

Contaminación microbiológica del agua del río VRAEM y sus implicancias para la salud ambiental

Microbiological contamination of VRAEM River water and implications for environmental health

Heydrich Didier Gutierrez Alamo ^a 

✉ hdgutierrezg@ucvvirtual.edu.pe

Denis Huamani Huamani ^a 

Nicolas Hurtado Totocayo ^b 

Katiuska Livia Milagros Flores Balbuena ^c 

^a Universidad César Vallejo. Lima, Perú

^b H & J Ingenieros consultores SAC. Lima, Perú

^c Universidad Federico Villarreal. Lima, Perú

Palabras clave:

Agua superficial;
Contaminación
microbiológica; Coliformes
termotolerantes; Calidad del
agua; Río VRAEM

Keywords:

Microbiological
contamination; Surface water;
Thermotolerant coliforms;
VRAEM River; Water quality

Cómo citar:

Gutierrez Alamo HD,
Huamani Huamani D,
Hurtado Totocayo N, Flores
Balbuena KLM.
Contaminación
microbiológica del agua del
río VRAEM y sus
implicancias para la salud
ambiental. ALFA Revista de
Investigación en Ciencias
Agronómicas y Veterinarias.
2026; 10 (30).
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i30.504>



Resumen

Contexto: La contaminación microbiológica de las aguas superficiales constituye un problema ambiental y sanitario, especialmente en usos recreativos con contacto directo. **Objetivo:** Evaluar la contaminación microbiológica del agua del río VRAEM mediante la determinación de coliformes termotolerantes en dos puntos ubicados aguas abajo del puente Pichari-Kimbiri durante cuatro periodos de muestreo de 2025. **Metodología:** Se realizó una investigación cuantitativa, observacional, descriptiva y longitudinal; se analizaron ocho muestras ambientales (enero, abril, agosto y septiembre) mediante el método del Número Más Probable. **Resultados:** Las concentraciones oscilaron entre $1,9 \times 10^4$ y $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL; todas superaron el valor de referencia de 200 NMP/100 mL, con excedencias de 95 a 625 veces. El punto aguas abajo presentó incrementos de 26,1 % a 50,6 %; las mayores concentraciones ocurrieron en septiembre. **Conclusiones:** El tramo evaluado presentó contaminación persistente y elevada; se recomienda fortalecer la vigilancia del agua e investigar sus fuentes.

Abstract

Context: Microbiological contamination of surface waters constitutes an environmental and health problem, especially in recreational uses involving direct contact. **Objective:** To evaluate the microbiological water contamination of the VRAEM River by determining thermotolerant coliforms at two points located downstream of the Pichari-Kimbiri bridge during four sampling periods in 2025. **Methodology:** A quantitative, observational, descriptive, and longitudinal study was conducted; eight environmental samples (January, April, August, and September) were analyzed using the Most Probable Number method. **Results:** Concentrations ranged from 1.9×10^4 to 1.25×10^5 MPN/100 mL; all exceeded the reference value of 200 MPN/100 mL, with exceedances ranging from 95 to 625 times. The downstream point showed increases from 26.1% to 50.6%; the highest concentrations occurred in September. **Conclusions:** The evaluated stretch presented persistent and high contamination; it is recommended to strengthen water surveillance and investigate its sources.

Introducción

El agua superficial constituye uno de los principales componentes de los ecosistemas continentales y desempeña funciones esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad, el bienestar de las poblaciones y el desarrollo de actividades recreativas, pesqueras y productivas. No obstante, los sistemas fluviales se encuentran expuestos a diferentes fuentes de contaminación derivadas de las actividades humanas, entre ellas el vertimiento de aguas residuales, la disposición inadecuada de residuos, la escorrentía superficial y el aporte de materia orgánica. A escala mundial, la presión sobre los recursos hídricos dulces continúa en aumento y el acceso universal a servicios seguros de agua y saneamiento permanece lejos de alcanzarse, por lo que la vigilancia de la calidad del agua se mantiene como prioridad de salud pública ^(1,2).

En este escenario, la contaminación microbiológica del agua ocupa un lugar destacado dentro de la carga global de enfermedad asociada a factores ambientales, especialmente en países de ingresos bajos y medios ⁽³⁾, donde las enfermedades infecciosas asociadas a la vía fecal-oral comprometen de manera preferente a las poblaciones rurales y periurbanas ⁽⁴⁾.

La contaminación microbiológica de los ríos adquiere especial importancia cuando estos cuerpos de agua son utilizados para actividades recreativas que implican contacto directo, como la natación, el baño y los juegos acuáticos, durante las cuales puede producirse contacto de la piel y las mucosas con el agua, además de la ingesta accidental de esta. La Organización Mundial de la Salud ha establecido recomendaciones para la gestión de las aguas recreativas que incorporan la vigilancia microbiológica, la evaluación de riesgos y la comunicación oportuna de las condiciones de seguridad a los usuarios ^(5,6).

La evidencia epidemiológica acumulada desde hace décadas demuestra la asociación entre la exposición recreativa a aguas contaminadas y los efectos adversos sobre la salud, en particular los cuadros gastrointestinales ^(7,8), y las revisiones sistemáticas posteriores han confirmado la relación entre los indicadores bacterianos del agua y el riesgo de enfermedad en bañistas ⁽⁹⁾. Sobre esta base, las agencias ambientales internacionales han adoptado valores de referencia fundados en indicadores fecales para la protección de los usuarios de aguas de recreo ⁽¹⁰⁾.

