

Variación espacial de la contaminación por coliformes fecales en el Río Portoviejo, Provincia de Manabí

Spatial Variation of Fecal Coliform Contamination in the Portoviejo River, Manabí Province

Vicente Cedeño Álava¹ <https://orcid.org/0009-0009-5832-6015>,
Olga Arévalo Castro¹ <https://orcid.org/0000-0001-9040-2721>, Katthy López Escobar^{1, 2}
<https://orcid.org/0000-0001-9868-9018>, Ida Álava Mieles¹ <https://orcid.org/0000-0001-6228-2726>, Vinicio
Macas Espinosa¹ <https://orcid.org/0000-0003-0319-0631>

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Guayaquil, Ecuador
vicent10_03@hotmail.com, olga.arevaloc@ug.edu.ec,
ida.alavam@ug.edu.ec, vinicio.macase@ug.edu.ec

²Geo-Network of Latin American-German Alumni. GOAL-DAAD, Germany
katthy.lopeze@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2024/12/26
Aceptado: 2025/06/13
Publicado: 2025/06/30

Resumen

El presente estudio evalúa la calidad microbiológica y fisicoquímica del río Portoviejo, ubicado en la provincia de Manabí (Ecuador), mediante el análisis de coliformes fecales y parámetros como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad. Para este propósito, se establecieron ocho estaciones de muestreo a lo largo del cauce principal, desde su nacimiento hasta la desembocadura, abarcando los cantones de Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre. Se recolectaron 48 muestras de agua en junio de 2023 y los análisis se realizaron in situ y en laboratorio, conforme a la norma INEN 2176:2013 y el método 1060 de la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los resultados mostraron concentraciones de coliformes fecales que oscilaron entre 1 600 y 160 000 NMP/100 mL, con promedios por estación que superaron en su totalidad los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana para usos recreativos y agrícolas. La estación más contaminada fue la ubicada en la ciudadela El Comercio (Portoviejo), con $137\,333.33 \pm 39\,259.82$ NMP/100 mL. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre estaciones (ANOVA, $p < 0.05$), y la correlación de Spearman indicó una relación positiva entre

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones.

Como citar: Cedeño, V., Arévalo, O., López, K., Álava, I. & Macas, V. (2025). Variación espacial de la contaminación por coliformes fecales en el Río Portoviejo, Provincia de Manabí. *Revista Tecnológica - Espol*, 37(1), 348-364. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1271>

la concentración de coliformes y el número de habitantes. Los valores de conductividad, salinidad y sólidos disueltos también alcanzaron niveles que implican restricciones para el uso agrícola en algunos tramos. Se identificó una mayor contaminación en zonas urbanas densamente pobladas, y se propuso un plan de acción con estrategias por cantón para mitigar los impactos detectados. Finalmente, se planteó una propuesta de acción con la finalidad de mitigar la contaminación microbiológica.

Palabras clave: bacteria, coliformes fecales, contaminación fluvial, microbiológica, variación espacial.

Abstract

This study evaluates the microbiological and physicochemical quality of the Portoviejo River, located in the Manabí province (Ecuador), through the analysis of fecal coliforms and parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), and salinity. For this purpose, eight sampling stations were established along the main river course, from its source to its mouth, covering the cantons of Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte, and Sucre. A total of 48 water samples were collected in June 2023, and analyses were conducted both in situ and in the laboratory, following the Ecuadorian Technical Standard INEN 2176:2013 and Method 1060 of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. The results showed fecal coliform concentrations ranging from 1,600 to 160,000 MPN/100 mL, with station averages exceeding the maximum permissible limits established by Ecuadorian regulations for recreational and agricultural uses. The most contaminated station was located in the El Comercio neighborhood (Portoviejo), with $137,333.33 \pm 39,259.82$ MPN/100 mL. Statistical analysis revealed significant differences between stations (ANOVA, $p < 0.05$), and Spearman's correlation showed a positive relationship between fecal coliform concentration and population size. Conductivity, salinity, and TDS values also reached levels that indicate restrictions for agricultural use in some sections. Higher contamination was identified in densely populated urban areas, and an action plan was proposed with strategies by canton to mitigate the observed impacts. Finally, a proposal was presented to reduce microbiological pollution.

Keywords: bacteria, fecal coliforms, river contamination, microbiological, spatial variation.

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano. Su calidad y disponibilidad están directamente relacionadas con la salud pública y la sostenibilidad ambiental; sin embargo, a nivel global, las fuentes hídricas están siendo gravemente afectadas por la contaminación, tanto de origen natural como antrópico, comprometiendo su capacidad de abastecimiento y aumentando los riesgos sanitarios (López-Gálvez & Gil, 2020; Arévalo Lata, 2017).

En las últimas décadas, el crecimiento poblacional y la descarga de aguas residuales no tratadas han incrementado la carga microbiológica en cuerpos de agua superficiales (Olivas-Enríquez et al., 2011). Una de las formas más comunes de contaminación es la presencia de coliformes fecales, microorganismos indicativos de residuos fecales humanos o animales, que pueden albergar patógenos como *E. coli*, *Salmonella* y *Vibrio cholerae* (Cabral et al., 2018; Arias et al., 2022). Estos patógenos representan un riesgo considerable de enfermedades entéricas, especialmente en zonas donde las aguas contaminadas se utilizan con fines recreativos, agrícolas o para consumo humano (Guambo et al., 2022; Dorevitch et al., 2015).

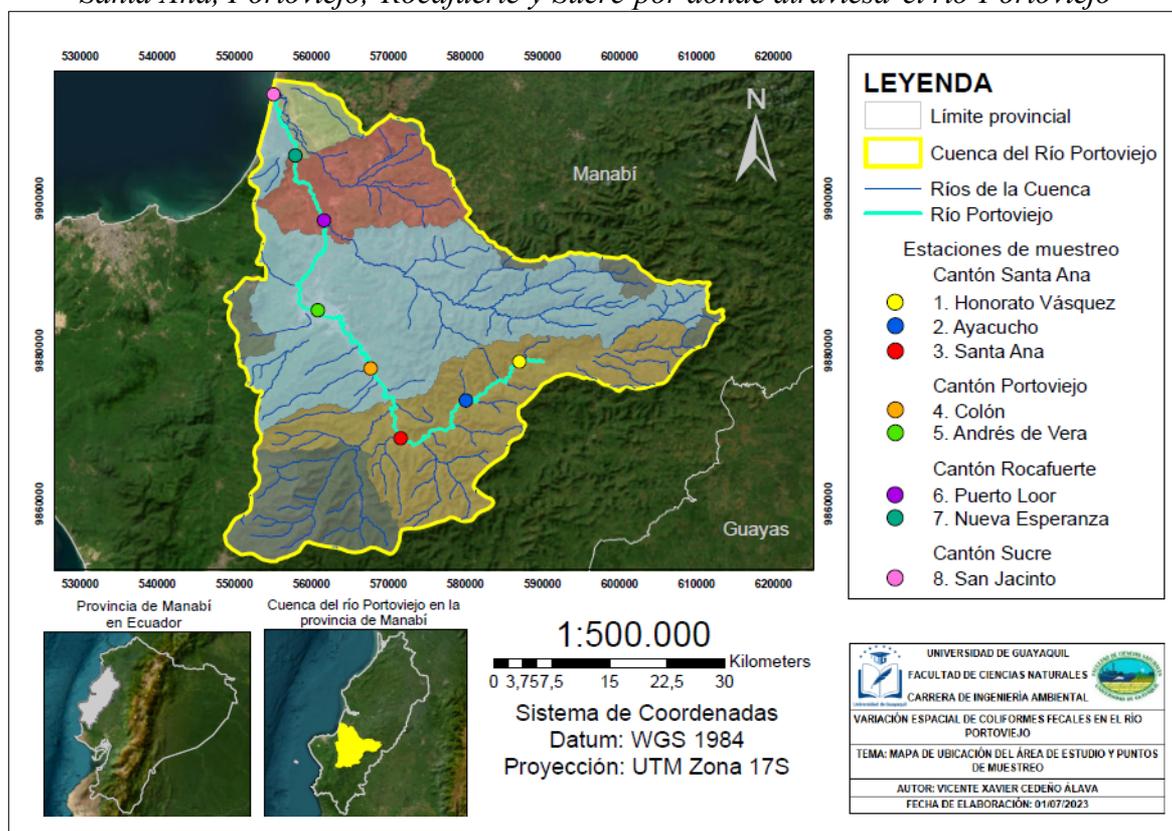
En Ecuador, aunque el país dispone de abundantes recursos hídricos, se estima que más del 70% de sus ríos presentan niveles de contaminación superiores a los permitidos (Palacios, 2013). Estudios realizados en cuerpos de agua de la región costera, como los ríos Chone, Jama, Esmeraldas y estuarios urbanos, han reportado niveles preocupantes de coliformes fecales, reflejando una tendencia creciente en la degradación de la calidad del agua (Real Goya et al., 2025; Frena et al., 2019; Mitra et al., 2018).

