

Artículo Científico / Scientific Article

Evaluación geoespacial del efecto de porquerizas en la calidad hídrica del río Guararé

Geospatial assessment of pig farms impacts on water quality in the Guararé river

María Victoria Mitre Núñez¹ , Luis Roberto Alfaro De Arcia¹, Denisse Morales De León²

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala; ²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá

Dirección para recibir correspondencia: mariavictoriamitre@gmail.com

Recibido: 13/11/2024

Revisión: 7/07/2025

Aceptado: 14/10/2025

Resumen

Conocer el estado de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, es fundamental para la gestión adecuada de las cuencas prioritarias del país, como la del río Guararé, en Panamá. El objetivo de este proyecto fue establecer la relación entre las porquerizas, los puntos de contaminación y su posible impacto en la calidad del agua. Para ello, se realizaron muestreos en puntos específicos de la cuenca y se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La investigación buscó identificar fuentes de contaminación y comprender cómo afectan al ecosistema acuático de la región. Se llevaron a cabo dos campañas de muestreo, con análisis de calidad de agua realizados en sitio y en laboratorio. Estos estudios permitieron obtener datos sobre los parámetros críticos de calidad hídrica. Posteriormente, se elaboraron mapas de contaminación con el objetivo de identificar y visualizar sitios críticos y potencialmente críticos en la subcuenca. Los resultados muestran que, aunque existe cierta correlación entre la densidad de porquerizas y algunos parámetros de calidad de agua muestreados, la contaminación hídrica parece estar más asociada a la concentración poblacional y otras actividades humanas. Estos hallazgos sirven de base para establecer estrategias de intervención, promover la gestión integrada del recurso hídrico en la región y reducir los impactos negativos sobre los cuerpos de agua.

Palabras claves: calidad de agua subterránea, calidad de agua superficial, río Guararé, porquerizas, contaminación hídrica, distancia inversa ponderada.

Abstract

Understanding the status of both surface and groundwater bodies is essential for the proper management of the country's priority watersheds, such as the Guararé River in Panama. The objective of this project was to establish the relationship between pig farms, pollution points, and their potential impact on water quality. To achieve this, samples were taken at specific points in the watershed, and Geographic Information System (GIS) tools were used. The research aimed to identify sources of pollution and understand how they affect the region's aquatic ecosystem. Two sampling campaigns were conducted, with water quality analyses performed on-site and in the laboratory. These studies provided data on critical water quality parameters. Subsequently, pollution maps were created to identify and visualize critical and potentially critical sites in the sub-watershed. The results show that, although there is some correlation between the density of pig farms and certain water quality parameters, water contamination appears to be more closely associated with population density and other human activities. These findings serve as a basis for establishing intervention strategies, promoting integrated water resource management in the region, and reducing negative impacts on water bodies.

Key words: groundwater quality, surface water quality, Guararé river, pig farms, water pollution, inverse distance weighted.



© 2025 María Victoria Mitre Núñez; Luis Roberto Alfaro De Arcia; y Denisse Morales De León

1

Agua, Saneamiento & Ambiente, es editada por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Esta obra está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Introducción

En Panamá existe una diversidad de sectores usuarios del recurso hídrico, cuyos consumos varían de acuerdo con sus necesidades y dinámicas propias según el Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica [CNSH] (2016).

La cuenca 126 de Panamá, entre los ríos Tonosí y La Villa, cuenta con un área de aproximadamente 2,170 km². Está ubicada en la Provincia de Los Santos, vertiente pacífico oeste y es el área objetivo del presente estudio.

Como señalan Rivas Ríos (2013) y Cornejo et al. (2017) en esta cuenca se evidencian presiones por actividades antrópicas, principalmente en las partes medias y bajas.

Un dato clave a considerar es el factor demográfico: la población en la provincia de Los Santos es de 36,653 y para el distrito de Guararé según el último Censo de Población y Vivienda es de 12,107 habitantes según el Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC] (2023). En este distrito se ubican los puntos de muestreo y área de influencia de este estudio.

Las principales actividades económicas identificadas son agricultura, ganadería, avicultura, porcinocultura, mal manejo de los desechos sólidos, entre otras. De las actividades mencionadas, la que más caracteriza a esta cuenca es el uso intensivo del suelo para la agricultura (Cornejo et al., 2017), tanto de subsistencia como para comercialización.

