

ORIGINAL

Rivers and pools in Tungurahua- Ecuador, are contaminated with superbugs: an alarming reality

Ríos y piscinas de Tungurahua-Ecuador contaminados con superbacterias, una realidad alarmante

Patricia Paredes Lascano¹  , Ivan Toapanta Yugcha²  , Leonardo Bravo Paredes³  , Keyla Carrillo Ochoa⁴  , Alisson Montesdeoca IpiALES⁴  

¹Docente Investigador, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Jefe del Servicio de Pediatría - Hospital General Ambato, Ambato, Ecuador,

²Docente de Pediatría, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Pediatra, Hospital General Ambato, Ambato, Ecuador.

³Posgradista de Cirugía General, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador.

⁴Estudiante de Medicina, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Citar como: Paredes Lascano P, Toapanta Yugcha I, Bravo Paredes L, Carrillo Ochoa K, Montesdeoca IpiALES A. Rivers and pools in Tungurahua-Ecuador, are contaminated with superbugs: an alarming reality. Salud, Ciencia y Tecnología. 2025; 5:1851. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251851>

Enviado: 21-01-2025

Revisado: 05-04-2025

Aceptado: 02-07-2025

Publicado: 03-07-2025

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Patricia Paredes Lascano 

ABSTRACT

Introduction: the pollution of both stagnant and flowing water bodies has emerged as a pressing threat to public health and ecosystems. Freshwater sources are increasingly degraded by unchecked biological, industrial, and agricultural waste, fostering the spread of multidrug-resistant bacteria—colloquially termed “superbugs.” Among these, extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing strains are particularly alarming. Their resistance to first-line antibiotics complicates treatment of gastrointestinal, urinary, respiratory, and skin infections, driving rising morbidity and mortality rates across Tungurahua Province. This study aimed to detect superbugs in rivers and swimming pools throughout Tungurahua and evaluate their antimicrobial resistance patterns.

Method: we conducted a descriptive field study combining qualitative and quantitative analyses. Water samples were collected from five rivers and twenty-five swimming pools using non-probabilistic sampling.

Results: while fecal coliform levels in rivers complied with limits set by Ecuador’s TULSMA regulations, swimming pools consistently exceeded thresholds. ESBL-producing *Klebsiella* and *E. coli* were isolated from rivers, whereas pools harbored a broader range of resistant pathogens, including *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Acinetobacter*, and *Pseudomonas*. These bacteria demonstrated resistance to cephalosporins and aztreonam but retained susceptibility to carbapenems and aminoglycosides—a profile that underscores their public health risk.

Conclusions: our findings reveal severe ESBL-driven contamination in the Cutuchi, Ambato, Ulba, and Pachanlica Rivers, rendering them unsafe for recreation or aquatic life. Only the Verde River remained uncontaminated, supporting its continued use for human activities. Swimming pools, however, function as reservoirs for multidrug-resistant bacteria, threatening both public health and local tourism. Urgent interventions—including enhanced water quality monitoring and targeted public health policies—are needed to curb the spread of these pathogens and reduce infection rates.

Keywords: Water Pollution; Drug - Resistant Bacteria; Beta-Lactamases; Drug Resistance Microbial; Freshwater.

RESUMEN

Introducción: la contaminación de las aguas estancadas y en movimiento se ha convertido en un problema creciente para la salud pública y el medio ambiente, el agua dulce está siendo afectada por la contaminación progresiva debido al mal manejo de residuos biológicos, industriales, agrícolas, desencadenando la aparición de bacterias multirresistentes o “superbacterias” en ríos y piscinas, especialmente productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), las mismas que por su cualidad de resistencia frente a los antibióticos convencionales, producen graves enfermedades difíciles de tratar como infecciones gastrointestinales, urinarias, respiratorias y de la piel, incrementado la morbilidad y mortalidad en la provincia. El objetivo del estudio fue reconocer la presencia de superbacterias en ríos y piscinas en la provincia de Tungurahua y analizar su resistencia antimicrobiana.

Método: estudio de campo descriptivo, de enfoque cuali-cuantitativo realizado mediante un muestreo no probabilístico con la recolección de muestras de cinco ríos y veinticinco piscinas.

Resultados: los coliformes fecales en los ríos se encontraron dentro del límite permisibles según el TULSMA y en las piscinas, superaron el límite. En los ríos se aislaron bacterias como *Klebsiella* y *E. coli* BLEE, mientras que en las piscinas se aislaron *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* y *Pseudomonas* BLEE, resistentes a antibióticos como las cefalosporinas y aztreonam, y sensibles a carbapenémicos y aminoglucósidos, lo cual constituye un factor de riesgo para la salud pública.

Conclusión: se evidencia una contaminación severa por bacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido en los ríos Cutuchi, Ambato, Ulba, Pachanlica, convirtiéndolos en no aptos para la vida ni la práctica recreativa, en tanto que el Río Verde al no presentar contaminación, garantiza mayor tranquilidad para la realización de actividades recreativas y de consumo humano. Las piscinas de Tungurahua se han constituido en un reservorio de bacterias multirresistentes siendo un riesgo para los usuarios y el turismo, por lo que es necesario implementar medidas de salud pública enfocadas en la protección de la calidad del agua y una vigilancia continua para disminuir el incremento de las infecciones en la población.

Palabras clave: Contaminación del Agua; Farmacorresistencia Bacteriana Múltiple; Beta-Lactamasas; Agua Dulce.

