



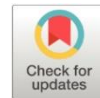


Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de bacterias de relevancia clínica aisladas de un río de la zona agropecuaria de Los Andes ecuatorianos

Antimicrobial susceptibility profile of clinically relevant bacteria isolated from a river in the agricultural area of the Ecuadorian Andes

- ¹ Ana Carolina González Romero  <https://orcid.org/0000-0002-4899-6076>
Ph.D. en Ciencias Médicas Fundamentales, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
ana.gonzalez@unach.edu.ec
- ² Indira Kasandra Tipán Pillajo  <https://orcid.org/0009-0004-8287-519X>
Licenciada en Laboratorio Clínico, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
iktipan.fslc@unach.edu.ec
- ³ María del Carmen Cordovez Martínez  <https://orcid.org/0000-0001-7155-8499>
Master en Enfermedades Infecciosas, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
mcordovez@unach.edu.ec
- ⁴ Eliana Elizabeth Martínez Durán  <https://orcid.org/0000-0003-4923-6092>
Maestría en Ciencias de la Educación mención Biología, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
elianamartinez@unach.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 23/10/2023

Revisado: 20/11/2023

Aceptado: 15/12/2023

Publicado: 28/12/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i4.3.2801>

Cítese:

González Romero, A. C., Tipán Pillajo, I. K., Cordovez Martínez, M. del C., & Martínez Durán, E. E. (2023). Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de bacterias de relevancia clínica aisladas de un río de la zona agropecuaria de Los Andes ecuatorianos. *Anatomía Digital*, 6(4.3), 198-213.
<https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i4.3.2801>



ANATOMÍA DIGITAL, es una Revista Electrónica, Trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://anatomiadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Palabras claves:

Río Guamote,
bacterias,
Enterobacterales,
Aeromonas sp.,
resistencia,
antibióticos.

Resumen

Introducción: La contaminación del agua con bacterias resistentes a los antibióticos se ha convertido en un problema mundial y sigue en crecimiento debido a la evolución de estos microorganismos. La mayoría de las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por microorganismos encontrados en cuerpos hídricos, contaminados con heces humanas o animales. **Objetivo:** Identificar el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de bacterias de relevancia clínica aisladas del río Guamote, situado en una zona agropecuaria de Los Andes ecuatorianos. **Metodología.** Se realizó un estudio descriptivo, con diseño de campo no experimental, enfoque cuantitativo y transversal. Se inició con la recolección de muestras de agua en seis puntos geográficos diferentes, para proceder con la medición de pH, temperatura del ambiente y agua. El aislamiento e identificación de las bacterias se realizó por medio de pruebas convencionales, empleando medios de cultivo juntamente con pruebas bioquímicas. El perfil de resistencia a los antibióticos se determinó por el método de difusión del disco en agar. **Resultados:** Se identificaron (12/15) 80,0 % bacterias pertenecientes al orden Enterobacterales (*Citrobacter freundii*, *Citrobacter amalonaticus*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella oxytoca*), (2/15) 13,30 % correspondiente a la familia Aeromonadaceae y (1/15) 6,70 % a *Enterococcus faecalis*. La mayoría de los Enterobacterales presentaron resistencia a amoxicilina, amoxicilina /ácido clavulánico, aztreonam, kanamicina, colistín, tetraciclinas, y trimetoprim sulfametoxazol y sensibilidad intermedia a imipenem. Las cepas de *Aeromonas* spp. mostraron resistencia a amoxicilina y sensibilidad intermedia a imipenem. **Conclusión:** Existe contaminación del agua de la cuenca del río Guamote por Enterobacterales, *Aeromonas* sp y *E. faecalis*; con resistencia a antibióticos de uso clínico. **Área de estudio general:** Laboratorio Clínico. **Área de estudio específica:** Microbiología. **Tipo de estudio:** Artículo original.

Keywords:

Guamote river,

Abstract

Introduction. Water contamination with antibiotic-resistant

bacteria,
Enterobacterales,
Aeromonas sp,
resistance,
antibiotics.