A pesar de todo lo indicado anteriormente, no se contempla en los planes ni proyectos generados a raíz del Plan Nacional de Seguridad Hídrica “Agua Para Todos” (PNSH, 2016) el estudio del comportamiento que puede describir un cuerpo de agua y sus sistemas de acuíferos adyacentes respecto a la actividad ganadera, especialmente la porcina. Sin embargo, dentro de este Plan, la zona de estudio corresponde con una de las cuencas clasificadas como prioritarias.

Para el sector agropecuario, la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente es esencial para asegurar la producción, pero la producción sin controles ambientales y responsabilidad aplicada no es el modelo al que se apunta en la sociedad actual (IDIAP, 2022).

La actividad porcina, de acuerdo con Rivas-Ríos (2013), genera distintos impactos ambientales, los cuales han estado presentes a lo largo de décadas en la provincia de Los Santos, tales como:

- Purines: el conjunto de residuos líquidos (orina y estiércol líquido, agua residual por lavado) y sólidos (estiércol, material de cama, mortalidad y tejidos, jeringas, guantes, frascos y otros), inherentes a la actividad,
- Emisiones atmosféricas (olores, amoniaco, gas metano, gas sulfhídrico, gas carbónico, ruido).

Collao Barrios (2008) indica que la generación diaria de purines va de 7 a 10 litros por cabeza de ganado porcino, lo que, considerando los datos de la Encuesta Pecuaria en Panamá para el 2020, convierte a Los Santos en la provincia con mayor cantidad de cabezas de ganado según la Contraloría General de la República de Panamá (2021). Este subproducto, por sus características contaminantes, requiere control, tratamiento y mitigación de riesgos asociados.

Se realizaron análisis de parámetros de calidad de agua tanto en pozos (aguas subterráneas) como para agua superficial (ríos aguas debajo de beneficios porcinos) en el distrito de Guararé. Con los resultados obtenidos, se realizaron mapas a través del método de interpolación por distancia inversa ponderada (IDW, por sus siglas en inglés) de ArcGIS (Esri, 2023), lo cual permitió visualizar interpolaciones con los datos obtenidos y evaluar sus resultados.

En cuanto al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis y mapeo de la contaminación hídrica, es clave indicar y comparar diversas experiencias en América Latina, como las listadas a continuación:

En Argentina, Grondona (2013) generó mapas de peligro de contaminación de acuíferos utilizando datos propios y abiertos, aplicando los índices DRASTIC y AFT, que son herramientas para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación; los cuales, aunque precisos, requieren una elevada cantidad de datos de entrada para obtener resultados espacialmente detallados.

En Cuba, Cabrera Bermúdez (2011) desarrolló mapas de susceptibilidad a la contaminación de aguas

subterráneas por efluentes porcinos mediante la metodología AHP, basada en la geología local. El estudio clasificó el territorio en cinco niveles de susceptibilidad, proporcionando una herramienta útil para la toma de decisiones sobre el establecimiento de nuevas granjas porcinas.

En México, Méndez Novelo y colaboradores (2015) elaboraron un análisis espacial detallado sobre el potencial de contaminación de granjas porcinas y avícolas en Yucatán. Utilizaron datos oficiales para calcular la densidad de desechos generados por kilómetro cuadrado, relacionando esta información con problemas ambientales y de salud pública.

En Colombia, Mesa Wilchez y colaboradores (2017) aplicaron distintas técnicas de interpolación (IDW, Kriging y Funciones de Base Radial) para estimar la calidad del agua en el río Bogotá, concluyendo que la precisión de las predicciones mejora con el aumento de datos disponibles, y validando el uso del índice de calidad de agua (ICA), como herramienta integradora de múltiples parámetros.

También en Colombia, Toro Chacón y colaboradores (2020) usaron IDW para analizar parámetros como OD, pH y temperatura en un tramo del río Ocoa, demostrando la utilidad de esta técnica en contextos con muestreos limitados, al generar mapas comparativos temporales.

Fuera de Latinoamérica, en Nigeria, Obozige y colaboradores (2018) aplicaron el IDW para estimar valores desconocidos en el río Kaduna. Lo hicieron evaluando su comportamiento en temporadas seca y lluviosa para múltiples parámetros, confirmando su utilidad en estudios hidro ambientales donde no se cuenta con estaciones de monitoreo distribuidas regularmente o fiables.