Pese a estos antecedentes, la calidad microbiológica del cauce principal del río Portoviejo, uno de los más importantes de la vertiente del Pacífico ecuatoriano, ha sido poco estudiada. Este río recorre aproximadamente 106 km y su cuenca abarca 2134 km², abasteciendo de agua potable a más de 600.000 habitantes e incluyendo zonas de uso recreativo y agrícola. La intensificación de las actividades humanas y el vertido de aguas residuales en los cantones de Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre generan una presión creciente sobre este recurso (Intriago-Flores & Quiroz-Fernández, 2021; Quiroz et al., 2017; Cedeño-Loor, 2019).

Dado que la contaminación fecal constituye una amenaza directa a la salud y al ambiente, este estudio propone evaluar la presencia y concentración de coliformes fecales en el río Portoviejo desde su nacimiento hasta su desembocadura, abarcando puntos distribuidos en los cantones de Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica del área de estudio y la localización precisa de las estaciones de muestreo dentro de la cuenca del río Portoviejo. A partir de los resultados obtenidos, se busca presentar estrategias de mitigación y gestión ambiental que contribuyan a la conservación del recurso hídrico y la protección de las comunidades ribereñas.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio y puntos de muestreo en localidades de los cantones Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre por donde atraviesa el río Portoviejo



Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal, cuyo propósito fue caracterizar la contaminación por coliformes fecales en el río Portoviejo a lo largo de su recorrido por diversos cantones de la provincia de Manabí. La metodología empleada abarcó el diseño del muestreo, la descripción de los procedimientos analíticos tanto fisicoquímicos como microbiológicos, así como el tratamiento estadístico de los datos recolectados. Este enfoque integral permitió establecer comparaciones espaciales entre distintos tramos del río y vincular los niveles de contaminación con las actividades humanas circundantes, respetando los protocolos técnicos normativos vigentes en Ecuador y estándares internacionales.

Diseño del muestreo para microbiología y parámetros fisicoquímicos

En campo se realizaron visitas in situ a la zona de estudio con el objetivo de observar y registrar los puntos tentativos de muestreo. Se consideraron criterios como localización, accesibilidad y seguridad, seleccionando ubicaciones cercanas a poblados o comunas, y con distancias promedio de 10 km entre estaciones. En total se definieron 8 estaciones, con un total de 48 muestras de agua para análisis microbiológico y fisicoquímico, siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013). La norma establece los procedimientos adecuados para obtener muestras representativas en cuerpos de agua naturales.

En cada una de las ocho estaciones definidas a lo largo del río Portoviejo, se efectuaron tres tomas puntuales dispuestas a lo largo de una línea transversal que cruza de margen a margen del cauce, garantizando la representatividad espacial del flujo. Cada uno de estos tres puntos fue muestreado por duplicado, de manera inmediata al finalizar las tres primeras, lo cual totaliza seis muestras por estación para el análisis microbiológico y una en cada estación para el análisis fisicoquímico, ver Tabla 1. Las muestras se recolectaron en botellas de polietileno estériles, sumergidas aproximadamente a 20 cm bajo la superficie, evitando la agitación del sedimento o contacto con la orilla.

Tabla 1

Ubicación y cantidad de muestras por estación para análisis de microbiología y fisicoquímico

Cantón	Estación	Ubicación	Muestras Microbiología	Muestras Fisicoquímico
Santa Ana	E1	El Tamarindo, 1 km después de la parroquia Honorato Vásquez, cercano a la represa Poza Honda	6	1
	E2	Km. 13 vía Santa Ana – Poza Honda, entrada al sitio Agua Fría	6	1
	E3	Cabecera cantonal, zona urbana	6	1
	E4	El Cady, parroquia Colón	6	1
Portoviejo	E5	Ciudadela El Comercio, parroquia Andrés de Vera, Portoviejo	6	1
Roca fuerte	E6	Comunidad Puerto Loor	6	1
	E7	Comunidad Nueva Esperanza	6	1

Cantón	Estación	Ubicación	Muestras	
			Microbiología	Fisicoquímico
Sucre	E8	Sendero ecológico del manglar La Boca, comuna San Jacinto	6	1

Nota: Frascos de 125 ml para muestras de ensayos de microbiología y frascos de 1 litro para ensayos de parámetros fisicoquímicos. Tomas realizadas en el mes de junio 2023.

Los recipientes utilizados fueron de 125 mL para análisis microbiológicos y de 1 L para parámetros fisicoquímicos. Una vez recolectadas, las muestras fueron etiquetadas, almacenadas a 4 °C en cajas térmicas, y transportadas inmediatamente al laboratorio Lazo ubicado en el cantón Durán, conforme a las recomendaciones de conservación y preservación establecidas por la norma (Standard Methods Committee of the American Public Health Association, 2023a) en el 1060 Recolección y Conservación de Muestras de Standard Methods para el análisis de agua y aguas residuales (SMWW). El análisis microbiológico empleó la técnica de fermentación en tubos múltiples para coliformes fecales, conforme al método 9221E (Standard Methods Committee, 2023b).

Este diseño de muestreo garantizó una cobertura horizontal representativa del río en cada estación y la integridad de las muestras para su análisis posterior. La fecha de realización fue durante las cuatro semanas del mes de junio de 2023.

En cada estación de muestreo y para cada una de las muestras recolectadas, se realizaron mediciones in situ de los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), salinidad y temperatura. Estas mediciones se efectuaron utilizando un equipo multiparámetro PC60 Premium de Apera, previamente calibrado según las especificaciones del fabricante. Los valores obtenidos fueron registrados de forma inmediata en una bitácora de campo, conforme a las recomendaciones del protocolo 1060 de la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Standard Methods Committee, 2023a), el cual establece la necesidad de realizar ciertos análisis directamente en campo para garantizar la precisión y representatividad de los datos.