bacteria has become a global problem and continues to grow due to the evolution of these microorganisms. Most waterborne diseases are caused by microorganisms found in water bodies, contaminated with human or animal feces. **Objective.** Identify the antimicrobial susceptibility profile of clinically relevant bacteria isolated from the Guamote River, located in an agricultural area of the Ecuadorian Andes. **Methodology.** A descriptive study was conducted with a non-experimental field design, quantitative and transversal approach. It began with the collection of water samples in six different geographical points, to proceed with the measurement of pH, environmental and water temperature. Bacterial isolation and identification were performed by conventional tests using culture media together with biochemical tests. The antibiotic resistance profile was determined by the agar disc diffusion method. **Results.** Bacteria belonging to the order Enterobacterales (*Citrobacter freundii*, *Citrobacter amalonaticus*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella oxytoca*), (2/15) 13.30 % corresponding to the Aeromonadaceae family and (1/15) 6.70 % to *Enterococcus faecalis* were identified (12/15) 80.0 %. Most of the Enterobacteriaceae showed resistance to amoxicillin, amoxicillin/clavulanic acid, aztreonam, kanamycin, colistin, tetracyclines, and trimethoprim sulfamethoxazole and intermediate sensitivity to imipenem. The strains of *Aeromonas* sp showed resistance to amoxicillin and intermediate sensitivity to imipenem. **Conclusion.** There is contamination of the water of the Guamote river basin by Enterobacterales, *Aeromonas* sp and *E. faecalis*; with resistance to antibiotics of clinical use.

Introducción

La microbiología del agua es una disciplina crucial para la protección de la salud pública y el medio ambiente, abordando temas como la detección de patógenos, la resistencia antimicrobiana y la biodiversidad en entornos acuáticos. La contaminación de aguas superficiales en África, Asia y América ha mostrado un claro impacto a nivel

de la salud humana, siendo afectada por el crecimiento poblacional, el aumento de las actividades económicas, la expansión e intensificación de actividades agrícolas, factores que aumentan la cantidad de aguas negras o residuales sin un adecuado tratamiento y cuyo resultado es alarmante, siendo el origen de múltiples enfermedades, teniendo en cuenta que la calidad del agua es esencial para la vida y su desarrollo (1).

A partir del río Guamote se origina el afluente del río Chambo el cual recibe las descargas de las aguas residuales de industrias, Centros de Salud y viviendas generadas por una población de 300.000 habitantes de los diferentes cantones de la provincia de Chimborazo, como lo indica el estudio realizado por el Centro de Estudios y Acción Social (CEAS) (2). Según la Ley Orgánica de Salud, en el capítulo II correspondiente a los derechos comunes, infecciosos, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, en el Art. 104 se establece que “Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades” (3).

El acceso al agua potable disminuye en gran medida la dispersión y transmisión de agentes infecciosos causantes de numerosas enfermedades que afectan a los seres vivos. Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce se destina a la agricultura. Es conocido que el agua de ríos proviene de fuentes contaminadas o contiene elementos químicos y orgánicos que ocasionan la proliferación de bacterias afectando la salud de las personas que habitan en lugares que colindan con el cauce de estos cuerpos hídricos (4).

El principal factor relacionado con la transmisión de diferentes enfermedades como el caso del cólera, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomiелitis, se debe fundamentalmente al agua contaminada, saneamiento e higiene deficiente. Estimando a nivel mundial que 1,5 millones de personas fallecen anualmente por enfermedades diarreicas, considerando la tercera causa de muerte infantil a las enfermedades diarreicas sobre todo en países en vía de desarrollo (4).

En Ecuador, se han realizado estudios bacteriológicos en fuentes hídricas determinando la calidad del agua, en la provincia de Pichincha se informa el aislamiento de *Bacillus* spp., *Corynebacterium* spp., *Pseudomonas* spp., *Vibrio alginolyticus*, *Pseudomonas stutzeri*, *Acinetobacter iwoffii*, *Actinomyces* spp., *Moraxella* spp., *Kurthia* spp., *Enterobacter agglomerans* y *Brevibacterium* spp., del agua termal del balneario Ilaló (5). Es indudable que el estudio de la microbiología de cada manantial y río tiene interés sanitario, ya que la contaminación microbiana o la presencia de resistomas ambientales pueden representar un riesgo para la salud (6).

En la provincia de Chimborazo, se han ejecutado investigaciones exhaustivas en los ríos Chambo (7) y Chibunga (8), revelando la presencia de bacterias Gram negativas

vinculadas a la contaminación fecal. Entre estas bacterias se encuentran *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii*, así como patógenos entéricos como *Plesiomonas shigelloides*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas caviae* y *Vibrio* spp. Estas mostraron resistencia a quinolonas, cefalosporinas, glicopéptidos y aminoglucósidos.

El objetivo de esta investigación fue identificar el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de bacterias de importancia clínica aisladas del río Guamote. La finalidad de este estudio es destacar esta problemática, promoviendo la implementación de medidas preventivas que contribuyan a elevar la calidad del recurso hídrico destinado a las actividades humanas y a la producción agropecuaria en esta región de los Andes ecuatorianos.

Metodología

Se realizó un estudio descriptivo, con diseño de campo no experimental, enfoque cuantitativo y transversal.

