DOI: 10.24850/j-tyca-2026-06-08

Artículos

Evaluación técnica, legal y operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Panamá

Technical, legal and operational assessment of wastewater treatment plants in Panama

Ramón Franco[1], ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3190-1598

Miguel González[2], ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7277-6230

Ana C. González-Valoys[3], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5963-2289

[1]Universidad Tecnológica de Panamá-Facultad de Ingeniería Civil, Ciudad de Panamá, Panamá, ramon.franco@utp.ac.pa

[2]Universidad Tecnológica de Panamá-Facultad de Ingeniería Civil, Ciudad de Panamá, Panamá, miguel.gonzalez6@utp.ac.pa

[3]Universidad Tecnológica de Panamá-Facultad de Ingeniería Civil, Ciudad de Panamá, Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, ana.gonzalez1@utp.ac.pa

Autora para correspondencia: Ana C. González-Valoys, ana.gonzalez1@utp.ac.pa

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Resumen

Este artículo analiza el estado actual del manejo de aguas residuales en barriadas urbanas de Panamá, con énfasis en las fallas operativas y estructurales de las plantas de tratamiento (PTAR). A través de una revisión documental técnica, legal y científica se identifican deficiencias en la planificación, construcción y operación de estos sistemas, lo que ha contribuido a la contaminación de cuerpos de agua, y al deterioro ambiental y social. Se examina el marco normativo vigente en el país, incluyendo leyes como la Ley 41 de 1998 (Gaceta Oficial de Panamá, 1998) y el Decreto 59 de 2011, y se evidencia una fiscalización institucional débil, especialmente en zonas de crecimiento acelerado. El estudio incluye casos donde las PTAR operan por debajo de su capacidad o han sido abandonadas, generando impactos en la salud pública, el bienestar comunitario y el valor de las propiedades. También se analizan vacíos legales que dificultan el seguimiento y la rendición de cuentas. Como parte de la propuesta, se plantean estrategias de mejora, como la adopción de tecnologías apropiadas, fortalecimiento de la fiscalización y aprendizaje de modelos exitosos aplicados en países latinoamericanos. En este contexto, la investigación demuestra que no basta con contar con infraestructura o legislación vigente: es imprescindible repensar el modelo de gestión del saneamiento desde una perspectiva integral, que articule control institucional efectivo, mantenimiento técnico sostenido, y responsabilidad compartida entre actores públicos y privados. Solo así será posible avanzar hacia soluciones sostenibles que respondan a las necesidades reales de barriadas urbanas, preservando el entorno en áreas vulnerables.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Palabras clave: agua residual, tratamiento del agua, legislación ambiental, saneamiento, gestión de los recursos hídricos, zona urbana, Panamá.

Abstract

This article analyzes the current state of wastewater management in urban slums in Panama, with emphasis on the operational and structural failures of wastewater treatment plants. Through a technical, legal and scientific documentary review, it identifies deficiencies in the planning, construction and operation of these systems, which have contributed to the contamination of water bodies and to environmental and social deterioration. The current regulatory framework in the country is examined, including laws such as Law 41 of 1998 and Decree 59 of 2011, and weak institutional oversight is evidenced, especially in areas of accelerated growth. The study includes cases where wastewater treatment plants operate below capacity or have been abandoned, generating impacts on public health, community welfare and property values. Legal loopholes that hinder monitoring and accountability are also analyzed. As part of the proposal, strategies for improvement are proposed, such as the adoption of appropriate technologies, strengthening oversight and learning from successful models applied in Latin American countries. In this context, the research shows that it is not enough to have infrastructure or legislation in place: It is essential to rethink the sanitation management model from an integral perspective, which articulates effective institutional control, sustained technical maintenance and shared responsibility between public and private actors. Only in this way will it be possible to move towards sustainable solutions

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

that respond to the real needs of urban neighborhoods, preserving the environment in vulnerable areas.

Keywords: waste water, water pollution, water treatment, water resources management, sanitation, urban areas, Panama.

Recibido: 04/08/2025

Aceptado: 28/02/2026

Publicado *ahead of print*: 07/05/2026

Versión final: 01/11/2026

Introducción

El acelerado crecimiento urbano en América Latina, particularmente en Panamá, ha impulsado la expansión de barriadas que carecen de infraestructura básica adecuada, entre ellas sistemas eficientes para el tratamiento de aguas residuales. En muchas de estas comunidades, las plantas de tratamiento (PTAR) operan con fallas estructurales, bajo mantenimiento, deficiencias en su diseño original o incluso sin un control técnico efectivo (Guzmán-Sánchez *et al*., 2024). Tal situación no solo limita la capacidad de estos sistemas para eliminar contaminantes del agua, sino que representa una amenaza directa para la salud humana, el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos, y la calidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas cercanas (Babuji *et al*., 2023).

Las aguas residuales urbanas, cargadas de materia orgánica, nutrientes y otras sustancias potencialmente tóxicas, si no son tratadas de forma adecuada pueden provocar fenómenos como la eutrofización,

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

pérdida de biodiversidad y deterioro de los cuerpos de agua (Mena *et al*., 2017). Dicha problemática no es exclusiva de Panamá, ya que casos documentados en otros países latinoamericanos revelan una realidad compartida: plantas colapsadas, equipos fuera de servicio, operadores sin la capacitación necesaria y una supervisión institucional insuficiente; todo ello provocan condiciones que intensifican los niveles de contaminación y generan problemas sociales (Medrano *et al*., 2020).

El tratamiento de las aguas residuales representa una estrategia clave de mitigación ambiental que contribuye a disminuir y controlar la contaminación hacia los ecosistemas (Movilla, 2012). Aunque existen avances tecnológicos en el sector, muchas plantas aún operan en condiciones críticas, lo que evidencia que el problema no radica solo en la tecnología, sino también en su implementación, gestión y seguimiento.

Frente a este panorama es urgente reflexionar: ¿están las plantas de tratamiento de aguas residuales preparadas para responder a las exigencias actuales y futuras? ¿Se está realizando un mantenimiento adecuado? ¿Qué entidades asumen la responsabilidad operativa y bajo qué normativa se rigen? Estas preguntas son clave para comprender el verdadero alcance del problema.

El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión científica del estado actual de las PTAR en barriadas urbanas, con énfasis en Panamá, analizando las causas estructurales, operativas y legales de su mal funcionamiento. A partir del análisis de estudios nacionales e internacionales, se plantearán estrategias orientadas a mejorar el desempeño de estas plantas, fortalecer la fiscalización ambiental y evitar que la descarga de aguas contaminadas continúe amenazando los cuerpos de agua, los suelos y las especies que dependen de ellos. En un contexto de crisis climática y presión sobre los recursos hídricos, gestionar el agua

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de manera integral y sostenible ya no es una opción, sino una necesidad impostergable (Movilla, 2012).

Materiales y métodos

Este artículo se desarrolló bajo una metodología cualitativa de tipo descriptiva y analítica, orientada a la revisión profunda de información científica, técnica y legal relacionada con el funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en barriadas urbanas de Panamá.

Para la recopilación, organización y citación de la bibliografía utilizada se empleó el gestor de referencias Mendeley, lo que permitió una gestión eficiente de los documentos y fuentes académicas pertinentes. Las referencias seleccionadas se clasificaron en categorías temáticas, como: funcionamiento y fallas en PTAR urbanas; impactos ambientales y sanitarios de aguas residuales sin tratar, y legislación panameña sobre vertidos y control ambiental.

Con el fin de abordar la dimensión legal del problema, se llevó a cabo la revisión de leyes, decretos y normativas técnicas vigentes en Panamá que regulan el tratamiento y la disposición de aguas residuales. Entre los instrumentos normativos analizados se encuentran la Ley 41 de 1998 (Ley General de Ambiente) (Gaceta Oficial de Panamá, 1998), el Decreto Ley No. 59 de 2011, la Ley No. 44 de 2002, así como las normas COPANIT 35 y 39 relacionadas con límites de descarga. Estos documentos sirvieron de base para una evaluación detallada del entorno regulador que incide en el desempeño y control de las PTAR en el país.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resultados y discusión

Marco normativo y legal de Panamá

En Panamá, las normas que regulan la gestión de aguas residuales son claras y específicas, pero su aplicación está lejos de ser efectiva. La Ley 41 de 1998 (Ley General del Ambiente) (Gaceta Oficial de Panamá, 1998) establece la obligación de prevenir y controlar la contaminación ambiental, asignando al Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) la función de autoridad reguladora (Ley 41 de 1998) (Gaceta Oficial de Panamá, 1998). Panamá tiene reglamentos técnicos que definen límites máximos permisibles, entre estos: el reglamento técnico DGNTI- COPANIT 35- 2019 (MICI, 2019), que define los requisitos para vertidos de aguas residuales domésticas a cuerpos superficiales; y el reglamento técnico DGNTI- COPANIT 39- 2023 (MICI, 2023), que define los requisitos para vertidos de aguas residuales domésticas al sistema de alcantarillado sanitario. Están complementados por los reglamentos DGNTI- COPANIT 24- 1999 (MICI, 1999), que regula la reutilización de aguas residuales tratadas, y el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 47- 2000 (MICI, 2000), que regula la disposición de lodos conforme a principios de sostenibilidad.

