

Detección de *Cryptosporidium* spp. y helmintos en sistemas de abastecimiento de agua potable en Azuero (Panamá): fallos de tratamiento y riesgo para la salud pública

Cryptosporidium spp. and helminths in distribution networks, water treatment plants, and raw water from Azuero (Panama): implications for drinking water quality

Abel Sánchez ^{1*}, Francisco Tuñón ¹, Alexis de la Cruz Lombardo ¹

¹ Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero;
Autor de correspondencia..abel.sanchez02@up.ac.pa



RESUMEN

Cryptosporidium spp. y diversos helmintos constituyen parásitos de alta relevancia sanitaria debido a su resistencia a los procesos convencionales de potabilización. El objetivo de este estudio fue detectar y cuantificar ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y formas biológicas de helmintos en sistemas de abastecimiento de agua potable y en fuentes de agua cruda en la región de Azuero (Panamá), con el fin de evaluar fallos de tratamiento y riesgos asociados para la salud pública. Se analizaron ocho puntos de muestreo —redes de distribución, plantas potabilizadoras y ríos— mediante filtración de 1000 L de agua (filtro de 1 µm) y tinciones Ziehl-Neelsen, Lugol y Giemsa.

Los valores fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los rangos aceptados, excepto la planta de Macaracas, que registró 0 ppm de cloro residual. Las mayores concentraciones de *Cryptosporidium* spp. se detectaron en el agua cruda del río La Villa y en la planta de Macaracas, donde se observó la ausencia de desinfección. En conjunto, el 96% de las formas parasitarias se encontraron en aguas crudas, mientras que solo el 4% estuvo presente en redes tratadas. También se identificaron huevos y larvas de *Ascaris*, *Taenia*, *Strongyloides*, *uncinarias* y *Blastocystis*, asociados a contaminación por actividades pecuarias y a deficiencias en la protección de las fuentes.

Los resultados evidencian fallos en la desinfección y filtración, así como la persistencia de protozoos y helmintos resistentes en los sistemas de abastecimiento, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública y subraya la necesidad de fortalecer la vigilancia microbiológica del agua conforme a las recomendaciones de la OMS.

Palabras clave: *Cryptosporidium* spp., helmintos, agua potable, redes de distribución, desinfección, salud pública.

ABSTRACT

Cryptosporidium spp. and helminths are highly relevant waterborne parasites due to their resistance to conventional drinking water treatment. This study aimed to detect and quantify *Cryptosporidium* spp. oocysts and helminth biological forms in drinking water supply systems and raw water sources in the Azuero region (Pa-

nama), in order to identify treatment failures and associated public health risks. Eight sampling points—including distribution networks, treatment plants and river sources—were analyzed by filtering 1000 L of water (1 µm polypropylene filter), followed by Ziehl–Neelsen, Lugol and Giemsa staining.

Physicochemical parameters were within expected ranges, except for the Macaracas treatment plant, which showed 0 ppm of residual chlorine. The highest concentrations of *Cryptosporidium* spp. were detected in raw water from the La Villa River and at the Macaracas facility, where disinfection was absent. Overall, 96% of parasitic forms were found in untreated river water, whereas only 4% were detected in treated distribution networks. Eggs and larvae of *Ascaris*, *Taenia*, *Strongyloides*, hookworms and *Blastocystis* were also identified, mainly associated with livestock activities and insufficient protection of water sources.

These findings reveal critical deficiencies in disinfection and filtration processes, highlighting the persistence of resistant protozoa and helminths within drinking water supply systems. Strengthening microbiological surveillance and treatment practices is urgently required, in accordance with WHO recommendations, to mitigate public health risks.

Keywords: *Cryptosporidium* spp., helminths, drinking water, distribution networks, disinfection, public health.

INTRODUCCIÓN

Cryptosporidium spp. y diversos helmintos intestinales representan un desafío persistente para los sistemas de abastecimiento de agua potable debido a su notable resistencia a los procesos convencionales de potabilización. *Cryptosporidium*, protozooario perteneciente al filo *Apicomplexa*, posee ooquistes de 4–6 µm altamente resistentes a la cloración, lo que permite su supervivencia en ambientes acuáticos y su transmisión por vía hídrica incluso en sistemas que cumplen con los parámetros fisicoquímicos establecidos^{1–4}. Las infecciones humanas —principalmente causadas por *Cryptosporidium hominis* y *C. parvum*— se asocian con diarrea aguda, deshidratación severa y complicaciones en poblaciones vulnerables^{2,7,8}, siendo reconocidas por la Organización Mundial de la Salud como una de las principales causas de enfermedad diarreica vinculada al agua¹².

El riesgo sanitario aumenta en regiones donde coexisten actividades pecuarias, viviendas sin saneamiento adecuado y fuentes de agua superficial utilizadas para consumo humano. Diversos estudios en América Latina han demostrado que la cercanía de corrales, letrinas, descargas domiciliarias y escorrentías agrícolas incrementa notablemente la carga parasitaria en ríos y pozos^{14–17,21}. En estos contextos, la presencia simultánea de ooquistes de *Cryptosporidium* y huevos o larvas de helmintos —como *Ascaris*, *Taenia*, uncinarias o *Strongyloides*— constituye un indicador crítico de contaminación fecal y de fallas en las barreras de protección de las fuentes de agua^{9,10,19,20}.