Sitios de muestreo: se localizaron diferentes puntos geográficos para la toma de muestra de agua de regadío del río Guamote, localizado en el centro de la región interandina de Ecuador, en la provincia de Chimborazo, perteneciente al cantón Guamote con una altitud promedio de 3500 m s. n. m. y latitud de 1,8 (figura1).

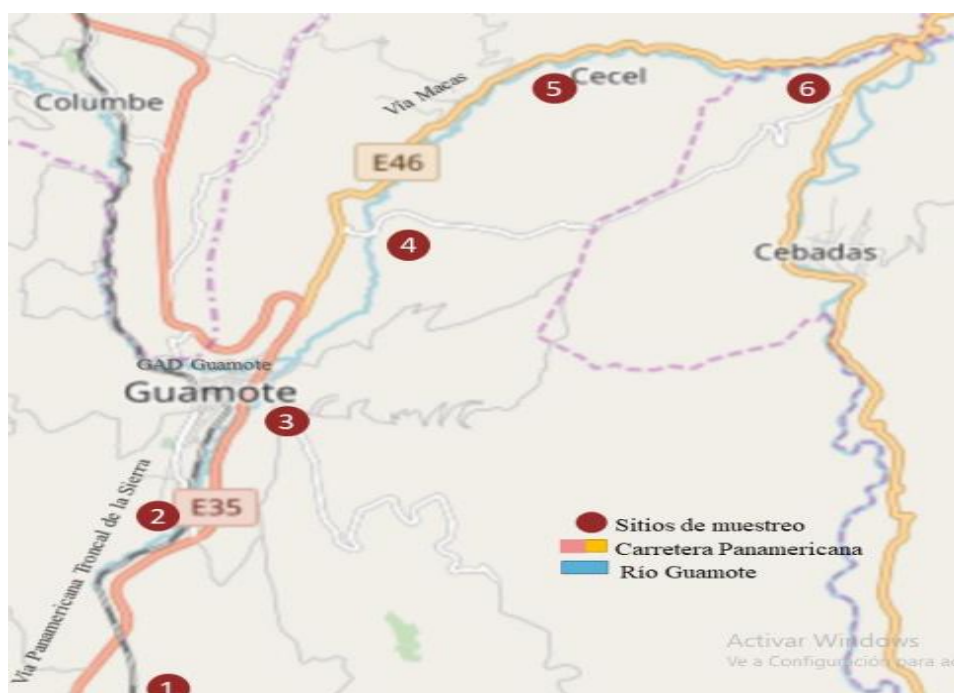


Figura1. Localización geográfica de las estaciones de toma de muestras del agua del río Guamote

Medición de altitud, temperatura y pH: los datos de altitud de cada estación de muestreo se midieron en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Para su cálculo se empleó un altímetro. Mientras que, para la temperatura de ambiente y agua, se utilizó un termómetro, para el pH se utilizó tiras reactivas las cuales fueron sumergidas durante dos segundos en las muestras de agua de cada estación y se esperó diez segundos para ver el cambio de color.

Recolección de las muestras de aguas: se recolectaron tres muestras de agua de cada punto de muestreo del río Guamote, cada muestra estuvo constituida por 90 mL, que fueron almacenadas en frascos plásticos de boca ancha estériles, con capacidad de 100 mL. Se procedió a colocar dicho frasco contra corriente al río en estudio, enjuagándolo por lo menos en tres ocasiones con la misma agua antes de obtener la muestra final, posteriormente se tapó el recipiente herméticamente y se etiquetó con un código predefinido, se transportaron mediante el sistema de triple embalaje, en contenedores refrigerados para su procesamiento y análisis en el Laboratorio de Microbiología, de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Preparación de medios de cultivo: los medios de cultivo fueron preparados según instrucciones del fabricante. Todos los medios fueron autoclavados a 15 psi a 121 °C durante 25 minutos, se dejaron enfriar hasta una temperatura aproximada entre 45-50°C y luego se colocó un volumen de 15 mL en cajas monopetry Greiner© estériles. Una vez solidificados los medios de cultivo se almacenaron en fundas a temperaturas de 2 a 8 °C.

Cultivo y aislamiento de las bacterias en las muestras de agua: una vez que las muestras de agua fueron transportadas al Laboratorio de Microbiología, se realizó el análisis microbiológico. Se tomó una alícuota de 1mL de cada muestra y se agregó en tubos con 9 ml de agua peptonada alcalina, luego fueron incubados durante 24 horas a 37°C. Transcurrido el periodo de incubación se tomó 0,1 mL del cultivo para sembrar por la técnica de agotamiento en los medios de cultivo agar MacConkey (MK) Acumedia© y Agar Sangre (AS) Himedia©. Posterior al período de incubación durante 24 horas a 37°C, a las colonias que crecieron en los cultivos se les realizó la tinción de Gram y las pruebas bioquímicas para la identificación bacteriana, empleando los esquemas de Winn et al. (9).

Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias: las pruebas bioquímicas utilizadas para identificar las bacterias Gram positivas fueron la observación de α , β , o γ hemólisis en agar sangre, y las pruebas de catalasa, agar bilis esculina y crecimiento en caldo BHI con NaCl al 6,5% (9).

En el caso de las bacterias Gram negativas se realizaron las pruebas: oxidasa, agar Kliger, agar urea, citrato, caldo malonato, agar motilidad-indol-ornitina (MIO) agar lisina hierro agar (LIA) y caldo inositol (9).

Determinación del perfil de susceptibilidad antimicrobiana: los ensayos de susceptibilidad se llevaron a cabo por el método de difusión del disco en agar Mueller Hinton (Oxoid Basingstoke, UK) de acuerdo con las instrucciones del *Clinical and Laboratory Standard Institute* (CLSI, 2019) (10). Para realizar la prueba se transfirió una o dos colonias del cultivo a un tubo con solución fisiológica estéril, el crecimiento bacteriano se ajustó a la turbidez del patrón 0,5 del estándar de McFarland. Se introdujo un hisopo de algodón estéril dentro del tubo que contenía el inóculo estandarizado. Con el hisopo humedecido, se inoculó en tres o cuatro direcciones toda la superficie de una placa con agar Mueller Hinton. Se dejó secar el inóculo a temperatura ambiente durante 5 minutos. Posteriormente se procedió a la colocación de los discos de antibióticos con una pinza estéril, luego se incubaron las placas durante 24 horas a 37°C. Transcurrido el período de incubación se realizó la lectura midiendo con una regla milimetrada, la zona clara alrededor del disco de antibiótico, el cual se corresponde con la inhibición del crecimiento bacteriano. Estos datos se compararon con los diámetros de zona establecidos para cada antibiótico en las tablas de interpretación internacional del CLSI 2019.

La medición del diámetro de los halos de inhibición permitió expresar los resultados como sensible o resistente. Se ensayaron los siguientes antimicrobianos: ceftazidima (CAZ) 30 µg, ceftriaxona (CRO) 30 µg, amoxicilina (AX) 30 µg, amoxicilina/ácido clavulánico (AMC), cefoxitin (FOX) 30 µg, trimetoprim-sulfametoxazol (SXT) 25 µg/10 µg, penicilina (P) 10 U, imipenem (IMI) 10 µg, tetraciclina (TE) 30 µg, ciprofloxacina (CIP) 5 µg, gentamicina (GM) 10 µg, amikacina (AK) 30 µg, vancomicina (Va) 10 µg. Se utilizó como cepa control a *E. coli* ATCC 25922 y *Staphylococcus aureus* ATCC25923.

Análisis estadístico de datos

Los datos se procesaron en tablas descriptivas, utilizando hojas de cálculo pertenecientes al sistema operativo Microsoft Excel 365.

Resultados

Se eligieron estratégicamente seis estaciones geográficas para llevar a cabo la toma de muestras de agua del río Guamote, considerando especialmente los sectores agrícolas y de cría de animales circundantes.

En la Tabla 1 se detallan las mediciones realizadas en cada estación con respecto a la altitud, temperatura ambiente, temperatura del agua y pH. Se observa que, en los puntos

1, 2 y 3, caracterizados por una altitud más elevada, la temperatura ambiente osciló entre 8 y 15°C, con una temperatura del agua de 13 a 16°C y un pH neutro de 7. Por otro lado, en los puntos 4, 5 y 6, donde la altitud varió entre 2855 y 2962 metros, se evidenció que la temperatura ambiente fue de 13 a 18°C, con una temperatura del agua de 12 a 14°C y un pH neutro que se situó entre 7 y 8. En general, los resultados muestran una relativa consistencia en los parámetros medidos a lo largo de las estaciones de muestreo

Tabla 1. Altitud y temperatura y pH obtenidos en cada estación durante la recolección de las muestras de agua del río Guamote

Puntos Geográficos	Estaciones de muestreo	Altitud (msnm)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura agua (°C)	pH
Punto 1	Chipo Grande	3.189	12	13,5	7
Punto 2	Chipo Chico	3.157	8	13	7
Punto 3	Guamote	3.025	15	16	7
Punto 4	Rondador Molino	2.962	15	12	8
Punto 5	Copalillo	2.913	18	14	7
Punto 6	Puente de Guaninche	2.855	13	13	8

De las muestras de agua recolectadas en cada punto o estación, se aislaron un total de 15 cepas de bacterias; 12/15 (80,00%) pertenecientes a Enterobacterales (*K. pneumoniae*, *Citrobacter amalonaticus*, *K. oxytoca*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter diversus* y *Proteus vulgaris*), 2/15 (13,30%) *Aeromonas* spp. y 1/15 (6,70 %) *Enterococcus faecalis* (tabla 2).