Tratamiento estadístico

Los datos fisicoquímicos y microbiológicos fueron analizados para verificar su normalidad mediante la prueba de Anderson-Darling. La homogeneidad de varianzas fue evaluada con la prueba de Levene. Para comparar las concentraciones de coliformes fecales entre estaciones, se aplicó ANOVA y la prueba a posteriori de Tukey. Además, se empleó la correlación de Pearson para analizar relaciones entre variables. Todo el procesamiento estadístico se realizó con el software R Studio versión 4.0.2.

Representación Espacial de la Contaminación Microbiológica y número de habitantes

Para la elaboración del mapa de variación espacial de coliformes fecales en el río Portoviejo, se utilizaron los datos obtenidos de las ocho estaciones de muestreo. Cada estación fue georreferenciada en coordenadas UTM a través de un GPS de mano, y luego procesada en el software QGIS versión 3.28. Los niveles de concentración fueron representados mediante esferas de distintos tamaños de acuerdo a la concentración de coliformes fecales en NMP/100 ml.

Los valores fueron clasificados en rangos conforme a los niveles de contaminación establecidos por Bermúdez-Medranda et al. (2022) y contrastados con los límites máximos permisibles del MAATE (2015). A su vez, se incorporaron los polígonos de las zonas urbanas

ubicadas en las riberas del río (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2011), y se cuantificó el número de habitantes por cada localidad (Tabla 2). Esto permitió observar visualmente la relación entre el nivel de contaminación y la concentración demográfica en las zonas aledañas al cauce del afluente (véase las Figura 3 y 4).

Resultados

Nivel de contaminación microbiológica

El análisis de la contaminación microbiológica del río Portoviejo se basó en la escala conceptual propuesta por Bermúdez-Medranda et al. (2022), que permite clasificar la intensidad de la contaminación según el porcentaje de muestras que superan el umbral de 200 NMP/100 mL de coliformes fecales. Esta clasificación considera tres niveles:

- Contaminación baja: hasta el 20 % de las muestras supera los 200 NMP/100 mL.
- Contaminación media: entre el 21 % y 60 % de las muestras superan el umbral.
- Contaminación alta: entre el 61 % y el 100 % de las muestras superan los 200 NMP/100 mL.

Esta escala es útil para describir tendencias generales en el estado microbiológico del agua; sin embargo, con el fin de verificar el cumplimiento legal en cada estación, se contrastaron también los resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana (MAATE, 2015), en la cual los valores de coliformes fecales no deben exceder los 1000 NMP/100 mL para riego y uso pecuario, y 200 NMP/100 mL para fines recreativos.

Tabla 2

Valores NMP/100 mL para cada una de las estaciones y el promedio por estación medida en el río Portoviejo

Cantón	Estación	Punto	Habitantes	NMP/100ml	Promedio (NMP/100ml)
Santa Ana	E1	1	385	1600	4133.33 ± 4387.86
		2		1600	
		3		9200	
	E2	1	1.151	16000	28666.67 ± 21939.31
		2		16000	
		3		54000	
	E3	1	9.681	92000	41.333.33 ± 39259.82
		2		160000	
		3		92000	
Portoviejo	E4	1	5.665	54000	37666.67 ± 15176.74
		2		35000	
		3		24000	
	E5	1	201.017	160000	137333.33 ± 39259.82
		2		160000	
		3		92000	
Rocafuerte	E6	1	2.712	1700	9366.67 ± 12677.67
		2		24000	
		3		2400	
	E7	1	1.86	16000	13733.33 ± 3925.98
		2		16000	
		3		9200	
Sucre	E8	1	10.657	24000	14066.67 ± 11027.84
		2		16000	
		3		2200	

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo. Se observó que el 100 % de las muestras superaron el umbral de 200 NMP/100 mL, lo que ubica al río Portoviejo en el nivel de contaminación alta, según Bermúdez-Medranda et al. (2022). Además, el 92 % de los valores promedio por estación también superaron los límites establecidos por la normativa ecuatoriana para riego y contacto recreativo. Esto evidencia una situación crítica de calidad microbiológica en todo el cauce del río, como en otros del país, así lo indican Richiardi et al., (2023); Silva et al., (2024); Vinueza et al., (2021).

Parámetros fisicoquímicos

Con el propósito de evaluar la calidad del agua en distintas localidades de la cuenca del río Portoviejo, se analizaron los parámetros fisicoquímicos obtenidos a partir de tres puntos de muestreo por estación, considerando un total de 24 puntos distribuidos en los cantones de Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre (ver Tabla 3 y Figura 2).

El pH promedio registrado fue de 7.76 ± 0.13 , dentro del rango permitido por la normativa ecuatoriana (6.5 a 9.5). El valor más elevado (8.19) se observó en la muestra 1 de la Estación 4 (cantón Portoviejo), mientras que el valor más bajo (7.47) correspondió a la muestra 2 de la Estación 2 (Santa Ana). La estación con el promedio más alto fue la E4 (8.01 ± 0.17), y la más baja fue la E2 (7.56 ± 0.12).

Respecto a la conductividad eléctrica, se obtuvo un promedio general de $1286.33 \pm 803.33 \mu\text{S/cm}$, lo cual representa una restricción moderada para uso agrícola (700–3000 $\mu\text{S/cm}$), según el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. La mayor conductividad (3100 $\mu\text{S/cm}$) se registró en la muestra 3 de la Estación 8 (Sucre), clasificándose como de restricción severa (>3000 $\mu\text{S/cm}$), mientras que el valor mínimo (263 $\mu\text{S/cm}$) se observó en la muestra 2 de la Estación 1 (Santa Ana), considerada apta para riego.

Tabla 3

Parámetros fisicoquímicos de las estaciones medidas en el río Portoviejo

Cantón	Estación	Punto	pH	Media	Temperatura (°C)	Media	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Media	TDS (ppm)	Media	Salinidad (g/L)	Media
Santa Ana	E1	1	7.61	7.69	28.90	28.63	268	279	190	192	0.14	0.13
		2	7.65		28.40		263		192		0.13	
		3	7.81		28.60		306		195		0.13	
	E2	1	7.70	7.56	29.00	29.07	326	344	247	248	0.17	0.18
		2	7.47		29.20		342		246		0.18	
		3	7.52		29.00		365		252		0.18	
E3	1	7.71	7.71	29.20	29.07	573	587	387	408	0.27	0.29	
	2	7.77		28.80		575		406		0.29		
	3	7.64		29.20		612		430		0.3		
Portoviejo	E4	1	8.19	8.01	28.50	28.43	1616	1512	1150	1080	0.81	0.76
		2	7.99		28.40		1466		1040		0.74	
		3	7.85		28.40		1455		1050		0.74	
	E5	1	7.74	7.77	29.20	28.97	1635	1657	1160	1177	0.82	0.81
		2	7.74		28.80		1677		1190		0.78	
		3	7.83		28.90		1660		1180		0.83	
Rocafuerte	E6	1	7.72	7.78	29.10	29.27	1664	1675	1180	1190	0.83	0.84
		2	7.81		29.50		1672		1190		0.84	
		3	7.81		29.20		1689		1200		0.85	
	E7	1	7.79	7.81	28.90	29.27	1682	1669	1200	1193	0.84	0.84
		2	7.90		29.70		1659		1190		0.84	
		3	7.74		29.20		1667		1190		0.83	
Sucre	E8	1	7.74	7.73	29.40	28.97	2460	2567	1740	1813	1.23	1.28
		2	7.72		28.80		2140		1520		1.07	
		3	7.74		28.70		3100		2180		1.53	
			7.76		28.96		1286.33		912.71		0.64	