Estas experiencias internacionales confirman que el uso combinado de herramientas geoestadísticas e información ambiental permite mejorar significativamente la comprensión espacial y temporal de la calidad del agua, facilitando la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Para complementar lo anteriormente explorado, vale la pena marcar las principales y posibles coincidencias entre algunos de los estudios referenciados. Primero,

las preocupaciones a nivel ambiental son comunes a los países de la región, la necesidad de agua de calidad y cantidad es un punto focal para todos.

Problemas como la necesidad de agua en Latinoamérica, tanto para consumo como para agricultura, la sobreexplotación de los acuíferos disponibles, el deterioro creciente de suelos y de las infraestructuras sanitarias a nivel rural no son aislados, y estos estudios ponen el foco en lo necesario de identificar, controlar y monitorear desde el origen.

Luego, el traslado de esta preocupación hacia las zonas más vulnerables de los países de la región, que tienden a ser las que explotan principalmente sus recursos agropecuarios. Otro punto por destacar de este análisis es la vinculación de los datos con posibles fuentes de contaminación, y el análisis de los resultados obtenidos.

Este estudio agrega valor en la medida de que vincula datos de calidad de agua subterránea y superficial con georreferenciación y analiza variables como las actividades económicas de la sub-cuenca estudiada, usos del agua y necesidades sanitarias en la región, entre otros. Además, incorpora el uso de herramientas de interpolación como el IDW, que permite estimar datos en sitios donde se tienen limitantes para obtener información (recursos humanos, económicos, de acceso, climáticos, etc.).

Los objetivos específicos de este estudio son: (i) Determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica de puntos determinados, tanto de agua superficial, como subterránea en la cuenca, a través de la realización de muestreos y análisis de calidad de agua, (ii) evaluar el impacto de las porcinas sobre la calidad del agua superficial y subterránea de la cuenca media del río Guararé (iii), Georreferenciar los datos obtenidos, de forma que permita relacionar la ubicación de las porquerizas, con los puntos de muestreo y los valores de los parámetros de calidad de agua analizados, lo cual facilite la visualización de áreas contaminadas o vulnerables a contaminación.

Materiales y método

Enfoque metodológico

La metodología que se plantea es de tipo cuantitativa, a través de la medición de los parámetros

de calidad de agua establecidos y el análisis de los resultados obtenidos en cada medición.

Variables

Fueron seleccionados 10 pozos (agua subterránea) y 4 sitios aguas debajo de la ubicación de las porquerizas (agua superficial), de acuerdo con los sitios de estudio del proyecto marco FID22-063.

Las tomas de muestra se desarrollaron en mayo del 2023, durante la temporada lluviosa y enero del 2024 temporada seca (IMHPA, 2024), con el fin de obtener representatividad de acuerdo con el sistema climático de Panamá.

Para los puntos de agua subterránea y la determinación de criterios de inclusión y exclusión de los sitios de muestreo, se revisaron los puntos establecidos por el proyecto FID22-063, tomando los diez (10) pozos más representativos en términos de cercanía geográfica y posición respecto a las granjas porcinas, como se muestra en la figura 1.

Estos pozos corresponden a perforaciones realizadas por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN, comunicación personal, 2023), en su rol de prestador del servicio en años pasados, y que fueron descartados para uso por poco rendimiento de caudal (D. Morales, comunicación personal. 2023).

Figura 1. Localización general – puntos de muestreo



Los puntos de muestreo de agua superficial se identificaron con apoyo de personal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA).

Se seleccionaron puntos aguas abajo cerca de las principales granjas porcinas localizadas en la subcuenca, de especial interés por parte de la entidad y la comunidad, por su tamaño (en función de cabezas de ganado porcino). En la tabla 1 se muestran los puntos de muestreo seleccionados:

Tabla 1. Identificación de puntos de muestreo

Ítem	Sitio de Muestreo	Código de identificación	Tipo
1	Villa Lourdes	P-AS-VL	Superficial
2	San José	P-AS-SJ	Superficial
3	Las Cruces	P-AS-LC	Superficial
4	Canajagua	P-AS-CA	Superficial
5	Sabana Grande	PO-SG	Subterránea
6	El Hato	PO-EH	Subterránea
7	Las Trancas	PO-LT	Subterránea
8	El Macano	PO-EM	Subterránea
9	El Espinal	PO-EE	Subterránea
10	El Rincón	PO-ER	Subterránea
11	Albina Grande	PO-AG	Subterránea
12	La Tiza	PO-TI	Subterránea
13	Los Barreros	PO-LB	Subterránea
14	Guararé	PO-GU	Subterránea

Los parámetros analizados son descritos a continuación, mediante las tablas 2 y 3. Estos parámetros fueron seleccionados con el fin de obtener datos representativos sobre la calidad del agua subterránea y superficial en la sub-cuenca.