Tabla 2. Bacterias encontradas en las aguas del Río Guamote

Familia	Bacterias	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Enterobacteriaceae	<i>K. pneumoniae</i>	12	80,00
	<i>C. amalonaticus</i>		
	<i>K. oxytoca</i>		
	<i>P. mirabilis</i>		
	<i>C. diversus</i>		
	<i>P. vulgaris</i>		
Aeromonadaceae	<i>Aeromonas</i> spp.	2	13,30
Enterococcaceae	<i>E. faecalis</i>	1	6,70

En la tabla 3 se muestra el patrón de susceptibilidad de las Enterobacterales aisladas, la mayoría se mostraron sensibles a los siguientes antibióticos: ceftriaxona, ceftazidima, gentamicina, ciprofloxacina. El 50,00% (6/12) de las Enterobacterales presentaron resistencia a amoxicilina. Mientras que, el 16,66% (2/12) se mostró resistente a amoxicilina/ácido clavulánico y cefoxitin. Asimismo, se observó resistencia a trimetoprim-sulfa 26,66% (4/12), kanamicina 20% (3/12), tetraciclina 40% (5/12),

colistín 26,66% (4/12) y un 16,66% (2/12) presentó sensibilidad disminuida a imipenem.

Las dos cepas de *Aeromonas* spp., aisladas de las muestras de agua presentaron resistencia a amoxicilina, amoxicilina/ácido clavulánico e imipenem. Por otro lado, la cepa de *E. faecalis* aislada se mostró sensible a todos los antibióticos probados (tabla 3).

Tabla 3. Perfiles de susceptibilidad a los antibióticos de las bacterias aisladas de las muestras de agua en diferentes puntos del río Guamote

Estación muestreo	Bacterias aisladas	N° de cepas	AX	A MC	F OX	C RO	C AZ	I MP	S XT	CN	K	C IP	TE	CL	P	V A
Chipo Grande	<i>K. pneumoniae</i>	1	R	R	R	S	S	S	R	S	R	S	S	S	-	-
Chipo Chico	<i>C. amalonaticus</i>	2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-
	<i>E. faecalis</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	S	S	S
Guamote	<i>K. oxytoca</i>	3	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-
	<i>C. amalonaticus</i>		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-
	<i>Aeromonas</i> spp		R	R	-	S	S	R	S	S	S	S	S	S	-	-
Rondador Molino	<i>C. amalonaticus</i>	3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-
	<i>P. mirabilis</i>		-	-	-	S	S	S	S	S	S	R	R	-	-	
	<i>Aeromonas</i> spp		R	R	S	S	S	R	S	S	R	S	S	S	-	-
Copalillo	<i>P. mirabilis</i>	3	S	S	S	S	S	S	R	S	S	S	R	R	-	-
	<i>P. mirabilis</i>		R	-	-	S	S	I	R	S	S	R	R	-	-	
	<i>P. mirabilis</i>		R	-	-	S	S	I	R	S	R	S	R	S	-	-
Puente de Guaninche	<i>C. diversus</i>	3	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-
	<i>C. diversus</i>		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	-	-
	<i>P. vulgaris</i>		R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	-	-

AX: amoxicilina, amc: amoxicilina/ácido clavulánico, fox: cefoxitin, CRO: ceftriaxone; CAZ: ceftazidime; IMP: imipenem; FOX: cefoxitin; SXT: sulfa trimetropin, CN: gentamicina; K: kanamicina; TE: tetraciclina; CIP: ciprofloxacina; P: penicilina VA: vancomicina

Discusión

La mayoría de las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por microorganismos encontrados en agua dulce y salada, que generalmente son contaminadas por las heces humanas y animales. La manera más frecuente de contaminación es a través de la ingestión, ya sea por comer alimentos lavados con agua infectada o bebiéndola (11). En las regiones donde no hay saneamiento básico las enfermedades infecciosas pueden suceder debido a la contaminación del agua de ríos, lagos y arroyos. El Río Guamote, se localiza al centro de la región interandina del Ecuador en la provincia de Chimborazo perteneciente al cantón Guamote con una

latitud de -1.8 y una longitud de 78.6167, el caudal se forma a partir del desaguadero subterráneo de la laguna de Colta, fluyendo hacia el sur inicialmente a nivel de páramos de la cordillera Occidental y los cerros Yaruquíes, encontrándose con las aguas de los ríos Columbe y Pulicante, las cuales vienen del nudo de Tiocajas pasando por Cebadas para formar finalmente el río Chambo (12).