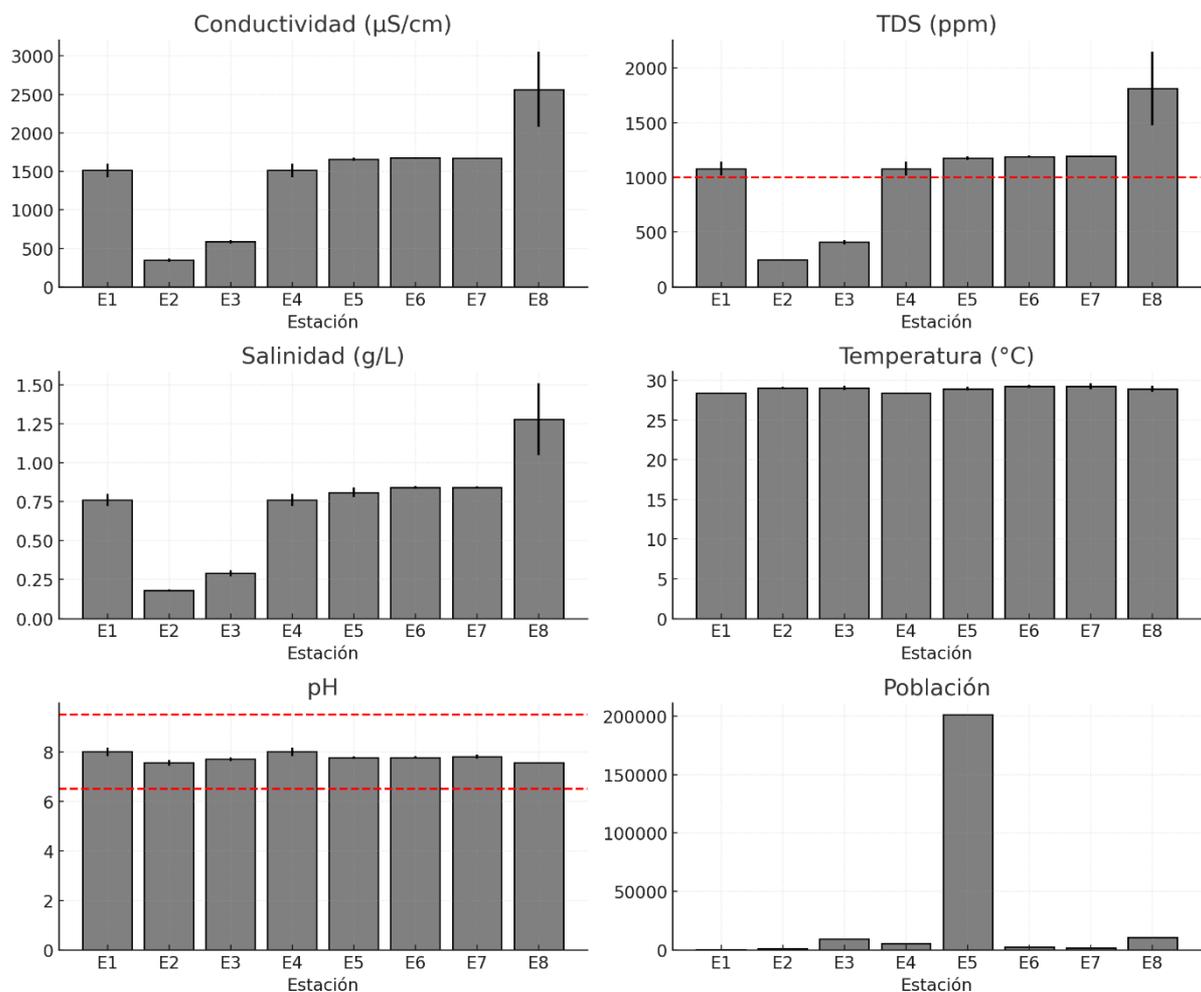
El análisis de sólidos totales disueltos (TDS) evidenció un promedio de 912.71 ± 570.69 mg/L, situándose en el rango de restricción moderada para riego agrícola. La concentración más alta fue de 2180 mg/L en la muestra 3 de la Estación 8, lo que indica una restricción severa (>2000 mg/L), mientras que el valor más bajo fue de 190 mg/L en la muestra 1 de la Estación 1. El promedio más alto por estación se observó en E8 (1813.33 ± 336.06 mg/L).

En cuanto a la salinidad, los valores oscilaron entre 0.13 y 1.53 g/L, con un promedio global de 0.64 ± 0.40 g/L. La Estación 8 evidenció el promedio más alto (1.28 ± 0.23 g/L) y la muestra 3 es la más salina (1.53 g/L), mientras que el promedio más bajo fue reportado en la Estación 1 (0.13 ± 0.006 g/L).

Por último, la temperatura del agua en las distintas estaciones promedió 28.96 ± 0.29 °C. El valor más elevado (29.7 °C) se presentó en la muestra 2 de la Estación 7 (Rocafuerte), mientras que los valores más bajos (28.4 °C) se observaron en la muestra 2 de la Estación 1 y en las muestras 2 y 3 de la Estación 4. El promedio más alto fue el de la Estación 7 (29.27 ± 0.40 °C) y el más bajo en la Estación 4 (28.43 ± 0.06 °C).

Figura 2

Parámetros fisicoquímicos y población por estación de muestreo en el río Portoviejo



Nota: Se muestran los valores promedio de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (TDS, ppm), salinidad (g/L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y pH con sus respectivas barras de error (\pm desviación estándar). Se incluyen las líneas de referencia normativas para TDS (1000 ppm) y pH (6.5–9.5), según el MAATE (2015). En la última gráfica se presenta la población estimada en cada estación. Estos datos permiten contextualizar la presión antropogénica sobre la calidad del agua en las zonas evaluadas.

Comparación con Normativas Ambientales nacional e internacional

Los datos obtenidos de la concentración de coliformes fecales se contrastaron con los límites máximos permisibles (LMP) decretados en la normativa ambiental ecuatoriana, uruguaya y mexicana (Tabla 4).

Tabla 4

Valores límites máximos permisibles (LMP) de coliformes fecales, según normas de los países Ecuador, Uruguay, Colombia, EEUU, Chile y la OMS

Uso del Agua	Ecuador	Uruguay	Colombia	OMS	EE. UU. (EPA)	Chile
Riego agrícola (cultivos comestibles)	1000	≤2000 (prom. <1000)	1000	<1000	≤126 E. coli	≤1000
Uso pecuario	1000	≤2000 (prom. <1000)	1000	<1000	≤126 E. coli	≤1000
Recreación (contacto primario)	200	≤1000 (prom. <500)	200	0–200	≤126 E. coli	≤500
Descarga a cuerpos de agua dulce o marino	2000	≤5000 (80% muestras)	≤1000	N/A	≤200 E. coli	≤1000
Conservación (flora/fauna, cultivos no comestibles)	2000	≤2000 (prom. <1000)	≤1000	N/A	≤200 E. coli	≤1000

Nota: OMS = Organización Mundial de la Salud; EPA = Environmental Protection Agency (EE. UU.). Los valores indican el límite máximo permisible de coliformes fecales en agua, expresado como número más probable (NMP) por cada 100 mL.