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más importante para la vida de los seres vivos y el medio ambiente, es utilizada en los procesos industriales, agrícolas y domésticos.⁽¹⁾ El 70 % de la superficie de la Tierra está constituida por agua y tan sólo el 2,5 % corresponde al agua dulce, por lo cual es importante establecer medidas preventivas para el cuidado de este recurso. La evolución de los seres humanos ha dejado una huella imborrable en la Tierra, generando un impacto negativo a nivel ambiental como el calentamiento global, la pérdida de recursos naturales y la contaminación del agua, siendo esta última una amenaza al ciclo del agua.^(2,3)

Las principales fuentes de contaminación de las aguas en movimiento y estancadas, se deben al mal manejo de residuos biológicos e industriales, ocasionadas por el desarrollo social e industrial de la sociedad, quienes derraman productos químicos, fertilizantes, pesticidas y bacterias a las fuentes de agua más cercanas.^(2,4) Las áreas que corresponden a ríos y piscinas han sido afectadas por la contaminación microbiológica de agentes patógenos que producen enfermedades infecciosas al ser humano como: fiebre tifoidea, paratifoidea, gastroenteritis aguda, enfermedad diarreica aguda, infecciones urinarias, meningitis, parasitosis y micosis.^(5,6,7) Los agentes patógenos implicados corresponden a la *Salmonella typhi*, *paratyphi A* y *B*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* ET, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* sp, *Shigella* sp, virus, parásitos y hongos.⁽⁵⁾

En 1980, Ambler clasificó a las betalactamasas estructuralmente en 4 categorías: A, B, C, D, de las cuales la presencia de serina, un aminoácido no esencial que favorece la hidrólisis, caracteriza a las categorías A, C, D. Por otro lado, el zinc actúa en los grupos carbonilo y amida de los betalactámicos, caracterizando a la categoría B. Sin embargo, tras diversos estudios, su clasificación ha adquirido un carácter molecular y funcional, con un enfoque en los puntos isoeléctricos, peso molecular y su vulnerabilidad a ciertos antibióticos como ácido clavulánico y tazobactam. En los últimos años, las bacterias multirresistentes conocidas también como “superbacterias”, especialmente las productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), han sido objeto de estudio en ríos, lagunas y piscinas dado el incrementado en la morbimortalidad de los habitantes de las comunidades cercanas o de las personas que utilizan como fines recreativos.⁽⁸⁾

Las principales betalactamasas de espectro extendido (BLEE) son producidas por el grupo de las

Enterobacterias, de las cuales destacan las TEM, SHV y CTX-M, cuyo principal mecanismo es la degradación de la pared celular bacteriana mediante su unión a las proteínas fijadoras a la penicilina (PBP).⁽⁸⁾ Estas enzimas son codificadas por genes organizados de manera extracromosómica a través de plásmidos o por moléculas móviles como transposones e integrones, los cuales facilitan la transferencia horizontal de material genético entre distintas especies bacterianas.⁽⁹⁾ Asimismo, son capaces de codificar proteínas de membrana, denominadas porinas, especialmente la OmpK35 y OmpK36, las cuales son canales hidrófilos encargados del transporte de los antibióticos al medio intracelular, sin embargo, mediante mutaciones la expresión de estos canales se ve afectada disminuyendo la permeabilidad a estos fármacos. Las bombas eflujo y las proteínas de membrana como la AcrB, cumplen con un papel similar de transporte, su diferencia radica en que lo hacen desde el medio intracelular hacia el extracelular de una manera inespecífica, con el fin de disminuir la concentración del antibiótico. Finalmente, puede ocurrir modificación del sitio de unión con el antibiótico como se ha evidenciado con la *S. aureus* resistente a la meticilina en donde disminuye su afinidad y por ende su acción.⁽¹⁰⁾

La principal causa de contaminación en ríos y piscinas es la presencia de coliformes fecales, los cuales son bacterias gramnegativas anaerobias o aerobias facultativas, provenientes de desechos del aparato intestinal de los mamíferos dentro de los cuales se incluye al humano, el suelo, la vegetación, aguas estuarinas y sistemas de manejo de aguas residuales.^(11,12) Entre ellos se encuentran: *E. coli*, *Klebsiella*, *Enterococcus*, *Citrobacter* y *Serratia* cuyo límite permisible de acuerdo con el TULSMA para aguas con fines recreativos es de 200 nmp/100 ml y para aguas con fines recreativos de contacto secundario 1000 nmp/100 ml.^(13,14)

Las BLEE son enzimas que producen ciertas bacterias y tienen la finalidad de descomponer varios tipos de antibióticos lo que hacen se trastornen resistentes, especialmente a las penicilinas y cefalosporinas incluyendo las de tercera y cuarta generación, pueden ser inhibidas por el ácido clavulánico, sulbactam y tazobactam, debido a esta resistencia al tratamiento se requieren antibióticos más fuertes y a dosis superiores.⁽⁸⁾ La resistencia ejercida por estas bacterias BLEE, hacen que sea necesario que los antibióticos incrementen la concentración inhibitoria mínima (ug/ml) para inhibir el crecimiento y proliferación de estos microorganismos, y así poder erradicar las infecciones.^(11,12,15)

En Ecuador, se ha observado la presencia de enterobacterias patógenas para el ser humano, específicamente *E. coli* productora de β -lactamasas de espectro extendido (BLEE), en los ríos Chimbo, ubicado en la provincia de Bolívar y en el Machángara ubicado en la provincia de Pichincha, lo que ha generado una creciente preocupación entre los habitantes de la región, quienes utilizan este recurso con fines recreativos; es por ello que la realización de esta investigación tiene el fin de demostrar la existencia de patógenos resistentes en ríos y piscinas en la provincia de Tungurahua.^(16,17)

MÉTODO

Se trata de un estudio descriptivo de campo, con enfoque cuali-cuantitativo, de muestreo no probabilístico, para determinar la presencia de coliformes, enterobacterias productoras de BLEE, y discriminar su sensibilidad y resistencia a los diversos antibióticos, en cinco ríos y veinticinco piscinas de agua dulce de uso recreativo en la provincia de Tungurahua-Ecuador, en el período de julio a diciembre del 2023.

