



Determinación de indicadores microbiológicos de las piscinas de aguas termales de la parroquia Baños de Cuenca – Ecuador

Determination of microbiological indicators in the hot springs of the Baños de Cuenca parish – Ecuador

Determinação de indicadores microbiológicos nas piscinas de águas termais da freguesia de Baños de Cuenca – Ecuador

ARTÍCULO ORIGINAL



Paula Emilia Rivas Suquinagua 

paula.rivas@est.ucacue.edu.ec

Mónica Susana Flores García 

mflorosg@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistavive.v9i25.486>

Artículo recibido 10 de noviembre 2025 / Aceptado 19 de diciembre 2025 / Publicado 6 de enero 2026

RESUMEN

Introducción: Las aguas termales son ampliamente utilizadas con fines terapéuticos y recreativos a nivel global; sin embargo, sus condiciones fisicoquímicas pueden favorecer la proliferación de microorganismos, representando un riesgo para la salud pública asociado a infecciones. **Objetivo:** Evaluar la calidad microbiológica del agua en piscinas termales de la parroquia Baños, Cuenca-Ecuador, mediante la cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*) y la medición de parámetros fisicoquímicos asociados. **Metodología:** Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal en tres piscinas de uso recreacional. Las muestras fueron recolectadas conforme a la norma INEN 1529-2. El análisis microbiológico se efectuó mediante placas Compact Dry EC (AOAC 991.14), expresando los resultados en UFC/mL. Los parámetros de pH y temperatura se determinaron in situ según la normativa TULSMA. **Resultados:** Se evidenciaron variaciones en la carga microbiológica según el momento de muestreo. Durante el recambio de agua, los coliformes totales se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación. Posterior a la afluencia de usuarios, se observó un incremento significativo, alcanzando valores de hasta $2,2 \times 10^5$ UFC/mL, superando la normativa. La piscina 2 presentó mayor contaminación, mientras que la piscina 3 mostró acumulación progresiva previa al recambio. *Escherichia coli* se mantuvo por debajo del límite de cuantificación. Los parámetros fisicoquímicos fueron estables. **Conclusión:** La calidad microbiológica del agua está influenciada por la carga de usuarios, lo que evidencia la necesidad de optimizar los sistemas de recambio y control sanitario para reducir riesgos a la salud pública.

Palabras clave: Aguas termales; Calidad microbiológica; *Escherichia coli*; Coliformes totales; Salud pública

ABSTRACT

Introduction: Hot springs are widely used for therapeutic and recreational purposes globally; however, their physicochemical conditions can promote the proliferation of microorganisms, posing a public health risk associated with infections. **Objective:** To assess the microbiological quality of thermal water pools in the parish of Baños, Cuenca, Ecuador, by quantifying total coliforms, fecal coliforms (*Escherichia coli*), and measuring associated physicochemical parameters. **Methodology:** A descriptive cross-sectional study was conducted at three recreational swimming pools. Samples were collected in accordance with the INEN 1529-2 standard. Microbiological analysis was performed using Compact Dry EC plates (AOAC 991.14), with results expressed in CFU/mL. pH and temperature parameters were determined on-site in accordance with TULSMA regulations. **Results:** Variations in the microbiological load were observed depending on the sampling time. Specifically, during the water renewal, total coliforms remained below the limit of quantification. However, after user exposure, a significant increase was observed, reaching values of up to 2.2×10^5 CFU/mL, exceeding regulatory limits. Pool 2 showed higher contamination, while Pool 3 showed progressive accumulation prior water renewal. *Escherichia coli* remained below the limit of quantification. The physicochemical parameters were stable. **Conclusion:** These findings indicate that the microbiological quality of water is influenced by the user load. Consequently, there is a need to optimize water renewal system and sanitation control systems to reduce public health risks.

Key words: Hot springs; Microbiological quality; *Escherichia coli*; Total coliforms; Public health