Fuente: MAATE (2015) antes MAE, Decreto 253/1979, NOM-127-SSA1-1994, Resolución 2115 de 2007, WHO (2011), EPA (2012), NCh409/1.Of2005.

Análisis Estadístico

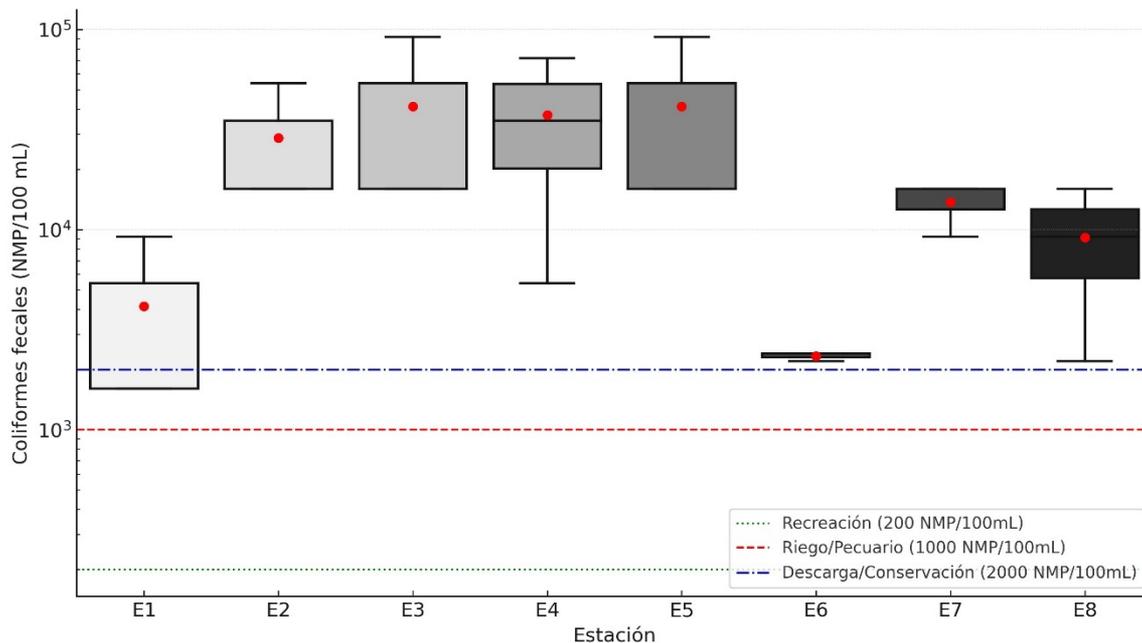
Una vez obtenidos los datos microbiológicos y fisicoquímicos, se procedió con el análisis estadístico. Para determinar si se debían aplicar pruebas paramétricas o no paramétricas, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Anderson-Darling. Esta prueba estadística permite verificar si los datos siguen una distribución normal. Se utilizó un nivel de significancia de 0.05; cuando el valor-p fue menor a este umbral, se rechazó la normalidad, por lo que se optó por utilizar pruebas no paramétricas.

En continuidad, se aplicó la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas entre estaciones. Con base en estos resultados, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de una prueba post hoc de Tukey, para identificar diferencias significativas entre las ocho estaciones de muestreo respecto a los niveles de coliformes fecales y sus relaciones con los parámetros fisicoquímicos medidos. Además, se realizó una prueba de correlación de Pearson para explorar las asociaciones entre las variables analizadas.

Los resultados de la variabilidad de coliformes fecales entre estaciones se visualizan en la Figura 3, mediante un gráfico boxplot con escala logarítmica (\log_{10}) que incluye las líneas guía correspondientes a los límites normativos establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana (MAE, 2015). Esta representación gráfica permitió identificar de forma clara las estaciones que exceden los valores permitidos y la dispersión de los datos entre réplicas. Todos los análisis estadísticos y visualizaciones fueron realizados utilizando el software R Studio versión 4.0.2.

Figura 3

Distribución de coliformes fecales por estación de muestreo en el río Portoviejo, provincia de Manabí



Nota: Se presentan los valores de coliformes fecales (NMP/100 mL) en escala logarítmica para cada estación (E1–E8), con la media indicada por círculos rojos. Las líneas horizontales corresponden a los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana: 200 NMP/100 mL para recreación con contacto primario (línea verde punteada), 1000 NMP/100 mL para riego agrícola y uso pecuario (línea roja discontinua), y 2000 NMP/100 mL para descarga en cuerpos de agua dulce o conservación de flora/fauna (línea azul punteada). Fuente: elaboración propia con base en MAATE (2015), antes MAE.

Discusión

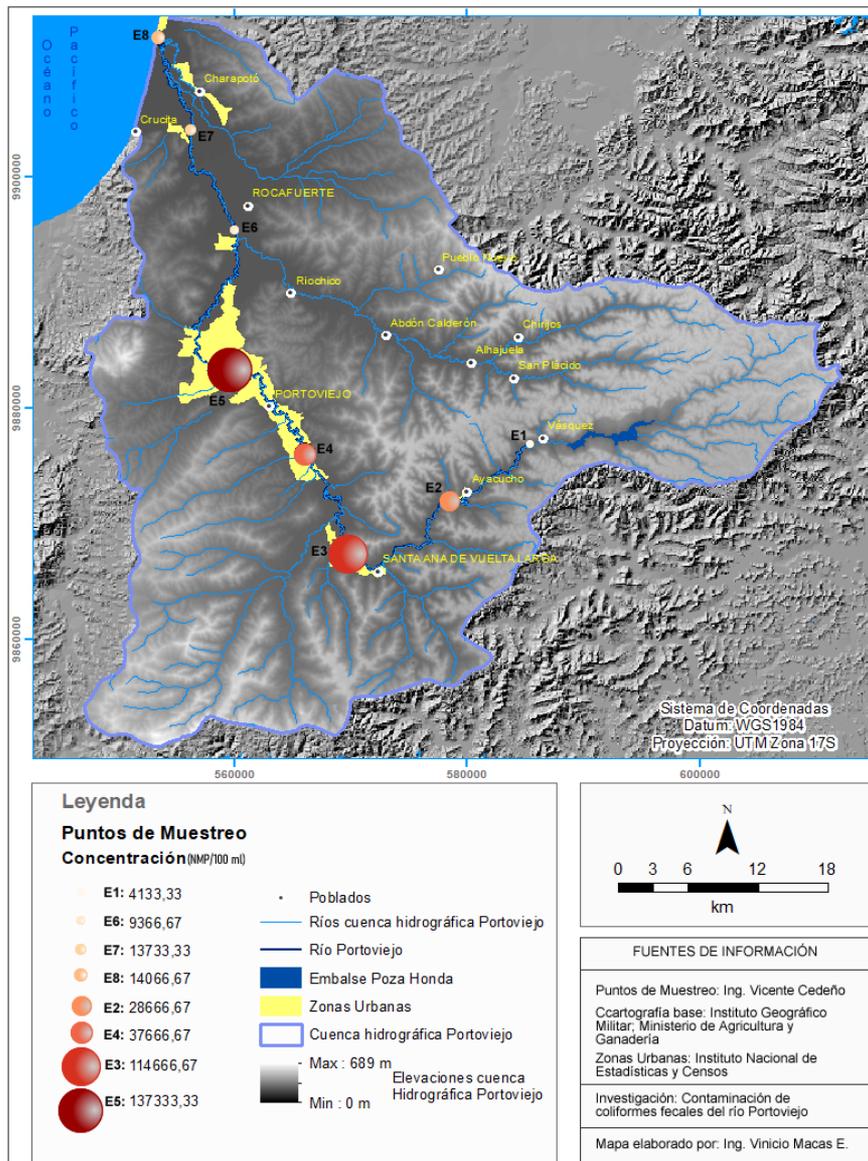
Se detectó la presencia de coliformes fecales en todas las estaciones de muestreo del río Portoviejo, con un promedio general de $44,954.17 \pm 52,727.29$ NMP/100 mL. El valor promedio más alto se registró en la Estación 5 (Portoviejo urbano), con $137,333.33 \pm 39,259.82$ NMP/100 mL, coincidiendo con la localidad de mayor número de habitantes entre los sitios evaluados (Figura 4); en contraste, el valor promedio más bajo se obtuvo en la Estación 1 (E1), ubicada aguas arriba del río en una zona rural, con $4,133.33 \pm 4,387.86$ NMP/100 mL.