Muestreo

Se consideró cinco ríos pertenecientes a la provincia de Tungurahua: Ambato, Pachanlica, Cutuchi, Ulba y río Verde; y veinticinco piscinas considerando la afluencia de bañistas, la distancia de los márgenes de los ríos y la hora de mayor demanda; la autorización de participación para la recolección de las muestras de las piscinas se realizó mediante consentimiento informado, y las muestras se anonimizaron por medio de un código alfanumérico, con el fin de preservar su prestigio; las muestras fueron recolectadas en frascos ámbar de 250 ml, esterilizados mediante calor húmedo, una vez obtenida la muestra se procedió al análisis físico in situ, obteniendo la humedad ambiental y la temperatura del agua.

En el laboratorio, se procedió al análisis físico-químico, determinando el cloro residual y el pH, mediante un potenciómetro calibrado, la determinación de la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) se llevó a cabo por medio de dos técnicas; el número más probable y el conteo en Petrifilm, en las muestras que se obtuvo crecimiento se realizó la tinción de Gram y se sembraron en agar MacConkey, pudiendo realizar una diferenciación visual y microscópica de las colonias para diferenciar especies, cada colonia distinta fue sembrada en CHROMagar para antibióticos gram negativos resistentes a betalactámicos, las colonias que crecieron en el ensayo fueron diluidas en agua estéril hasta obtener un valor de 0,5 en la escala de McFarland, 30 μ L de esta solución fue incubada en caldo Mueller Hinton. Posteriormente, 50 μ L de esta nueva solución fue depositada en cada uno de los 96 pocillos de la placa Sensititre™ GNX2F, y se incubaron por 24 horas a 37 °C.

RESULTADOS

Tabla 1. Análisis físico químico de agua dulce de los ríos de la provincia de Tungurahua

N°	Muestras	Río	pH	Cloro residual (mg/L)	Temp. Agua (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Hum. Ambiental (%)
1	RV-A	Río Verde	6,8	0,01	14	22	67
2	RV-B	Río Verde	6,9	0	14	24,6	63
3	RU-A	Río Ulba	7,1	0,03	16,5	32,6	39
4	RU4-A	Río Ulba	6,8	0,04	15,7	31,3	36
5	RC	Río Cutuchi	7,2	0,01	17,6	28,9	44
6	RP	Río Pachanlica	6,5	0,02	18,2	25	50
7	RA	Río Ambato	6,7	0	16,4	27,5	43

Tabla 1, presenta el análisis fisicoquímico del agua en los ríos de la provincia de Tungurahua. Los parámetros como el pH oscilaron entre 6,5 y 7,2. El cloro residual siendo el valor más alto 0,04 mg/L en el río Ulba, la temperatura del agua fluctuó entre 14 - 18,2 °C y la del ambiente entre 22 y 32,6 °C. Por otra parte, la humedad ambiental estuvo entre 36-67 %.

Tabla 2. Análisis físico químico de agua dulce de piscinas de la provincia de Tungurahua

N°	Muestras	Piscinas	pH	Cloro residual (mg/L)	Temp. Agua (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Hum. Ambiental (%)
1	M	Piscina M	7,2	0,229	28,1	12,8	80
2	N	Piscina N	7,6	0,166	31,9	29,2	44
3	O	Piscina O	6,5	0,178	23,8	13,5	84
4	P	Piscina P	6,2	0,1	22,6	18	86
5	Q	Piscina Q	6,7	0,12	26	36,2	40,5
6	R	Piscina R	6,8	0,176	32,1	32,7	41,5
7	A	Piscina A	6,9	0,08	29,7	32,5	39,7
8	S	Piscina S	6,5	0,299	32	32,6	40,8
9	T	Piscina T	6,1	0,09	32,2	32,6	42
10	B	Piscina B	6,8	0,04	25	20	88
11	U	Piscina U	6,7	0,124	28	24	64
12	C	Piscina C	6,4	0,031	31,1	16	63,6
13	D	Piscina D	6,2	0,02	33	16	63,6
14	E	Piscina E	6,8	0,03	33,5	30,6	56,7
15	F	Piscina F	6,6	0,09	25,3	31,8	34,6
16	V	Piscina V	6,1	0,198	31,5	29,7	45,4
17	W	Piscina W	6,8	0,045	25,8	27,8	64,6
18	X	Piscina X	7,7	0,14	24,5	30,1	32,9
19	G	Piscina G	6,4	0,096	32,4	32,4	24,5
20	H	Piscina H	6,1	0,118	27,7	32	70
21	I	Piscina I	6,6	0,07	29,9	31,6	88,7
22	Y	Piscina Y	7,1	0,137	21,3	28	50
23	J	Piscina J	6,8	0,05	22,2	34,4	59
24	K	Piscina K	6,5	0,06	27,3	29,6	31
25	L	Piscina L	7	0,09	26,8	33,3	58

Tabla 2, presenta el análisis fisicoquímico de las piscinas de la provincia de Tungurahua. Los valores de el pH oscilaron entre 6,1 a 7,7, la concentración del cloro residual varió entre 0,02 en la piscina D a 0,299 mg/L en la piscina S, la temperatura del agua de las piscinas estuvo entre 21,3 °C en la piscina Y a 33,5 °C en la piscina E, con una temperatura ambiente entre 12,8 °C piscina M a 36,2 °C piscina Q. Por otro lado, la humedad ambiental se encontró entre 24,5 en la piscina G a 88,7 % en la piscina I.

Tabla 3. Análisis de coliformes fecales en agua dulce de los ríos en la provincia de Tungurahua

N°	Muestras	Ríos	UFC/100 mL	Límite permisible coliformes fecales (UFC/100 mL)	Límite permisible coliformes totales (UFC/100 mL)	Cumple con límite de coliformes fecales	Cumple con el límite de coliformes totales
1	RV	Río Verde	0	200	1000	Si	Si
2	RU4-A	Río Ulba	2,55	200	1000	Si	Si
3	RC	Río Cutuchi	12,78	200	1000	Si	Si
4	RP	Río Pachanlica	6	200	1000	Si	Si
5	RA	Río Ambato	16	200	1000	Si	Si

Tabla 3, presenta la cantidad de unidades formadoras de colonias en los ríos de la provincia de Tungurahua. El río Ulba presenta 2,55 UFC/100mL, el Pachanlica 6 UFC/100mL, el Cutuchi 12,78 UFC/100mL, el río Ambato 16 UFC/100mL y el río Verde 0 UFC/100mL, cumpliendo con el límite permisible de coliformes fecales establecido por el TULSMA.

