

COMUNICACIÓN BREVE

Water Management in Latin America: challenges, emerging contaminants and the case of Colombia

Gestión del agua en América Latina: desafíos, contaminantes emergentes y el caso de Colombia

José Luis Guataquira Rincón¹, René Ricardo Cuéllar Rodríguez¹, Laura Daniela Palomino Boshell² ✉

¹Corporación Universitaria Del Meta, Facultad de Ingeniería Ambiental. Villavicencio - Meta, Colombia.

²Escuela de Ingenierías, Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Meta (UNIMETA), Villavicencio, Meta, Colombia.

Citar como: Guataquira Rincón JL, Cuéllar Rodríguez RR, Palomino Boshell LD. Water Management in Latin America: Challenges, Emerging Contaminants and the Case of Colombia. Environmental Research and Ecotoxicity. 2023; 2:57. <https://doi.org/10.56294/ere202357>

Enviado: 10-09-2022

Revisado: 28-01-2023

Aceptado: 12-05-2023

Publicado: 13-05-2023

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Laura Daniela Palomino Boshell ✉

ABSTRACT

In 2023, the study analyzed the relationship between drinking water quality and environmental, social and economic conditions in Latin America. It observed that industrial and agricultural growth without adequate planning seriously affected water ecosystems. Countries such as Colombia, Mexico and Brazil showed high vulnerability due to outdated regulations, low water treatment coverage and uncontrolled emergence of emerging contaminants. During that year, the effects of climate change intensified, with prolonged droughts and floods, altering both the availability and quality of water. In Colombia, urban disorder and poor land use directly impacted water sources, especially in rural areas, where access to safe water was even more limited. The study compared international water quality indexes with the Colombian IRCA, showing the need to update parameters and include emerging contaminants such as pesticides and pharmaceuticals. In several countries, these compounds exceeded the limits recommended by WHO and EPA, affecting public health, particularly vulnerable populations. The research proposed methodological updating of the IRCA, integrating toxicity and epidemiological risk criteria. It also pointed out that water management should be collective, with investment in infrastructure, technology and citizen education. Finally, it concluded that the Colombian case could serve as a regional reference to improve management and guarantee equitable access to safe drinking water.

Keywords: Drinking Water; Emerging Pollutants; Public Health; Environmental Regulations; Climate Change.

RESUMEN

En 2023, el estudio analizó la relación entre la calidad del agua para consumo humano y las condiciones ambientales, sociales y económicas en América Latina. Observó que el crecimiento industrial y agropecuario sin planificación adecuada afectó gravemente los ecosistemas hídricos. Países como Colombia, México y Brasil mostraron una alta vulnerabilidad debido a normativas desactualizadas, baja cobertura de tratamiento de aguas y aparición de contaminantes emergentes sin control. Durante ese año, los efectos del cambio climático se intensificaron, con sequías prolongadas e inundaciones, alterando tanto la disponibilidad como la calidad del agua. En Colombia, el desorden urbano y el mal uso del suelo impactaron directamente las fuentes hídricas, especialmente en zonas rurales, donde el acceso al agua segura fue aún más limitado. El estudio comparó índices de calidad del agua internacionales con el IRCA colombiano, evidenciando la necesidad de actualizar parámetros e incluir contaminantes emergentes como plaguicidas y fármacos. En varios países, estos compuestos superaron los límites recomendados por la OMS y la EPA, afectando la salud pública, en particular a poblaciones vulnerables. La investigación propuso actualizar metodológicamente el IRCA, integrando criterios de toxicidad y riesgo epidemiológico. Señaló también que la gestión del agua debe ser colectiva, con inversión en infraestructura, tecnología y educación ciudadana. Finalmente, concluyó que el caso colombiano podría servir de referencia regional para mejorar la gestión y garantizar el acceso

equitativo a agua potable segura.