Panamá, particularmente la región de Azuero, combina sistemas de potabilización tradicionales con una intensa actividad ganadera y agrícola, condiciones que pueden favorecer la contaminación de cauces y el ingreso de patógenos resistentes a los sistemas de tratamiento. A pesar de ello, existe escasa evidencia científica publicada sobre la presencia y distribución de parásitos en redes de distribución, plantas potabilizadoras y fuentes de agua cruda en el país, lo que limita la capacidad de las autoridades para evaluar riesgos y mejorar la vigilancia sanitaria. Investigaciones en otras regiones tropicales, como Venezuela, Ecuador, Colombia y las Islas Canarias, han reportado hallazgos similares de *Cryptosporidium*, *Giardia* y helmintos en aguas crudas y tratadas^{14,16,17,21}.

En este contexto, el monitoreo integrado de agua cruda, sistemas de potabilización y redes de distribución adquiere especial relevancia. Los protocolos internacionales recomendados por APHA¹³, así como las Guías de la OMS¹², enfatizan la necesidad de evaluar simultáneamente parámetros fisicoquímicos y parasitológicos para determinar la eficacia real de los procesos de desinfección y filtración. No obstante, la mayoría de los sistemas de vigilancia en América Latina continúan centrados en indicadores bacteriológicos, lo que deja sin evaluar a protozoos y helmintos de alta resistencia y relevancia epidemiológica^{2,18}.

El presente estudio tuvo como objetivo detectar y cuantificar ooquistes de *Cryptosporidium spp.* y formas biológicas de helmintos en diversos puntos del sistema de abastecimiento de agua de Azuero (Panamá), incluyendo redes de distribución, plantas potabilizadoras y fuentes de agua cruda. Al analizar integralmente la calidad parasitológica y los parámetros fisicoquímicos asociados, esta investigación busca generar evidencia actualizada sobre la eficacia de los procesos de tratamiento y aportar información clave para la toma de decisiones en salud pública y gestión hídrica regional.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio y puntos de muestreo

El estudio se realizó en la región de Azuero (Panamá), específicamente en las provincias de Herrera y Los Santos, donde convergen sistemas de abastecimiento urbano, plantas potabilizadoras y fuentes de agua cruda. Se seleccionaron ocho puntos de muestreo representativos: redes de distribución (Llano Bonito, Santa Ana, La Villa), plantas potabilizadoras (Rufina Alfaro y Macaracas) y captaciones de agua cruda de los ríos La Villa y Parita. La ubicación geográfica se ilustra en la Tabla 1 y Figura 1.

Secuencia	Puntos de muestreos	Coordenadas
1	Red de Llano Bonito	7°59'04.0''N 80°25'04.4''W
2	Red de Santa Ana	7°58'27.1''N 80°20'55.0''W
3	Red de La Villa	7°55'34"N 80°23'40"W
4	Planta potabilizadora Rufina Alfaro	7°55'27"N 80°26'24"W
5	Planta de Macaracas	7°43'35"N 80°32'18"W
6	Toma de Agua Río la Villa	7°56'44.2"N 80°27'28.4"W
7	Toma de Agua Río Parita	7°59'17.6''N 80°31
8	Parte Baja del Río La Villa	7°57'35.5'' N 80°23'56.5'' W

Tabla 1. Puntos de muestreo específicos para medición de parámetros fisicoquímicos y presencia de formas parasitarias de en la región Azuero.

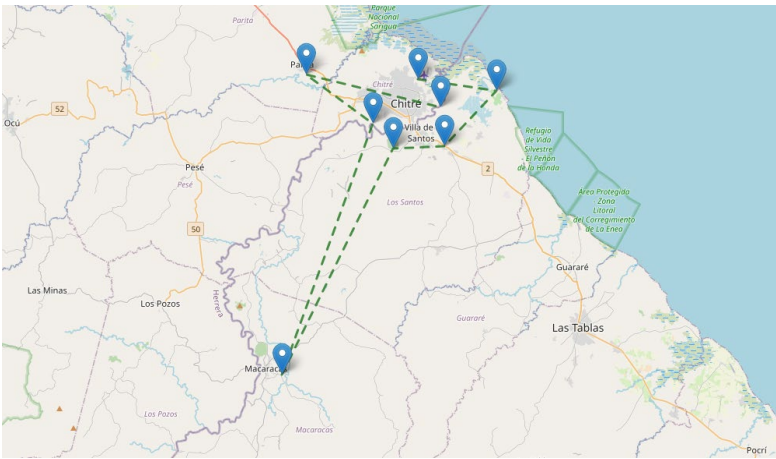


Figura 1. Ubicación geográfica de los ocho puntos de muestreo en la región de Azuero (Panamá), incluyendo redes de distribución, plantas potabilizadoras y captaciones de agua cruda de los ríos La Villa y Parita.