Tabla 4. Análisis de coliformes fecales en agua dulce de las piscinas en la provincia de Tungurahua

N°	Muestras	Piscinas	UFC/100 mL	Límite permisible coliformes fecales (UFC/100 mL)	Límite permisible coliformes totales (UFC/100 mL)	Cumple con límite de coliformes fecales	Cumple con el límite de coliformes totales
1	M	Piscina M	0	200	1000	Si	Si
2	N	Piscina N	0	200	1000	Si	Si
3	O	Piscina O	0	200	1000	Si	Si
4	P	Piscina P	0	200	1000	Si	Si
5	Q	Piscina Q	0	200	1000	Si	Si
6	R	Piscina R	9,45	200	1000	Si	Si
7	A	Piscina A	2,55	200	1000	Si	Si
8	S	Piscina S	2,55	200	1000	Si	Si
9	T	Piscina T	0	200	1000	Si	Si
10	B	Piscina B	129,55	200	1000	Si	Si
11	U	Piscina U	0	200	1000	Si	Si
12	C	Piscina C	5133,3	200	1000	No	No
13	D	Piscina D	14053,3	200	1000	No	No
14	E	Piscina E	69,33	200	1000	Si	Si
15	F	Piscina F	10	200	1000	Si	Si
16	V	Piscina V	0	200	1000	Si	Si
17	W	Piscina W	0	200	1000	Si	Si
18	X	Piscina X	0	200	1000	Si	Si
19	G	Piscina G	2173,33	200	1000	No	No
20	H	Piscina H	2,55	200	1000	Si	Si
21	I	Piscina I	254,7	200	1000	No	Si
22	Y	Piscina Y	0	200	1000	Si	Si
23	J	Piscina J	10,8	200	1000	Si	Si
24	K	Piscina K	15,8	200	1000	Si	Si
25	L	Piscina L	19	200	1000	Si	Si

Tabla 4, presenta la cantidad de unidades formadoras de colonias en las piscinas de la provincia de Tungurahua. La piscina C, presenta 5133,3 UFC/100mL, la piscina D, 14053,3 UFC/100mL, la piscina G, 2173,33 UFC/100mL y la piscina I, 254,7 UFC/100mL, valores que superan el límite permisible de coliformes totales según el valor establecido por el TULSMA.

En las muestras obtenidas de los ríos Cutuchi, Pachanlica, Ambato y cultivadas en CHROMagar, se observó a la diferenciación visual y microscópica colonias con pigmentación roja que corresponde a *E. Coli* BLEE y en el caso del río Ulba, las colonias se pigmentaron de color azul, correspondiente a *Klebsiella* BLEE. Al cultivar en CHROMagar las muestras obtenidas de las piscinas, se distinguieron particularidades visuales y microscópicas,

se observaron colonias de color crema que corresponden a *Acinetobacter* BLEE, translúcido *Pseudomonas* BLEE, azul *Klebsiella* BLEE y rojo *E. coli* BLEE.

Para el análisis de la resistencia de bacterias productoras de β lactamasas se utilizó el mapa de calor que es una herramienta visual que muestra datos numéricos mediante colores. En este caso, representa la resistencia bacteriana a los antibióticos: las filas indican los fármacos y las columnas, las cepas bacterianas aisladas de los distintos ríos; el color señala la concentración mínima inhibitoria (MIC), a mayor intensidad del rojo, mayor resistencia. Las celdas blancas indican ausencia de resistencia. Esta visualización facilita identificar rápidamente patrones de resistencia, incluyendo cepas multirresistentes o antibióticos con menor eficacia, ayudando a orientar medidas de control, vigilancia y elección del antibiótico adecuado para el tratamiento clínico.