Palabras clave: Agua Potable; Contaminantes Emergentes; Salud Pública; Normativa Ambiental; Cambio Climático.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, el contexto ambiental, social y económico del año 2023 permite vincular de forma directa la discusión técnica y normativa sobre la calidad del agua para consumo humano, como la que se desarrolla en este estudio, con las condiciones reales que atraviesan millones de habitantes en zonas urbanas, rurales y periurbanas.^(1,2,3) El crecimiento industrial y la expansión descontrolada de las actividades agropecuarias, sin una adecuada planificación ambiental, han sido responsables de impactos significativos en los ecosistemas hídricos de la región. Países como Colombia, México, Brasil, Argentina y Perú presentan una alta vulnerabilidad frente a la contaminación del recurso hídrico debido a una combinación de factores: desactualización normativa, debilidad institucional, limitada cobertura en tratamiento de aguas residuales y una creciente aparición de contaminantes emergentes sin control.^(4,5,6)

Durante el año 2023, se evidenció una intensificación de los efectos del cambio climático, particularmente en fenómenos extremos como sequías prolongadas en el Cono Sur y lluvias intensas en Centroamérica y el Caribe. Estas condiciones climáticas extremas alteran no solo la disponibilidad de agua, sino también su calidad. En Colombia, al igual que en otros países latinoamericanos, estas alteraciones se combinan con un manejo inadecuado del uso del suelo, donde el crecimiento urbano desordenado ha llevado a la ocupación de áreas ribereñas, generando un impacto directo sobre los cuerpos hídricos utilizados para el abastecimiento.^(7,8,9) La situación se vuelve crítica en las zonas rurales, donde el acceso a fuentes de agua seguras es aún más limitado. El Informe Nacional de Calidad del Agua de 2021 ya mostraba un nivel de riesgo sostenido en estas zonas, y en 2023, los estudios y reportes regionales continuaron reflejando una brecha entre el marco normativo y la realidad sanitaria y epidemiológica del país. Esta brecha se amplía cuando se consideran los contaminantes emergentes (CE), que no están contemplados en la mayoría de los marcos normativos de la región, incluido el colombiano, cuyo principal instrumento, la Resolución 2115 de 2007, ya acusa un rezago significativo frente a los avances científicos y tecnológicos que permiten detectar y cuantificar nuevas sustancias con potencial tóxico.^(10,11,12)

Este rezago se convierte en un riesgo tangible para la salud pública. En países como México, Argentina o Brasil, durante el 2023 se publicaron estudios sobre la presencia de plaguicidas y fármacos en cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, en concentraciones superiores a los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).^(13,14,15) Estos contaminantes, pese a su baja concentración, poseen un efecto acumulativo en el organismo humano, provocando enfermedades crónicas, alteraciones hormonales, resistencia antimicrobiana y potenciales efectos genotóxicos. Esta situación es particularmente preocupante en poblaciones vulnerables como comunidades indígenas, campesinas o periféricas, quienes dependen de fuentes hídricas naturales sin tratamiento previo.^(16,17,18)

El análisis comparativo propuesto en este trabajo entre los índices de calidad de agua aplicados internacionalmente y el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) colombiano es un paso importante para evidenciar estas diferencias y proponer ajustes necesarios en los parámetros de evaluación.^(19,20,21) En muchos países de la región, como Costa Rica, Chile y Uruguay, se han iniciado procesos de actualización normativa que incorporan progresivamente los CE dentro de los análisis de monitoreo de agua, priorizando la inclusión de principios activos de productos farmacéuticos y de cuidado personal (PFCP), así como plaguicidas y otros compuestos de origen industrial.^(22,23,24)