Entre los principales instrumentos para evaluar el deterioro sanitario de los ambientes acuáticos se encuentran los microorganismos indicadores de contaminación fecal, cuya presencia y concentración permiten aproximarse a la calidad microbiológica del recurso; las directrices internacionales para la calidad del agua se sustentan precisamente en bacterias indicadoras de este origen ⁽¹¹⁾. Los coliformes termotolerantes han sido empleados tradicionalmente como indicadores de contaminación de origen fecal debido a su utilidad para identificar alteraciones de la calidad sanitaria del agua ^(12,13), aunque constituyen un grupo más amplio que *Escherichia coli*, por lo que su interpretación debe realizarse con criterio ⁽¹⁴⁾.

Si bien la presencia de estos microorganismos no demuestra por sí misma la existencia de un patógeno específico, concentraciones elevadas constituyen una señal de contaminación fecal y permiten identificar condiciones ambientales potencialmente desfavorables para determinados usos del recurso hídrico ⁽¹²⁾. Para su cuantificación, el método del Número Más Probable es uno de los procedimientos clásicos de mayor empleo en el análisis microbiológico del agua ⁽¹⁵⁾ y se encuentra entre las técnicas reconocidas por los métodos normalizados internacionales ⁽¹⁶⁾.

En el Perú, la gestión del agua se encuentra regulada por la Ley N.° 29338, Ley de Recursos Hídricos, que establece el marco para el uso y la gestión integrada de este recurso ⁽¹⁷⁾. La evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales debe considerar, además, el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA, cuyo propósito es estandarizar los criterios y procedimientos técnicos del monitoreo, incluyendo la selección de puntos, la toma de muestras y su preservación, conservación y transporte ⁽¹⁸⁾. Asimismo, el

Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y estableció categorías y subcategorías de acuerdo con los usos del recurso. Dentro de la Categoría 1, correspondiente a aguas poblacionales y recreacionales, la Subcategoría B1 comprende el contacto primario e incluye actividades como natación, buceo y canotaje; para esta subcategoría, el estándar de coliformes termotolerantes es de 200 NMP/100 mL ⁽¹⁹⁾.

Los ambientes fluviales del VRAEM presentan particular interés debido a la interacción permanente entre las poblaciones locales y los recursos hídricos. En el ámbito de Pichari, los instrumentos de planificación territorial han reconocido la importancia de los ríos para las actividades productivas y recreativas de la población, así como la necesidad de fortalecer la vigilancia de su calidad ⁽²⁰⁾. Asimismo, investigaciones recientes realizadas en zonas rurales del VRAEM han encontrado una elevada frecuencia de indicadores de contaminación microbiológica en fuentes de agua destinadas al consumo humano, lo que pone de manifiesto la vulnerabilidad de los recursos hídricos de esta región frente a procesos de contaminación ⁽²¹⁾.

La problemática adquiere una dimensión adicional cuando los cuerpos de agua son utilizados simultáneamente para recreación y pesca. La utilización recreativa implica una vía potencial de exposición directa de las personas al agua, mientras que la actividad pesquera establece una relación entre la calidad del ambiente acuático, los recursos hidrobiológicos y las actividades humanas. En este sentido, la evaluación microbiológica del agua constituye una herramienta inicial para caracterizar el estado sanitario del ecosistema, aunque la determinación de contaminación de peces destinados al consumo requiere análisis específicos de los tejidos o productos hidrobiológicos y no puede inferirse exclusivamente a partir de la calidad microbiológica de la columna de agua.

La literatura científica demuestra que la contaminación microbiológica puede presentar variaciones espaciales y temporales dentro de un mismo sistema fluvial. Phillip et al. ⁽²²⁾ evaluaron la calidad microbiológica de un arroyo tropical utilizado con fines recreativos y encontraron concentraciones de coliformes fecales desde valores bajos hasta superiores a 16 000 organismos/100 mL, observaron una relación entre la actividad recreativa y el deterioro de la calidad microbiológica y registraron un incremento de *Escherichia coli* asociado con la resuspensión de sedimentos durante el ingreso de personas al agua. En el contexto peruano, en el río Cunas, Junín, se evaluó la calidad del agua mediante índices fisicoquímicos y biológicos, incluyendo coliformes termotolerantes, y se identificaron diferencias entre sectores del río ⁽²³⁾.

Más recientemente, una evaluación integral del río Ichu, en Huancavelica, identificó contaminación microbiana mediante la presencia de *Escherichia coli* y coliformes totales, y describió un deterioro progresivo de la calidad del agua hacia sectores aguas abajo ⁽²⁴⁾; en el propio río Cunas, estudios posteriores han confirmado gradientes de calidad entre áreas rurales y urbanas ⁽²⁵⁾. En aguas tropicales de Brasil, se ha documentado la variación espacio-temporal de los indicadores microbiológicos en ríos sometidos a impacto ambiental ⁽²⁶⁾, y en sistemas fluviales tropicales con usos múltiples se han descrito alteraciones de la calidad del agua asociadas a las actividades humanas y a la estacionalidad ⁽²⁷⁾. De manera complementaria, la evidencia internacional indica que los patrones de uso del suelo ejercen una influencia consistente sobre la calidad del agua de los ríos ⁽²⁸⁾.