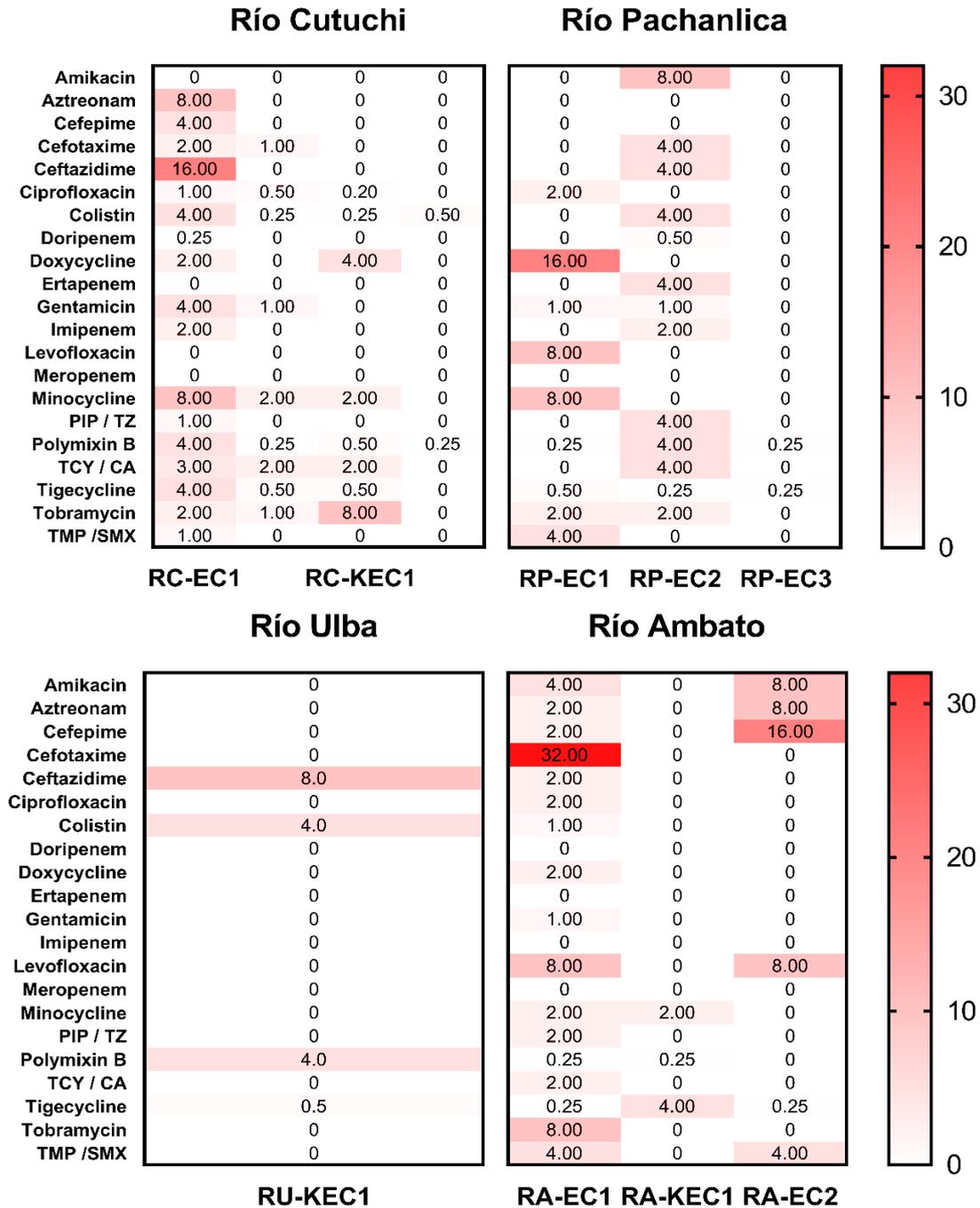


Figura 1. Mapa de calor de las concentraciones mínimas inhibitorias para bacterias BLEE en los ríos de Tungurahua

La sensibilidad para la *Escherichia coli* BLEE en el río Cutuchi es de 16 $\mu\text{g}/\text{mL}$ para ceftazidima, en el río

Pachanlica 16 µg/mL para doxiciclina y en el río Ambato 32 ug/mL para ceftazidima, por otro lado, en el río Ulba, para Klebsiella BLEE se necesita 8 µg/mL de ceftazidima (figura 1).

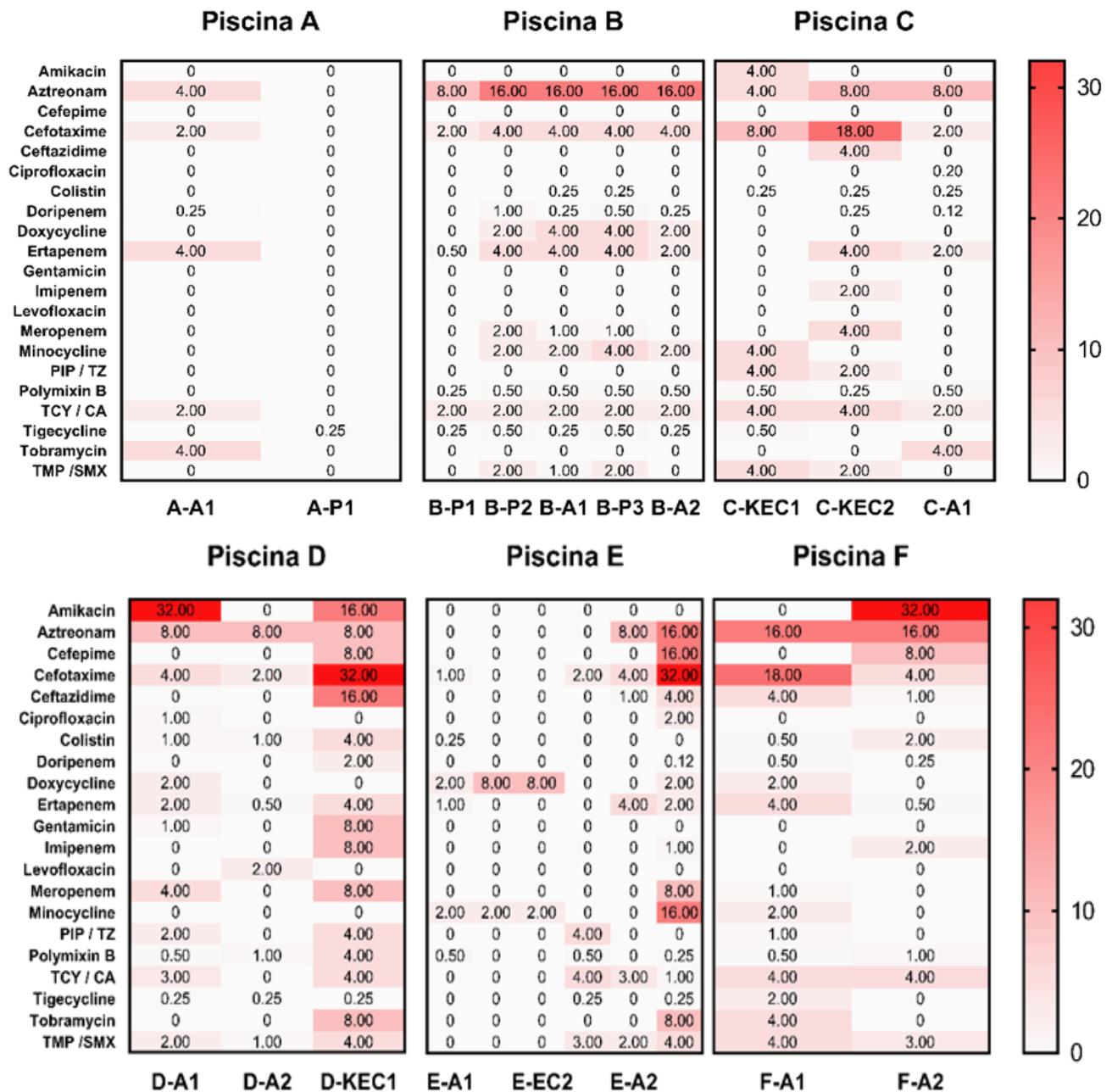


Figura 2. Mapa de calor de las concentraciones mínimas inhibitorias para bacterias BLEE en las piscinas de Tungurahua