A pesar de este sólido marco legal, su implementación sigue siendo deficiente en zonas urbanas de crecimiento acelerado. De acuerdo con el Plan Maestro de Saneamiento de Arraiján y La Chorrera, el 33 % de los hogares vierte aguas residuales sin tratamiento; el 68 % de los tanques sépticos están colapsados, y el 17 % de las PTAR no operan o funcionan de forma deficiente (Programa Saneamiento de Panamá, 2016). Asimismo, se ha identificado que en sectores como Panamá Este y Panamá Norte muchas comunidades carecen de alcantarillado, dependen

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de sistemas informales, o descargan en ríos y quebradas (Hispania informa, 2026; La Nación, 2006). Aunque persiste un avance en construcción de redes y plantas, el programa enfrenta retrasos financieros, técnicos y sociales que han limitado su capacidad para cerrar brechas en zonas vulnerables.

Si bien el país cuenta con una legislación vigente que establece directrices para el manejo de aguas residuales, múltiples casos documentados en distintos puntos de la nación reflejan fallas recurrentes en el diseño, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento. Tales situaciones evidencian no solo un incumplimiento técnico y legal, sino también una débil fiscalización institucional. A continuación se presentan algunos ejemplos que ilustran cómo estas deficiencias operativas generan impactos negativos y ponen en riesgo la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento.

En agosto de 2024, MiAmbiente ordenó la paralización de un proyecto residencial en Las Mañanitas debido a que los efluentes vertidos superaban los parámetros permitidos y la comunidad realizó reiteradas denuncias al respecto. Dicho fallo, confirmado por una inspección técnica del entorno, motivó una sanción administrativa para evitar un riesgo directo para la salud de la ciudadanía y la conservación de la naturaleza (MiAmbiente, 2024). Esta acción demuestra que, aunque los encargados de PTAR pueden estar sujetos al marco regulador, la supervisión y sanción solo se aplican al detectar públicamente el problema.

Una auditoría ambiental realizada en 2019 al Hospital Anita Moreno demostró que las descargas de aguas residuales incumplían varios límites establecidos en el Reglamento Técnico DGNTI- COPANIT 35- 2000 (MICI, 2000) de acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 1 (Universidad

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnológica de Panamá, 2020), superándose los valores de coliformes termotolerantes, coliformes totales y *E. coli.*

Tabla 1. Coliformes fecales en efluente de la PTAR del Hospital Anita Moreno vs. norma vigente.

Parámetro	Límite máximo permitido	Valor encontrado	Cumplimiento
Coliformes termotolerantes	≤ 500 NMP/100 ml	601 NMP/100 ml	No cumple
Coliformes totales	≤ 1 000 NMP/100 ml	1 258 NMP/100 ml	No cumple
E. coli	≤ 250 NMP/100 ml	278 NMP/100 ml	No cumple

Fuente: Universidad Tecnológica de Panamá (2020).

Los resultados evidencian un incumplimiento sistemático de los parámetros microbiológicos exigidos para vertimientos líquidos. Tanto los coliformes totales como los termotolerantes y *Escherichia coli* superan los límites permitidos, lo que indica una falla en la desinfección final del efluente. Este tipo de desviación representa un riesgo significativo para la salud pública y el ambiente, especialmente considerando que se trata de una instalación hospitalaria cuyos efluentes pueden contener patógenos resistentes o sustancias de difícil degradación.

Además de las posibles deficiencias operativas, como el mal funcionamiento de los procesos biológicos o la ausencia de un sistema de desinfección eficiente, estos hallazgos reflejan también una supervisión institucional insuficiente. La falta de fiscalización efectiva y continua limita la capacidad para identificar y corregir de manera oportuna estas fallas, lo que perpetúa el incumplimiento normativo, y aumenta la vulnerabilidad de los cuerpos receptores y la comunidad.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En la Tabla 2 se presenta un resumen de cuatro casos documentados en medios oficiales y reportes institucionales, donde se observa cómo la ausencia de fiscalización, la falta de ejecución técnica oportuna y la negligencia operativa por parte de entidades responsables han resultado en el incumplimiento parcial o total de disposiciones legales vigentes, lo cual se repite en diferentes sitios, como Vacamonte, Puerto Caimito, Pesé y Pacora.

Tabla 2. Casos de fallas operativas en PTAR urbanas y su incumplimiento normativo.

Caso/ubicación	Normativa relacionada	Falta o negligencia institucional	Implicación normativa
PTAR Panamá Oeste (Nex Noticias, 2026)	Decreto 59/2011, Ley 41/1998	Inexistencia de infraestructura sanitaria y vertimientos no controlados	Violación directa de los límites de vertido establecidos para aguas sin tratamiento previo
Puerto Caimito (MiAmbiente, 2020)	DGNTI-COPANIT 35-2019, Decreto 59/2011	Falta de mantenimiento de la planta; ausencia de monitoreo oficial	Las entidades no fiscalizaron el diseño y la operación conforme a la norma técnica
Pesé – Proyecto habitacional (El Digital Panamá, 2024)	DGNTI-COPANIT 35-2019, Ley 41/1998	No hubo control comunitario ni plan de manejo de residuos sólidos	Incumplimiento del deber de prevención y control de contaminación domiciliaria
Jardines de Pacora (MIVIOT, 2020)	Decreto 59/2011, DGNTI-COPANIT 35-2019	PTAR no entregada operativa; vertimiento sin autorización ni seguimiento	Se viola el control de efluentes y la supervisión ambiental obligatoria

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Estos casos demuestran que sí existen normas, como la paralización de obras por incumplimiento, el control técnico a partir de denuncias ciudadanas y las multas ambientales, pero también evidencian que las sanciones solo se aplican tras denuncias o inspecciones puntuales, no mediante un monitoreo sistemático. Numerosas plantas de tratamiento de aguas residuales permanecen sin operar o son abandonadas sin que se generen consecuencias jurídicas debido a la limitada capacidad institucional, la ausencia de supervisión continua y la falta de acciones preventivas por parte de las autoridades competentes.

Vacíos legales e institucionales

La legislación panameña presenta vacíos significativos que limitan su aplicación efectiva en el ámbito del tratamiento de aguas residuales, sobre todo en contextos residenciales urbanos. Uno de los principales problemas es la fragmentación institucional: entidades como el Ministerio de Salud (MINSA), el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) y el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) comparten competencias relacionadas con la autorización, operación y fiscalización de vertimientos, pero en la práctica carecen de mecanismos coordinados de supervisión y respuesta técnica. Esta problemática complica la rendición de cuentas y retrasa la atención a fallas operativas cuando ocurren.

Otra falencia identificada es la falta de obligatoriedad en la elaboración y el seguimiento de planes operativos para las PTAR. Las disposiciones legales no exigen, de forma uniforme, la existencia de manuales de operación, programas de mantenimiento preventivo o planes de contingencia actualizados. Asimismo, no se establece la publicación

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

periódica de resultados sobre la calidad de los efluentes, lo que impide a las comunidades acceder a información clave sobre el desempeño de los sistemas. Además, muchas de las PTAR ubicadas en barriadas urbanas no son gestionadas directamente por el Estado, sino por juntas comunales, asociaciones de vecinos o promotores inmobiliarios.

Según el Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2025 Agua para Todos (Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica, 2016), los gobiernos locales en Panamá presentan una capacidad técnica muy limitada para monitorear la calidad del agua o hacer cumplir los requisitos legales en estos casos. Tal situación deja a diversos sistemas sin supervisión efectiva, operando sin personal calificado ni protocolos técnicos formales (Jouravlev *et al*., 2021).

A ello se suma la autorregulación sin control externo, en particular en instalaciones pequeñas, que funcionan bajo responsabilidad privada sin auditorías independientes ni fiscalización continua por parte de las autoridades ambientales. Por último, las sanciones vigentes, como las multas de hasta 10 000 dólares, resultan desproporcionadamente bajas frente al costo real que implica remediar el daño ambiental causado y con frecuencia carecen de mecanismos de seguimiento que garanticen su cumplimiento (Ley 41 de 1998) (Gaceta Oficial de Panamá, 1998). En conjunto, estos vacíos normativos e institucionales permiten que muchas PTAR operen de manera deficiente durante años, sin consecuencias legales ni correcciones técnicas, lo que incrementa el riesgo ambiental y sanitario en las comunidades afectadas.