Toma de muestras de agua

En cada punto se recolectó un volumen de 1000 L mediante filtración directa con cartuchos de polipropileno de 1 µm, siguiendo los lineamientos APHA Standard Methods 20th edition¹³ y las recomendaciones de la OMS para vigilancia parasitológica¹². Las muestras se transportaron en frío (4 °C) y se procesaron en un máximo de 6 horas tras la recolección.

Concentración y recuperación de parásitos

Los cartuchos filtrantes fueron abiertos longitudinalmente en condiciones asépticas, y se realizó un lavado exhaustivo con solución salina estéril para recuperar los sedimentos retenidos. El material concentrado se sometió a centrifugación (1500 rpm, 15 min) y resuspensión para su lectura microscópica.

Identificación microscópica de *Cryptosporidium* y helmintos

Para la detección de ooquistes de *Cryptosporidium* spp.:

- Ziehl-Neelsen modificado, para visualización ácido-alcohol resistente¹⁻⁴.

Para la identificación de formas biológicas de helmintos (huevos, larvas y quistes):

- Tinción con Lugol,
- Giemsa,
- Observación morfológica apoyada en claves taxonómicas regionales^{9, 10, 19}.

Las lecturas se realizaron a 400× y 1000×, con doble revisión independiente.

Determinación de parámetros fisicoquímicos. En cada punto se midieron temperatura (°C), pH, turbidez (NTU), conductividad (µS/cm) y cloro residual (ppm) utilizando un multímetro portátil y un espectrofotómetro colorimétrico certificado. Los rangos se compararon con las normas OMS¹² y con estudios regionales^{14-17, 21}.

RESULTADOS

Distribución espacial de los puntos de muestreo

Se seleccionaron ocho puntos representativos del sistema de abastecimiento de agua potable de la región de Azuero, incluyendo redes de distribución, plantas potabilizadoras y captaciones de agua cruda. La distribución geográfica de estos puntos se muestra en la Figura 1, donde se evidencia la concentración de los sistemas urbanos en el eje Chitré–Las Tablas y la ubicación de las principales fuentes superficiales de los ríos La Villa y Parita.

Detección de *Cryptosporidium* spp. en los sistemas evaluados

La concentración de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. mostró variaciones claras entre los diferentes tipos de fuente evaluados (Figura 2). En las redes de distribución, los valores oscilaron entre 2 y 5 ooquistes/1000 L, específicamente 4 en la Red de Chitré, 5 en la Red de Santa Ana y 2 en la Red de La Villa. En las plantas potabilizadoras, la concentración fue de 2 ooquistes/1000 L en Rufina Alfaro y alcanzó 6 ooquistes/1000 L en Macaracas, punto que coincidió con la ausencia total de cloro residual.

Las fuentes de agua cruda presentaron los valores más contrastantes: mientras que el Río La Villa registró la carga más alta con 7 ooquistes/1000 L, el Río Parita no mostró presencia detectable, con 0 ooquistes/1000 L. Estos resultados indican que, aunque los procesos de potabilización reducen notablemente la carga parasitaria, los ooquistes de *Cryptosporidium* pueden persistir en la red tratada, especialmente en zonas donde el control de desinfección es insuficiente. Asimismo, la carga elevada en el Río La Villa confirma que las fuentes superficiales continúan siendo los principales reservorios de contaminación parasitaria en la región.

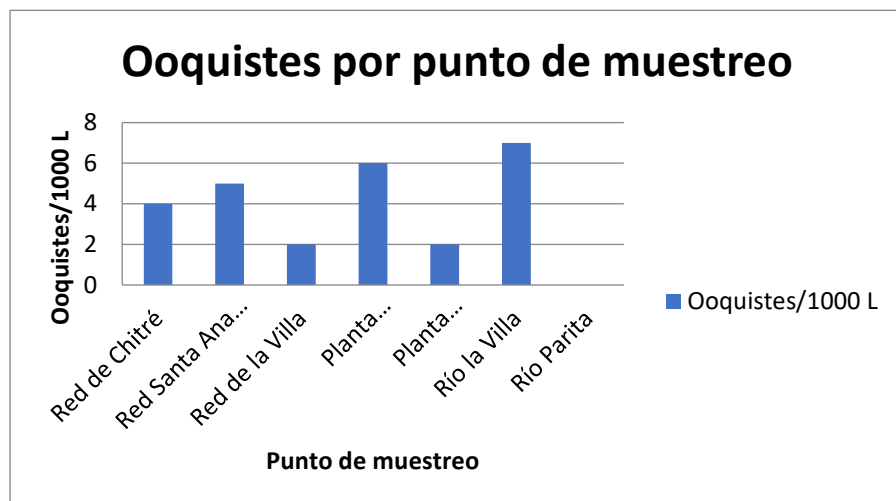


Figura 2. Concentración de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. por 1000 L en los ocho puntos de muestreo, diferenciando redes de distribución, plantas potabilizadoras y fuentes de agua cruda.