En el mapa de calor 2 (figura 2). En la piscina A, para *Acinetobacter* BLEE se necesita 4 µg/mL de aztreonam, en la piscina B, la *Pseudomonas* BLEE 16 µg/mL de aztreonam, en la piscina C, para *Klebsiella* BLEE 18 µg/mL de cefotaxime, en la piscina D, para *Acinetobacter* y *Klebsiella* BLEE se requiere 32 µg/mL de amikacina, en la piscina E, para *Acinetobacter* y *Escherichia coli* BLEE es necesario 32 µg/mL de cefotaxima y finalmente en la piscina F, para *Acinetobacter* se necesita 32 µg/mL de amikacina.

DISCUSIÓN

La contaminación bacteriana en los cuerpos de agua dulce, tanto estancados como en movimiento, constituyen un grave problema de salud pública en la provincia de Tungurahua, Ecuador.

En un estudio realizado en aguas residuales urbanas de tres distritos socioespacialmente diferentes de la metrópolis del Ruhr (Alemania) se identificó una alta prevalencia de *Escherichia coli* productora de BLEE, proveniente de los desechos producidos en las zonas de alta densidad poblacional y vertidos industriales.⁽¹⁸⁾ En 3 sitios del río Szreniawa (Polonia) se encontró cepas resistentes a betalactámicos (BLEE), relacionados con la

descarga de aguas residuales domiciliarias y la escorrentía agrícola; para identificar las bacterias productoras BLEE se utilizaron pruebas de sinergia de doble disco, análisis de reacción en cadena de polimerasa (PCR) encontrando resistencia a amoxicilina/clavulanato (90 %) y ampicilina (36 %).⁽¹⁹⁾ En este estudio realizado en la provincia de Tungurahua, en los ríos Ambato, Cutuchi, Pachanlica y Ulba, se aisló mediante CHROMagar, *Escherichia coli* y *Klebsiella BLEE*, provenientes de las descargas humanas, agrícolas e industriales de la provincia de Tungurahua, mientras que en el río Verde no se aisló cepas bacterianas, siendo un río vivo y apto para el consumo humano y para la práctica recreativa.

La determinación del pH del agua es considerado fundamental en la evaluación de su calidad, ya que influye directamente en la supervivencia, proliferación y resistencia de los microorganismos presentes.⁽²⁰⁾ Se evaluaron las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua en piscinas pertenecientes a dos centros recreativos situados en la zona occidental de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia (Venezuela) encontrando valores promedio de cloro residual y pH fuera de los límites establecidos por las recomendaciones sanitarias, siendo el que el pH normal para las piscinas es de 7,2 y 7,6.⁽²¹⁾ En el presente estudio el pH osciló entre 6,1 y 7,7, lo que indica que existe una leve variación, situación que podría favorecer la proliferación bacteriana, ya que un pH bajo puede comprometer la eficacia del cloro como desinfectante, mientras que valores elevados alteran el equilibrio natural y generan condiciones desfavorables para organismos benéficos, pero son ideales para patógenos resistentes. El valor normal de cloro residual libre en las piscinas es de 0,5 a 2mg/L, en nuestro estudio, los ríos presentaron un valor máximo de 0,04 mg/L y en las piscinas el valor de cloro residual entre 0,02 y 0,299 mg/L, lo que indica que no existe una cloración adecuada para cumplir con su actividad desinfectante y promueve de esta manera la proliferación de microorganismos. En un análisis fisicoquímico y bacteriológico de las piscinas de aguas termales más concurridas de la parroquia Baños-Ecuador, se determinó que la temperatura de las piscinas era muy variable lo que favorecía al crecimiento de patógenos.⁽²²⁾ En nuestro estudio, la temperatura de las piscinas se encontró entre 21,3 °C y 33,5 °C lo que constituye un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos.

En el río Rímac (Perú), se aislaron cepas de *E. coli* BLEE resistentes a cefalosporinas de tercera generación como cefotaxima, ceftazidima, aztreonam y sensibles a gentamicina, ciprofloxacina y carbapenémicos como imipenem y meropenem.⁽²³⁾ En este estudio, las muestras de los ríos Ambato, Cutuchi y Pachanlica, altamente influenciados por actividades humanas y vertidos agrícolas, mostraron crecimiento de *E. coli* y *Klebsiella BLEE* resistentes a cefotaxima, ceftazidima, amikacina, levofloxacina y piperacilina/tazobactam. Sin embargo, se observó sensibilidad frente a carbapenémicos como meropenem, doripenem, imipenem y también a gentamicina, lo que indica que las cepas aisladas en nuestros ríos son menos resistentes a las encontradas en el Perú.