RESUMO

Introdução: As águas termais são amplamente utilizadas para fins terapêuticos e recreativos a nível global; no entanto, as suas condições físico-químicas podem favorecer a proliferação de microrganismos, representando um risco para a saúde pública associado a infeções. **Objetivo:** Avaliar a qualidade microbiológica da água em piscinas termais da freguesia de Baños, Cuenca-Ecuador, através da quantificação de coliformes totais, coliformes fecais (*Escherichia coli*) e da medição de parâmetros físico-químicos associados. **Metodologia:** Foi realizado um estudo descritivo transversal em três piscinas de uso recreativo. As amostras foram recolhidas de acordo com a norma INEN 1529-2. A análise microbiológica foi efetuada através de placas Compact Dry EC (AOAC 991.14), expressando os resultados em UFC/mL. Os parâmetros de pH e temperatura foram determinados in situ de acordo com a normativa TULSMA. **Resultados:** Observaram-se variações na carga microbiológica consoante o momento da amostragem. Durante a renovação da água, os coliformes totais mantiveram-se abaixo do limite de quantificação. Após a afluência de utilizadores, observou-se um aumento significativo, atingindo valores até $2,2 \times 10^5$ UFC/mL, excedendo a normativa. A piscina 2 apresentou maior contaminação, enquanto a piscina 3 mostrou acumulação progressiva antes da renovação. A *Escherichia coli* manteve-se abaixo do limite de quantificação. Os parâmetros físico-químicos permaneceram estáveis. **Conclusão:** A qualidade microbiológica da água é influenciada pelo número de utilizadores, o que evidencia a necessidade de otimizar os sistemas de renovação e controlo sanitário para reduzir os riscos para a saúde pública.

Palavras-Chave: Águas termais, Qualidade Microbiológica, *Escherichia coli*, Coliformes totais, Saúde pública

INTRODUCCIÓN

Las aguas termales son aguas subterráneas que emergen naturalmente a la superficie con temperaturas superiores a 30 °C, como resultado del gradiente geotérmico y su interacción con capas profundas de la corteza terrestre. En este sentido, durante su circulación subterránea, estas aguas entran en contacto con diversas formaciones geológicas, lo que favorece la disolución de minerales como calcio, magnesio, potasio, hierro, azufre, cloruros, bicarbonatos y sulfatos, confiriéndoles características fisicoquímicas particulares que las diferencian del agua convencional y que han sido asociadas a efectos terapéuticos (1). En el contexto ecuatoriano, la riqueza geotérmica ha permitido el desarrollo de numerosos balnearios, siendo la parroquia Baños en Cuenca uno de los destinos más reconocidos por la calidad de sus aguas termominerales (2).

Desde una perspectiva histórica, las aguas termales han sido utilizadas con fines recreativos y terapéuticos, gracias a sus posibles beneficios en afecciones musculares, articulares, dermatológicas y respiratorias. La combinación de temperatura elevada y composición mineral favorece procesos fisiológicos como la vasodilatación, la relajación muscular y la mejora de la circulación sanguínea, lo que ha impulsado su uso en balnearios y centros turísticos (3). A nivel internacional, la

industria de las aguas termales y minerales ha experimentado un crecimiento exponencial, estimándose la existencia de más de 34,000 instalaciones operativas en 127 países, lo que refleja la importancia global de este recurso tanto para el turismo de bienestar como para la salud pública (4).

No obstante, las condiciones fisicoquímicas de estas aguas, particularmente la temperatura y el pH, pueden influir en la supervivencia y proliferación de microorganismos. Valores de pH cercanos a la neutralidad favorecen el crecimiento microbiano, mientras que condiciones extremas pueden afectar la estabilidad química del agua y generar efectos adversos en la salud de los usuarios. De igual manera, temperaturas comprendidas entre 25 °C y 45 °C pueden favorecer la multiplicación de bacterias ambientales y de origen fecal, especialmente en presencia de materia orgánica y condiciones sanitarias deficientes (5). En concordancia con ello, estudios internacionales recientes han advertido que las aguas termales y los spas recreativos pueden actuar como reservorios ambientales de patógenos oportunistas humanos, incluyendo cepas multirresistentes a los antibióticos, lo que plantea un desafío significativo para la gestión sanitaria de estas instalaciones (6).

Desde el punto de vista sanitario, los coliformes fecales y los coliformes totales constituyen

indicadores microbiológicos fundamentales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas recreacionales. Los coliformes fecales, representados principalmente por *Escherichia coli*, son indicadores específicos de contaminación fecal reciente, debido a su asociación con el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente. Por consiguiente, su presencia sugiere un riesgo elevado de contaminación por microorganismos patógenos entéricos, los cuales pueden causar infecciones gastrointestinales, cutáneas y oculares, especialmente en poblaciones vulnerables (7). En este marco, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y diversas agencias de protección ambiental a nivel global reconocen a *E. coli* como el indicador más preciso de contaminación fecal en aguas recreativas, superando en especificidad a los coliformes totales (8).

Por otro lado, los coliformes totales permiten evaluar las condiciones higiénico-sanitarias generales del agua y la eficacia de los procesos de tratamiento y desinfección, debido a que su presencia puede reflejar fallas en el mantenimiento, contaminación ambiental o acumulación de materia orgánica (9). En el caso específico de las aguas termales, surge un dilema fundamental entre la necesidad de mantener las propiedades naturales y terapéuticas del agua (evitando tratamientos químicos agresivos)

y la obligación de garantizar la seguridad microbiológica de los usuarios (10). En este contexto, la adición de desinfectantes tradicionales como el cloro puede alterar la composición mineral original y generar subproductos de desinfección potencialmente nocivos, lo que complica la gestión de estos espacios (11).