En este contexto, existe la necesidad de generar información específica sobre la condición microbiológica del agua del río VRAEM en sectores sometidos a interacción humana. La evaluación de puntos ubicados aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri permite realizar una aproximación espacial de la calidad microbiológica inmediatamente posterior a este punto de referencia y comparar el comportamiento del indicador a una distancia definida aguas abajo.

Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la contaminación microbiológica del agua del río VRAEM mediante la determinación de coliformes termotolerantes en dos puntos ubicados aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri durante cuatro periodos de muestreo del año 2025, y determinar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental aplicables al recurso hídrico. La investigación busca aportar evidencia sobre la condición microbiológica de este sistema fluvial y proporcionar información útil para la vigilancia ambiental, la gestión del recurso hídrico y la prevención de potenciales riesgos asociados con el contacto recreativo con el agua.

Materiales y métodos

Se desarrolló una investigación de enfoque cuantitativo, de tipo observacional, descriptivo y longitudinal, orientada a determinar la contaminación microbiológica del agua superficial del río VRAEM mediante la cuantificación de coliformes termotolerantes. El estudio se realizó durante el año 2025 en el sector del puente Pichari–Kimbiri, sobre el cauce principal del río, donde se establecieron dos puntos de monitoreo: el punto P1, correspondiente al sector de referencia ubicado a la altura del puente, y el punto P2, ubicado a 100 m aguas abajo de P1, siguiendo la dirección natural del flujo. Las campañas de muestreo se efectuaron en enero, abril, agosto y septiembre de 2025.

El universo estuvo constituido por el agua superficial del río VRAEM en el sector evaluado. En cada campaña se obtuvo una muestra ambiental por duplicado en cada punto, correspondiendo a dos muestras analíticas por punto y por campaña; de esta manera se procesaron 16 unidades analíticas, correspondientes a ocho muestras ambientales independientes y sus duplicados. La unidad ambiental independiente fue la muestra de cada combinación de punto y campaña, mientras que los duplicados se emplearon como control de repetibilidad del procedimiento analítico y no como unidades independientes, a fin de evitar la pseudorreplicación. La selección de los puntos fue no probabilística e intencional, considerando su accesibilidad, la representatividad del cauce y la continuidad del flujo, conforme a los criterios del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua.

La toma de muestras microbiológicas se realizó directamente en el cauce principal, en sectores con flujo representativo y relativamente homogéneo, evitando aguas estancadas, zonas de escasa profundidad, acumulaciones de sedimento y áreas donde la manipulación pudiera provocar la resuspensión del sedimento. El recipiente estéril, no enjuagado previamente, se introdujo con la abertura orientada en sentido contrario al flujo para permitir el ingreso del agua sin generar turbulencias, procurando que no tuviera contacto con las manos, el fondo del cauce, la vegetación u otras superficies que pudieran alterar la composición microbiológica de la muestra. Las muestras fueron identificadas con códigos de punto, fecha y número de muestra, registrándose las condiciones observadas durante la toma, y se acondicionaron para su conservación y transporte hasta el laboratorio, empleando medidas de bioseguridad y prevención de contaminación cruzada en todas las etapas del procedimiento.

La variable principal fue la concentración de coliformes termotolerantes, expresada en número más probable por 100 mL (NMP/100 mL). Como resultados secundarios se consideraron el cumplimiento del valor de referencia ambiental aplicable, la magnitud del exceso respecto del estándar, la variación de las concentraciones entre los puntos P1 y P2 y la variación temporal entre las campañas. La determinación microbiológica se efectuó mediante el método del Número Más Probable, bajo condiciones controladas de laboratorio, siguiendo el procedimiento analítico establecido para esta determinación; los duplicados de campo permitieron verificar la consistencia de los resultados.

Como criterios de inclusión se consideraron las muestras recolectadas directamente en P1 y P2 durante las campañas programadas que cumplieran las condiciones de identificación, conservación y transporte; se excluyeron las muestras con identificación incompleta, volumen insuficiente, alteración del recipiente, evidencia de contaminación externa o incumplimiento de las condiciones de conservación. Para el análisis se empleó estadística descriptiva: frecuencias absolutas y relativas, medidas de tendencia central y dispersión (media, mediana, mínimo y máximo), la proporción de muestras que superaron el valor de referencia y el número de veces que cada resultado excedió dicho valor, con comparaciones descriptivas entre puntos y entre campañas. No se aplicaron pruebas inferenciales, debido al reducido número de unidades ambientales independientes y al carácter no independiente de los duplicados analíticos. El procedimiento completo se desarrolló bajo criterios de aseguramiento de la calidad, con recipientes estériles, material de protección personal, equipo de georreferenciación, conservadora térmica y material refrigerante para el transporte.

Resultados

Durante las cuatro campañas de monitoreo realizadas en enero, abril, agosto y septiembre de 2025 se evaluó la concentración de coliformes termotolerantes en dos puntos del río VRAEM: P1, correspondiente al sector de referencia del puente Pichari–Kimiri, y P2, ubicado a 100 m aguas abajo de P1. En cada campaña se recolectó una muestra ambiental por duplicado en cada punto, obteniéndose ocho muestras ambientales independientes y 16 determinaciones analíticas. Los duplicados mostraron resultados próximos entre sí, lo que evidenció una adecuada consistencia de las determinaciones realizadas.

Concentración de coliformes termotolerantes

Los resultados de las cuatro campañas mostraron concentraciones de coliformes termotolerantes considerablemente superiores al valor de referencia de 200 NMP/100 mL establecido para aguas superficiales destinadas a recreación de contacto primario. La totalidad de las muestras ambientales evaluadas presentó incumplimiento del criterio microbiológico.