En Bavaria (Alemania), se hallaron bacterias resistentes a antibióticos en once piscinas de terapia, relacionado con la carencia de desinfección adecuada, pudiendo ocasionar enfermedades en los bañistas, especialmente en los pacientes inmunodeprimidos, en su mayoría se aislaron bacilos Gram negativos no fermentantes como *Pseudomonas spp*, *S. maltophilia* y *S. paucimobilis*, resistentes a antibióticos comúnmente utilizados como imipenem, ertapenem, ciprofloxacina y levofloxacina, aunque presentaban sensibilidad a piperacilina, ceftazidima y cefepime.⁽²⁴⁾ Por otro lado, en las aguas termales en Baños (Ecuador), se encontró *Staphylococcus Aureus* en un 77 %, Coliformes 8 %, *Escherichia Coli* 2 %, hongos 1 % y levaduras en un 8 %, concluyendo que el *Staphylococcus aureus* no constituye una amenaza significativa para las personas que frecuentan estos espacios recreativos, ya que se trata de un microorganismo que habitualmente habita de forma natural en el cuerpo humano como parte de su microbiota normal.⁽²²⁾ En nuestro estudio, mediante la realización de medios de cultivo en CHROMagar de las aguas de las piscinas se encontró un panorama bacteriano dominado por enterobacterias productoras de β -lactamasas de espectro extendido (BLEE) como *Escherichia Coli*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Acinetobacter BLEE* resistentes a los antibióticos convencionales y sensibles a carbapenémicos (meropenem, doripenem, ertapenem, imipenem), estos resultados indican que nuestras cepas todavía son sensibles a los carbapenémicos y resistentes a pocos antibióticos a diferencia de las colonias encontradas en las piscinas de Alemania. Situación que está relacionada con el incumplimiento de la normativa TULSMA, falta de limpieza, deficiente control de niveles de pH y cloro, lo que ocasiona riesgos potenciales para la salud humana y del ecosistema.

La concentración mínima inhibitoria (CMI) es la menor concentración de un antibiótico que impide el crecimiento visible de una cepa bacteriana específica, medida en microgramos por mililitro ($\mu\text{g}/\text{mL}$). Este parámetro es fundamental para determinar la eficacia de un antibiótico frente a un microorganismo particular y se clasifica en sensible (S), intermedio (I) y resistente (R).⁽²⁵⁾ En el río Cutuchi la *E. Coli BLEE* necesita una CMI de 16 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de Ceftazidime, cuando el valor de CMI es $\leq 0,12 \mu\text{g}/\text{mL}$, lo que indica que se necesita una dosis mayor del fármaco para inhibir su proliferación. En el caso de la piscina D, la *Acinetobacter BLEE* necesita una CMI de 32 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de Amikacina, cuando el valor de CMI es $\leq 2 \mu\text{g}/\text{mL}$.⁽²¹⁾ Otros antibióticos como la amikacina y la levofloxacina en infecciones ocasionadas por BLEE en ríos y piscinas, la CMI es 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, lo que indica que tiene buena sensibilidad y pueden ser utilizadas con éxito a dosis terapéuticas.

CONCLUSIONES

El estudio evidenció que las fuentes recreativas de agua dulce en Tungurahua, Ecuador, tanto estancadas como en movimiento, están contaminadas con bacterias multirresistentes productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), como *E. coli*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* y *Pseudomonas*. Aunque los ríos cumplieron con el límite permisible para coliformes, algunas piscinas excedieron los parámetros, representando un riesgo sanitario. Por otro lado, estas bacterias mostraron sensibilidad a carbapenémicos y aminoglucósidos, pero resistencia a otros antimicrobianos comunes. La normativa vigente en Ecuador no contempla criterios microbiológicos específicos para estas bacterias multirresistentes, lo que resalta la necesidad de fortalecer la vigilancia ambiental y ampliar la investigación hacia los mecanismos genéticos de resistencia y su impacto en la salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Velázquez-Chávez LDJ, Ortiz-Sánchez IA, Chávez-Simental JA, Pámanes-Carrasco GA, Carrillo-Parra A, Pereda-Solís ME. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. Rev Espec en Ciencias Químico-Biológicas Vol 25 2022 Sep 14 [accesado el 28 de Marzo del 2025]. Disponible en: <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/482>. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
2. Nuñez Christina. La contaminación del agua constituye una crisis mundial creciente, Esto es lo que hay que saber Rev National Geographic. 2024 pag 1-4; [accesado el 28 de Marzo del 2025]; Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua>
3. Pérez Esteban. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Rev Tecnología en Marcha. Vol 29. 2016. Scielo. [accesado 24 de Abril del 2025]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000300003#B11. DOI: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
4. Denchak Melissa. La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber. NRDC. 2023 [accesado el 28 de Marzo del 2025] Disponible: <https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber>
5. Ramos Mancheno AD de J. Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas. Rev Polo del Conoc. 2024; [accesado el 28 de Marzo del 2025]; 9(1):614-32. DOI: 10.23857/pc.v9i1.6396
6. Rodríguez J, Dolores María. Impacto de las BLEE en los Tratamientos empíricos y las políticas antibióticas. Rev Enferm Infecc Mibrobiol Clin. Vol 25. 2007; [accesado el 28 de Marzo del 2025] Disponible: <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-articulo-impacto-blee-tratamientos-empiricos-politicas-13112089>
7. Paterson David. Tratamiento de las infecciones por microorganismos productores de BLEE. Rev Enferm Infecc Mibrobiol Clin. Vol 25. 2007; [accesado el 28 de Marzo del 2025]. Disponible: <https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=13112090&r=28>
8. Astocondor-Salazar L. BETALACTAMASAS: LA EVOLUCIÓN DEL PROBLEMA. Rev Peruana de Investigación en Salud. Vol 2. 2018;2(2):42-9. [accesado el 28 de Marzo del 2025]; Disponible en: <https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/100/100308007/html/>
9. Camacho Silvas Luis Arturo. Resistencia bacteriana, una crisis actual. Rev. Esp. Salud Publica. 2023 [accesado 2025 Abr 29] ; 97: e202302013. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272023000100307&lng=es. Epub 28-Oct-2024.
10. Treviño N, Molina NB. Antibióticos: mecanismos de acción y resistencia bacteriana. Microbiología y Parasitología. 2022. [accesado el 28 de Marzo del 2025]; Disponible de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/136280>
11. Chavarría Márquez EY, Huamaní Astocaza LL, Basurto Contreras CM, et al. Determinación clásica de coliformes fecales en agua entubada en el distrito de Ahuaycha, Perú. Rev Alfa. 2023 Sep 25 [accesado el 4 de Abril del 2025]. Disponible: <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/296>
12. Swistock B, Clemens S, Sharpe W. Bacterias Coliformes. PennStateExtension, 2023; [accesado el 4 de

abril del 2025]. Disponible en: <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>