Los factores ambientales, tanto físicos como químicos, desempeñan un papel crucial en la dinámica del crecimiento bacteriano. Variaciones en la temperatura y el pH pueden tener un impacto significativo en la velocidad de proliferación de los microorganismos. Las bacterias patógenas para los seres humanos exhiben un óptimo crecimiento a una temperatura de 37°C; temperaturas más bajas tienden a ralentizar este proceso, mientras que temperaturas elevadas pueden resultar destructivas para ellas. El pH, como un factor fisicoquímico, ejerce una influencia directa en el crecimiento bacteriano, siendo un entorno con pH neutro considerado como el más propicio para su desarrollo.

En los puntos 1, 2 y 3, caracterizados por una mayor altitud, la temperatura ambiente varió entre 8 y 15°C. Estas temperaturas más frescas podrían influir en la actividad bacteriana, ya que, en general, las bacterias tienden a crecer más lentamente en ambientes más fríos. A pesar de ello, las temperaturas del agua, manteniéndose entre 13 y 16°C, aún son moderadas, posibilitando la supervivencia y el crecimiento de especies bacterianas adaptadas a estos rangos.

Por otro lado, en los puntos 4, 5 y 6, situados a altitudes más bajas, las temperaturas ambientales fueron más elevadas, oscilando entre 13 y 18°C. Estas condiciones resultan propicias para el crecimiento bacteriano, ya que muchos microorganismos prosperan en rangos de temperatura moderados. En todas las estaciones de muestreo, se observó un rango de pH neutro (entre 7 y 8), favorable en general para la mayoría de las bacterias.

En términos generales, los resultados revelan una relativa consistencia en los parámetros medidos a lo largo de las estaciones de muestreo. Indican que las condiciones en el río Guamote son relativamente propicias para el crecimiento bacteriano, especialmente en las estaciones de altitudes más bajas con temperaturas más cálidas. No obstante, la interpretación final dependerá de la composición específica de la comunidad bacteriana y de cómo estas condiciones afectan a especies particulares. Además, resulta fundamental considerar otros factores, como la presencia de nutrientes y contaminantes, para comprender plenamente la dinámica del crecimiento bacteriano en el río.

En investigaciones llevadas a cabo en muestras de agua, así como, en los productos agrícolas de cultivos irrigados con agua de los ríos Chambo y Guano se ha descrito contaminación con Enterobacterales y *E. faecalis* (13, 14). Lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, donde se comprueba que el 80,00% de las bacterias aisladas de las muestras de agua obtenidas de los puntos de muestreo del río

Guamote correspondían a Enterobacterales y el 6,70% a la familia *Enterococcaceae*, bacterias encontradas en agua, suelos, vegetación y microbiota intestinal de animales, considerados potenciales bioindicadores de calidad del agua con bajo potencial patógeno y asociados con contaminación fecal (14, 15).

Las Enterobacterales aisladas presentaron resistencia a amoxicilina en un 50,00%, amoxicilina/ácido clavulánico 16,66%, cefoxitin 16,66%, trimetoprim sulfametoxazol 26,66%, kanamicina 20,00%, tetraciclina 40,00% y colistín 26,66%. Mientras un 16,66% de estos microorganismos, mostró sensibilidad disminuida a imipenem.

Por otro lado, es importante recalcar, que el 13,30% de las bacterias aisladas de las muestras de agua correspondían al género *Aeromonas*, que se caracteriza por ser un grupo de bacilos gramnegativos, anaerobios facultativos, autóctonos de ambientes de agua salada y dulce, asociados a cuadros clínicos de diarrea acuosa, disentería y además, se han aislado en infecciones extraintestinales relacionadas frecuentemente con heridas ocurridas por traumas o aquellas que hayan estado en contacto con el agua contaminada (16). *Aeromonas* es causante de gastroenteritis; cuadro que se debe a factores de virulencia producidos por las mismas como las enterotoxinas (17).

Aeromonas son habitantes normales de fuentes de agua en presencia o ausencia de contaminación fecal. Se encuentran altos recuentos en aguas de desecho. Estas bacterias crecen en un medio ambiente con baja cantidad de nutrientes. Se ha reportado una significativa correlación entre la presencia de *Aeromonas* y el estado trófico de aguas dulces (18).

Las cepas de *Aeromonas* spp., aisladas de las muestras de agua recolectadas de los puntos 3 y 4 del río Guamote presentaron resistencia a amoxicilina, amoxicilina/ácido clavulánico e imipenem en un 100%. Porcentajes de resistencia similares a los informados en un estudio realizado en productos agrícolas provenientes de la cuenca del río Guano, donde el 100% de las cepas de *Aeromonas* fueron resistentes a amoxicilina y un 66,66 % con sensibilidad disminuida a imipenem (14).