En la Tabla 1 se observa que las concentraciones registradas en ambos puntos fueron elevadas durante todo el periodo de evaluación. En P1, los valores representativos oscilaron entre $1,9 \times 10^4$ y $8,3 \times 10^4$ NMP/100 mL, mientras que en P2 variaron entre $2,8 \times 10^4$ y $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL. Por tanto, incluso el menor resultado registrado durante el estudio fue ampliamente superior al valor de referencia ambiental. La menor concentración correspondió a P1 durante abril, con $1,9 \times 10^4$ NMP/100 mL, mientras que la mayor se registró en P2 durante septiembre, alcanzando $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL. En términos descriptivos, se observó una disminución de las concentraciones entre enero y abril, seguida de un incremento durante agosto y septiembre.

Tabla 1. Resultados de coliformes termotolerantes según punto y campaña de monitoreo

Campaña	Punto	Duplicado 1 (NMP/100 mL)	Duplicado 2 (NMP/100 mL)	Resultado representativo (NMP/100 mL)
Enero 2025	P1	$2,4 \times 10^4$	$2,6 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
Enero 2025	P2	$3,1 \times 10^4$	$3,3 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$
Abril 2025	P1	$1,8 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$
Abril 2025	P2	$2,7 \times 10^4$	$2,9 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$
Agosto 2025	P1	$5,6 \times 10^4$	$5,9 \times 10^4$	$5,75 \times 10^4$

Campaña	Punto	Duplicado 1 (NMP/100 mL)	Duplicado 2 (NMP/100 mL)	Resultado representativo (NMP/100 mL)
Agosto 2025	P2	$7,1 \times 10^4$	$7,4 \times 10^4$	$7,25 \times 10^4$
Septiembre 2025	P1	$8,1 \times 10^4$	$8,5 \times 10^4$	$8,3 \times 10^4$
Septiembre 2025	P2	$1,2 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,25 \times 10^5$

Nota: el resultado representativo corresponde al promedio de los dos análisis duplicados. ECA de referencia para coliformes termotolerantes: 200 NMP/100 mL.

Variación espacial de la contaminación microbiológica

La comparación entre los dos puntos permitió identificar diferencias en la concentración de coliformes termotolerantes a lo largo del tramo de 100 m evaluado. En las cuatro campañas, el punto P2 presentó concentraciones superiores a las registradas en P1. El incremento relativo observado en P2 osciló entre 26,1 % y 50,6 %, correspondiendo el mayor incremento a septiembre. Este comportamiento mostró una tendencia espacial consistente hacia mayores concentraciones en el punto ubicado aguas abajo (Tabla 2).

La diferencia más pequeña entre ambos puntos se registró en agosto, con un incremento de 26,1 %, mientras que la mayor diferencia relativa correspondió a septiembre, cuando P2 presentó una concentración aproximadamente 50,6 % superior a P1. No obstante, estos resultados representan una comparación descriptiva y no permiten atribuir el incremento exclusivamente al desplazamiento del agua entre ambos puntos, debido a que no se evaluaron de manera específica las posibles fuentes de contaminación existentes en el tramo intermedio (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de la concentración de coliformes termotolerantes entre P1 y P2

Campaña	P1 (NMP/100 mL)	P2 (NMP/100 mL)	Incremento de P2 respecto a P1
Enero	$2,5 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	28,0 %
Abril	$1,9 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	47,4 %
Agosto	$5,75 \times 10^4$	$7,25 \times 10^4$	26,1 %
Septiembre	$8,3 \times 10^4$	$1,25 \times 10^5$	50,6 %

Variación temporal

La evolución de las concentraciones durante las cuatro campañas mostró un comportamiento no uniforme. Después de los valores registrados en enero, se produjo una disminución en abril en ambos puntos, seguida de un incremento marcado durante agosto y septiembre.

La evolución temporal mostró que abril presentó las menores concentraciones en ambos puntos. En P1, la concentración aumentó de $1,9 \times 10^4$ NMP/100 mL en abril a $8,3 \times 10^4$ NMP/100 mL en septiembre, mientras que en P2 se incrementó de $2,8 \times 10^4$ a $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL durante el mismo periodo (Tabla 3). En P2, el valor registrado en septiembre fue aproximadamente 4,5 veces superior al obtenido en abril. En P1, el incremento entre ambos meses fue aproximadamente 4,4 veces. Estos resultados evidencian una mayor concentración del indicador microbiológico hacia el final del periodo de evaluación.

Sin embargo, debido a que el estudio no incorporó mediciones simultáneas de precipitación, caudal, temperatura del agua, turbidez, descargas u otras variables ambientales que pudieran explicar las fluctuaciones observadas, los cambios temporales deben interpretarse como variaciones descriptivas y no como evidencia de causalidad.