13. Alvear Vásquez BA, Mendoza Romero HD, Vélez Zamora LA. Determinación de Coliformes Fecales en superficies inertes de un centro comercial de la ciudad de Cuenca. *Rev Anatomía Digit.* Vol 6. 2023; [citado el 4 de Abril del 2025]; Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/AnatomiaDigital/article/download/2659/6679/>. ISSN: 2697-3391

14. Ministerio del Medio Ambiente. Libro VI - Anexo 1 - NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA. Minist del Medio Ambient. 2015;1-50. [accesado el 4 de Abril del 2025]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

15. Idexx. Guía microbiológica para interpretar la CMI. 2018;2(Cmi):1-9. [accesado el 4 de Abril del 2025]. Disponible en: <https://www.idexx.es/files/mic-guía-microbiológica-es.pdf>

16. Romero E, Gamboa J. Caracterización de la resistencia antimicrobiana en *Escherichia coli* productora de B-lactamasas de espectro extendido (BLEE) aislada de aguas residuales descargadas en el río Chimbo del cantón San Miguel-provincia Bolívar-Ecuador. *Repositorio Universidad Central del Ecuador* 2020; [accesado el 4 de Abril del 2025]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20550>

17. Ortega D, Mena S, Crespo V, Espinel N, Barba P, Zurita J. E. coli PRODUCTORA DE B-LACTAMASAS DE ESPECTRO EXTENDIDO (BLEE) EN EL RÍO MACHÁNGARA. 2015. [accesado el 4 de Abril del 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/295861573_E_coli_PRODUCTORA_DE_b-LACTAMASAS_DE_ESPECTRO_EXTENDIDO_BLEE_EN_EL_RIO_MACHANGARA. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3311.5923>

18. Schmiede D, Zacharias N, Sib E, Falkenberg T, Moebus S, Evers M, Kistemann T. Prevalence of multidrug-resistant and extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in urban community wastewater. *Rev Sci Total Environ.* 2021;785:147269. [accesado el 09 de Abril del 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33932656/>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147269>

19. Lenart-Boroń A, Kulik K, Jelonkiewicz E. Antimicrobial resistance and ESBL genes in *E. coli* isolated in proximity to a sewage treatment plant. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2020;55(14):1571-80. [accesado el 09 de Abril del 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33030087/>. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1826774>

20. Pontón RT. El valor del agua. *Redalyc.* Vol. 26, Ecología Política. 2021. 49-65 p. [accesado el 09 de Abril del 2025] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87702001>

21. Carrasquero Ferrer Sedolfo Jose, Muñoz Colina Cristal Elisa, Tuvíñez Morales Patricia Carolina, Vargas Torres Romer David, Vargas Castellano Carlos Javier, Marín Leal Julio Cesar. Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de piscinas de dos complejos recreacionales del Estado Zulia. *Bol Mal Salud Amb.* 2016 Dic [accesado 14 de Abril del 2025]; 56(2): 202-210. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482016000200010&lng=es.

22. Anguisaca Vega AE, Ortiz Tejedor JG. Análisis fisicoquímico y bacteriológico de las piscinas de aguas termales, más concurridas, de la parroquia Baños. Cuenca - Ecuador. *Anat Digit.* 2023 Sep 4;6(3.2):86-102. [accesado el 09 de Abril del 2025]. Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/AnatomiaDigital/article/download/2678/6711/>. DOI: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i3.2.2678>

23. Huamán Iturrizaga Mónica, Salvador-Luján Gina, Morales Liliana, Alba Luna Jeanne, Velasquez Garcia Lino, Pacheco Perez Julio Daniel et al . Resistencia a cefalosporinas y quinolonas en *Escherichia coli* aisladas de agua de riego del río Rímac en Lima Este, Perú. *Rev. perú. med. exp. salud publica* [Internet]. 2024 Abr [accesado 14 de Abril del 2025]; 41(2): 114-120. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342024000200114&lng=es. Epub 13-Jun-2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2024.412.13246>.

24. Koeck JL, Becker L, Sievers H, Frank U. Detection of multidrug-resistant bacteria in public swimming pools in Bavaria, Germany. *J Water Health.* 2018; [citado el 09 de Abril del 2025]; 16(6):953-961. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30486403/>. DOI: 10.3390/ijerph15122666

25. IDEXX. Guía microbiológica para interpretar la concentración mínima inhibitoria (CMI) [Internet]. Idexx.

es. 2023 [accesado el 14 de Abril del 2025]. Disponible en: <https://www.idexx.es/files/mic-guía-microbiológica-es.pdf>

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores expresan su gratitud a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato (DIDE) por su apoyo al proyecto “SUPERBACTERIAS CONTAMINANTES DE AGUA DULCE ESTANCADA Y EN MOVIMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”. Conforme a la Convocatoria de proyectos de Investigación I+D+i 2023 aprobada mediante Resolución UTA-CONIN-2023-0060-R del 03 de abril de 2023, el mismo que contribuye a la concientización tanto de las autoridades reguladoras como los propietarios y la comunidad para evitar enfermedades ocasionadas por bacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) que representan en la actualidad un problema de salud pública.

FINANCIACIÓN

Los autores recibieron financiamiento de la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE Universidad Técnica de Ambato, para el desarrollo de la presente investigación .

Proyecto: “SUPERBACTERIAS CONTAMINANTES DE AGUA DULCE ESTANCADA Y EN MOVIMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”. Conforme a la Convocatoria de proyectos de Investigación I+D+i 2023 aprobada mediante Resolución UTA-CONIN-2022-0252-R del 15 de junio de 2022.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Curación de datos: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Análisis formal: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Investigación: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Metodología: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Administración del proyecto: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Recursos: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Software: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Supervisión: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Validación: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Visualización: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Redacción - borrador original: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.

Redacción - revisión y edición: Patricia Paredes Lascano, Ivan Toapanta Yugcha, Leonardo Bravo Paredes, Keyla Carrillo Ochoa, Alisson Montesdeoca Ipiales.