En relación con el marco normativo, la normativa ecuatoriana vigente, establecida en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), exige la evaluación de ambos indicadores microbiológicos en aguas recreacionales de contacto primario. Esta normativa establece límites máximos permisibles de 200 NMP/100 mL para coliformes fecales y 2000 NMP/100 mL para coliformes totales, así como rangos de pH entre 6,5 y 8,3. Por tanto, el cumplimiento de estos criterios es fundamental para garantizar la calidad sanitaria del agua y la protección de la salud de los usuarios, mientras que su incumplimiento indica contaminación microbiológica y riesgo potencial de exposición a agentes patógenos (12).

A pesar de ello, y considerando la relevancia sanitaria de estos indicadores y de la existencia de normativa vigente, en Ecuador existe una limitada disponibilidad de estudios sobre la calidad microbiológica de aguas termales destinadas al uso recreativo. Investigaciones previas en el país han

documentado problemas de calidad en diversos cuerpos de agua, incluyendo lagos cratéricos (13) y otros balnearios termales (14,15), evidenciando la vulnerabilidad de estos ecosistemas a la presión antrópica. De forma complementaria, estudios en la región andina y en países vecinos como Colombia (16) y Bolivia (17) han reportado hallazgos similares, destacando el impacto de las descargas de aguas residuales y la alta afluencia turística en la calidad del agua termal (18).

Más aun, la situación se agrava al considerar la emergencia global de microorganismos resistentes a los antimicrobianos en ambientes acuáticos. Investigaciones recientes han alertado sobre la presencia de superbacterias en ríos y piscinas de la provincia de Tungurahua, Ecuador, lo que subraya la urgencia de monitorear rigurosamente estos entornos (19). Asimismo, estudios internacionales han demostrado que la diversidad microbiana en aguas minerales termales es vasta y compleja (20), albergando microorganismos adaptados a condiciones extremas que, bajo ciertas circunstancias, pueden representar un riesgo para la salud humana (21). En consecuencia, la historia del aprovechamiento de fuentes termales en América Latina demuestra una larga tradición de uso (22), pero también la necesidad contemporánea de actualizar los protocolos de vigilancia sanitaria (23).

Finalmente, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad microbiológica del agua en piscinas termales ubicadas en la parroquia Baños, en Cuenca - Ecuador, mediante la determinación de coliformes fecales (*Escherichia coli*) y coliformes totales, así como la medición de parámetros fisicoquímicos asociados a su posible proliferación. La investigación busca aportar evidencia científica local que contribuya a la toma de decisiones en salud pública, enmarcada en la visión "One Health" (Una Sola Salud), que reconoce la interconexión indisoluble entre la salud humana, la salud animal y la salud de los ecosistemas compartidos (24).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo descriptivo de corte transversal, orientado a evaluar la calidad microbiológica del agua en piscinas termales utilizadas con fines recreativos en la parroquia Baños, cantón Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. El estudio permitió caracterizar la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal y comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en la normativa TULSMA. (12).

La población de estudio estuvo constituida por piscinas de aguas termales de uso recreacional ubicadas en la parroquia Baños. La

muestra estuvo conformada por tres piscinas seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se consideraron como criterios de inclusión aquellas piscinas en funcionamiento y con acceso al público, y como criterios de exclusión aquellas piscinas en mantenimiento o fuera de servicio durante el período de recolección de datos.

Las variables del estudio incluyeron variables microbiológicas, fisicoquímicas y contextuales. Como variables microbiológicas se evaluaron los coliformes fecales (*Escherichia coli*) y coliformes totales, expresados en UFC/mL. Las variables fisicoquímicas incluyeron la temperatura (°C) y el pH. Como variable independiente se consideró el momento de muestreo, clasificado en tres categorías: durante el recambio de agua, después de la afluencia de usuarios y antes del siguiente recambio.

En relación con los instrumentos normativos, se emplearon la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-2, numeral 5.1.4, que establece el procedimiento adecuado para la toma de muestras (25), y la NTE INEN 1529-5, numeral 9.1.1, que define la fórmula para el cálculo del Número Más Probable (26). Adicionalmente, se utilizó como referencia el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), el cual establece los criterios de calidad para aguas recreacionales de contacto primario (12). De

acuerdo con esta normativa, los coliformes fecales no deben exceder un límite máximo permisible de 200 NMP por cada 100 mL, mientras que los coliformes totales no deben superar los 2000 NMP/100 mL. Del mismo modo, el pH del agua debe mantenerse dentro de un rango de 6,5 a 8,3 unidades, parámetros considerados esenciales para garantizar condiciones sanitarias adecuadas.