Tabla 3. Variación temporal de la concentración de coliformes termotolerantes

Campaña	P1 (NMP/100 mL)	P2 (NMP/100 mL)	Interpretación
Enero 2025	$2,5 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	Contaminación elevada
Abril 2025	$1,9 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	Disminución respecto a enero
Agosto 2025	$5,75 \times 10^4$	$7,25 \times 10^4$	Incremento marcado
Septiembre 2025	$8,3 \times 10^4$	$1,25 \times 10^5$	Máxima concentración

Estadísticos descriptivos

Para caracterizar el comportamiento general de la contaminación microbiológica se calcularon medidas de tendencia central y valores extremos para cada punto, considerando las cuatro muestras ambientales independientes obtenidas durante el periodo de estudio (Tabla 4). Los resultados descriptivos evidenciaron una mayor concentración promedio de coliformes termotolerantes en P2. La media fue de $6,44 \times 10^4$ NMP/100 mL en P2, frente a $4,61 \times 10^4$ NMP/100 mL en P1. De manera similar, la mediana fue mayor en P2 ($5,23 \times 10^4$ NMP/100 mL) que en P1 ($4,13 \times 10^4$ NMP/100 mL).

La amplitud de los valores también fue mayor en P2, donde se registró un máximo de $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL, mientras que en P1 el valor máximo fue de $8,3 \times 10^4$ NMP/100 mL. En conjunto, estos resultados muestran que el punto aguas abajo presentó no solamente valores individuales superiores, sino también una concentración central mayor durante el periodo estudiado.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de coliformes termotolerantes por punto

Punto	n	Mínimo (NMP/100 mL)	Máximo (NMP/100 mL)	Media (NMP/100 mL)	Mediana (NMP/100 mL)
P1	4	$1,9 \times 10^4$	$8,3 \times 10^4$	$4,61 \times 10^4$	$4,13 \times 10^4$
P2	4	$2,8 \times 10^4$	$1,25 \times 10^5$	$6,44 \times 10^4$	$5,23 \times 10^4$
Total	8	$1,9 \times 10^4$	$1,25 \times 10^5$	$5,53 \times 10^4$	$4,48 \times 10^4$

Magnitud del incumplimiento del estándar ambiental

La magnitud de la contaminación se determinó comparando cada resultado representativo con el valor de referencia de 200 NMP/100 mL. La comparación evidenció que todas las muestras superaron ampliamente el valor de referencia. La menor excedencia correspondió a P1 durante abril, con 95 veces el valor de referencia, mientras que la mayor se registró en P2 durante septiembre, con 625 veces el valor establecido (Tabla 5).

El comportamiento observado muestra que la magnitud de la excedencia no fue constante durante el periodo de estudio. Mientras que en enero y abril las concentraciones fueron menores, durante agosto y septiembre se registraron los mayores niveles de excedencia. Particularmente, el resultado de P2 en septiembre representó la mayor concentración de todo el estudio y alcanzó una magnitud de excedencia considerablemente superior al criterio ambiental.

Tabla 5. Magnitud de excedencia respecto al valor de referencia ambiental

Campaña	Punto	Resultado (NMP/100 mL)	ECA (NMP/100 mL)	Veces por encima del ECA
Enero	P1	25 000	200	125,0
Enero	P2	32 000	200	160,0
Abril	P1	19 000	200	95,0
Abril	P2	28 000	200	140,0
Agosto	P1	57 500	200	287,5
Agosto	P2	72 500	200	362,5
Septiembre	P1	83 000	200	415,0
Septiembre	P2	125 000	200	625,0

Cumplimiento del estándar microbiológico

La Tabla 6 evidencia que 8 de las 8 muestras ambientales independientes evaluadas superaron el valor de referencia, representando un incumplimiento del 100 % durante las cuatro campañas. Ninguno de los puntos evaluados presentó una concentración compatible con el criterio ambiental establecido para el parámetro microbiológico analizado.

La persistencia del incumplimiento tanto en P1 como en P2 y durante las cuatro campañas constituye el principal hallazgo del estudio. Asimismo, el hecho de que P2 presentara valores superiores a P1 en todas las campañas permite identificar un patrón espacial consistente dentro del tramo evaluado. No se registraron eventos adversos, efectos colaterales ni incidentes durante las actividades de campo o el procesamiento de las muestras que comprometieran su integridad o la interpretación de los resultados. Tampoco se registraron pérdidas de muestras que modificaran el tamaño muestral establecido. En conjunto, los resultados evidenciaron una condición microbiológica desfavorable y persistente del agua superficial evaluada, caracterizada por concentraciones de coliformes termotolerantes superiores al valor de referencia ambiental en la totalidad de las muestras. La mayor concentración se registró en P2 durante septiembre, mientras que el menor valor correspondió a P1 durante abril. El patrón espacial mostró concentraciones sistemáticamente mayores en P2, y el comportamiento temporal evidenció un incremento de las concentraciones hacia agosto y septiembre.

Tabla 6. Cumplimiento del estándar para coliformes termotolerantes

Criterio	n	Porcentaje
Muestras que cumplen el ECA	0	0
Muestras que superan el ECA	8	100
Total de muestras ambientales	8	100

Discusión

Los resultados evidenciaron una condición microbiológica marcadamente desfavorable en el tramo evaluado del río VRAEM, debido a que las ocho muestras ambientales independientes presentaron concentraciones de coliformes termotolerantes superiores al valor de 200 NMP/100 mL establecido para aguas superficiales destinadas a recreación de contacto primario. La excedencia fue particularmente

elevada, con valores entre 95 y 625 veces el estándar, y la concentración máxima se alcanzó en P2 durante septiembre ($1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL).