Asimismo, los valores máximos individuales fueron observados en las muestras 2 de la Estación 3 y muestras 1 y 2 de la Estación 5, con valores de hasta 160,000 NMP/100 mL. Los valores mínimos fueron reportados en las muestras 1 y 2 de la Estación 1, con 1,600 NMP/100 mL, lo que refleja un claro gradiente de contaminación creciente desde la Estación 2 hacia la ciudad de Portoviejo, seguido por una leve disminución en la zona de desembocadura hacia el Océano Pacífico.

La leve disminución de coliformes fecales observada en la Estación 8 (zona de desembocadura) puede atribuirse a procesos naturales de dilución, sedimentación y autodepuración del ecosistema fluvial; además, la intrusión salina del estuario del manglar La Boca podría generar un ambiente menos favorable para la supervivencia de coliformes fecales, lo que explicaría la atenuación relativa de la carga microbiana en comparación con estaciones altamente urbanizadas aguas arriba.

Figura 4

Mapa de variación espacial de coliformes fecales en NMP/100 ml en el río Portoviejo



Nota: Los puntos de muestreo (E1 a E8) están representados mediante símbolos proporcionales que indican la concentración promedio de coliformes fecales (NMP/100 mL) en cada estación. El mapa incluye límites hidrográficos, zonas urbanas, red hidrográfica y elevaciones dentro de la cuenca. Elaborado con base en información cartográfica del Instituto Geográfico Militar, MAATE (2015), INEC y trabajo de campo de la presente investigación. Proyección UTM zona 17S, Datum WGS84.

Comparación de los resultados por cantón con Normativa Ambiental

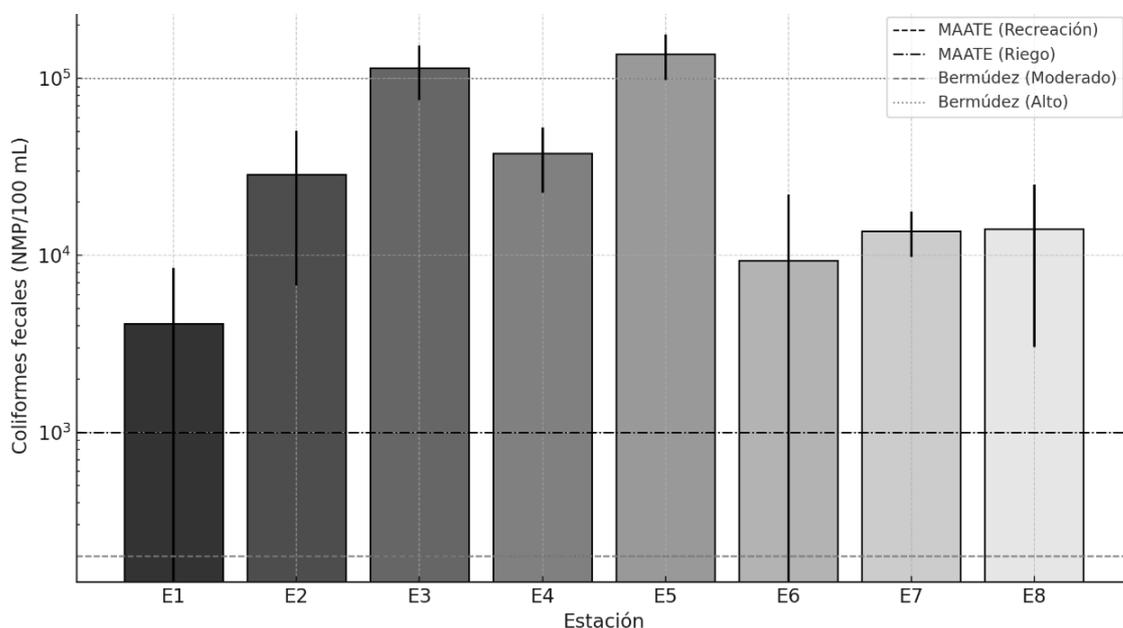
En la Figura 5 al comparar los niveles promedio de coliformes fecales obtenidos en las estaciones del río Portoviejo con las normativas ambientales, se evidencia que la mayoría de las estaciones superan los límites establecidos para riego agrícola (1000 NMP/100 mL) y recreación con contacto primario (200 NMP/100 mL), según el MAATE (2015). Incluso los valores más bajos, como el de la estación E1 (4133.33 NMP/100 mL), se encuentran por encima del límite ecuatoriano para uso recreativo. Estos resultados reflejan una condición de contaminación microbiológica generalizada en el cauce del río.

La Tabla 4, vista arriba, resume los límites máximos permisibles establecidos por Ecuador y otros países (Uruguay, Colombia, EE. UU., Chile) y organismos internacionales, como la OMS, permitiendo contextualizar los niveles encontrados en este estudio. En este sentido, se destaca que los valores registrados en estaciones como E3, E5 y E8 exceden los estándares para descarga en cuerpos de agua dulce e incluso los límites recomendados por la EPA para *E. coli* (≤ 126 NMP/100 mL), sugiriendo un riesgo significativo para usos recreativos o agrícolas sin tratamiento previo.

Los resultados obtenidos muestran una presencia generalizada de coliformes fecales en todas las estaciones de muestreo del río Portoviejo. El promedio global fue de 44954.17 ± 52727.29 NMP/100 mL, superando ampliamente los límites máximos permisibles (LMP) establecidos para fines recreativos y riego agrícola, tanto en la normativa ecuatoriana (MAATE, 2015) como en normas internacionales.