La toma de muestras se realizó conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-2, utilizando frascos estériles de 100 mL, recolectados a una profundidad aproximada de 20 cm en la zona central de cada piscina. Posteriormente, las muestras fueron transportadas en condiciones de refrigeración (4 °C) en contenedores térmicos, para su posterior análisis microbiológico en el laboratorio, garantizando la integridad de las muestras. En cuanto al análisis microbiológico, la cuantificación de coliformes fecales (*Escherichia coli*) y coliformes totales se realizó mediante placas Compact Dry EC (método AOAC 991.14), empleando diluciones seriadas e incubación durante 24–48 horas. La interpretación de resultados se realizó en base a la diferenciación cromogénica de colonias: colonias rojas para *Escherichia coli* (coliformes fecales) y colonias azul/morado para coliformes totales.

De manera complementaria, los parámetros fisicoquímicos de pH y temperatura se midieron in situ mediante equipos previamente calibrados.

Seguidamente, los resultados obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva y comparados con los límites establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), que establece valores máximos permisibles de 200 NMP/100 mL para coliformes fecales, 2000 NMP/100 mL para coliformes totales y un rango de pH entre 6,5 y 8,3.

En lo que respecta al análisis de datos, se realizó un análisis descriptivo de las variables microbiológicas y fisicoquímicas, incluyendo la determinación de valores mínimos y máximos, así como la identificación de patrones de variación en función del momento de muestreo. En particular, para las variables fisicoquímicas de temperatura y pH, se calcularon rangos de variación, mientras que para las variables microbiológicas *Escherichia coli* y coliformes totales se analizaron los valores observados y su comportamiento en los diferentes momentos del ciclo de uso de las piscinas.

Asimismo, se efectuó una comparación descriptiva entre los momentos de muestreo: al momento del cambio de agua, después de la afluencia de gente y antes del cambio de agua, con el fin de identificar variaciones en la carga microbiológica asociadas al uso recreativo de las piscinas. Finalmente se evaluó el cumplimiento de los criterios establecidos en el TULSMA clasificando cada muestra en cumplimiento o no cumplimiento, en función de los límites permisibles para coliformes fecales y coliformes totales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron luego del análisis microbiológico de las piscinas de aguas termales de la parroquia de Baños de Cuenca se muestran a continuación, estableciendo los resultados de cada piscina en diferentes tablas.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua en diferentes etapas del proceso de recambio y uso de la primera piscina.

Toma de la muestra	Temperatura (°C)	pH	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	Interpretación	Coliformes totales (UFC/mL)	Interpretación
1. Al momento del cambio de agua	39.9	8.3	< límite de cuantificación	Cumple	< límite de cuantificación	Cumple
2. Después de afluencia de gente	37.0	7.4	< límite de cuantificación	Cumple	3.75×10^4	No Cumple
3. Antes de cambio de agua	37.0	8.3	< límite de cuantificación	Cumple	< límite de cuantificación	Cumple

Los resultados presentados en la Tabla 1 evidencian variaciones en la carga microbiológica del agua en función de los momentos de muestreo. Al momento del cambio de agua, la concentración de coliformes totales se encontró por debajo del límite de cuantificación, cumpliendo con los criterios establecidos en la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). Posterior a la afluencia de usuarios, se registró un incremento en la concentración de coliformes totales, alcanzando un valor de $3,75 \times 10^4$ UFC/mL, el cual supera el límite permisible de 2000 UFC/100 mL, clasificándose como no cumplimiento.

Antes del cambio de agua, los valores de coliformes totales se mantuvieron nuevamente por debajo del límite de cuantificación, evidenciando condiciones dentro de los límites permisibles. En cuanto a los coliformes fecales (*Escherichia coli*), los valores se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación en todos los momentos evaluados. Por su parte, la temperatura osciló entre 37,0 °C y 39,9 °C, mientras que el pH se mantuvo en un rango de 7,4 a 8,3, sin variaciones relevantes entre los puntos de muestreo.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua en diferentes etapas del proceso de recambio y uso de la segunda piscina.

Toma de la muestra	Temperatura (°C)	pH	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	Interpretación	Coliformes totales (UFC/mL)	Interpretación
1. Al momento del cambio de agua	41.2	8.4	< límite de cuantificación	Cumple	1.9×10^3	Cumple
2. Después de afluencia de gente	37.0	8.1	< límite de cuantificación	Cumple	2.2×10^5	No Cumple
3. Antes de cambio de agua	34.9	8.3	< límite de cuantificación	Cumple	< límite de cuantificación	Cumple

Los resultados presentados en la Tabla 2 evidencian variaciones en la carga microbiológica del agua en función de los momentos de muestreo. Al momento del cambio de agua, la

concentración de coliformes totales fue de $1,9 \times 10^3$ UFC/mL, valor que se encuentra dentro del límite permisible establecido por el TULSMA (2000 UFC/100 mL), clasificándose como cumplimiento.