Este comportamiento es concordante con antecedentes desarrollados en otros sistemas tropicales y amazónicos, donde se ha demostrado que la presión antrópica y la deficiente infraestructura sanitaria pueden generar una contaminación fecal persistente. Phillip et al. reportaron en un arroyo tropical de Trinidad y Tobago concentraciones de coliformes fecales de hasta más de 16 000 organismos/100 mL y señalaron un deterioro de la calidad microbiológica en sectores sometidos a actividad recreativa (22). De manera similar, Carneiro Pereira et al. encontraron en el estuario del río Caeté, Brasil, concentraciones superiores a 1100 NMP/100 mL en la totalidad de las muestras del sector superior más urbanizado, asociándolas con la ausencia de sistemas adecuados de saneamiento (29). En comparación con estos antecedentes, los valores registrados en el presente estudio son considerablemente superiores, lo que constituye un hallazgo relevante y sugiere una condición sanitaria particularmente comprometida en el tramo evaluado.

La magnitud de la contaminación observada resulta consistente con antecedentes peruanos que han identificado deterioro microbiológico en cuerpos de agua sometidos a presión poblacional. En el río Cunas, Junín, Custodio et al. evaluaron la calidad del agua mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos, incluyendo coliformes termotolerantes, y evidenciaron la utilidad de estos indicadores para reconocer zonas sometidas a mayor presión ambiental (23). Asimismo, una investigación reciente realizada en el río Ichu, Huancavelica, identificó concentraciones de coliformes termotolerantes entre 1175 y 2362 NMP/100 mL, con un incremento asociado al deterioro de la calidad del agua y al vertimiento de aguas residuales (24). Los valores del río VRAEM fueron sustancialmente mayores, particularmente en agosto y septiembre, cuando alcanzaron $5,75 \times 10^4$ y $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL, respectivamente. Esta diferencia puede estar relacionada con las características particulares del tramo estudiado, las condiciones hidrológicas, el uso del territorio y las fuentes de contaminación presentes en la cuenca; sin embargo, estas posibles explicaciones deben considerarse como hipótesis, puesto que el presente estudio no evaluó directamente descargas, precipitación, caudal ni otras variables ambientales.

Un hallazgo particularmente importante fue el comportamiento espacial, debido a que P2, localizado 100 m aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri, presentó concentraciones superiores a P1 en las cuatro campañas, con incrementos relativos de 28,0 % en enero, 47,4 % en abril, 26,1 % en agosto y 50,6 % en septiembre. Esta tendencia coincide con investigaciones que han identificado un incremento de la contaminación microbiológica hacia sectores aguas abajo. En el río Ichu, Palomino Morales observó variaciones de la calidad del agua en diferentes puntos del cauce y evaluó la influencia de posibles vertimientos sobre sus características microbiológicas (30).

De manera semejante, una evaluación reciente del mismo río encontró que la contaminación bacteriana aumentaba desde sectores aguas arriba hacia sectores aguas abajo, con concentraciones de *Escherichia coli* de hasta 3600 NMP/100 mL y coliformes totales de 5300 NMP/100 mL (24). El patrón observado en el VRAEM resulta compatible con la dinámica espacial descrita para otros ríos sometidos a influencia humana, en la que la configuración del uso del suelo y la intensidad de las actividades antrópicas ejercen una influencia consistente sobre la calidad del agua (28). No obstante, la diferencia entre P1 y P2 no permite demostrar que el incremento haya sido causado exclusivamente por aportes producidos en los 100 m intermedios, debido a que no se identificaron ni cuantificaron las posibles fuentes puntuales o difusas ubicadas entre ambos puntos; en este sentido, el patrón espacial constituye una señal de vigilancia ambiental y no una demostración causal.

Respecto de la variación temporal, las concentraciones disminuyeron entre enero y abril y aumentaron de manera marcada durante agosto y septiembre, comportamiento que fue más evidente en P2, donde la

concentración pasó de $2,8 \times 10^4$ NMP/100 mL en abril a $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL en septiembre. La variabilidad temporal de los indicadores microbiológicos ha sido documentada en otros ambientes tropicales. Phillip et al. ⁽²²⁾ observaron diferencias entre periodos húmedos y secos en un arroyo tropical, con mayores medianas de coliformes fecales durante la época húmeda. De manera consistente, Abreu y Cunha ⁽²⁶⁾ documentaron en el bajo río Jari, Brasil, variaciones temporales significativas de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* relacionadas con factores hidrológicos y ambientales, y en sistemas fluviales tropicales con usos múltiples se han descrito patrones de calidad del agua ligados a la estacionalidad y a las actividades humanas ⁽²⁷⁾.

Estos antecedentes respaldan la posibilidad de que las fluctuaciones registradas en el río VRAEM estén relacionadas con condiciones ambientales que modifican el transporte, la dilución o la resuspensión de microorganismos; sin embargo, debido a que en este estudio no se registraron simultáneamente precipitación, caudal, turbidez, temperatura ni otros parámetros fisicoquímicos, no es posible establecer cuál de estos factores explica el incremento observado hacia agosto y septiembre. La principal contribución del estudio consiste, por tanto, en evidenciar una variación temporal importante que debe ser considerada en futuros programas de vigilancia microbiológica del río.

Desde una perspectiva sanitaria, el incumplimiento del estándar en el 100 % de las muestras adquiere especial importancia debido a que el tramo evaluado puede estar sujeto a actividades recreativas y pesqueras. La normativa peruana establece para la categoría 1, subcategoría B1, un valor de 200 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes ⁽¹⁹⁾. La evidencia epidemiológica indica que la presencia elevada de indicadores fecales en aguas recreativas constituye una señal de posible exposición a microorganismos de origen fecal y un predictor del riesgo de enfermedad gastrointestinal en los usuarios ^(7,9).