La presencia de bacterias pertenecientes al orden de los Enterobacterales y *Enterococcus* confirma la contaminación de origen fecal en las aguas de río. Esta contaminación se asocia al vertimiento de aguas residuales al río. También, es importante señalar que los microorganismos del género *Aeromonas* se han aislado en aguas del sistema de distribución como resultado de un inadecuado tratamiento de desinfección y pueden formar parte de la película (biofilm) que se forma en las tuberías, lo cual permite que se multiplique y persista, debido a su nutrición diversa (compuestos de bajo peso molecular como aminoácidos, carbohidratos y ácidos carboxílicos), además, de péptidos y ácidos grasos. Aspectos para considerar al evaluar las fuentes de abastecimiento de aguas y sus trayectos, para garantizar la desinfección desde la fuente

al consumidor y evitar la contaminación (19, 20). Los resultados hallados indican la presencia del género *Aeromonas*, en aguas del río Guamate, lo que muestra la necesidad de considerar a estas bacterias como un elemento de riesgo vinculado a la calidad del agua según sus usos. Se debe prestar especial atención, a las aguas subterráneas y superficiales que se utilicen como abastecimiento para doméstico, industrial y agropecuario, así como, a la eficacia de su tratamiento y desinfección.

Se recomienda llevar a cabo este tipo de investigaciones no solo en los ríos de la provincia de Chimborazo, sino en todo el país, con el propósito de determinar el perfil de resistencia de las poblaciones bacterianas presentes y evaluar la calidad del agua y el nivel de contaminación. Se debe considerar la posibilidad para futuras investigaciones de ampliar tanto la cantidad de muestras de agua como los lugares de muestreo. Además, de la implementación de equipos automatizados para lograr una identificación más precisa a nivel de género y especie. Es crucial realizar investigaciones adicionales centradas en los mecanismos de resistencia a nivel molecular, un aspecto que no fue abordado en el presente estudio.

Conclusiones

- Se concluye que las muestras de agua recopiladas en distintos puntos del río Guamate están contaminadas con especies de Enterobacterales y *E. faecalis*, las cuales muestran resistencia a antibióticos de uso clínico como los betalactámicos, trimetoprim sulfametoxazol, kanamicina, tetraciclina y colistín. Estos microorganismos se consideran indicadores potenciales de la calidad del agua y están asociados a la contaminación fecal.
- Además, es importante resaltar que el 13.30% de los aislamientos corresponden al género *Aeromonas* spp., una bacteria asociada a casos de gastroenteritis e infecciones extraintestinales. Esto subraya la necesidad de llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar la virulencia y resistencia en las cepas ambientales de *Aeromonas* spp., así como su relación epidemiológica con brotes de diarrea asociados al consumo de agua contaminada.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses entre los autores.

Declaración de contribución de los autores

Ana Carolina González trabajo en el procesamiento microbiológico de las muestras de agua, diseño metodológico y redacción del artículo

Indira Kasandra Tipán Pillajo realizó toma de muestra y procesamiento microbiológico de muestras de agua y redacción del artículo

María del Carmen Cordovez-Martínez y Eliana Elizabeth Martínez trabajaron en el procesamiento microbiológico de muestras de agua y redacción del artículo.

Referencias Bibliográficas

1. Rojas AG. La contaminación aumenta en la mayoría de los ríos de América Latina, África y Asia. El país [Internet]. 2016 [citado 1 agosto 2023]. Disponible en:
https://elpais.com/elpais/2016/09/01/ciencia/1472719506_387465.html
2. Grupo el comercio. 4 ríos de Chimborazo, contaminados. El comercio [Internet]. 2010 [citado 2 agosto de 2023]. Disponible en:
<https://www.elcomercio.com/tendencias/rios-chimborazo-contaminados.html>
3. Ministerio de Salud Pública. Ley Orgánica de Salud del Ecuador. Ediciones Legales [Internet]. 2017 [citado 2 de agosto de 2023]. Disponible en:
<https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD4.pdf>
4. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Plan hidráulico regional de la demarcación hidrográfica Guayas. [Internet]. 2016 [citado 15 agosto de 2023]. Disponible en:
<https://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20GUAYAS.pdf>
5. Sacoto Acaro D, Andueza Leal FD. Microbiología del agua termal del balneario Ilaló. Pichincha. Ecuador. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo [Internet]. 2020 [citado 5 de septiembre de 2023];9(1):18-25. Disponible en:
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/2178>.
6. Andueza Leal FD, Araque Rangel J, González Escudero M, Sacoto, León Leal A, Gutiérrez MG, Flores S, Escobar Arrieta S, & Medina Ramírez G. Biodiversidad bacteriana en aguas de balnearios mineromedicinales de Ecuador y Venezuela. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo. [Internet]. 2023. [citado 5 de septiembre de 2023]; 15(1), 56–77.
<https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4368>
7. Mur L, Marcillo K. Resistencia antimicrobiana en bacterias patógenas aisladas del regadío del río Chibunga [Grado de Licenciado en Ciencias de la Salud en Laboratorio Clínico e Histopatológico]. [Ecuador]: UNACH; 2018 [citado 22 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5098>
8. Molina J, Orozco J. Detección de resistencia antimicrobiana en bacterias de interés clínico aisladas en el Río Chambo. [Grado de Licenciado en Ciencias de