Figura 5

Comparación de niveles de coliformes fecales con escalas MAATE y Bermúdez-Medrandá

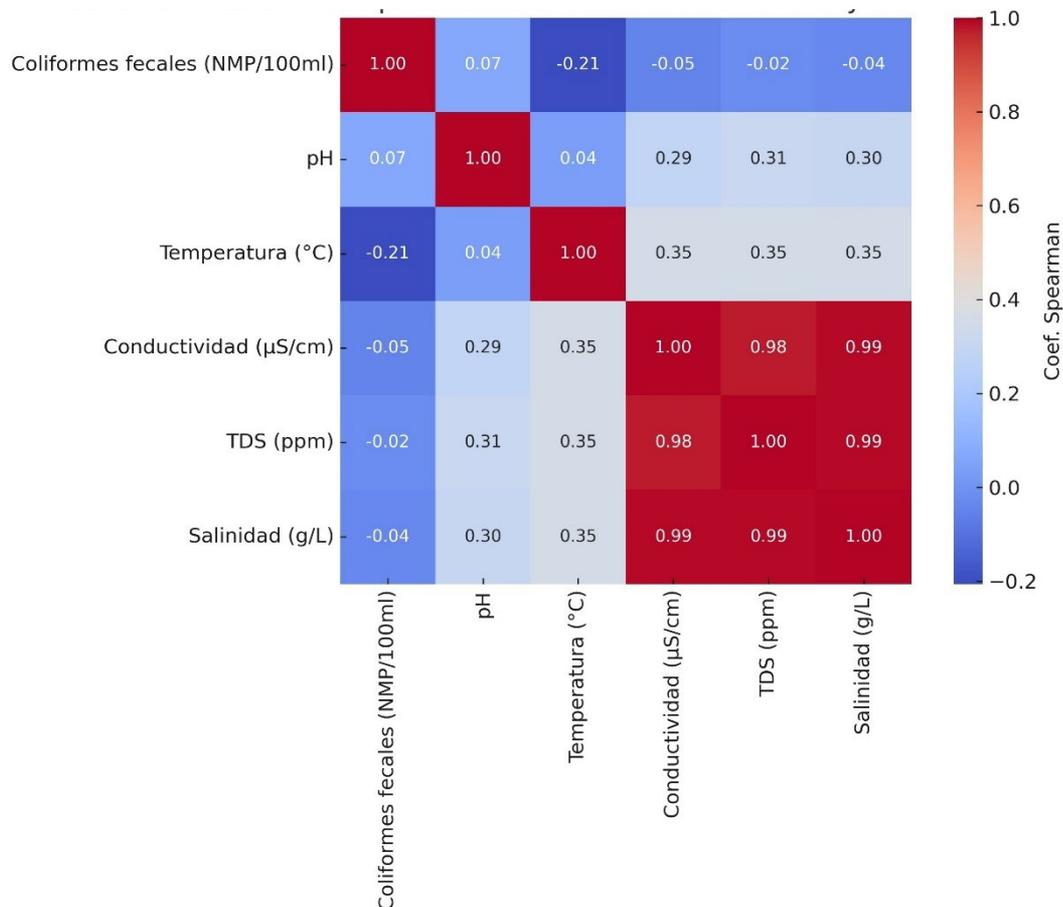


Análisis de Correlación

La Figura 6 presenta la matriz de correlación de Spearman entre la concentración de coliformes fecales y los parámetros fisicoquímicos evaluados en las ocho estaciones de muestreo del río Portoviejo. Se observa que la concentración de coliformes presenta correlaciones negativas débiles con el pH ($\rho = -0.14$), temperatura ($\rho = -0.14$), conductividad eléctrica ($\rho = -0.07$), TDS ($\rho = -0.07$) y salinidad ($\rho = -0.07$), indicando que el aumento de estos parámetros no necesariamente está asociado con un incremento de la contaminación microbiológica; en contraste, se evidencian correlaciones positivas fuertes entre conductividad, TDS y salinidad ($\rho > 0.98$), lo que sugiere un origen común o comportamiento similar en el sistema hídrico. Estos resultados permiten interpretar que los niveles de coliformes fecales están más influenciados por fuentes puntuales de contaminación fecal que por las variaciones fisicoquímicas del agua.

Figura 6

Matriz de correlación de Spearman entre la concentración de coliformes fecales y los parámetros fisicoquímicos



Nota: Matriz de correlación de Spearman entre la concentración de coliformes fecales (NMP/100 mL) y los parámetros fisicoquímicos del agua en ocho estaciones del río Portoviejo. Se incluyen pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS) y salinidad. Las tonalidades representan la fuerza y dirección de la correlación. Los coeficientes fueron calculados a partir de los valores medios por estación. El análisis fue realizado en RStudio 4.0.2.

Aplicabilidad de los resultados y propuesta de Plan de Acción Territorial

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian niveles preocupantes de contaminación microbiológica por coliformes fecales en el río Portoviejo, especialmente en las zonas urbanas de los cantones de Portoviejo, Santa Ana y Sucre. Estos hallazgos no solo permiten caracterizar la calidad del agua en términos cuantitativos, sino que también proporcionan insumos críticos para el diseño de estrategias de gestión ambiental a nivel local y cantonal.

En este contexto, se propone un plan de acción orientado a mitigar los impactos detectados, considerando tanto el diagnóstico por cantón como la identificación de puntos estratégicos y las instituciones responsables de su ejecución. La propuesta fue diseñada con base en los niveles promedio de coliformes fecales por estación, la distribución poblacional cercana y el uso de suelo predominante (urbano, agrícola, pecuario o camaronero). La Tabla 5 presenta una síntesis del plan de acciones claves.

Se destaca la necesidad de establecer comités intermunicipales para coordinar acciones, fortalecer la inspección de fuentes de contaminación (alcantarillado, descargas industriales,

drenaje pluvial), promover prácticas sostenibles en el manejo agropecuario, y fomentar la educación ambiental en comunidades aledañas al cauce; asimismo, se recomienda implementar un monitoreo semestral del agua en cada cantón, diferenciando entre época seca y lluviosa.

Este plan de acción constituye una herramienta técnica que permite vincular la evidencia científica con la planificación territorial, y representa una oportunidad para fortalecer la gobernanza del recurso hídrico en la cuenca del río Portoviejo.

Tabla 5

Plan Estratégico para la Mitigación de la Contaminación por coliformes fecales en la cuenca del río Portoviejo

Cantón	Objetivo Estratégico	Acciones Clave	Actores Involucrados	
Santa Ana	Reducir la contaminación bacteriológica en el río Portoviejo Educar y sensibilizar a la población sobre el cuidado del agua	Mejorar el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales	Municipio, GAD Parroquial, MAATE	2025-2027
		Desarrollar campañas educativas en escuelas y comunidades	Ministerio de Educación, ONG, universidades locales	
Portoviejo		Controlar descargas ilegales y fortalecer monitoreo ambiental	Municipio, ARCSA, MAATE	2025-2026
		Implementar programas radiales y talleres comunitarios	Medios de comunicación, líderes barriales	
Rocafuerte		Implementar soluciones individuales en zonas rurales sin alcantarillado	GAD cantonal, organizaciones comunitarias	2025-2028
		Organizar brigadas comunitarias de monitoreo y limpieza	Voluntarios locales, universidades	
Sucre		Mejorar el acceso a servicios sanitarios en comunidades vulnerables	Municipio, MIES, MAATE	2025-2026
		Incluir temas de educación ambiental en actividades turísticas	Ministerio de Turismo, operadores turísticos	

Los niveles de coliformes fecales detectados en el río Portoviejo guardan correspondencia con los hallazgos reportados por Real Goya et al. (2025) en el río Jama, donde también se identificaron concentraciones que exceden los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana. Esta tendencia de acumulación de coliformes en sectores medios y bajos de la cuenca ha sido documentada igualmente en el río Milagro (Cevallos Cabrera, 2022). En este contexto, resulta pertinente considerar experiencias exitosas como la del río Chambo, donde la implementación de estrategias participativas fortaleció la gobernanza hídrica y el control de vertidos (Herrera-Morales et al., 2022). Estos antecedentes respaldan la necesidad de una intervención estructurada y coordinada en la cuenca del río Portoviejo, articulando acciones comunitarias, institucionales y técnicas para reducir la carga microbiológica y proteger la salud pública.