Por otra parte, Phillip et al. ⁽²²⁾ demostraron, además, que la actividad de vadeo podía incrementar aproximadamente cuatro veces las concentraciones medias de *Escherichia coli* debido, entre otros mecanismos, a la resuspensión bacteriana desde los sedimentos, y los estudios del río Caeté han mostrado que la contaminación fecal asociada a deficiencias de saneamiento puede comprometer diferentes usos del recurso hídrico ⁽²⁹⁾. En consecuencia, los resultados obtenidos justifican fortalecer la vigilancia microbiológica del sector y evaluar las condiciones de seguridad para actividades que impliquen contacto directo con el agua. No obstante, la presencia de coliformes termotolerantes no demuestra por sí sola la existencia de un patógeno específico ni permite cuantificar directamente el riesgo de enfermedad; para una evaluación sanitaria más completa sería recomendable incorporar *Escherichia coli* y enterococos, considerando que los coliformes termotolerantes constituyen un grupo más amplio y menos específico ⁽¹⁴⁾ y que los estándares internacionales contemporáneos emplean indicadores más específicos como criterio principal ⁽¹⁰⁾.

Entre las fortalezas del estudio destacan la evaluación longitudinal de dos puntos estratégicos durante cuatro campañas, el empleo de duplicados analíticos para verificar la consistencia de las determinaciones y la comparación de los resultados con el estándar ambiental peruano. El estudio aporta evidencia específica para el tramo del río VRAEM ubicado aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri, donde los antecedentes disponibles son más limitados que en otros ríos peruanos. Sin embargo, el reducido número de unidades ambientales independientes ($n = 8$), la selección intencional de los puntos y la ausencia de variables hidrológicas, fisicoquímicas y de identificación de fuentes contaminantes limitan la generalización de los resultados y la posibilidad de establecer relaciones causales.

Esta limitación es importante porque investigaciones realizadas en otros sistemas han demostrado que la calidad microbiológica puede estar determinada simultáneamente por la actividad humana, la precipitación, el régimen hidrológico y las características del cauce ^(26,28). Por ello, los resultados deben interpretarse principalmente como una caracterización microbiológica inicial del tramo estudiado. En conjunto, la

evidencia demuestra una contaminación por coliformes termotolerantes persistente y muy superior al valor de referencia, con un patrón espacial consistentemente mayor aguas abajo y un incremento temporal hacia agosto y septiembre, lo que sustenta la necesidad de ampliar el monitoreo e identificar las fuentes potenciales de contaminación que podrían estar contribuyendo al deterioro de la calidad microbiológica del río.

Conclusiones

Se determinó que el agua superficial del río VRAEM, en el tramo evaluado aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri, presentó una contaminación microbiológica elevada durante las cuatro campañas de monitoreo realizadas en enero, abril, agosto y septiembre de 2025, evidenciada por concentraciones de coliformes termotolerantes entre $1,9 \times 10^4$ y $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL.

Se evidenció que el 100 % de las muestras ambientales independientes evaluadas superó el valor de referencia de 200 NMP/100 mL establecido para aguas superficiales destinadas a recreación de contacto primario, con excedencias que oscilaron entre 95 y 625 veces dicho valor. La mayor excedencia correspondió al punto P2 durante septiembre, con $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL.

Se identificó un patrón espacial consistente, debido a que el punto P2, ubicado a 100 m aguas abajo del puente Pichari–Kimbiri, presentó concentraciones superiores a P1 durante las cuatro campañas de monitoreo. El incremento de P2 respecto de P1 osciló entre 26,1 % y 50,6 %, con el mayor incremento registrado en septiembre.

Se observó una variación temporal de las concentraciones de coliformes termotolerantes, caracterizada por una disminución entre enero y abril y un posterior incremento durante agosto y septiembre. Las concentraciones máximas se registraron al final del periodo de evaluación, alcanzando $8,3 \times 10^4$ NMP/100 mL en P1 y $1,25 \times 10^5$ NMP/100 mL en P2 durante septiembre.

En términos generales, los resultados demuestran una condición microbiológica desfavorable y persistente en el tramo estudiado del río VRAEM, por lo que la información obtenida constituye evidencia inicial para fortalecer la vigilancia de la calidad microbiológica del recurso hídrico y orientar futuras evaluaciones que incorporen *Escherichia coli*, otros indicadores microbiológicos y variables ambientales que permitan identificar las posibles fuentes y factores asociados a la contaminación.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Contribución de autores (CRediT): Los autores declaran haber contribuido de manera conjunta y equitativa a la conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, análisis formal, redacción (borrador original), revisión y edición del manuscrito, y aprueban la versión final para su publicación

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: La investigación se limitó al análisis de muestras ambientales de agua superficial, sin experimentación con seres humanos ni animales, y se desarrolló conforme a los principios de integridad de la investigación científica; por la naturaleza del estudio no se requirió certificación de un comité de ética.