Posterior a la afluencia de usuarios, se observó un incremento significativo en la concentración de coliformes totales, alcanzando un valor de $2,2 \times 10^5$ UFC/mL, superando ampliamente el límite normativo y clasificándose como no cumplimiento. Este resultado representa el punto de mayor contaminación microbiológica registrado en esta piscina. Antes del cambio de agua, los valores de coliformes totales se redujeron nuevamente por debajo del límite de cuantificación, evidenciando condiciones dentro de los valores permisibles.

En cuanto a los coliformes fecales (*Escherichia coli*), estos se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación en todos los momentos evaluados, indicando ausencia de contaminación fecal reciente detectable. Los parámetros fisicoquímicos presentaron una relativa estabilidad, con temperaturas entre 34,9 °C y 41,2 °C y valores de pH entre 8,1 y 8,4, sin variaciones significativas entre los puntos de muestreo.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua en diferentes etapas del proceso de recambio y uso de la tercera piscina.

Toma de la muestra	Temperatura (°C)	pH	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	Interpretación	Coliformes totales (UFC/mL)	Interpretación
1. Al momento del cambio de agua	39.1	8.1	< límite de cuantificación	Cumple	< límite de cuantificación	Cumple
2. Después de afluencia de gente	36.9	7.7	< límite de cuantificación	Cumple	4.6×10^4	No Cumple
3. Antes de cambio de agua	36.5	7.4	< límite de cuantificación	Cumple	2.6×10^4	No Cumple

Los resultados presentados en la Tabla 3 evidencian variaciones en la carga microbiológica del agua en función de los momentos de muestreo. Al momento del cambio de agua, la concentración de coliformes totales se encontró por debajo del límite de cuantificación, cumpliendo con los criterios establecidos por el TULSMA. Posterior a la afluencia de usuarios, se registró

un incremento significativo en la concentración de coliformes totales, alcanzando un valor de $4,6 \times 10^4$ UFC/mL, superando el límite permisible y clasificándose como no cumplimiento.

A diferencia de las piscinas anteriores, antes del cambio de agua, los valores de coliformes totales se mantuvieron elevados, con una concentración de $2,6 \times 10^4$ UFC/mL,

persistiendo por encima del límite normativo, lo que indica condiciones de no cumplimiento. En cuanto a los coliformes fecales (*Escherichia coli*), los valores se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación en todos los momentos evaluados. La temperatura osciló entre 36,5 °C y 39,1 °C, mientras que el pH presentó valores entre 7,4 y 8,1, sin variaciones relevantes entre los puntos de muestreo.

De manera general, los resultados evidencian un incremento de la carga microbiológica posterior a la afluencia de usuarios en las tres piscinas evaluadas. Sin embargo, se observaron diferencias en el comportamiento de la contaminación: mientras que la piscina 1 presentó un aumento puntual seguido de recuperación, la piscina 2 evidenció niveles elevados con posterior disminución tras el recambio, y la piscina 3 mostró una acumulación progresiva de coliformes totales antes del cambio de agua. En todos los casos, los coliformes fecales (*Escherichia coli*) se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian la presencia de contaminación microbiológica en las piscinas de aguas termales evaluadas, principalmente asociada a la presencia de coliformes totales, cuyo comportamiento

varió en función del uso recreativo del sistema. En las tres piscinas analizadas se observó un incremento de la carga microbiológica posterior a la afluencia de usuarios, lo que sugiere una relación directa entre la actividad antropogénica y la contaminación del agua.

Este hallazgo coincide con lo reportado en estudios previos a nivel internacional, donde se ha identificado que los usuarios constituyen una de las principales fuentes de contaminación en aguas recreacionales, debido al aporte de materia orgánica, microorganismos de origen fecal y contaminación cruzada (6). En este sentido, el incremento significativo de coliformes totales observado en las tres piscinas después de la afluencia de personas refuerza la hipótesis de que la carga orgánica introducida durante el uso recreativo favorece la proliferación bacteriana (10). Valeriani et al. (10) señalan que el dilema entre preservar las propiedades naturales de las aguas termales y aplicar tratamientos de desinfección a menudo resulta en una gestión subóptima que permite la proliferación de bacterias indicadoras y patógenos oportunistas.