Conclusiones

El río Portoviejo presenta contaminación microbiológica a lo largo de todo su curso, con concentraciones de coliformes fecales que van desde 1,600 hasta 160,000 NMP/100 ml. Los promedios por estación superan los límites establecidos por la normativa ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097-A) y uruguaya (Decreto N.º 253/979), evidenciando un riesgo para la salud y el ambiente.

Comparado con estudios de 2017 y 2020, los niveles de coliformes se incrementaron un 206 % y 1,772 % respectivamente, indicando un aumento exponencial de la contaminación en los últimos seis años.

Las estaciones con mayor contaminación corresponden a áreas densamente pobladas como Santa Ana y Portoviejo, donde el sistema de alcantarillado es deficiente y existen descargas clandestinas. Parámetros como pH, temperatura y salinidad estuvieron dentro de rangos aceptables; sin embargo, la conductividad eléctrica (279–2,566.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y los sólidos totales disueltos (192.33–1,813.33 mg/l) presentaron restricciones severas para el uso agrícola.

Estudios en los ríos Jama, Milagro, Chambo, Piñas y estero Salado muestran niveles similares o menores, confirmando que la contaminación observada en el río Portoviejo es crítica, especialmente en época seca.

La alta presencia de coliformes fecales incrementa el riesgo de enfermedades como gastroenteritis, disentería, tifoidea y hepatitis, además de potenciales pérdidas económicas por afectación al turismo y productividad.

Es urgente implementar acciones integradas que incluyan vigilancia sanitaria, tratamiento de aguas residuales, educación ambiental y mejora de infraestructura sanitaria para mitigar la contaminación del río.

Reconocimientos

Los autores declaran la contribución y participación equitativa de roles de autoría para esta publicación.

Referencias

- Arévalo Lata, V.F. (2017). Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la densidad microbiana en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador [tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14820>
- Arias, E., Araque, M., Vásconez, M., Avilés, E., Cuarán, F., García, D., Álvarez, D., Prehn, C., Borja, X., Valdiviezo, J., & Fernández, G. (2022). Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable. Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978108208>
- Bermúdez-Medranda, A. E., Panta-Vélez, R. P., Cáceres-Farías, L., & Lodeiros, C. (2022). Índices de contaminación bacteriana en la ostra *Crassostrea cf. corteziensis* procedente de Portovelo, estuario Río Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 463–471. <https://doi.org/10.20937/RICA.54239>
- Cabral, A. C., Stark, J. S., Kolm, H. E., & Martins, C. C. (2018). An integrated evaluation of some faecal indicator bacteria (FIB) and chemical markers as potential tools for monitoring sewage contamination in subtropical estuaries. *Environmental Pollution*, 235, 739–749. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.109>
- Cedeño-Loor, T. V. (2019). La actividad turística y su incidencia en el desarrollo local de la parroquia Ayacucho del cantón Santa Ana [tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio digital UNESUM. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2373>
- Cevallos Cabrera, M. E. (2022). Variabilidad en las concentraciones de fitoplancton y coliformes totales como indicadores de la calidad del agua del río Milagro en Ecuador. *Pentacencias*, 6(12), 1–15. <https://www.editoriallema.org/index.php/pentacencias/article/view/399>
- Dorevitch, S., DeFlorio-Barker, S., Jones, R. M., & Liu, L. (2015). Water quality as a predictor of gastrointestinal illness following incidental contact water recreation. *Water Research*, 83, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.028>

- Frena, M., Santos, A. P. S., Souza, M. R. R., Carvalho, S. S., Madureira, L. A. S., & Alexandre, M. R. (2019). Sterol biomarkers and fecal coliforms in a tropical estuary: Seasonal distribution and sources. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.007>
- Guambo, G., Torres, J., & Quiroz, S. (2022). Análisis histórico de la contaminación hídrica en el río Portoviejo. *Minerva Journal*, 3(8), 54–60. <https://doi.org/10.47460/minerva.v3i8.64>
- Herrera-Morales, J., Salazar, M., & La lama, R. (2022). Medición de calidad del agua en el río Chambo (Ecuador) en un programa educativo experiencial. *Información Tecnológica*, 33(2), 59–68. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000200059
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). Base de datos censo de población y vivienda 2010 a nivel de manzana [Base de datos]. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010-a-nivel-de-manzana/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2176: 2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. En Norma Técnica Ecuatoriana (1.a ed.). <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07%20descargas/NTE%20INEN%202176%20-%20AGUA.%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20MUESTREO.%20T%C3%89CNICAS%20DE%20MUESTREO.pdf>
- Intriago-Flores, J. B., & Quiroz-Fernández, L. S. (2021). Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la contaminación. *Polo del Conocimiento*, 6(6), 1144–1171. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2811>
- López-Gálvez, F., & Gil, M. I. (2020). La importancia del agua en la industria de alimentos vegetales. *Arbor*, 196(795), 1–9. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1011>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (1979). Decreto N.º 253/979: Normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas. *Diario Oficial de la República Oriental del Uruguay*. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/253-1979>
- Ministerio del Ambiente, Agua, y Transición Ecológica del Ecuador. (2015, 04 de noviembre). Acuerdo Ministerial 097. Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI. Registro Oficial CUIDADO CON LOS ESPACIOS ENTRE PALABRAS Edición Especial N.º 387. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Mitra, S., Ghosh, S., Satpathy, K. K., Bhattacharya, B. D., Sarkar, S. K., Mishra, P., & Raja, P. (2018). Water quality assessment of the ecologically stressed Hooghly River Estuary, India: A multivariate approach. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.053>
- Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., & Fortis-Hernández, M. (2011). Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río Bravo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449–457. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400449&lng=es&tlng=es
- Palacios, C. (2013). Distribución de coliformes fecales en el área marina de la costa ecuatoriana en las provincias de Esmeraldas y Manabí, 2008-2013. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 18(1), 59–64. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta18/OCE1801_6.pdf
- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41–51. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000300004
- Real Goya, M., Suárez Torres, M., & Cedeño Zambrano, R. (2025). Monitoreo de la calidad biológica y microbiológica en el agua del río Jama, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 10(2), 210–228. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/9435>
- Richiardi, L., Pignata, C., Fea, E., Bonetta, S., & Carraro, E. (2023). Are indicator microorganisms predictive of pathogens in water? *Water*, 15(16), 1–30. <https://doi.org/10.3390/w15162964>

- Secretaría de Salud. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866379&fecha=18/01/1996
- Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., & Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 24(1–2), 46–49.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562004000100008
- Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023a). 1060 Collection and Preservation of Samples. En W. C. Lipps, T. E. Baxter, & E. B. Braun-Howland (Eds.), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24^a ed.). APHA Press. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.009a>
- Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023b). 9221 Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. En W. C. Lipps, T. E. Baxter, & E. B. Braun-Howland (Eds.), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24^a ed.). APHA Press.
<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.192>
- Vinueza, D., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Tamayo, E., Mejía, L., Tejera, E., & Machado, A. (2021). Determining the microbial and chemical contamination in Ecuador's main rivers. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96926-z>