Historia del artículo: Artículo recibido 12 de junio 2026 | Aceptado 09 de julio 2026 | Publicado 18 de septiembre 2026

Referencias

1. United Nations. The United Nations world water development report 2023: partnerships and cooperation for water. Paris: UNESCO; 2023. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/en>
2. World Health Organization, United Nations Children's Fund. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: special focus on gender. New York: UNICEF/WHO; 2023. <https://washdata.org/reports>
3. Prüss-Ustün A, Bartram J, Clasen T, Colford JM Jr, Cumming O, Curtis V, et al. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. *Trop Med Int Health*. 2014;19(8):894-905. <https://doi.org/10.1111/tmi.12329>
4. Ashbolt NJ. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*. 2004;198(1-3):229-38. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.030>
5. World Health Organization. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. Geneva: WHO; 2003. <https://iris.who.int/handle/10665/42591>
6. World Health Organization. Guidelines on recreational water quality: volume 1, coastal and fresh waters. Geneva: WHO; 2021. <https://iris.who.int/handle/10665/342625>
7. Prüss A. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Int J Epidemiol*. 1998;27(1):1-9. <https://doi.org/10.1093/ije/27.1.1>
8. Cabelli VJ, Dufour AP, McCabe LJ, Levin MA. Swimming-associated gastroenteritis and water quality. *Am J Epidemiol*. 1982;115(4):606-16. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a113342>
9. Wade TJ, Pai N, Eisenberg JNS, Colford JM Jr. Do U.S. Environmental Protection Agency water quality guidelines for recreational waters prevent gastrointestinal illness? A systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2003;111(8):1102-9. <https://doi.org/10.1289/ehp.6241>
10. U.S. Environmental Protection Agency. Recreational water quality criteria. EPA 820-F-12-058. Washington, DC: US EPA; 2012. <https://www.epa.gov/wqc/recreational-water-quality-criteria-and-methods>
11. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: WHO; 2022. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
12. Odonkor ST, Ampofo JK. Escherichia coli as an indicator of bacteriological quality of water: an overview. *Microbiol Res*. 2013;4(1):e2. <https://doi.org/10.4081/mr.2013.e2>
13. Tallon P, Magajna B, Lofranco C, Leung KT. Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective. *Water Air Soil Pollut*. 2005;166(1-4):139-66. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-7905-4>
14. Hachich EM, Di Bari M, Christ APG, Lamparelli CC, Ramos SS, Sato MIZ. Comparison of thermotolerant coliforms and Escherichia coli densities in freshwater bodies. *Braz J Microbiol*. 2012;43(2):675-81. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200032>
15. Rompré A, Servais P, Baudart J, de-Roubin MR, Laurent P. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *J Microbiol Methods*. 2002;49(1):31-54. [https://doi.org/10.1016/s0167-7012\(01\)00351-7](https://doi.org/10.1016/s0167-7012(01)00351-7)
16. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA Press; 2017. <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>

17. Perú. Congreso de la República. Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos. Lima: Congreso de la República; 2009. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-recursos-hidricos>
18. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales: Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. Lima: ANA; 2016. <https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/538681-r-j-010-2016-ana>
19. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Lima: MINAM; 2017. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>
20. Municipalidad Distrital de Pichari. Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Pichari al 2021. Pichari: Municipalidad Distrital de Pichari; 2016. <https://web.munipichari.gob.pe/wp-content/uploads/2022/04/PDC-2016-2021.pdf>
21. Quispe Borda MF. Calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas de consumo humano del distrito de Río Magdalena, provincia La Mar, Ayacucho – 2025 [tesis]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2026. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/32300327-1c98-4a87-a8c8-4199da3637ac>
22. Phillip DAT, Antoine P, Cooper V, Francis L, Mangal E, Seepersad N, et al. Impact of recreation on recreational water quality of a small tropical stream. *J Environ Monit*. 2009;11(6):1192-8. <https://doi.org/10.1039/B817452K>
23. Custodio M, Chanamé F, Bulege W. Evaluación de la calidad del agua del río Cunas mediante índices fisicoquímicos y biológicos, Junín-Perú. *Prospectiva Universitaria*. 2013;10(1):98-105. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2013.10.26>
24. Zarate-Cáceres CR, Iparraguirre-Meza M, Pérez-Venegas CJ, Picoy-Gonzales JA, Ordoñez-Ccora G, Lacho-Gutiérrez P, et al. Integrated water quality assessment and health risk analysis of heavy metal and microbial contamination in the Ichu River, Peru. *F1000Res*. 2026;14:384. <https://doi.org/10.12688/f1000research.162022.4>
25. Custodio M, Peñaloza R, Chanamé F, Hinostroza-Martínez J, De la Cruz H. Water quality dynamics of the Cunas River in rural and urban areas in the central region of Peru. *Egypt J Aquat Res*. 2021;47(3):253-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.05.006>
26. Abreu CHM, Cunha AC. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Eng Sanit Ambient*. 2017;22(1):45-56. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>
27. Bordalo AA, Nilsumranchit W, Chalermwat K. Water quality and uses of the Bangpakong River (eastern Thailand). *Water Res*. 2001;35(15):3635-42. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00079-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00079-3)
28. Bu H, Meng W, Zhang Y, Wan J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecol Indic*. 2014;41:187-97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.003>
29. Carneiro Pereira LC, Sousa NDS, Rodrigues LMD, Monteiro MC, Santos da Silva SR, Gomes de Oliveira AR, et al. Effects of the lack of basic public sanitation on the water quality of the Caeté River estuary in northern Brazil. *Ecohydrol Hydrobiol*. 2021;21(2):299-314. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.12.003>
30. Palomino Morales EA. Influencia del vertimiento de aguas residuales en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Ichu de Huancavelica, 2023 [tesis de maestría]. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica; 2024. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/0e3a8a80-74e7-44b9-a237-46018ad76dd3>