La experiencia regional evidencia que Panamá está rezagado. En Colombia se exige un Plan de Gestión de Vertimientos (PGV) con auditorías anuales y monitoreo obligatorio (Resolución 1514 de 2012 Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos, 2012) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2012); en Chile, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) impone inspecciones periódicas, multas severas y certificación operativa (SISS, 2025); y en Perú, los permisos ambientales incluyen estudios técnicos y participación ciudadana, con multas de hasta 36 millones de soles por incumplimiento (Resolución Directoral Nº 0079-2020-OEFA-DFAI) (Ministerio del Ambiente de Perú, 2020). Integrar estas prácticas permitiría a Panamá cerrar su brecha entre normativa y realidad operacional.

Panorama actual de las PTAR en Panamá Oeste

Las distintas plantas de tratamiento construidas para las urbanizaciones del sector oeste han aumentado en número en respuesta al crecimiento poblacional de la provincia. No obstante, a pesar de contar con estos sistemas de tratamiento de aguas residuales, muchas de ellas presentan fallas con el tiempo, lo que deriva en un funcionamiento inadecuado o incluso en su inoperatividad. Tales deficiencias pueden deberse a diversas causas que, combinadas con la escasa fiscalización por parte de las autoridades competentes, propician vertidos no controlados, y perjudican de gravedad la fauna y flora de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Estos sistemas no son los únicos que generan aportes de aguas grises y residuales. En Panamá Oeste existen poblados que no fueron desarrollados por promotoras inmobiliarias y que se han asentado de modo progresivo en distintos puntos de la provincia. En estos casos, se utilizan métodos alternativos de disposición de aguas residuales, como

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

letrinas o sistemas de tanque séptico, los cuales están expuestos a fallas constructivas o colapsos.

Según un estudio preliminar realizado por el Programa de Saneamiento de Panamá para el área de Arraiján, una gran parte de esta población vierte aguas residuales al ecosistema sin ningún tipo de tratamiento. La Tabla 3 revela una cobertura limitada del tratamiento de aguas residuales en los distritos de Arraiján y La Chorrera, donde solo el 26.7 % de la población está conectada a plantas de tratamiento (PTAR). Aunque un 39.78 % utiliza tanques sépticos, tanto colectivos como individuales, estos sistemas no siempre garantizan un tratamiento adecuado, sobre todo sin mantenimiento regular o supervisión técnica. Preocupa en particular que el 33.52 % de las aguas residuales se vierta sin tratamiento, lo cual representa un serio riesgo ambiental y sanitario. Esta situación evidencia la necesidad urgente de ampliar la cobertura del saneamiento formal y reforzar el control sobre las soluciones descentralizadas (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Tabla 3. Realidad sanitaria de los distritos de Arraiján y La Chorrera.

Concepto	**Porcentaje (%)**
Población que aporta agua residuales tratada en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	26.70
Población que aporta agua residuales tratada en taques sépticos colectivos	5.10
Población que aporta agua residuales tratada en taques sépticos individuales	34.68
Población que aporta agua residuales (sin tratar)	33.52
Total	**100.00**

Fuente: Programa Saneamiento de Panamá (2016).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

De acuerdo con la información de la Tabla 4 sobre el aforo realizado por el Programa de Saneamiento de Panamá en la provincia de Panamá Oeste se concluye que muchos de estos sistemas carecen del mantenimiento adecuado que requieren los tanques sépticos, o bien presentan un diseño deficiente en relación con la demanda que deben atender, estando el 68 % de los tanques sépticos colapsados por falta de mantenimiento, y el 17 % de las PTAR existentes no están operando.

Tabla 4. Análisis de aforo realizado en la provincia de Panamá Oeste.

Concepto	**Porcentaje**
Existen 124 tanques sépticos, solo 30 funcionan	68 % colapsado por falta de mantenimiento o por estar mal dimensionados para la demanda a la que actualmente operan
El 80.39 % del caudal de aguas servidas que llega a los tanques sépticos no se depura, pues ese es el volumen que llega a los tanques que no operan	
Existen 106 plantas de tratamiento de aguas residuales – tratamiento a nivel secundario	17 % no opera
El 10.04 % del caudal que llega a las plantas no se depura, pues ese es el volumen que llega a las plantas que no operan	

Fuente: Programa Saneamiento de Panamá (2016).

Fallas operativas de sistemas de tratamientos de aguas residuales y casos de estudio

Ante el evidente descuido de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que genera como resultado fallas en las mismas, se menciona a continuación algunas de ellas.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fallas técnicas comunes

Las fallas técnicas comunes según Ramírez (2000) son:

- Sobrecarga hidráulica o de carga orgánica: el sistema recibe más agua o más materia orgánica de la que fue diseñado para tratar, lo que ocasiona desbordes, mal tratamiento y descarga de agua sin depurar.
- Fallas en equipos electromecánicos: bombas, sopladores, agitadores, aireadores o compresores pueden fallar por desgaste, falta de mantenimiento o cortes eléctricos, lo cual da como resultado una paralización del proceso o funcionamiento parcial.
- Obstrucciones en tuberías y rejillas: acumulación de sólidos no biodegradables (plásticos, trapos, grasa, etc.) que impide el flujo, y genera retrocesos o reboses.
- Corto tiempo de retención: si el agua pasa muy rápido por las etapas de tratamiento, no hay suficiente tiempo para sedimentación o descomposición de la materia orgánica.
- Fallas en el sistema de lodos: acumulación excesiva de lodos en los tanques sin extracción regular puede provocar olores, reboses y pérdida de eficiencia.

Problemas de diseño o dimensionamiento

Los problemas de diseño o dimensionamiento (BossTech, 2024; Ibañez, 2023; Roque, 2021) son:

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Tanques sépticos mal dimensionados: mal cálculo de capacidad según la cantidad de usuarios. Dicha situación es muy común en urbanizaciones sin estudios hidráulicos adecuados.
- Falta de etapas complementarias: algunas plantas omiten procesos clave como la desinfección (cloración, rayos UV), lo que permite la liberación de patógenos al ambiente.
- Ausencia de sistemas de emergencia o respaldo: no hay equipos redundantes ni sistemas alternos (*by-pass*) para cuando falla algún componente crítico.

Fallas operativas o administrativas

Las fallas operativas o administrativas (BossTech, 2025; WaterAid, 2020) son:

- Falta de mantenimiento preventivo: limpieza de canales, engrasado de bombas, calibración de sensores, etcétera, no se realiza con la frecuencia debida.
- Operación por personal no capacitado: errores en la dosificación de químicos, tiempos de aireación o gestión de lodos por desconocimiento técnico.
- Deficiencia en el monitoreo y control: no se mide adecuadamente el pH, DBO, sólidos suspendidos o caudal, lo que impide detectar fallas a tiempo.

Factores externos

Los factores externos (Ibañez, 2023; Soto & Saavedra, 2015) son:

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Infiltración de agua de lluvia (I&I): durante lluvias, el agua entra al sistema por tuberías rotas o mal selladas, lo que disminuye la efectividad del tratamiento de las aguas residuales.
- Vandalismo o robo de equipos: robos de cables eléctricos, motores o tableros de control pueden dejar fuera de servicio instalaciones completas.
- Descarga de sustancias tóxicas: cuando usuarios vierten químicos industriales, grasas o solventes sin control, matan la biomasa del sistema biológico (reactores, lagunas, etc.).

Gestión de PTAR urbanas por el IDAAN: situación actual y desafíos

En la actualidad, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que han sido construidas por promotoras inmobiliarias para atender proyectos residenciales, y que posteriormente han sido traspasadas al Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), se encuentran bajo la operación directa de esta entidad. El IDAAN asume la administración y operación de estas infraestructuras una vez se haya formalizado el traspaso a través de un proceso administrativo. Este proceso, regulado por el Decreto Ejecutivo No. 268 del 6 de junio de 2008, puede extenderse desde seis meses hasta más de dos años, dependiendo del cumplimiento de los requisitos técnicos, operativos, legales y administrativos establecidos (Decreto Ejecutivo No. 268) (Ministerio de Salud, 2008).

Durante este periodo de transición, en el que el traspaso aún no ha sido aceptado formalmente por el IDAAN, la responsabilidad legal y

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

operativa de la planta sigue recayendo en la promotora. Esto implica que la empresa desarrolladora debe asumir los costos de operación, mantenimiento, personal técnico, monitoreo ambiental y gestión de residuos de acuerdo con las exigencias del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) y las normativas vigentes. En caso de deficiencias operativas, la promotora podría enfrentar sanciones administrativas y ambientales hasta que el IDAAN acepte formalmente la planta (Decreto Ejecutivo No. 268) (Ministerio de Salud, 2008).