Presencia de formas biológicas de helmintos

La detección de formas biológicas de helmintos mostró una marcada diferencia entre las fuentes de agua cruda y los sistemas de agua tratada (Figura 3). En las redes de distribución, los valores fueron mínimos, con 0 helmintos/1000 L en la Red de Chitré y en la Red de Santa Ana, y una detección aislada de 1 helminto/1000 L en la Red de La Villa. En las plantas potabilizadoras, tanto Macaracas como Rufina Alfaro presentaron valores de 0 helmintos/1000 L, lo cual sugiere que los procesos de filtración y clarificación fueron adecuados para la remoción de formas parasitarias de mayor tamaño.

En contraste, las fuentes de agua cruda mostraron cargas considerablemente más altas. El Río La Villa registró 14 helmintos/1000 L, mientras que el Río Parita presentó 6 helmintos/1000 L, evidenciando una fuerte influencia de contaminación fecal en las zonas de captación superficial.

Este patrón confirma que, aunque los sistemas de potabilización remueven eficazmente helmintos, las fuentes superficiales no tratadas continúan siendo importantes reservorios de contaminación parasitaria, lo que representa un riesgo potencial para la salud pública en caso de fallos operacionales o desinfección insuficiente.



Figura 3. Frecuencia de formas biológicas de helmintos (huevos y larvas) por 1000 L en los puntos de muestreo, mostrando su predominio en las fuentes de agua cruda de los ríos La Villa y Parita.

Relación entre cloro residual y carga parasitaria

Para evaluar el efecto del cloro residual sobre la presencia de parásitos, se representaron ambos parámetros en un formato de heatmap (Figura 4).

Se observó un patrón consistente:

- Donde el cloro residual ≥ 0.95 ppm (Llano Bonito, Santa Ana, La Villa, Rufina Alfaro), la carga de *Cryptosporidium* y helmintos fue baja o nula.
- Donde el cloro = 0 ppm, como en Macaracas, Río La Villa y Río Parita, se registraron las concentraciones más altas de ambos grupos parasitarios.

Este contraste evidencia la importancia crítica de mantener niveles adecuados de cloro residual y su correlación con la reducción de la carga parasitaria.

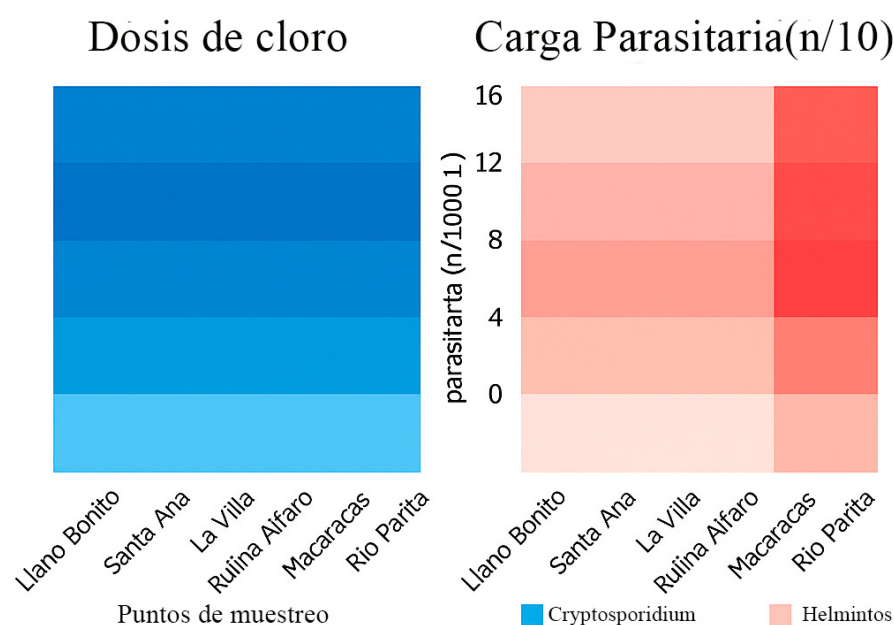


Figura 4. Relación entre la concentración de cloro residual y la carga parasitaria (*Cryptosporidium spp.* y helmintos) en los puntos de muestreo. Los colores intensos representan mayor concentración de parásitos y ausencia o insuficiencia de cloro residual.

Variación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos evaluados se muestran en la Figura 5, donde se observa una estabilidad general en pH, turbidez y temperatura entre los puntos de muestreo.

Sin embargo, se identificaron diferencias en la conductividad y, especialmente, en el cloro residual, cuya ausencia en Macaracas coincide con la mayor carga parasitaria detectada en dicha planta.

- pH: 7.4–7.7
- Turbidez: 0.64–0.72 NTU
- Temperatura: 26–28 °C
- Conductividad: 162–240 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Cloro residual: 0–0.98 ppm

Las variaciones mayores se registraron en Macaracas, donde la ausencia de cloro residual y la conductividad más alta sugieren fallos de tratamiento o mezcla con agua cruda sin desinfección.