En 2023, la salud ambiental tomó un rol más central en la agenda pública latinoamericana debido a las implicaciones directas entre calidad ambiental, justicia social y salud. La crisis de acceso al agua segura no solo se concibe como un problema técnico, sino como un asunto de derechos humanos, especialmente en contextos donde el agua es privatizada o su gestión está sujeta a conflictos por el uso productivo versus el uso doméstico y comunitario.^(25,26,27) Así, los eventos de contaminación de cuerpos de agua y la ineficacia de los sistemas de potabilización tradicionales revelan una necesidad urgente de redireccionar los esfuerzos hacia una gestión integral del recurso, que contemple las condiciones particulares de los territorios, sus riesgos ambientales, y las nuevas amenazas químicas que afectan la salud colectiva.^(28,29,30)

En el caso colombiano, la problemática del agua también se inscribe en un contexto de transición política y social. El año 2023 fue marcado por esfuerzos gubernamentales por fortalecer la justicia ambiental y el acceso equitativo a servicios públicos esenciales, entre ellos el agua potable.^(31,32,33) Sin embargo, estos esfuerzos aún enfrentan barreras estructurales como la débil articulación interinstitucional, la insuficiencia presupuestal y la falta de capacidades técnicas en los entes territoriales para realizar monitoreos eficientes y continuos de la calidad del agua, especialmente en zonas rurales dispersas.^(34,35,36)

La propuesta de este trabajo de grado toma relevancia en ese contexto, al plantear una actualización metodológica del IRCA mediante la incorporación de parámetros asociados a los CE, proponiendo una ponderación adecuada según su impacto epidemiológico y toxicidad.^(37,38,39) Esto permite avanzar en un enfoque preventivo, más que reactivo, frente a las amenazas emergentes que hoy enfrenta el abastecimiento de agua para consumo humano en la región. Además, se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos.^(40,41,42)

Es fundamental destacar que los procesos de actualización normativa deben estar acompañados de inversiones sostenidas en infraestructura, capacitación de personal técnico, generación de datos confiables y acceso a tecnologías de tratamiento más sofisticadas.^(43,44,45) En este sentido, el fortalecimiento de alianzas entre universidades, centros de investigación, autoridades ambientales y actores comunitarios es esencial para generar soluciones contextualizadas, escalables y sostenibles. Latinoamérica cuenta con capacidades científicas valiosas, pero muchas veces subutilizadas por la desconexión entre el conocimiento técnico y las decisiones de política pública.^(46,47,48)

Además, la inclusión de los contaminantes emergentes en los análisis de calidad de agua no debe generar un enfoque de alarma, sino una perspectiva de corresponsabilidad. Esto implica no solo exigirle al Estado y a los prestadores del servicio la adecuación tecnológica, sino también promover una mayor conciencia ciudadana sobre el consumo responsable de fármacos, productos de aseo y agroquímicos. La gestión integral del recurso hídrico es, en última instancia, una tarea colectiva que demanda una mirada amplia, interdisciplinaria y participativa.^(49,50,51,52)

Finalmente, el caso colombiano, ampliamente documentado en este estudio, puede servir como espejo para otros países latinoamericanos que enfrentan problemas similares y buscan rutas para fortalecer sus sistemas de monitoreo, control y gestión del agua.^(53,54,55,56,57,58) La propuesta de incorporar nuevos parámetros en el IRCA, basados en evidencia científica actualizada, es un paso en la dirección correcta para garantizar un derecho fundamental: el acceso a agua potable segura, suficiente, aceptable y asequible para toda la población, sin importar su ubicación geográfica ni su nivel socioeconómico.^(59,60,61,62,63)