En relación con el cumplimiento de la normativa explicada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), se evidenció que varias de las muestras superaron el límite permisible de 2000 NMP/100 mL para coliformes totales, particularmente

en los momentos posteriores a la afluencia de usuarios. Este incumplimiento representa un indicador de riesgo sanitario, debido a que sugiere condiciones inadecuadas de mantenimiento y posible presencia de microorganismos patógenos (12). Investigaciones similares realizadas en otros balnearios termales de Ecuador, como en la provincia de Tungurahua (23) y Pichincha (14), han reportado también superaciones sistemáticas de los límites normativos durante los picos de afluencia turística, lo que indica que este es un problema estructural en la gestión de instalaciones termales a nivel nacional.

No obstante, los coliformes fecales (*Escherichia coli*) se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación en todas las muestras, lo que indicaría la ausencia de contaminación fecal reciente detectable bajo las condiciones del estudio. Este contraste entre altos niveles de coliformes totales y ausencia de *E. coli* es un fenómeno documentado en la literatura científica. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (8), los coliformes totales pueden provenir de fuentes ambientales no fecales, como suelos y vegetación, y su capacidad para sobrevivir y multiplicarse en aguas cálidas es superior a la de *E. coli*. Por lo tanto, la presencia exclusiva de coliformes totales en las piscinas de Baños podría reflejar contaminación ambiental y acumulación de biopelículas en las superficies

de las piscinas, más que un riesgo inminente de enfermedades entéricas severas (20).

El comportamiento microbiológico observado difirió entre las piscinas evaluadas. La piscina 1 presentó un incremento puntual de coliformes totales posterior al uso, seguido de una disminución tras el recambio de agua, lo que sugiere un sistema de renovación eficiente. Por su parte, la piscina 2 evidenció niveles elevados de contaminación incluso en el momento del recambio, alcanzando valores máximos después de la afluencia de usuarios, lo que podría indicar deficiencias en los procesos de desinfección o una carga inicial elevada de contaminantes.

En contraste, la piscina 3 mostró una acumulación progresiva de coliformes totales antes del recambio, evidenciando una persistencia de la contaminación microbiológica en el tiempo. Estas diferencias subrayan la variabilidad en la dinámica hidráulica y de mantenimiento de cada infraestructura, un aspecto que Laganà et al. (24) identificaron como crítico en su estudio de vigilancia de 16 años en instalaciones termales, donde el diseño del sistema y la frecuencia de recambio determinaron significativamente la carga bacteriana.

Desde el punto de vista fisicoquímico, las temperaturas registradas entre 34,9 °C y 41,2 °C, junto con valores de pH ligeramente alcalinos (7,4–8,4), constituyen condiciones

que pueden favorecer la supervivencia de bacterias termotolerantes. Aunque las altas temperaturas pueden limitar el crecimiento de algunos microorganismos mesófilos, diversos estudios han demostrado que ciertos grupos bacterianos pueden adaptarse a estos ambientes, lo que explicaría la presencia de coliformes totales en las muestras analizadas (21). Selci et al. (6) demostraron que las temperaturas entre 35 °C y 42 °C en aguas termales recreativas no solo permiten la supervivencia de bacterias ambientales, sino que pueden seleccionar cepas con mayor resistencia a factores de estrés ambiental, incluyendo patógenos oportunistas como *Pseudomonas* y *Acinetobacter*.

En conjunto, los resultados sugieren que las condiciones propias de las aguas termales no son suficientes para inhibir completamente la proliferación bacteriana, especialmente cuando existen aportes constantes de materia orgánica y una gestión inadecuada del recambio y tratamiento del agua. Esto resalta la importancia de implementar programas de monitoreo microbiológico periódico, así como de fortalecer las medidas de desinfección y control sanitario en instalaciones recreacionales (15). La aplicación de un enfoque "One Health" resulta imperativa en este contexto, reconociendo que la calidad del agua termal es el resultado de la interacción entre

el ecosistema geológico, la intervención humana y las prácticas de gestión sanitaria (24).

Entre las limitaciones del presente estudio, es importante considerar que se desarrolló en un número reducido de unidades de análisis (tres piscinas) y durante un período de tiempo específico, lo cual restringe la extrapolación de los resultados a otros contextos termales con diferentes características geoquímicas o regímenes de uso. Además, la investigación se centró exclusivamente en bacterias indicadoras tradicionales, sin evaluar la presencia de patógenos específicos de aguas termales como *Legionella pneumophila* o *Pseudomonas aeruginosa*, ni la formación de biopelículas, que constituyen reservorios importantes de microorganismos en estos ambientes.