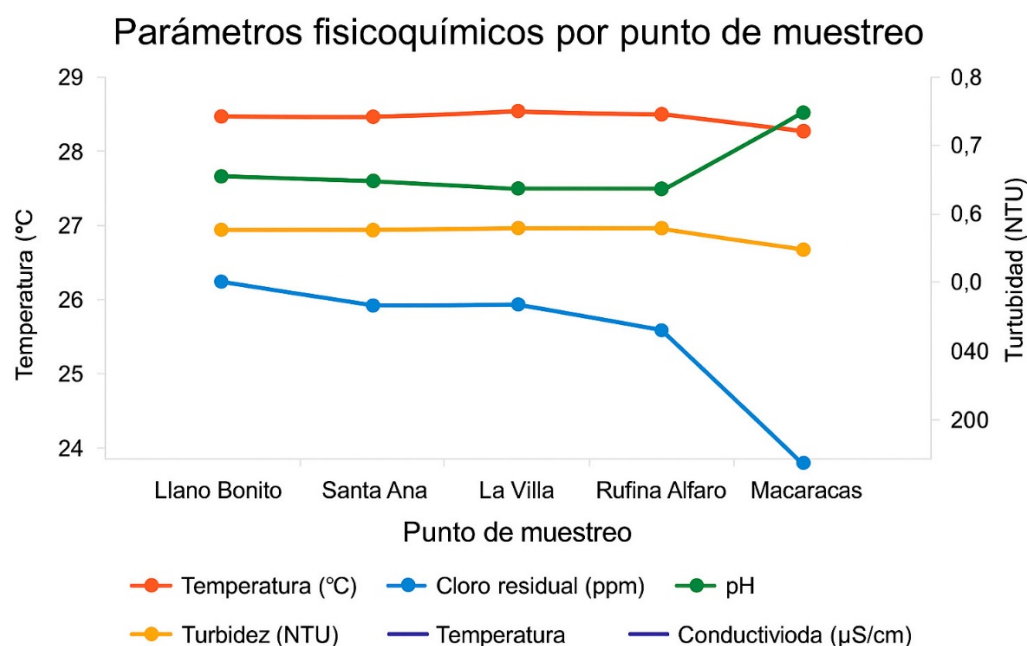


Figura 5. Variación de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, turbidez, conductividad y cloro residual) en los puntos de muestreo de redes de distribución y plantas potabilizadoras de la región de Azuero.

DISCUSIÓN

La presencia de ooquistes de *Cryptosporidium spp.* y formas biológicas de helmintos en los sistemas de abastecimiento de agua potable de la región de Azuero evidencia fallas parciales en las barreras de tratamiento y la vulnerabilidad de las fuentes superficiales a la contaminación fecal. La elevada resistencia de *Cryptosporidium* a la cloración, ampliamente documentada en la literatura^{1-4, 2, 7, 8}, constituye un desafío para los sistemas convencionales de potabilización que dependen principalmente de la desinfección química. Nuestros resultados concuerdan con estudios previos que reportan la persistencia de ooquistes incluso en redes de distribución con parámetros fisicoquímicos adecuados^{14, 16, 21}.

El hallazgo de 7 ooquistes/1000 L en el Río La Villa y 5 ooquistes/1000 L en Río Parita se alinea con reportes en fuentes superficiales de Venezuela¹⁴, Ecuador¹⁶ y Colombia²¹, donde la contaminación por escorrentía agrícola, descargas domésticas y actividad pecuaria es un factor predominante. La alta carga detectada en ríos de Azuero sugiere una presión ambiental similar, especialmente en zonas con intensa producción agropecuaria y ausencia de protección de las cuencas, lo que favorece la entrada de ooquistes y huevos de helmintos al sistema de captación^{9, 10, 19}.

La presencia de helmintos en valores elevados (14 y 9/1000 L) exclusivamente en agua cruda confirma que estos organismos, de mayor tamaño y sedimentación, no están logrando ingresar a las redes tratadas. Esto concuerda con estudios sobre lodos y fuentes agrícolas que señalan que los helmintos son indicadores sensibles de contaminación fecal en matrices expuestas a actividades rurales^{9, 10}. Su ausencia en las redes de distribución sugiere que los procesos de floculación, sedimentación y filtración han sido parcialmente efectivos, a diferencia del caso de *Cryptosporidium*, cuyas partículas de 4–6 µm poseen mayor capacidad de atravesar filtros y resistir la desinfección^{2, 7}.

Un hallazgo crítico del estudio fue la relación directa entre ausencia de cloro residual y aumento de la carga parasitaria, especialmente en la planta de Macaracas, donde se registraron 0 ppm de cloro y una concentración de 6 ooquistes/1000 L. Este comportamiento refleja lo descrito en las guías de la OMS¹², que enfatizan que la desinfección química solo es efectiva si se mantiene un residual mínimo continuo en la red. Además, concuerda con estudios que demuestran que *Cryptosporidium* no es eliminado por cloro libre a concentraciones operativas convencionales^{2,3,7}, por lo que la ausencia total de cloro facilita aún más su persistencia.