Una vez que la planta es oficialmente transferida, su operación pasa a ser financiada por el IDAAN, una entidad autónoma del Estado, con personería jurídica y patrimonio propio. Dicha autonomía está establecida en la Ley No. 77 de 28 de diciembre de 2001, la cual le otorga independencia administrativa y financiera (Gaceta Oficial de Panamá, 2001). En particular, el Artículo 39 de esta ley faculta al IDAAN a establecer tarifas por los servicios que presta (incluyendo conexiones, instalación de medidores, cortes, y reinstalaciones), con el fin de generar ingresos propios que permitan cubrir los costos de funcionamiento, operación, rehabilitación y expansión de los sistemas bajo su jurisdicción (Ley No. 77 de 28 de diciembre de 2001) (Gaceta Oficial de Panamá, 2001).

A pesar de este marco legal y financiero, el IDAAN enfrenta serias limitaciones presupuestarias. Un reporte reciente del medio Panamá América indicó que la entidad enfrenta una deuda acumulada por parte de los usuarios que asciende a unos 106 millones de balboas, de los cuales un 76 % corresponde al segmento residencial (Lasso, 2024). Es importante destacar que esta deuda corresponde solo al servicio de agua potable y no incluye los costos relacionados con la operación de sistemas

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de alcantarillado ni de las plantas de tratamiento de aguas residuales bajo su control.

Como resultado de este déficit en la recaudación, el Estado panameño destina cada año un presupuesto adicional al IDAAN para cubrir parte de sus operaciones. Sin embargo, gran parte de estos fondos está enfocada principalmente en proyectos relacionados con el suministro de agua potable, relegando muchas veces las necesidades asociadas con la gestión de aguas residuales (Lasso, 2024).

Este escenario se vuelve aún más complejo ante el crecimiento acelerado de la población y la expansión de nuevos proyectos residenciales, los cuales requieren la construcción de nuevas PTAR. Este fenómeno representa un desafío significativo tanto para el IDAAN como para el Estado panameño, pues implica una creciente carga operativa y financiera. Por ello, es imperativo que se adopten medidas estratégicas, incluyendo el uso de nuevas tecnologías, la implementación de modelos de gestión compartida y la revisión de las políticas tarifarias, con el fin de garantizar la sostenibilidad del sistema y asegurar el acceso universal a servicios de saneamiento adecuados para la población.

Si bien el saneamiento es parte del mandato técnico del IDAAN, el Programa de Saneamiento de Panamá fue inicialmente asumido por el Ministerio de Salud (MINSA) debido a la naturaleza crítica del problema, vinculado directamente con la salud pública. La contaminación de ríos urbanos, la proliferación de enfermedades de origen hídrico y la falta de tratamiento de aguas residuales representaban una amenaza sanitaria nacional, por lo que el MINSA, como autoridad rectora en salud, asumió la coordinación del programa (Programa Saneamiento de Panamá, 2016). Además, se requería la articulación de diversas entidades del Estado y organismos financieros internacionales, lo cual demandaba una institución

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

con capacidad jurídica, técnica y administrativa para liderar un proyecto de esa magnitud. Aunque el IDAAN participa de forma activa y está destinado a operar muchas de las infraestructuras construidas, el MINSA fue designado como ente ejecutor para asegurar una implementación eficiente y con respaldo internacional (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Saneamiento en Panamá Oeste

En 2001, con el objetivo de ampliar la cobertura del alcantarillado sanitario, dotar de infraestructura para el tratamiento y disposición de aguas residuales, mejorar las condiciones sanitarias de la ciudad y reducir la contaminación en cuerpos de agua, el Ministerio de Salud aprobó el Plan Maestro Consolidado para el Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá, en cumplimiento de la normativa legal y ambiental vigente. Para su ejecución, se creó la Unidad Coordinadora del Programa (UCP), encargada de coordinar acciones y gestionar el financiamiento del Programa Saneamiento de Panamá (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Ante el acelerado crecimiento poblacional en los distritos de La Chorrera y Arraiján, el programa se amplió a estas zonas mediante el Decreto Ejecutivo No. 58 del 12 de febrero de 2015.

Esto da inicio a la planificación del Proyecto de Saneamiento de Panamá Oeste, el cual tiene como finalidad realizar las adecuaciones y construcción de un sistema de alcantarillado sanitario que cubra las necesidades y demandas actuales y futuras de estos distritos. Para tal fin, en junio de 2015, la Unidad Coordinadora del Programa adjudicó mediante la Resolución No. 772 la licitación abreviada por mejor valor No.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2015-0-12-0-15-AV-013678, que contemplaba los servicios de consultoría para los estudios técnicos de factibilidad de diseño básico para el saneamiento de los distritos de Arraiján y La Chorrera a la firma consultora Consorcio Sanidad Básica conformada por las empresas Proyectos, Ejecución, y Control de Obras (PROYECO) y Hazen and Sawyer, Profesional Corporation (Programa Saneamiento de Panamá, 2016). El 23 de septiembre de 2015 se firma el contrato No. UCP-SCBP-CC-03-2015 entre el Ministerio de Salud a través de la UCP y la firma consultora Consorcio Sanidad Básica. Dicho contrato incluía estudios básicos, alternativas de diseño conceptual, estudios de factibilidad, predimensionamiento, elaboración de presupuesto, especificaciones técnicas, elaboración de información técnica necesaria para la preparación de pliegos de cargos para diseño y construcción (incluyendo redes, colectoras, interceptores y planta de tratamiento de aguas residuales), asesorías especiales, y acompañamiento durante el periodo de búsqueda y obtención del financiamiento para la etapa de ejecución del proyecto (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Durante la ejecución de los estudios técnicos de factibilidad se conoció la grave situación de contaminación ocasionada por los vertidos de aguas residuales existentes hacia los cuerpos de agua o entornos. La mayoría de las viviendas cuenta con un sistema de tratamiento individual para el manejo de sus aguas negras; mientras que el drenaje de aguas grises se realiza a través de las cunetas a las vías públicas. Dichos sistemas de tratamiento pueden ir desde letrinas, fosas sépticas o pequeños tanques sépticos para el caso de vivienda individuales, mientras que en las urbanizaciones se presentan sistemas que conducen las aguas residuales a pequeñas plantas de tratamiento o tanques sépticos generalmente colapsados o sin mantenimiento, lo cual provoca el vertido

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de aguas residuales a ríos y quebradas sin tratamiento alguno (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Este vertido sin tratamiento alguno ha provocado una contaminación hídrica notable. Lugares donde años atrás la comunidad solía bañarse y recolectar agua o alimentos, hoy en día se catalogan como aguas de alto riesgo, donde no se permite ningún tipo de contacto con el líquido.

La Unidad Coordinadora del Programa lleva a cabo la Construcción del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de ambos distritos de la mano de diversos contratistas en diversas fases o por evaluar. De acuerdo con el Plan Maestro de Saneamiento de Panamá Oeste para los distritos de Arraiján y La Chorrera, se beneficiarán 8 corregimientos para el distrito de Arraiján y 18 para La Chorrera para un área total de 3 935 hectáreas. En cuanto a la población beneficiada, el proyecto tiene el potencial de mejorar las condiciones sanitarias de aproximadamente 210 000 familias en Arraiján y La Chorrera, teniendo en cuenta el año horizonte de 2050. En términos de habitantes, se proyectó que para 2050 el distrito de Arraiján tendrá 306 700 habitantes y el de La Chorrera 306 200 habitantes (Tabla 5) (Programa Saneamiento de Panamá, 2016).

Tabla 5. Población beneficiada estimada.

Distrito	Población censada 2010	Población estimada 2025	Población estimada 2050
Arraiján	230 311	300 979	306 700
La Chorrera	167 799	201 301	306 200

Fuente: sitio web del Programa de Saneamiento de Panamá.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En cuanto al sistema de recolección, se plantea separar los aportes de efluentes domésticos en dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): la primera ubicada en Arraiján Este, que recogería los sistemas de la parte norte de Arraiján (Burunga, Río Perico, Río Cáceres, Río Potrero), y la segunda ubicada en Puerto Caimito, que recogería la mayor parte de los sistemas de drenaje de la Chorrera y el resto de Arraiján.

