a long road ahead. *Front Vet Sci*. 2018;5(FEB):1–13.
43. Quiroga D, Becerra LD, Borrego-Muñoz P. Sinergismo para la solución de problemas ambientales: remediación de fuentes hídricas mediante el empleo de bases de Schiff. *Rev Invest (Guadalajara)*. 2020;12(2):165–79.
44. Moss JB, While GM. Climate change as a catalyst of social evolution. Vol. 61, *EcoEvoRxiv Preprints*. 2020. 0–2 p.