La comparación con estudios regionales refuerza esta conclusión. Investigaciones en Venezuela¹⁴, Ecuador¹⁶, las Islas Canarias¹⁷ y Colombia²¹ han reportado resultados similares: la presencia de *Cryptosporidium* es significativamente mayor en sistemas donde el control operacional del cloro es deficiente o inestable. De igual forma, análisis históricos de calidad de agua en zonas rurales latinoamericanas indican que la variabilidad en la desinfección, sumada a la alta carga fecal ambiental, favorece la transmisión hídrica de protozoos y helmintos^{15,18}.

Los análisis fisicoquímicos mostraron estabilidad en pH, turbidez y temperatura, valores dentro de los rangos aceptados por la OMS¹² y consistentes con estudios de agua envasada y distribuida de Venezuela¹¹ y Colombia²¹. No obstante, la conductividad elevada y el cloro residual igual a cero en Macaracas sugieren fallos operacionales que deben ser corregidos. Estos parámetros son críticos, ya que su variabilidad puede afectar la eficiencia de los procesos de coagulación, filtración y desinfección²⁰.

Los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de reforzar la vigilancia microbiológica y parasitológica en sistemas de abastecimiento de agua, especialmente en zonas donde la presión agrícola y pecuaria aumenta la carga de patógenos ambientales. La evidencia generada coincide con estudios globales que destacan la necesidad de métodos complementarios a la cloración, tales como filtración avanzada, coagulación optimizada o tecnologías UV, para controlar protozoos resistentes como *Cryptosporidium*^{2,7,18}.

Asimismo, los resultados aportan información valiosa para estrategias de gestión de riesgo bajo el enfoque Una Salud, donde la interacción entre contaminación ambiental, salud animal y salud humana juega un papel central¹. La integración de monitoreo parasitológico, control operacional y protección de cuencas es esencial para reducir la probabilidad de transmisión hídrica.

En conjunto, este estudio contribuye a la evidencia regional que demuestra que, aunque los sistemas de potabilización reducen la carga parasitaria, la presencia persistente de protozoos y la ausencia de cloro residual en ciertos puntos representan un riesgo sanitario significativo, especialmente para poblaciones vulnerables como niños y personas inmunocomprometidas^{2,8}.

En conjunto, los resultados de este estudio demuestran la importancia de fortalecer las barreras de tratamiento y la vigilancia microbiológica de los sistemas de abastecimiento de agua en la región de Azuero. Se recomienda optimizar los procesos de desinfección y garantizar la presencia constante de cloro residual, implementar medidas complementarias como filtración reforzada o desinfección UV para el control de ooquistes resistentes, y mejorar la protección de las cuencas ante la influencia de actividades pecuarias y descargas contaminantes. Integrar la vigilancia parasitológica dentro del monitoreo rutinario resulta esencial para reducir el riesgo de transmisión hídrica, especialmente en zonas donde la presión ambiental de patógenos es elevada.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio revelan que las fuentes superficiales de la región de Azuero presentan una elevada carga parasitaria, destacando la presencia significativa de *Cryptosporidium spp.* y helmintos en los ríos La Villa y Parita, lo que evidencia la fuerte influencia de actividades pecuarias y contaminación fecal en las cuencas. Si bien los sistemas de potabilización logran reducir de manera notable la mayoría de las formas parasitarias, la persistencia de ooquistes de *Cryptosporidium* en redes de distribución confirma su resistencia a la desinfección convencional y subraya la necesidad de fortalecer las barreras de tratamiento. La ausencia total de cloro residual en la planta de Macaracas, asociada directamente con las mayores cargas parasitarias detectadas en agua tratada, representa un hallazgo crítico que evidencia fallos operacionales y la importancia del control continuo de desinfección. En contraste, la eliminación casi completa de helmintos en las redes tratadas demuestra que los procesos de filtración y clarificación son eficaces para organismos de mayor tamaño. Los parámetros físicoquímicos se mantuvieron en rangos aceptables, salvo en puntos donde la ausencia de cloro y la mayor conductividad sugieren desviaciones del proceso.

Este estudio aporta evidencia novedosa y única para Panamá, al integrar de manera simultánea el análisis parasitológico, físicoquímico y geográfico en un sistema de abastecimiento real, documentando por primera vez la relación directa entre fallos de cloración y persistencia de patógenos resistentes en redes de distribución de agua potable en Azuero. Asimismo, constituye un referente regional al demostrar con datos locales la necesidad de incorporar vigilancia parasitológica en los programas rutinarios de control de calidad del agua, especialmente en sistemas dependientes de fuentes superficiales expuestas a presiones agrícolas y ganaderas. Estos hallazgos fortalecen el marco de evidencia para mejorar la gestión del riesgo hídrico y proteger la salud pública en contextos similares de América Latina.