El desarrollo del Proyecto está conceptuado en cuatro componentes: construcción de redes sanitarias, construcción de líneas colectoras, construcción del sistema interceptor y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Estos componentes se conjugan entre sí a fin de recolectar, transportar y tratar las aguas residuales generadas por la población de estos distritos. Tales obras y sus obras complementarias serán ejecutadas por fases para asegurar la consolidación del sistema, tal como se muestra en la Figura 1 (Programa Saneamiento de Panamá, 2016). Las obras empiezan en el Distrito de Arraiján en la fase 1 y 2; mientras que otras fases de Arraiján y La Chorrera se encuentran en estudio.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

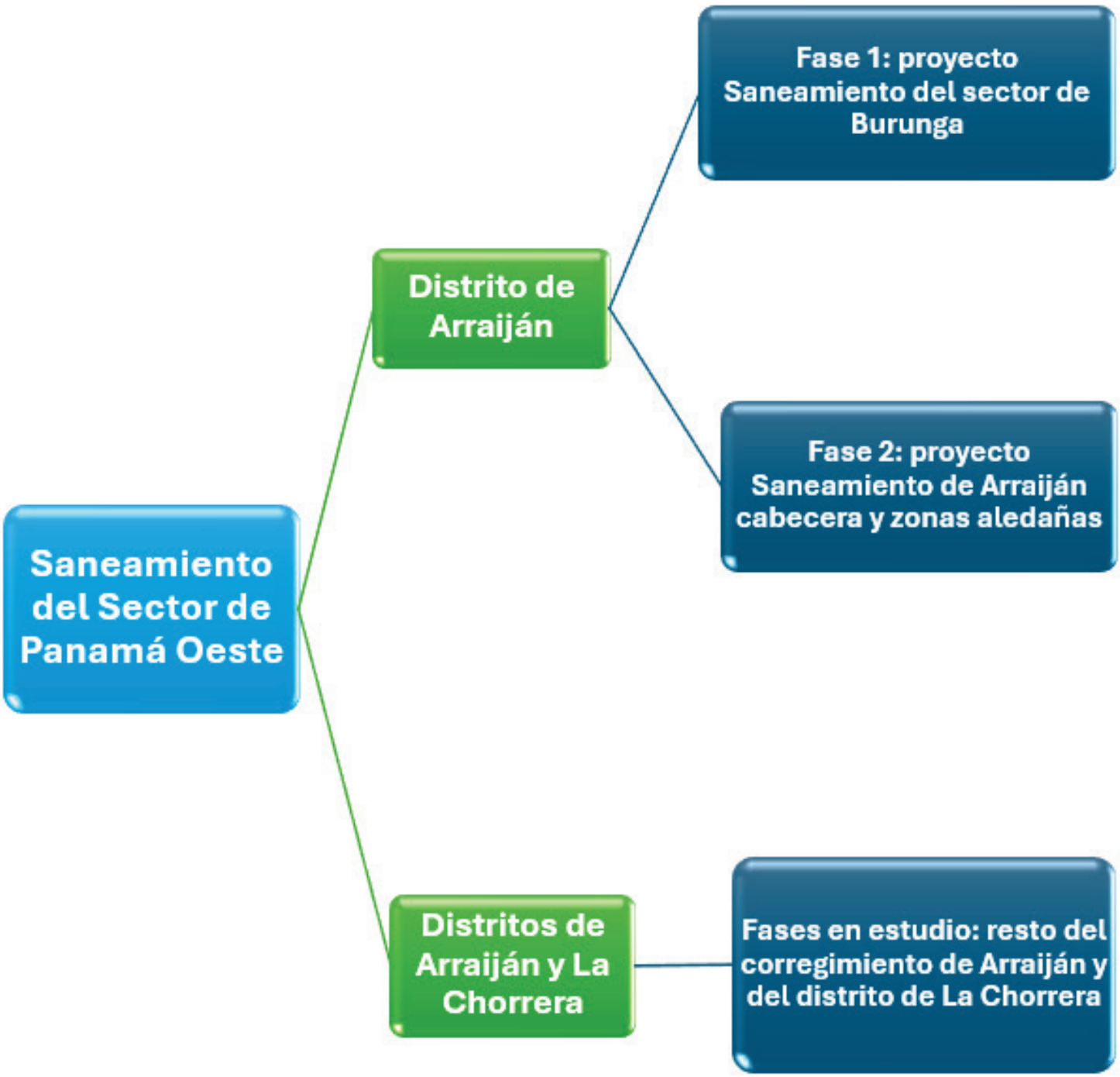


Figura 1. Distribución del Plan Maestro de Saneamiento de la provincia de Panamá Oeste. Fuente: Programa Saneamiento de Panamá (2016).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Impactos ambientales y sanitarios de un tratamiento deficiente

Las fallas estructurales en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son uno de los principales detonantes de impactos negativos en el ambiente, la salud pública y el bienestar social. En este proyecto se detallan los efectos según tres dimensiones clave: contaminación ambiental, afectaciones sanitarias y repercusiones socioeconómicas.

Contaminación de ríos, quebradas y acuíferos

Una de las causas más comunes de contaminación es el colapso físico de las plantas debido a un diseño inadecuado, falta de capacidad hidráulica o deterioro por ausencia de mantenimiento. Estas fallas estructurales provocan desbordes que permiten el vertimiento directo de aguas residuales a ríos, quebradas o suelos cercanos, causando daños directos a la calidad del agua y a los ecosistemas.

Un ejemplo que demuestre lo ya descrito se registró en el sector de Las Lajas, distrito de Dolega (Chiriquí), donde en 2023 colapsó una planta tras fuertes lluvias. El evento provocó la descarga de más de 600 m^3 de aguas residuales sin tratamiento a una quebrada aledaña, contaminando el cauce con carga orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos. La infraestructura no contaba con un sistema de contingencia ni con capacidad de retención suficiente, lo que obligó a MiAmbiente a intervenir de forma reactiva con acciones de oxigenación y extracción de residuos (Telemetro Reporta, 2024).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A nivel de aguas subterráneas, en zonas como Coclé, un estudio hidrogeoquímico reveló que algunas fuentes de aguas subterráneas utilizadas para consumo humano contenían elementos potencialmente tóxicos, como arsénico (As), plomo (Pb) y cobre (Cu), en concentraciones que a largo plazo pueden representar un riesgo para la salud humana (Domínguez *et al*., 2025); esto, sumado a las descargas de aguas residuales sobre las fuentes hídricas (MiAmbiente, 2021), puede poner en riesgo la salud de la población. Tal situación representa riesgos tanto carcinogénicos como no carcinogénicos, con mayor impacto sobre niños por su menor peso corporal y vulnerabilidad fisiológica (González-Valoys *et al*., 2025; Domínguez *et al*., 2025).

Uno de los casos más críticos y recientes en términos ambientales y sanitarios es el de la cuenca del río La Villa, principal fuente de abastecimiento para más de 100 000 personas en Herrera y Los Santos (Yangüez, 2025). Desde hace más de una década, esta cuenca ha recibido descargas sin tratamiento provenientes de barriadas urbanas, tanques sépticos desbordados y explotaciones porcinas. Investigaciones de MiAmbiente en 2025 identificaron múltiples puntos de vertido, incluyendo conexiones directas desde viviendas, lo que ha generado procesos de eutrofización, incremento de la turbidez, reducción del oxígeno disuelto y presencia de coliformes fecales por encima de los límites normativos (Yangüez, 2025). Aunque no se reportó un brote epidémico, el Ministerio de Salud recomendó limitar el contacto con el agua cruda por riesgos de gastroenteritis y patógenos fecales.

Estos impactos no son exclusivos de Panamá. En Colombia, el río Bogotá ha sufrido graves daños ambientales por el mal funcionamiento de sus PTAR urbanas, lo que ha ocasionado floraciones algales tóxicas, anoxia en humedales y afectaciones al riego agrícola aguas abajo

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(Escalante & Fajardo, 2022). En Veracruz, México, una planta obsoleta descargaba aguas negras sin tratamiento junto con gases tóxicos, como sulfuros, afectando a comunidades cercanas con síntomas respiratorios y molestias olfativas prolongadas (Mendivil, 2026).

Afectaciones sanitarias

Desde el punto de vista sanitario, las fallas generadas en el sistema de tratamiento incrementan la exposición directa o indirecta a aguas contaminadas, lo que eleva el riesgo de enfermedades infecciosas, como gastroenteritis aguda, hepatitis A, fiebre tifoidea, cólera, e infecciones cutáneas, oculares y respiratorias (Ali *et al*., 2025; Lin *et al*., 2022).

Estas afecciones se ven agravadas en zonas urbanas densas donde las PTAR fallan o no existen. En Pesé (Herrera), un proyecto habitacional presentó problemas en el sistema sanitario debido a obstrucciones y operación intermitente; como resultado, las aguas residuales circulaban en superficie, generando condiciones insalubres, olores intensos y posibles brotes infecciosos (MIVIOT, 2020).

Afectaciones en el bienestar social y valor de las propiedades urbanas

Las fallas en las PTAR no solo generan consecuencias ambientales y sanitarias, sino que también inciden de forma directa en el bienestar social de las comunidades y en la valoración de los entornos urbanos. La presencia de aguas servidas expuestas, olores desagradables y condiciones insalubres deteriora la calidad de vida de los habitantes, genera incomodidad permanente y contribuye al desarrollo de entornos

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

físicamente degradados (Rodríguez, 2017; Wiśniewska & Szyłak-Szydłowski, 2024).