Si bien es cierto el estudio no contempla muestreos continuos o compuestos, solo puntuales o simples, la obtención de los valores de estos parámetros permite evaluar la calidad del agua de los puntos del estudio.

Tabla 2. Parámetros analizados en sitio

Ítem	Parámetro	Unidad
1	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad
2	Oxígeno disuelto (OD)	mg/l
3	Conductividad	µS/cm
4	Solidos disueltos totales (SDT)	mg/l
5	Salinidad	mg/l
6	Temperatura	°C

Tabla 3. Parámetros analizados en laboratorio

Ítem	Parámetro	Unidad
1	Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/l
2	Carbonato (CaCO_3)	mg/l
3	Cloruros (Cl^-)	mg/l
4	Fosfatos (PO_4^{3-})	mg/l
5	Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l
6	Coliformes fecales (CF)	NMP/100 ml
7	<i>Escherichia Coli</i> (<i>E. Coli</i>)	NMP/100 ml
8	Nitrógeno de Nitratos	mg/l
9	Amonio	mg/l

Instrumentos de obtención de información

Los instrumentos de recolección de información empleados fueron:

1. Revisión de antecedentes y estudios previos en la cuenca
2. Establecimiento de campañas
3. Muestreo de agua
4. Análisis fisicoquímico y microbiológico de muestras recolectadas para cada campaña
5. Conversaciones y reuniones con partes interesadas y actores de la subcuenca (instrumento cualitativo)
6. Aplicación de herramientas de SIG (interpolación)

Materiales y trabajo de campo

Se planificaron dos campañas de muestreo, considerando el régimen pluviométrico de Panamá (IMHPA, 2024) y los recursos disponibles. Los parámetros de calidad de agua subterránea y superficial se analizaron tanto en campo como en laboratorio.

En todos los sitios indicados en el subapartado “variables”, se recolectaron muestras y se realizaron análisis de calidad según el Standard Methods edición 23 (2017).

Entre los principales materiales que fueron empleados para esta etapa, están los siguientes:

- HANNA: Medidor multiparamétrico de pH/ORP/EC/TDS/salinidad/oxígeno disuelto/ presión/ temperatura - HI98194.
- Proactive Environmental PRODUCTS® Bomba para agua subterránea modelo Monsoon® XL y Controlador LCD.

- Nevera portátil para conservar las muestras tomadas, con hielo.
- Manguera de vinilo transparente de 60 m.
- Frasco de polipropileno de alta transparencia de 2000 ml.
- Envases de polipropileno transparente de 1000 ml.
- Frascos de cristal color ámbar de 100 ml.
- Frascos de polipropileno de alta transparencia con tapa roja de polietileno de 150 ml.
- Guantes desechables de nitrilo.
- Botella lavadora con agua destilada.
- Alcohol líquido para desinfección de manos.

Procesamiento y análisis de datos

Luego de los muestreos y los correspondientes análisis de laboratorio, los resultados obtenidos fueron tabulados y depurados. Para la creación de los mapas de contaminación, el software empleado fue el ArcGIS Pro 3.1®, licencia de la empresa ESRI, a la cual se tuvo acceso a través de la cooperación con el FID22-063. Las porquerizas y los pozos fueron localizados a través de sus referencias de longitud y latitud geográfica.

Las coordenadas tanto de la ubicación de las porquerizas (D. Paz, comunicación personal, 2024) como de los puntos de muestreo se registraron y organizaron en un archivo CSV para su correcta utilización en el software.

Posteriormente se analizaron los datos a través de la herramienta *XY table to point*, que permitió obtener información de las coordenadas en el archivo CSV con compatibilidad geográfica a través de sus coordenadas.

Finalmente, empleando la función *select by attribute*, se filtraron los datos de cada parámetro por año y con sus características (celdas sin datos) también por año.