Contribución de Autoría

Conceptualización: A. Sánchez, F. Tuñón, A. De La Cruz. Metodología: A. Sánchez, F. Tuñón, A. De La Cruz. Trabajo de campo y recolección de muestras: A. Sánchez, F. Tuñón. Procesamiento de laboratorio: A. Sánchez, F. Tuñón. Curación de datos: A. Sánchez, F. Tuñón. Análisis formal: A. Sánchez, F. Tuñón, A. De La Cruz. Visualización y elaboración de figuras: A. Sánchez, F. Tuñón. Redacción—borrador original: A. Sánchez, F. Tuñón. Redacción—revisión y edición: A. De La Cruz. Supervisión: A. De La Cruz. Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito.

Financiación

Este estudio no recibió financiación externa específica.

El procesamiento editorial (APC) fue cubierto bajo el esquema del BioNatura Institutional Publishing Consortium (BIPC), sin cargo para los autores.

Declaración del Comité de Ética

No aplica.

El estudio no involucró ensayos con seres humanos ni con animales.

Las muestras analizadas fueron de fuentes ambientales y su procesamiento siguió protocolos estándar reconocidos internacionalmente (APHA, OMS).

Declaración de Consentimiento Informado

No aplica.

El estudio no involucró participantes humanos ni recolección de información personal o sensible.

Disponibilidad de Datos

Todos los datos utilizados en este estudio provienen de:

- (i) muestras recolectadas directamente en campo por el equipo investigador,
- (ii) análisis parasitológicos y fisicoquímicos realizados en laboratorio,
- (iii) registros propios generados durante las mediciones.

Los datos adicionales, incluidos los registros crudos de laboratorio, pueden ser solicitados al autor de correspondencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Análisis Ambiental de Chitré, por el suministro de insumos y el apoyo logístico durante el procesamiento de las muestras.

De igual manera, se expresa reconocimiento a las autoridades locales y a las comunidades de la región de Azuero por facilitar el acceso a los puntos de muestreo y colaborar con la logística del trabajo de campo.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Las instituciones involucradas no influyeron en el diseño del estudio, la recolección de datos, el análisis, la interpretación de resultados ni en la decisión de publicar este manuscrito.

Declaración de Uso de Datos e Inteligencia Artificial

Todas las figuras, tablas y diagramas de este artículo fueron elaborados por los autores a partir de datos obtenidos mediante muestreo de campo, análisis parasitológico y determinaciones fisicoquímicas propias.

Algunas imágenes (Figuras 1–5) fueron optimizadas, estandarizadas o reescaladas mediante herramientas de apoyo asistidas por inteligencia artificial (OpenAI), con fines exclusivamente gráficos y de edición visual.

Ningún sistema de IA generó datos científicos, procesó mediciones ni produjo interpretaciones de resultados.

La IA generativa se empleó únicamente para corrección gramatical, estandarización editorial y mejora visual, bajo supervisión humana total.

Todos los resultados y representaciones fueron verificados por los autores en cumplimiento con la Política de IA Asistida de BioNatura Journal:

<https://bionaturajournal.com/artificial-intelligence--ai-.html>

REFERENCIAS

1. Hernández-Gallo N, Hernández-Flórez LJ, Cortés-Vecino JA. Criptosporidiosis y «Una Salud». Rev Salud Pública. 2018;20(1):138-43.
2. Checkley W, White AC, Jaganath D, Arrowood MJ, Chalmers RM, Chen XM, et al. A review of the global burden, novel diagnostics, therapeutics, and vaccine targets for *Cryptosporidium*. Lancet Infect Dis. 2015;15(1):85-94.
3. Şahin S, Ağaoğlu S, Alemdar S. *Cryptosporidium ve Cryptosporidiosis*. 2018. p. 35-41.