Estos problemas suelen tener un efecto acumulativo sobre el tejido social. El mal estado de las infraestructuras de saneamiento afecta la percepción de seguridad ambiental, alimenta la desconfianza hacia las autoridades responsables y provoca sentimientos de abandono institucional. Además, puede generar conflictos vecinales, tensiones con promotores inmobiliarios o incluso procesos de desinversión urbana, en los que los propietarios pierden interés en mantener o mejorar sus viviendas ante un entorno deteriorado (WHO, 2020; García-Luna-Romero & Malvaceda-Espinoza, 2022).

En términos económicos, la contaminación visible o persistente por aguas residuales suele traducirse en una depreciación del valor de las propiedades afectadas. Las urbanizaciones o comunidades expuestas a vertimientos sin control tienden a perder atractivo en el mercado inmobiliario, lo cual limita las posibilidades de desarrollo urbano sostenible y afecta la estabilidad patrimonial de las familias (Moyano-Salcedo *et al*., 2021).

El deterioro del bienestar también se manifiesta en dimensiones emocionales y psicológicas. La convivencia diaria con ambientes contaminados puede generar estrés, ansiedad, malestar generalizado y una disminución del sentido de pertenencia con el entorno (Ventriglio *et al*., 2021). Esta pérdida de calidad de vida, aunque menos visible que las afectaciones físicas, representa una de las consecuencias más profundas y sostenidas de la gestión inadecuada de las aguas residuales en zonas residenciales (TAVSA, 2025).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Propuestas de mejora para la gestión integral y sostenible del tratamiento de aguas residuales en Panamá

Tecnologías de punta para modernización de plantas de tratamiento

Las aguas residuales domésticas pueden contener contaminantes emergentes, como fármacos, hormonas y productos de cuidado personal, que son descargados por la población a través de la orina o las heces, y llegan directamente a la red de alcantarillado sanitario (Caballero, 2024). Aunque la PTAR de Juan Díaz cuenta con tratamiento primario, secundario y terciario, su configuración actual, de tipo convencional, no garantiza la eliminación completa de estos compuestos, por lo que es posible que algunos persistan en el efluente tratado (Caballero, 2024); esta limitación representa una oportunidad clara para avanzar hacia una modernización tecnológica del sistema. Para mejorar la calidad del efluente y, a su vez, permitir la ampliación del servicio a sectores industriales, se propone la incorporación de tecnologías de tratamiento terciario avanzado, capaces de remover eficientemente estos contaminantes y adaptarse a las nuevas exigencias ambientales.

Al respecto destacan los procesos de oxidación avanzada (AOPs), como ozonización combinada con peróxido de hidrógeno o radiación UV, que permiten degradar compuestos químicos resistentes a tratamientos biológicos tradicionales (Cardoso *et al*., 2021).

Asimismo, la implementación de membranas de nanofiltración o de ósmosis inversa permitiría remover sales disueltas, metales pesados y contaminantes farmacéuticos. Para el tratamiento de residuos industriales

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

se recomienda adaptar módulos independientes dentro de la planta con procesos específicos, como biorreactores de membrana (MBR), adsorción con carbón activado granular (GAC) y biofiltros anaerobios de flujo ascendente (UASB) (Bernal-Romero-del-Hombre-Bueno *et al*., 2016; Rodríguez-Fernández-Alba *et al*., s.f.).

La incorporación de estas tecnologías permitiría extender el servicio a sectores industriales, lo cual generaría una fuente alternativa de ingresos para el sistema de saneamiento y aseguraría un mayor control sobre todos los generadores de residuos.

Economía circular

La economía circular propone el aprovechamiento integral de los recursos generados durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, transformando los residuos en insumos útiles, en concordancia con los Principios de Bellagio (Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe, 2017). Bajo este enfoque, los subproductos tradicionalmente considerados desechos (como el gas metano, los lodos fecales y el agua tratada) son revalorizados a través de estrategias de reciclaje, reducción y reutilización (3R) (Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe, 2017). Estas prácticas pueden aplicarse de manera sostenible mediante la generación de energía a partir de biogás (metano); la reutilización de lodos estabilizados como mejoradores de suelo en uso agrícola; y el uso de aguas tratadas para riego, refrigeración industrial o el uso en la construcción (Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe, 2017).

Para que este modelo sea técnica y socialmente viable, es fundamental desarrollar programas piloto que validen el uso de biosólidos en la agricultura, demostrando que, con procesos adecuados de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

estabilización y control sanitario, no representan riesgos para la salud humana ni el medio ambiente. Esta validación debe estar respaldada por normativas nacionales y guías internacionales, como las establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2006).

Del mismo modo, en el sector de la construcción se recomienda impulsar los estudios existentes sobre el uso de agua tratada en la elaboración de concreto, como los desarrollados por la Universidad Tecnológica de Panamá. Dichos estudios deben complementarse con experiencias piloto que garanticen el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos por la normativa vigente, y generen confianza entre las empresas y profesionales del sector (Chen *et al*., 2024; Universidad Tecnológica de Panamá, 2025).

Establecimiento de tarifas sostenibles

Para garantizar la sostenibilidad operativa y financiera de las redes de alcantarillado sanitario y los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se recomienda establecer una tarifa específica para los usuarios del sistema. Esta tarifa debe cubrir de forma proporcional los costos asociados con la captación, conducción, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, así como con el mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura. La implementación de un esquema tarifario transparente, con mecanismos de revisión periódica y con posibilidad de subsidios cruzados para poblaciones vulnerables, permitirá asegurar la continuidad y calidad del servicio en el mediano y largo plazo, en concordancia con principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad fiscal establecidos en la legislación nacional vigente (CNC Panamá, 2016).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Educación y concientización ambiental

La implementación de campañas de concientización ambiental es un componente esencial para asegurar el éxito y la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado sanitario (Ministerio de Salud, 2022). Estas campañas deben enfocarse en educar a la población sobre el uso adecuado del sistema, la prevención de vertidos ilegales, la protección de fuentes hídricas y la necesidad de apoyar los procesos de construcción de nuevas infraestructuras (Ministerio de Salud, 2022). Este último aspecto reviste especial importancia en el contexto panameño, donde la orografía condiciona fuertemente el diseño de las redes sanitarias, las cuales operan en su mayoría por gravedad y requieren seguir trayectorias que aprovechen los puntos más bajos del terreno. Durante la fase de ejecución de obras es común encontrar que los terrenos adyacentes al trazado óptimo pertenecen a propietarios privados que, al no otorgar permisos de acceso o servidumbre, provocan demoras significativas en los cronogramas de trabajo. Tales situaciones, difíciles de prever durante los estudios de factibilidad inicial, no solo retrasan la ejecución, sino que incrementan los costos del proyecto y afectan la cobertura planificada. Por lo tanto, es necesario incorporar dentro de los programas de educación ciudadana estrategias específicas de sensibilización territorial, que preparen a la comunidad para participar de forma activa y colaborativa en el desarrollo de estas obras, para mitigar así los riesgos sociales y prediales asociados.

Unificación de organismos

En la actualidad, las competencias relacionadas con el saneamiento están distribuidas entre diversos organismos públicos, como el Instituto de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), el Ministerio de Salud, el Programa de Saneamiento de Panamá y los gobiernos locales. Esta dispersión institucional ha generado falta de continuidad y un seguimiento insuficiente de las obras en sus distintas etapas (Panamá América, 2022; Nex Noticias, 2026). Por ello, se recomienda la creación de un organismo nacional autónomo de saneamiento, que centralice la gestión integral del sistema: planificación, diseño, ejecución, operación, mantenimiento y fiscalización; y que cuente con autonomía técnica y financiera. Experiencias exitosas, como la de la PUB en Singapur, respaldan este modelo de gobernanza centralizada con enfoque técnico y regulador, el cual garantiza la sostenibilidad de los sistemas a largo plazo (SwissInfo, 2021; Wood, 2022).

De forma simultánea, se recomienda diversificar las fuentes de financiamiento más allá de los préstamos multilaterales tradicionales a través de este organismo. Para ello es clave la implementación de bonos verdes, destinados en exclusiva a proyectos con impacto ambiental positivo, como plantas de tratamiento de aguas residuales, reúso de agua y reducción de gases contaminantes (Ministerio de Economía y Finanzas, s.f.).

Conclusiones

La revisión realizada permite reconocer que el tratamiento de aguas residuales en barriadas urbanas de Panamá enfrenta desafíos persistentes relacionados con aspectos técnicos, normativos e institucionales. Aunque se dispone de un marco regulatorio relativamente consolidado, la literatura revisada sugiere que su aplicación en el contexto urbano

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

presenta limitaciones importantes, en especial en zonas con alta densidad poblacional y expansión acelerada.

Los estudios consultados evidencian patrones comunes con el mal desempeño de numerosas PTAR; destacan fallas de diseño, operación y mantenimiento, así como carencias en el seguimiento técnico y la fiscalización ambiental.