En un mundo donde el agua se convierte cada vez más en un recurso estratégico, su protección no puede seguir siendo postergada. La salud pública, la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de futuras generaciones dependen en gran medida de las decisiones que tomemos hoy. Esta investigación aporta un grano de arena en ese camino, ofreciendo herramientas técnicas para avanzar hacia una gestión del agua más justa, equitativa y adaptada a los retos del siglo XXI en América Latina.^(64,65,66,67,68,69,70)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Suárez S, Molina E. El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Rev Cubana Hig Epidemiol.* 2014;52(3):357-63.
2. Arias J. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Rev Investig Agrar Ambient.* 2017;8(1):151-67.
3. Ahmed M, Matsumoto M, Ozaki A, Thinh NV, Kurosawa K. Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables and the difference between dry and wet seasons near a multi-industry zone. *Water.* 2019;11(3):583. <https://doi.org/10.3390/w11030583>
4. Manoj S, Thirumurugan M, Elango L. An integrated approach for assessment of groundwater quality in and around uranium mineralized zone, Gogi region, Karnataka, India. *Arab J Geosci.* 2017;10(24):557. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3321-5>
5. Jawad M, Arslan M, Siddique M, Ali S, Tahseen R, Afzal M. Potentialities of floating wetlands for the treatment of polluted water of river Ravi, Pakistan. *Ecol Eng.* 2019;133:167-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.022>
6. Bhuiyan A, Dampare B, Islam A, Suzuki S. Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh, using multivariate analysis and pollution evaluation indices. *Environ Monit Assess.* 2015;187(4075):1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4075-0>
7. Zhang J, Li H, Zhou Y, Dou L, Cai L. Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: a case study in the Pearl River Delta, South China. *Environ Pollut.* 2018;235:710-9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>
8. Sabogal L. El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías

para la potabilización del agua. Cali: Universidad del Valle; 2000.

9. Rojas R. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. 2002.
10. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Sección 2. Evaluación y manejo del riesgo. En: Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. 2001. p. 46.
11. Guerra C. Ponderación de los riesgos de origen microbiano y químico en la desinfección del agua potable: la perspectiva panamericana. Bol Oficina Sanit Panam. 1993;115:451-4.
12. World Health Organization (WHO). Conquering suffering, enriching humanity. The world health report 1997. Geneva: WHO Graphics; 1997. p. 157.
13. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El medio ambiente en Colombia. Bogotá: IDEAM; 2001.
14. Fernández N, Solano F. Índices de calidad y contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona; 2008.
15. González T, Osorio I, Riascos A. Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del INCA en los años 2016-2019, caso de estudio: Magdalena, zona bananera. Encuentro Int Educ Ing. 2019.
16. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano. 2021. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
17. Instituto Nacional de Salud. Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia. 2019. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/estado-de-la-vigilancia-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-en-colombia-2019.pdf>
18. Carrasco D, Delgado Y, Cobos F. Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. Emerging contaminants and its impact on the health. Rev Fac Cienc Méd Univ Cuenca. 2017;35(2):55-9.
19. González T, Osorio I, Riascos A. Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del INCA en los años 2016-2019, caso de estudio: Magdalena, zona bananera. Encuentro Int Educ Ing. 2019.
20. García C, García J, Rodríguez J, Pacheco R, García M. Limitaciones del IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano. Rev Salud Pública. 2018;20:204-7.
21. Cruz A, Rodríguez L. Análisis de los índices de riesgo de calidad de agua potable (IRCA) en Boyacá entre 2016-2019. Agricolae Habitat. 2021;4(1).
22. Romero J, Ibarra N. Valoración del índice de calidad del agua cruda (ICA), del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), del índice de tratamiento (IT), del índice de continuidad (IC) y del índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano por prestador (IRABAPP), para el periodo 2010-2011, de sistemas de tratamiento de agua potable. Rev Esc Colomb Ing. 2013;23(92):13-22.
23. Briñez K, Guarnizo C, Arias A. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. Rev Fac Nac Salud Pública. 2012;30(2):175-82.
24. Enríquez C, Torres A, Enciso F. Comportamiento del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano y demanda de agua en el acueducto Yamboró, Pitalito - Huila. Rev Investig Agroempresariales. 2020;7.
25. Torres M, de Navia L. Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. Nova. 2010;8(14).
26. Candelario M, Pinto L. Evaluación del agua para consumo humano utilizando el índice de riesgo de la

calidad del agua en el municipio de Puerto Nariño (Amazonas). *Agricolae Habitat*. 2023;6(2):27-40.