Con el archivo depurado de puntos, se hizo la “corrida” o ejecución de la herramienta IDW, que, como interpolación, estima o predice los datos faltantes de los puntos circundantes, y calcula valores para zonas que no poseen información disponible.

El área de estudio delimitada de 5 km se realizó a través de un *buffer*. Establecer un área limitada dentro

de la subcuenca permite un análisis más preciso de los resultados obtenidos.

Esto también limitó el total de porquerizas a localizar en el área de estudio, que fue de 96. El proceso fue repetido para cada parámetro seleccionado, y para cada año o campaña de monitoreo.

Resultados

En este apartado se describen los resultados y datos obtenidos en la investigación, por parámetro y por campaña de muestreo, tanto para agua superficial como para agua subterránea.

Las tablas 4 y 5 muestran los valores obtenidos para el agua superficial.

Tabla 4. Resultados - agua superficial (año 2023)

Ítem	Código	DQO (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	N- NO ₃ (mg/l)	N- NH ₃ (mg/l)	E. coli (NMP/100 ml)
1	P-AS-VL	74	0.48	0.60	0.21	>2419.6
2	P-AS-SJ	79	1.30	0.30	0.16	>2419.6
3	P-AS-LC	93	0.22	3.0	0.08	>2419.6
4	P-AS-CA	45	0.53	1.40	0.12	>2419.6

>Valor: Valores por encima del límite máximo de lectura del equipo.

Tabla 5. Resultados - agua superficial (2024)

Ítem	Código	DQO (mg/l)	P (mg/l)	N- NO ₃ (mg/l)	N- NH ₃ (mg/l)	E. coli (NM P/100 ml)
1	P-AS-VL	43	0.	0	0	>241 9.6
2	P-AS-SJ	46	63	.20	.15	>241 9.6
3	P-AS-LC	55	59	0.	N .13	1732. 9
4	P-AS-CA	S D	S D	S D	S D	SD

ND: No determinado (por debajo del límite mínimo de lectura del equipo)

SD: Sin datos (no se pudo acceder al sitio de muestreo).

Los resultados obtenidos para las campañas de muestreo de agua subterránea se muestran en las tablas 6 y 7, así como los mapas de interpolación por parámetro y por campaña (2023 y 2024), con el objetivo de comparar los resultados obtenidos y estimar el posible impacto de los contaminantes analizados (ver figuras de 2 a 9).

Tabla 6. Resultados - agua subterránea (2023)

Ítem	Código	pH	OD (mg/l)	SDT (mg/l)	Turbiedad (NTU)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	CaCO ₃ (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Conductividad (μS/cm)	Salinidad (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Coli. Fecales (NMP/100 ml)	DQO (mg/l)
1	PO-EE	SD	SD	SD	3	8	0.5	0	24	520	420	1.19	8	61
2	PO-LT	6.46	2.87	196	2.04	0	0.2	0	5.2	393	190	1.59	0	42
3	PO-EH	6.76	3.17	275	0.62	9	0.3	0	21.2	550	260	1.15	0	38
4	PO-AG	7.06	2.75	431	0.71	4	2.2	0	80.4	863	420	0.29	0	52
5	PO-LB	6.63	2.84	147	0.94	0	0.6	0	14	297	140	10.3	0	SD
												7		
6	PO-ER	7.34	3.38	332	0.48	0	0.6	0	18	658	330	0.4	0	SD
7	PO-TI	7.52	3.43	244	0.45	3	0.3	0	30	490	230	0.33	0	SD
8	PO-EM	7.33	2.82	211	2.16	3	0.2	0	6.4	422	200	0.29	0	40
9	PO-GU	6.79	2.6	549	5.45	55	1.4	0	84.8	1099	540	4.54	0	53
10	PO-SG	6.68	2.62	285	8.27	1	0.2	0	33.6	569	270	1.93	0	SD

SD: Sin datos (no se pudo acceder al sitio de muestreo).