4. Pezzani BC, Radman NE, Gamboa MI, Mastrantonio Pedrina FL. *Cryptosporidium spp* [Internet]. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata; 2023 [citado 15 Nov 2025]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149190>
5. Uluhan Bagci Ö, Caner A. miRNA expression profile in ileocecal adenocarcinoma cells infected with *Cryptosporidium*. Mikrobiyol Bul [Internet]. 2022 [citado 15 Nov 2025];56(3). Disponible en: <https://avesis.ankara.edu.tr/yayin/1ff3acc6-2f7a-4822-9687-491d37f9712c/mirna-expression-profile-in-ileocecal-adenocarcinoma-cells-infected-with-cryptosporidium>
6. Aksoy U. Bioterrorism, parasites as potential bioterrorism agents and biosecurity studies. Mikrobiyol Bul. 2006;40(1-2):129-39.
7. Cacciò SM, Putignani L. Epidemiology of human cryptosporidiosis. En: Cacciò SM, Widmer G, editores. *Cryptosporidium: parasite and disease* [Internet]. Vienna: Springer; 2014 [citado 15 Nov 2025]. p. 43-79. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1562-6_2
8. Savaş Şen Z, Taşar MA, Demirel Kaya F, Güneş A, Vezir E, Hızarcıoğlu Gülşen H. A rare complication of acute diarrhea caused by *Cryptosporidium*: possible hepatobiliary involvement in an immunocompetent child. Mikrobiyol Bul. 2019;53(4):464-71.
9. Jiménez B, Maya C, Sánchez E, Romero A, Lira L, Barrios JA. Microbiological content of sludge in countries with low and high pathogen content: comparison of quantity and quality. Water Sci Technol. 2002;46(10):17-24.
10. Campos MC, Beltrán M, Fuentes N, Moreno G. Helminth eggs as parasitic indicators of fecal contamination in irrigation water, biosolids, soils and pastures. Biomédica. 2018;38(1):42-53.
11. Silva J, Ramírez-Mérida L, Alfieri A, Rivas G, Sánchez M. Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria en agua potable envasada en San Diego, Carabobo. Rev Soc Venez Microbiol. 2004;24:46-9.
12. World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: WHO; 2011. 541 p.
13. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [Internet]. 20th ed. [citado 15 Nov 2025]. Disponible en: https://srjcestaff.santarosa.edu/~oraola/Assets/APHA_SM_20.pdf
14. Cermeño J, Arenas J, Yori N, Hernández I. *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* en aguas crudas y tratadas del estado Bolívar (Venezuela). Univ Cienc Tecnol. 2008;12(46):39-42.
15. Escobar Tovar C. Evaluación de la presencia de *Cryptosporidium spp* y *Giardia spp* en aguas crudas y tratadas en zonas rurales del Valle de Aburrá. 2023 [citado 26 Nov 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/33250>
16. Marcillo ABB, Velasco MLZ. Estudio microbiológico de la calidad de agua potable en la parroquia Febres Cordero, Guayaquil. Rev Científica Innov Educ Soc Actual ALCON. 2025;5(3):476-87.
17. Foronda P, De Los Alimentos MUESYC. *Cryptosporidium* y *Giardia* como parásitos de transmisión hídrica en las Islas Canarias [Internet]. Universidad de La Laguna; 2021. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/23153>
18. Fradette MS, Culley AI, Charette SJ. Detection of *Cryptosporidium spp.* and *Giardia spp.* in environmental water samples: past advances and new perspectives. Microorganisms. 2022;10(6):1175.
19. Castillo A, Rovira D. El agua como factor de riesgo para la transmisión de protozoarios y helmintos. Rev Plus Econ. 2020;8(1):47-67.
20. Valdés Bravo DE, Plancarte P, Nava N, Chávez C, Ptatscheck P. Diversidad de helmintos presentes en aguas crudas y potables de la planta potabilizadora Centenario de Pacora [Internet]. 2022. Disponible en: https://up-rid.up.ac.pa/6389/1/danelys_valdes.pdf

21. Lora-Suarez FM, Sierra-Rengifo L, Loango-Chamorro N. Identificación de parásitos y bacterias en fuentes de agua de Circasia, Quindío. Rev Investig Univ Quindío. 2022;34(S4):48-61.

Received: 26 Oct 2025 / **Accepted:** 27 Nov 2025 / **Published (online):** 15 Dec 2025 (Europe/Madrid)

Citation

Sánchez A, Tuñón F, De La Cruz A. Detección de *Cryptosporidium spp.* y helmintos en sistemas de abastecimiento de agua potable en Azuero (Panamá): fallos de tratamiento y riesgo para la salud pública. *BioNatura Journal*. 2025; 2(4): 5.

<https://doi.org/10.70099/BJ/2025.02.04.5>

Correspondencia

Autor de correspondencia:

Dr. Alexis De La Cruz

Email: alexis.delacruz@up.ac.pa

Peer Review Information

BioNatura Journal agradece la valiosa contribución de los revisores anónimos al proceso editorial.

La coordinación regional del proceso de revisión se realizó bajo el **BioNatura Institutional Publishing Consortium (BIPC)**, con participación de:

- **Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)**
- **Universidad de Panamá (UP)**
- **RELATIC (Panamá)**

Con apoyo de la plataforma:

<https://reviewerlocator.webofscience.com/>

Publisher Information

Publicado por **Clinical Biotec S.L.** (Madrid, España) como *publisher of record* del **BioNatura Institutional Publishing Consortium (BIPC)**.

Instituciones co-publicadoras:

- Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
- Universidad de Panamá (UP)
- RELATIC (Panamá)

Lugares oficiales de publicación:

Madrid (España), Tegucigalpa (Honduras), Panama City (Panamá)

Online ISSN: 3020-7886

Open Access Statement

Todos los artículos publicados en *BioNatura Journal* están disponibles de forma inmediata, gratuita y permanente en acceso abierto, sin costos para lectores ni autores.

Publisher's Note

BioNatura Journal se mantiene neutral respecto a reclamaciones jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright & License

© 2025 por los autores.

Este artículo se publica bajo la licencia **Creative Commons Attribution (CC BY 4.0)**, que permite uso, distribución y reproducción sin restricciones, siempre que se cite adecuadamente el trabajo original.

Licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Governance

Para revisar la gobernanza editorial, responsabilidades, procesos del consorcio y estructura del BIPC, consulte:

<https://clinicalbiotec.com/bipc>