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son significativas para la gestión de la salud pública local. Los resultados evidencian la necesidad urgente de que las autoridades sanitarias y los administradores de los balnearios revisen y optimicen los protocolos de recambio de agua, ajustando la frecuencia de renovación en función de la carga real de usuarios y no únicamente en base a horarios preestablecidos. Asimismo, se requiere el desarrollo de normativas específicas para aguas termales que consideren sus particularidades fisicoquímicas, estableciendo directrices claras

sobre métodos de tratamiento que garanticen la inocuidad microbiológica sin comprometer las propiedades terapéuticas del recurso.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio evidenciaron la presencia de contaminación microbiológica en las piscinas de aguas termales evaluadas, caracterizada principalmente por la detección de coliformes totales en concentraciones que, en varios casos, superaron los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, TULSMA), especialmente posterior a la afluencia de usuarios.

Se determinó que la carga microbiológica del agua varía en función del uso recreativo, observándose un incremento significativo de coliformes totales después de la presencia de usuarios en las tres piscinas analizadas, lo que confirma la influencia de la actividad antropogénica como factor determinante en la contaminación del agua. El comportamiento microbiológico difirió entre las piscinas evaluadas, evidenciándose patrones específicos: una contaminación puntual con recuperación tras el recambio (piscina 1), niveles elevados con

posible deficiencia en el tratamiento (piscina 2) y acumulación progresiva de microorganismos antes del recambio (piscina 3). Estos resultados reflejan diferencias en la eficacia de los sistemas de mantenimiento y renovación del agua.

En contraste, los coliformes fecales *Escherichia coli* se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación en todas las muestras analizadas, lo que sugiere la ausencia de contaminación fecal reciente detectable en las condiciones evaluadas; sin embargo, la presencia de coliformes totales indica deficiencias en la calidad higiénico-sanitaria del agua. Asimismo, las condiciones fisicoquímicas registradas (temperatura y pH) no fueron suficientes para inhibir la proliferación bacteriana, lo que evidencia que las características propias de las aguas termales no garantizan por sí solas la calidad microbiológica del sistema.

Los alcances de los objetivos planteados permitieron establecer una línea base sobre el estado sanitario de las piscinas termales de la parroquia Baños, demostrando que la gestión actual del recurso hídrico requiere optimización para mitigar riesgos a la salud pública. La metodología empleada demostró ser efectiva para la monitorización in situ y en laboratorio, proporcionando datos confiables para la toma de decisiones.

Para futuras líneas de investigación, se recomienda ampliar el espectro de análisis microbiológico incluyendo la detección de patógenos oportunistas específicos de aguas cálidas, como *Legionella spp.* y *Pseudomonas aeruginosa*, así como el estudio de la formación de biopelículas en las infraestructuras termales. Igualmente, sería pertinente realizar estudios longitudinales que evalúen la variación estacional de la calidad del agua y el impacto de diferentes tecnologías de tratamiento no invasivas (como radiación UV o ionización) sobre la microbiota de las aguas termominerales.

En conclusión, la preservación de las aguas termales como recurso terapéutico y turístico en Cuenca exige un equilibrio riguroso entre la conservación de sus propiedades naturales y la implementación de protocolos sanitarios estrictos, garantizando así espacios recreativos seguros y saludables para la población.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

FINANCIAMIENTO. Los autores declaran no haber recibido financiamiento para la realización de esta investigación.

AGRADECIMIENTO. Los autores agradecen el esfuerzo y el aporte de las personas e instituciones que colaboraron en el desarrollo del presente artículo científico, facilitando el acceso a las instalaciones y apoyando en la recolección de muestras.

REFERENCIAS

1. Puhakka. Hidrogeoquímica y geotermometría de aguas termales del noreste de Argelia. Sciencedirect.com. 2018 . <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hot-springs>
2. Napoleon Burbano SB. Aguas termominerales en el Ecuador. Gob.ec. 2013. <https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/termalismo.pdf>
3. Vega E, Ortiz J. Análisis fisicoquímico y bacteriológico de las piscinas de aguas termales, más concurridas, de la parroquia Baños. Cuenca – Ecuador. Anatomia Digital. 2023. [http://file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2678-Article%20Text-11507-1-1020230916%20\(2\).pdf](http://file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2678-Article%20Text-11507-1-1020230916%20(2).pdf)
4. Global Wellness Institute. Global Thermal/Mineral Springs Economy. Miami: GWI; 2018. <https://globalwellnessinstitute.org/industry-research/global-thermal-mineral-springs-economy/>
5. Kochhar N, I K K, Shrivastava S, Ghosh A, Rawat V, Sodhi K, et al. Perspectives on the microorganism of extreme environments and their applications. Curr Res Microb Sci. 2022;3(100134):100134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100134>
6. Selci M, Correggia M, Cordone A, Guida M, Quero G, Piredda R, et al. Recreational hot springs as environmental reservoir of potential multidrug-resistant pathogens. Environ Res. 2024;262(Pt 1):119841. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2024.119841>
7. E. Coli infection. Cleveland Clinic. 2023. <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/16638-e-coli-infection>
8. Us EPA OW. Revised Total Coliform Rule And Total Coliform Rule. US EPA. 2015. <https://www.epa.gov/dwreginfo/revisedtotal-coliform-rule-and-total-coliform-rule>