- la Salud en Laboratorio Clínico e Histopatológico]. [Ecuador]: UNACH; 2019 [citado 22 agosto de 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5557/1/UNACH-EC-FCS-LAB-CLIN-2019-0007>
9. Winn W, Allen S, Janda W, Koneman E, Procop G, Schreckenberger P, et al. Koneman Diagnóstico Microbiológico. Texto y Atlas 6a Edición. México: Editorial Médica Panamericana; 2007. 1691 p.
 10. Clinical and Laboratory Standards Institute. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 29th ed. CLSI. 29.a ed. Performance Standards for Antimicrobial susceptibility Testing M100-S29. Wayne PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2019. 296 p.
 11. Coutiño Rodríguez EM. Agua, como un riesgo para la salud. Revista Médica de la Universidad Veracruzana. [Internet]. 2008 [citado 5 de septiembre de 2023]; 1(8):1-8. Disponible en: https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol8_num1/editorial/index.htm
 12. Enciclonet. Guamote río. [Internet]. 2019 [citado 13 agosto de 2023]. Disponible en: <http://www.encimurrayclonet.com/articulo/guamote-rio/>
 13. González-Romero AC, Guamán-Chabla MG, Cordovez-Martínez M del C, Martínez-Duran EE. Perfiles de susceptibilidad antimicrobiana en bacterias aisladas en cultivos agrícolas de la cuenca del río Chambo. Perfiles [Internet]. 2022 [citado 5 de septiembre de 2023];(27):39-48. Disponible en: <https://perfiles.esPOCH.edu.ec/index.php/perfiles/article/view/148>
 14. González-Romero AC, Cazares-Silva MR, Cordovez-Martínez MC, Ramos-Campi YC, Guillén-Ferraro ML. Bacterias aisladas en productos agrícolas provenientes de la cuenca del río Guano. Kasma [Internet]. 2022 [citado 5 de septiembre de 2023]; 50: e5037965. doi: 10.56903/kasma.5037965
 15. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev Fac Nac Salud Pública [Internet]. 2017 [citado 5 de septiembre de 2023]; 35(2):236-47. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/26353>
 16. Ginestre M, Rincón G, Romero S, Harris B, Castellano M, Colina G. Especies de *Aeromonas* en vegetales frescos que se expenden en un mercado popular de Maracaibo. Rev la Soc Venez Microbiol [Internet]. 2005 [citado 5 de septiembre

- de 2023]; 25(2):96-9. Disponible en:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-25562005000200007&lng=es&nrm=iso
17. Soto Varela Z, Pérez Lavalle L, Estrada Alvarado D. Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos: una mirada en Colombia. Rev Salud Uninorte [Internet]. 2016 [citado 5 de septiembre de 2023]; 32(1):105-22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/sun.32.1.8598>
18. Sánchez A, Rodríguez Luna IC, Guo XW. Revisión de la Caracterización de *Aeromonas* spp. y su Importancia clínica. Rev. Bol Quím. [Internet]. 2017 [citado 5 de septiembre de 2023]; 34(5):132-7. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602017000500001&lng=es
19. Torres Rojas T, Chiroles Rubalcaba S, Valdés Águila M, Domínguez Martínez I. *Aeromonas* sp: patógenos emergentes a considerar en aguas. cmad [Internet]. 2004 [citado 5 de septiembre de 2023]; 4(6):1683-8904. Disponible en: <https://cmad.ama.cu/index.php/cmada/article/view/57>
20. Pessoa RBG, de Oliveira WF, Correia MTDS, Fontes A, Coelho LCBB. *Aeromonas* and Human Health Disorders: Clinical Approaches. Front Microbiol. [Internet]. 2022 [citado 5 de septiembre de 2023]; 31(13):868890. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9195132/>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Anatomía Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Anatomía Digital**.



Indexaciones