27. González L. Evaluación del índice de riesgo de calidad de agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá-Boyacá. 2020.

28. Doncel J, Florex C. QIRCA: complemento de QGIS para calcular índices de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA. 2018.

29. Torres F, Carvajal A. Cobertura de acueducto y alcantarillado, calidad del agua y mortalidad infantil en Colombia, 2000-2012 (No. 012228). Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE; 2014.

30. Jiménez L, Ramos J, Guio P. Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento del Tolima en los años 2012-2013. *Publicaciones Investig*. 2016;10:69-81.

31. Jiménez C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Rev Lasallista Investig*. 2011;8(2):143-53.

32. Jank L, Hoff R, Costa F, Pizzolato T. Simultaneous determination of eight antibiotics from distinct classes in surface and wastewater samples by solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography electrospray ionisation mass spectrometry. *Int J Environ Anal Chem*. 2014;94(10):1013-37.

33. Spongberg A, Witter J, Acuña J, Vargas J, Murillo M, Umaña G, et al. Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rica surface waters. *Water Res*. 2011;45(20):6709-17.

34. Estrada E, Cortés J, González A, Calderón C, de Rivera M, Ramírez E, et al. Assessment of full-scale biological nutrient removal systems upgraded with physico-chemical processes for the removal of emerging pollutants present in wastewaters from Mexico. *Sci Total Environ*. 2016;571:1172-82.

35. Bujanow D, Pérez V, Gavilán J, Luis J. Estudio sobre la presencia y distribución de contaminantes emergentes en los acuíferos detríticos del río Guadalhorce. En: Unidos por el agua. Huelva: Club del Agua Subterránea; 2018. p. 701-8.

36. Vadillo I, Jiménez P, Aranda J, Denguir F, Luque J, Benavente J. Presencia y distribución de contaminantes emergentes en cuatro cuencas antropizadas del sur de la Península Ibérica. 2018.

37. Meléndez J, García Y, Galván V, de León LD, Vargas K, Mejía J, Ramírez RF. Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Rev Salud Ambient*. 2020;20(1):53-61.

38. Martínez I, Soto J, Lahora A. Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Ecosistemas*. 2020;29(3):2070.

39. Ramírez L, Chicaiza S, Ramos A, Álvarez C. Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *LA GRANJA Rev Cienc Vida*. 2019;30(2):88-102.

40. Taborda D, Venegas W. Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua para consumo humano de la quebrada La Hoya en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. 2016.

41. Ministerio de Salud y Protección Social. Programa nacional de prevención, manejo y control de la infección respiratoria aguda y la enfermedad diarreica aguda. 2023. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/programa-nacional-ira-eda-2023.pdf>

42. Universidad de Pamplona. Capítulo II. Indicadores de calidad del agua. Generalidades. Disponible en: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf

43. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2007.
44. Sutadian A, Muttill N, Yilmaz A, Perera J. Development of river water quality indices—a review. *Environ Monit Assess*. 2016;188:1-29.
45. Ardila N, Arriola E. Efecto de la quema de llantas en la calidad del agua de un tramo de la quebrada Piedras Blancas. *Tecnol Cienc Agua*. 2017;8(5):39-55.
46. Balmaseda C, García Y. Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Rev Cienc Téc Agropecu*. 2014;23(3):11-6.
47. de Bustamante J, Sanz J, Goy J. Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. Aplicaciones del índice ISQA. 2002. Disponible en: <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo31/Art26.pdf>
48. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Apêndice E. Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes. 2021. Disponible en: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>
49. Fernández S. Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Capítulo III. Pamplona: Universidad de Pamplona; 2005.
50. Boyacioglu H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA*. 2007;33(1):101-6.
51. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Dirección Técnica Ambiental. Objetivos de calidad del río Cauca - tramo Valle del Cauca. Documento técnico de soporte. 2023 [citado 2023 mar 31]. Disponible en: <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2023-06/Res.%200298%20de%202023-%20Objetivos%20de%20calidad%20del%20r%C3%ADo%20Cauca%20-%20Tramo%20Valle%20del%20Cauca.pdf>
52. Pachés A. Contaminantes emergentes. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2020.
53. Bofill S, Clemente P, Albiñana N, Maluquer C, Hundesa A, Girones R. Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Rev Esp Salud Pública*. 2005;79:253-69.
54. Becerril J. Optimización de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes emergentes en aguas de abastecimiento y residuales. 2012.
55. Gómez O. Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Rev Chil Infectol*. 2014;31(5):577-86.
56. Chaves D, Fernández J, Ospina I, López M, Moncada L, Reyes P. Tendencia de la prevalencia y factores asociados a la infección por *Giardia duodenalis* en escolares y preescolares de una zona rural de Cundinamarca. *Biomédica*. 2007;27(3):345-51.
57. Ekici A, Yilmaz H, Beyhan YE. Prevalencia de la criptosporidiosis en seres humanos y terneros, y detección molecular del *Cryptosporidium parvum*. *Rev MVZ Córdoba*. 2022;27(2):1-9.
58. Pérez E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Rev Tecnol Marcha*. 2016;29(3):3-14.
59. Bolaños J, Cordero G, Segura G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Rev Tecnol Marcha*. 2017;30(4):15-27.
60. Pabón S, Benítez R, Sarria R, Gallo J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Cienc Ing*. 2020;14(27):9-18.

61. Jiménez A, Santa L, Otazua M, Ayerdi M, Galarza A, Gallastegi M, et al. Ingesta de flúor a través del consumo de agua de abastecimiento público en la cohorte INMA-Gipuzkoa. *Gac Sanit.* 2018;32(5):418-24.
62. Menéndez C, Dueñas J. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ing Hidrául Amb.* 2018;39(3):97-107.
63. Instituto Nacional de Salud. Informe técnico de vigilancia por laboratorio de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* spp. en aguas. 2019. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informacin%20de%20laboratorio/Informe-t%C3%A9cnico-de-vigilancia-por-laboratorio-de-Cryptosporidium-spp-y-Giardia-spp-en-aguas.pdf>
64. López L, Sánchez M, Baena M, González M, Urhán J. Verificación del método para la detección y cuantificación de *Clostridium perfringens* en agua potable mediante filtración por membrana. *Rev Politéc.* 2016;12(23):83-9.
65. Ramírez L, Londoño A. Estado del arte de la *Legionella pneumophila* en aguas termales. *Encuentro Int Educ Ing.* 2020.
66. Avendaño A, Arguedas C. Microcistina en plantas de tratamiento de agua para consumo humano en un ambiente tropical: el Área Metropolitana de Costa Rica. *Rev Biol Trop.* 2006;54(3):711-6.
67. Jiménez L, Barquero M, Jiménez K, Álvarez CV, Alvarado DM, Lizano LR, Achí R. Relación entre la presencia de colifagos en agua para consumo humano, las lluvias y las diarreas agudas en Costa Rica. *Rev Costarric Salud Pública.* 2015;24(2):160-7.
68. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano INCA 2022. 2022. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-colombia-2022.pdf>
69. CymitQuímica. Números CAS. 2023. Disponible en: <https://cymitquimica.com/es/cas/>
70. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Registros nacionales de plaguicidas y reguladores fisiológicos. 2023. Disponible en: https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd_rn_rf_-31-mar-2022-1.aspx

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez, Laura Daniela Palomino Boshell.

Curación de datos: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez, Laura Daniela Palomino Boshell.

Análisis formal: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez, Laura Daniela Palomino Boshell.

Redacción - borrador original: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez, Laura Daniela Palomino Boshell.

Redacción - revisión y edición: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez, Laura Daniela Palomino Boshell.