9. Arellano J. Calidad Bacteriológica de las piscinas de la Ciudad de Jaén. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2023. <http://file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/7884-Texto%20del%20art%C3%ADculo35263-2-10-20231025.pdf>
10. Valeriani F, Margarucci , Spica VR. Recreational Use of Spa Thermal Waters: Criticisms and Perspectives for Innovative Treatments. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(12):2675. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122675>
11. Vera R, Reynaga Marín G, Llanos Villegas I, Gomez M, Mamani D. Análisis Biofísico de las Aguas Termales para tratamiento paliativo de la Hipertensión Arterial en la ciudad de Potosí. *Veritas*. 2024;5(3):867–90. <https://revistaveritas.org/index.php/veritas/article/view/239>
12. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Quito: Ministerio del Ambiente; 2015. <https://es.scribd.com/document/680772518/Tulsma-Acuerdo-097>
13. González M, Diego A, Araque J, Francisco V, Luis V, Sandra E, et al. Microbiology of the water in the lake crater volcanic Cuicocha. *Imbabura. Ecuador: Initial study*. 2021; 63:25-33. https://www.researchgate.net/publication/352638876_Microbiology_of_the_water_in_the_lake_crateric_volcanic_Cuicocha_Imbabura_Ecuador_Initial_study
14. Calidad microbiológica de las aguas termales del balneario “El Tingo”. Pichincha. Ecuador. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2340-98942020000100003
15. Rojas C, Rosana S. Calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas termales del “Complejo Turístico Santa Catalina”, ubicado en Papallacta, provincia de Napo. Ecuador. Repositorio Digital UCE. Quito: UCE; 2021. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/bba77008-97c7-4f7b-88ad-3f557e8c61f4>
16. Molina-Carvajal L, Rivera M, Delgado-Rodríguez J, Cajiao-Pedraza Á. Calidad del agua termal en los municipios de Bochalema y Chinácota, Colombia. *Rev Bol Geol*. 2023, 45(2):65–77. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832023000200065
17. Chacón J, Morales P, Moya D. Estudio de contaminación en aguas termales de aguas calientes, Roboré, Santa Cruz, Bolivia. *Revista3i.com*. 2024. <https://revista3i.com/index.php/home/article/view/83>
18. Sánchez Y, Mehrvar M, McCarthy L, Quiñones É, Cheu L, Romero J, et al. Impact of the sewage discharge from Hot Springs to water sources. En: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2021. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI; 2021. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1691>
19. Paredes P, Toapanta I, Bravo L, Carrillo K, Montesdeoca A. Ríos y piscinas de Tungurahua-Ecuador contaminados con superbacterias, una realidad alarmant. *Salud, Ciencia y Tecnología*. 2025. http://file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/SCT_2025_1851.pdf
20. Del M, De C, Rosa LA, Ángeles M, Romeo M. DIVERSIDAD MICROBIANA DE LAS AGUAS MINERALES TERMALES. *Igme.es*. <https://aguas.igme.es/igme/publica/pdfart3/diversidad.pdf>
21. Malca M. Estudio de la calidad fisicoquímica y mineromedicinal del agua termal de los Baños del Inca. 2015. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5472524>
22. Alvarado G, Vargas A. Historia del descubrimiento y aprovechamiento de las fuentes termales en Costa Rica. *Rev Geol Am Cent*. 2017. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rgac/n57/0256-7024-rgac-57-00055.pdf>
23. Arrieta K, Bonifaz A. Estudio físico-químico y microbiológico de las aguas termales en las piscinas “el salado” en el cantón baños de agua santa provincia de tungurahua. UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA. 2019. <https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/485/T.AMB.B.UEA.3170?sequence=1&isAllowed=y>
24. Laganà P, Giofrè M, Delia S, Facciola A. Legionella spp. in Thermal Facilities: A Public Health Issue in the One Health Vision. *Water*. 2023;15(4):689. <https://doi.org/10.3390/w15040689>

25. NTE INEN 1529-2:1999. Control microbiológico de los alimentos. Toma, envío y preparación de muestras para el análisis microbiológico. Quito: INEN; 1999. <https://es.slideshare.net/slideshow/nte-inen-1529-2/11359979#3>

26. NTE INEN 1529-5:2006. Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. Método de ensayo. Quito: INEN; 2006. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-cotopaxi/microbiologia/toaz-analisis-microbilogico-en-alimentos/119399130>