Asimismo, la literatura revisada pone en evidencia una limitada coordinación entre las entidades responsables, la escasez de mecanismos de monitoreo sistemático y la débil participación de las comunidades en la gestión del saneamiento. Estos factores, recurrentemente señalados, podrían estar incidiendo de forma significativa en la pérdida de la funcionalidad y sostenibilidad de muchos sistemas. Aunque estas condiciones no son homogéneas en todos los casos, su reiteración en diversos estudios sugiere la necesidad de revisar los marcos operativos e institucionales vigentes.

La adopción de tecnologías avanzadas en el tratamiento terciario de aguas residuales no solo permite una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes emergentes, sino que también abre la posibilidad de atender nuevas demandas, como el tratamiento de descargas industriales. Esta modernización tecnológica resulta esencial para garantizar que los efluentes cumplan con los estándares ambientales actuales y, al mismo tiempo, mejorar la sostenibilidad operativa de las plantas mediante la diversificación de usuarios y fuentes de financiamiento.

La implementación efectiva de un enfoque de economía circular en las plantas de tratamiento puede transformar los residuos en recursos valiosos, como energía, agua reutilizable y biosólidos aplicables en la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

agricultura. Sin embargo, para que esta transición sea viable y segura, es indispensable desarrollar marcos normativos específicos, validar técnicamente los usos propuestos, y promover la aceptación social a través de experiencias piloto y estrategias educativas que generen confianza en su aplicación.

De esta revisión de la problemática en Panamá con la gestión de las PTAR se recomienda la creación de un organismo nacional autónomo de saneamiento que centralice la gestión integral del sistema y pueda velar por su buen funcionamiento, así como el establecimiento de tarifas sostenibles acordes con las necesidades del sistema de tratamiento de aguas residuales, y la promoción de la educación y concientización ambiental de la población panameña para el uso adecuado del sistema y la protección de las fuentes hídricas.

Agradecimientos

Se reconoce la contribución del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) y del Ministerio de Salud (MINSA) mediante la publicación de información técnica y normativa en sus plataformas digitales. El acceso abierto a estos recursos fue clave para comprender el marco regulatorio y operativo de la gestión de aguas residuales en Panamá.

Financiamiento

Esta investigación ha sido financiada por el Sistema Nacional de Investigación de Panamá (SNI AIP) contrato de estímulo económico número 010-2023.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración de uso de IA

No se utilizó IA para la elaboración de este artículo científico.

Referencias

Ali, N. M., Khan, M. K., Mazhar, B., & Mustafa, M. (2025). Impact of water pollution on waterborne infections: Emphasizing microbial contamination and associated health hazards in humans. *Discover Water*, *5*(1), 19. https://doi.org/10.1007/s43832-025-00198-x

Babuji, P., Thirumalaisamy, S., Duraisamy, K., & Periyasamy, G. (2023). Human health risks due to exposure to water pollution: A review. *Water*, *15*(14), 2532. https://doi.org/10.3390/w15142532

Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe. (2017, 22 marzo). El tratamiento de aguas residuales bajo un enfoque de economía circular. *Blog del CAF*. https://www.caf.com/es/blog/el-tratamiento-de-aguas-residuales-bajo-un-enfoque-de-economia-circular/

Bernal-Romero-del-Hombre-Bueno, M. A., Moya-Llamas, M. J., López-Ortiz, C. M., Vásquez-Rodríguez, E. D., Trapote, A., Boluda-Botella, N., Sentana, I., Varó, P., Cases, V., & Prats, D. (2016, 19 al 21 de octubre). *Eliminación de micro-contaminantes en un sistema UASB-BRM combinado con nanofiltración y ósmosis inversa*. XI Congreso Internacional de Aedyr-Valencia, España. https://aedyr.com/wp-content/uploads/2020/04/16VAL58.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

BossTech. (2024, 27 octubre). 5 errores comunes en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Blog Errores plantas tratamiento aguas residuales*. https://bosstech.pe/blog/errores-plantas-tratamiento-aguas-residuales/

BossTech. (2025, 13 junio). Descubre todo lo que debes saber sobre la neutralización del pH. *Blog Qué es neutralización pH*. https://bosstech.pe/blog/que-es-neutralizacion-ph/

Caballero, C. (2024, 12 julio). Investigación de la Universidad de Panamá revela baja calidad del agua. *Semanario La Universidad*. https://launiversidad.up.ac.pa/index.php/node/4047

Cardoso, I. M. F., Cardoso, R. M. F., & Esteves-da-Silva, J. C. G. (2021). Advanced oxidation processes coupled with nanomaterials for water treatment. *Nanomaterials*, *11*(8). https://doi.org/10.3390/NANO11082045

Chen, L., Chen, Z., Liu, Y., Lichtfouse, E., Jiang, Y., Hua, J., Osman, A. I., Farghali, M., Huang, L., Zhang, Y., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2024). Benefits and limitations of recycled water systems in the building sector: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *22*, 785-814. https://doi.org/10.1007/S10311-023-01683-2

CNC Panamá. (2016, noviembre). *Plan de Seguridad Hídrica en Panamá*. https://cncpanama.net/bitstream/handle/123456789/334/cad290.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica. (2016). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos*. Gobierno de la República de Panamá. https://www.senacyt.gob.pa/wp-content/uploads/2018/12/3.-Plan-Nacional-de-Seguridad-Hidrica-2015-2050-Agua-para-Todos.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Domínguez, A., Segundo, F., Arrocha, J., Miranda, L., Chong, T., Sandoval, H., Martínez, E., Gutiérrez, E., Rodríguez, R., Nieto, C., Franco, C., Aponte-González, L., Vergara-Chen, C., Olmos, J., Vargas-Lombardo, M., Moreno-Chavez, J., Jiménez-Oyola, S., & González-Valoys, A. C. (2025). Geochemical insights into health risks from potentially toxic elements in rural aqueducts of cocle, Panama: Unveiling links to local geology. *Water*, *17*(1), 110. https://doi.org/10.3390/w17010110

El Digital Panamá. (2024). *Vecinos de Los Jardines en alerta por contaminación del río Cabra*. https://eldigitalpanama.com/vecinos-de-los-jardines-en-alerta-por-contaminacion-del-rio-cabra/

Escalante, S., & Fajardo, J. (2022). *Evaluación de la descontaminación de la cuenca media del río Bogotá y alternativas de solución con humedales artificiales*. *Revista Inventum*, *17*(33). https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.27-43

Gaceta Oficial de Panamá. (1998). *Ley 41 de 1998*. https://wipolex.wipo.int/es/legislation/details/11839

Gaceta Oficial de Panamá. (2001). *Ley 77 de 28 de diciembre de 2001 § VIII-39*. https://asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/Ley_77.pdf

García-Luna-Romero, A. C., & Malvaceda-Espinoza, E. (2022). Percepción de la calidad de vida urbana en residentes del Área Metropolitana de Monterrey, México: su importancia psicoeducativa. *Propósitos y Representaciones*, *10*(1), e1452. https://doi.org/10.20511/pyr2022.v10n1.1452

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

González-Valoys, A. C., Jiménez-Oyola, S., Patinha, C., García-Noguero, E. M., Peco, J., Segundo, F., Barquero, J. I., Vargas-Lombardo, M., María Esbrí, J., & Higueras, P. (2025). Oral bioaccessibility and probabilistic human health risk assessment of potentially toxic elements in stream sediments from an abandoned gold mine in Panama. *Environmental Geochemistry and Health*, *47*(6), 224. https://doi.org/10.1007/S10653-025-02535-4

Guzmán-Sánchez, J., Perevochtchikova, M., & Kolb, M. (2024). Wastewater in Latin American urban peripheries: Identifying research trends and challenges through a systematic literature review. *Science of the Total Environment*, *931*, 173019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173019

Hispania Informa. (2026). *Aguas negras afectan sectores de Panamá Este y generan preocupación entre residentes*. https://www.instagram.com/reel/DTQzrMxEbtA/

Ibañez, C. (2023, diciembre 29). Eliminación de detergentes y surfactantes en aguas residuales. *Sigmadaf*. https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-por-flotacion-daf-de-vertidos-con-surfactantes/

Jouravlev, A., Matus, S., & Gil, M. (2021). *Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe*. CEPAL, Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e5df0bb6-9457-439f-aa2c-9b1d1b1b1518/content

La Nación. (2006). *Estudio revela deterioro ambiental en micro cuencas del Canal*. https://www.nacion.com/economia/estudio-revela-deterioro-ambiental-en-micro-cuencas-del-canal/ALVSPBIJHZAMXNFM2TBSKALA5E/story/

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Lasso, M. (2024, octubre 17). Clientes del Idaan le adeudan más de $106 millones; residencias ocupan el 72 %. *La Estrella de Panamá*. https://www.laestrella.com.pa/economia/clientes-del-idaan-le-adeudan-mas-de-106-millones-residencias-ocupan-el-72-NJ8964492

Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: A review. *Frontiers in Environmental Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246

Medrano, M., Mamani, A., Muñoz, E., Díaz, R., & Medrano, E. (2020). Operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas circunlacustres al lago Titicaca-Sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas. *Ciencia y Desarrollo*, *23*(3). https://doi.org/10.21503/cyd.v23i3.2142

Mena, M. E. C., Guadalupe, C. S. A., Vallejo, M. V. P., Córdova, G. B. M., Bernal, C. M. V., Suárez, J. G. B., & Mena, A. P. C. (2017). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en riego en áreas verdes. *European Scientific Journal, ESJ*, *13*(18), 94. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p94

Mendivil, C. (2026, enero 14). "Tiene un olor a podrido". Habitantes denuncian contaminación de agua en Veracruz. *Imagen Noticias*. https://www.youtube.com/watch?v=5d-egUqxAFM

MiAmbiente. (2020). *Mi Ambiente atiende denuncia por desborde de aguas residuales en el corregimiento de Puerto Caimito*. https://miambiente.gob.pa/miambiente-atiende-denuncia-por-desborde-de-aguas-residuales-en-el-corregimiento-de-puerto-caimito/

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MiAmbiente. (2021). *Descarga de desechos afectan al río Antón, en Coclé.* https://miambiente.gob.pa/descarga-de-desechos-afectan-al-rio-anton-en-cocle/

MiAmbiente. (2024). *MiAMBIENTE ordena paralización y sanción a constructora por manejo inadecuado de las aguas residuales*. https://miambiente.gob.pa/miambiente-ordena-paralizacion-y-sancion-a-constructora-por-manejo-inadecuado-de-las-aguas-residuales/

MICI, Ministerio de Comercio e Industrias. (1999). *Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 24-1999: calidad de agua, reutilización de las aguas residuales tratadas*. https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/24rt-dgnti-copanit-24-1999-1.pdf

MICI, Ministerio de Comercio e Industrias. (2000). *Reglamento técnico DGNTI-COPANIT-47-2000-. Agua. Uso y disposición final de lodos*. https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/47rt-dgnti-copanit-47-2000-1.pdf

MICI, Ministerio de Comercio e Industrias. (2019). *Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 35-2019: descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de aguas continentales y marinas*. https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/35rt-dgnti-copanit-35-2019-1.pdf

MICI, Ministerio de Comercio e Industrias. (2023). *Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 39-2023: descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales*. https://asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_39-2023.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2012). *Resolución 1514 de 2012 – Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1514-de-2012.pdf

Ministerio del Ambiente de Perú. (2020). *Resolución Directoral No 0079 2020 OEFA DFAI.* https://es.scribd.com/document/672628153/Resolucion-N-0079-2020-OEFA-DFAI

Ministerio de Economía y Finanzas. (s.f.). *¿Qué son los Bonos Verdes?* https://www.mef.gob.pa/wp-content/uploads/2020/12/Informe-de-Bonos-Verdes.pdf

Ministerio de Salud. (2022, julio 13). *Saneamiento de Panamá e Idaan buscan reducir los desbordes de aguas residuales*. Programa Saneamiento de Panamá. https://www.saneamientodepanama.gob.pa/index.php/2022/07/13/saneamiento-de-panama-e-idaan-buscan-reducir-los-desbordes-de-aguas-residuales/?

Ministerio de Salud. (2008). *Decreto Ejecutivo No. 268*. https://www.gacetaoficial.gob.pa/storage/gacetas/2008/06/26068/11281.pdf

MIVIOT, Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial. (2020). *MIVIOT atiende denuncia por derrame de aguas servidas en proyecto habitacional en Pesé*. https://www.miviot.gob.pa/miviot-atiende-denuncia-por-derrame-de-aguas-servidas-en-proyecto-habitacional-en-pese/

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Movilla, J. A. (2012). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, MA-GM-01 (versión: 01-09-03-12)*. EMDUPAR. https://www.emdupar.gov.co/index.php/la-entidad/sistema-integrado-de-gestion/Planeacion/Manuales/MA-GR-01%20MANUAL%20DE%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20SISTEMA%20DE%20ALC.pdf/download

Moyano-Salcedo, Á. J., Cuadros-Segura, F. D., Pabón-Laverde, A. M., & Trujillo-Arias, J. V. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. *Tecnura*, *25*(68), 43-62. https://doi.org/10.14483/22487638.16273

Nex Noticias. (2026). *MINSA detectó desborde de aguas residuales en proyecto residencial de Panamá Oeste.* https://www.youtube.com/watch?v=J5W7Pw1sR78

Panamá América. (2022, marzo 23). *Se desborda estación de bombeo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Juan Díaz.* https://www.panamaamerica.com.pa/sociedad/se-desborda-estacion-de-bombeo-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-juan-diaz

Programa Saneamiento de Panamá. (2016). *Plan Maestro, Panamá Oeste*. https://www.saneamientodepanama.gob.pa/index.php/plan-maestro-2/

Ramírez, I. G. (2000). *Problemas, causas y consecuencias en la operación de plantas de tratamiento de agua residual que operan mediante procesos biológicos convencionales en México-edición única* (tesis). Tecnológico de Monterrey. http://hdl.handle.net/11285/568070

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Rodríguez, H. (2017, marzo 13). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. *IAgua*. https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes

Rodríguez-Fernández-Alba, A., Letón, P., Roberto, G., García, R., Dorado, M., Susana, V., Fernández, V., & Sanz-García, J. M. (s.f.). *BVCM001696 Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. CITME. https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Roque, C. (2021, diciembre 29). *Errores comunes en proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales de los que debemos aprender.* https://www.linkedin.com/pulse/errores-comunes-en-proyectos-de-plantas-tratamiento-los-norori-roque/

SISS, Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025, mayo 29). *Fiscalización equipo SISS región de Valparaíso a planta de tratamiento de agua potable de Concón por reclamos de vecinos por sabor del agua*. https://x.com/SISS_CHILE/status/1928174589542047885

Soto, E., & Saavedra, C. (2015). Influencia de la variación estacional de la calidad y cantidad de agua residual en la eficiencia de tratamiento: caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Juan Díaz, Panamá, República de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, *1*(2), 7-18. https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/445/html_1

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

SwissInfo. (2021). *En Singapur, el agua residual se transforma en agua potable.* https://www.swissinfo.ch/spa/en-singapur-el-agua-residual-se-transforma-en-agua-potable/46855778

TAVSA. (2025). *Impacto de las aguas residuales en la salud humana y el medio ambiente*. https://www.tavsapanama.com/como-afectan-las-aguas-residuales-a-la-salud/

Telemetro Reporta. (2024). *MiAmbiente inicia trabajos de mitigación por colapso de PTAR en Los Algarrobos*. https://www.telemetro.com/nacionales/miambiente-inicia-trabajos-mitigacion-colapso-planta-tratamiento-los-algarrobos-n6004351

Universidad Tecnológica de Panamá. (2020, noviembre). *Informe de auditoría ambiental obligatoria: Hospital Regional de Azuero Anita Moreno*. https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-panama/auditoria-ambiental/iaao-hospital-anita-moreno/41292008

Universidad Tecnológica de Panamá. (2025). *Presentan avances del estudio sobre aprovechamiento de agua residual para elaborar concreto.* https://utp.ac.pa/presentan-avances-del-estudio-sobre-aprovechamiento-de-agua-residual-para-elaborar-concreto?

Ventriglio, A., Bellomo, A., Di Gioia, I., Di Sabatino, D., Favale, D., De Berardis, D., & Cianconi, P. (2021). Environmental pollution and mental health: A narrative review of literature. *CNS Spectrums*, *26*(1), 51-61. https://doi.org/10.1017/S1092852920001303

WaterAid. (2020). *El intratable problema de las aguas residuales*. https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/el-intratable-problema-de-las-aguas-residuales-notas-de-polticas.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

WHO, World Health Organization. (2006). *WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* (volume 4). https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/78265/9241546859_eng.pdf

WHO, World Health Organization. (2020). *Integrating health in urban and territorial planning: A sourcebook*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240003170

Wiśniewska, M., & Szyłak-Szydłowski, M. (2024). The impact of objects with a potential odour nuisance on the life comfort of the urban agglomeration inhabitants. *Applied Sciences*, *14*(22). https://doi.org/10.3390/APP142210708

Wood, J. (2022, noviembre 30). *How is Singapore recycling wastewater to make it drinkable?* World Economic Forum. https://www.weforum.org/stories/2022/11/singapore-wastewater-recycling-water-stressed/

Yangüez, B. (2025, June 25). Contaminación en Azuero: MiAmbiente impondrá multas de hasta $9,999 a dueños de fincas. *La Estrella de Panamá*. https://www.laestrella.com.pa/panama/nacional/contaminacion-en-azuero-miambiente-impondra-multas-de-hasta-9999-a-duenos-de-fincas-LD13980803

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)