Tabla 7. Resultados - agua subterránea (2024)

Ítem	Código	pH	OD (mg/l)	SDT (mg/l)	Turbiedad (NTU)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	CaCO ₃ (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Conductividad (μS/cm)	Salinidad (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Coli. Fecales (NMP/100 ml)	DQO (mg/l)
1	PO-EE	3.93	4.59	276	1.83	7.1	NR	<8.50	44	553	260	1.25	0	52
2	PO-LT	4.58	2.30	107	1.24	2.4	NR	<8.50	23.5	213	100	1.87	<1.00	31
3	PO-EH	5.88	5.25	267	0.38	10.6	NR	<8.50	29.4	575	270	1.77	>2419.	33
4	PO-AG	3.87	3.51	454	0.43	5.7	NR	<8.50	89.50	904	440	0.31	0	34
5	PO-LB	SD	SD	SD	0.57	4.1	NR	<8.50	29.4	SD	SD	12.0	<1.00	SD
												3		
6	PO-ER	5.90	5.19	303	0.29	<2.00	NR	39.4	26.4	606	290	0.57	920.8	SD
7	PO-TI	6.26	1.64	275	0.27	<2.00	NR	<8.50	27.9	550	260	0.99	0	SD
8	PO-EM	4.56	2.67	203	1.32	5.8	NR	<8.50	32.3	407	190	0.58	>2419.	28
9	PO-GU	8.14	6.05	558	3.32	63.5	NR	96.4	102.7	1116	550	5.92	0	35
10	PO-SG	3.92	5.37	112	5.04	3.5	NR	<8.50	44	230	100	1.26	0	SD

NR: No realizado

SD: Sin datos (no se pudo acceder al sitio de muestreo).

Figura 2. Sólidos disueltos totales (SDT)- agua superficial.

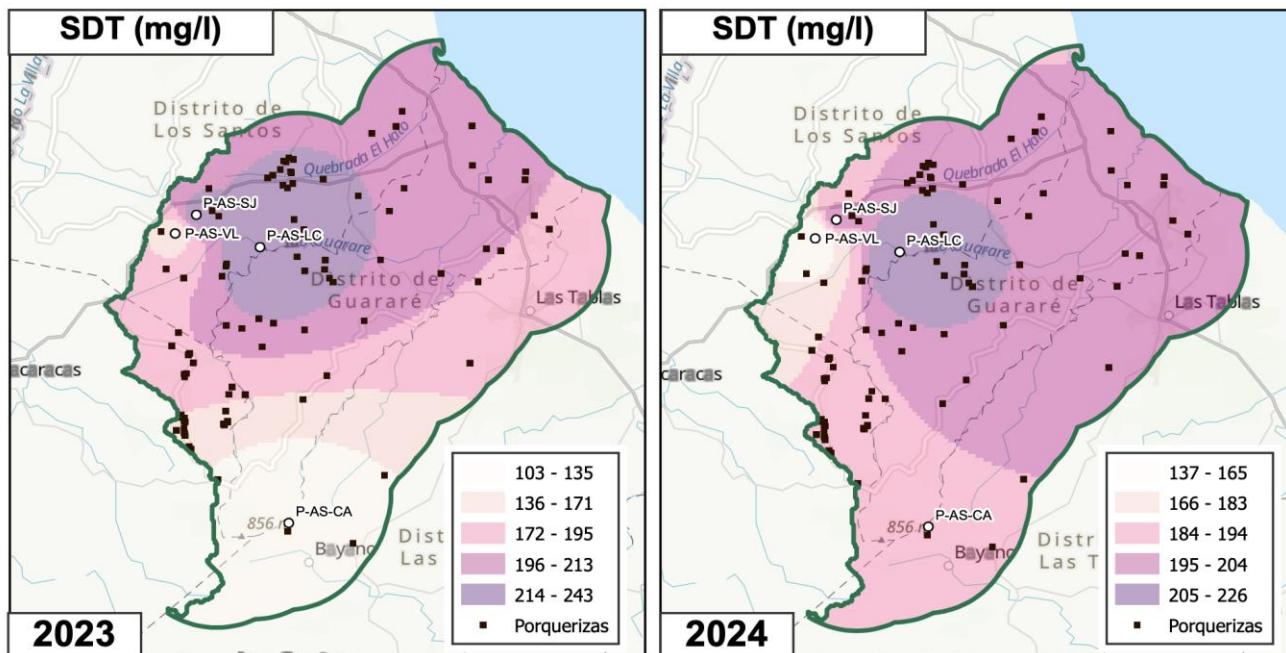


Figura 3. Sólidos disueltos totales (SDT)- agua subterránea.

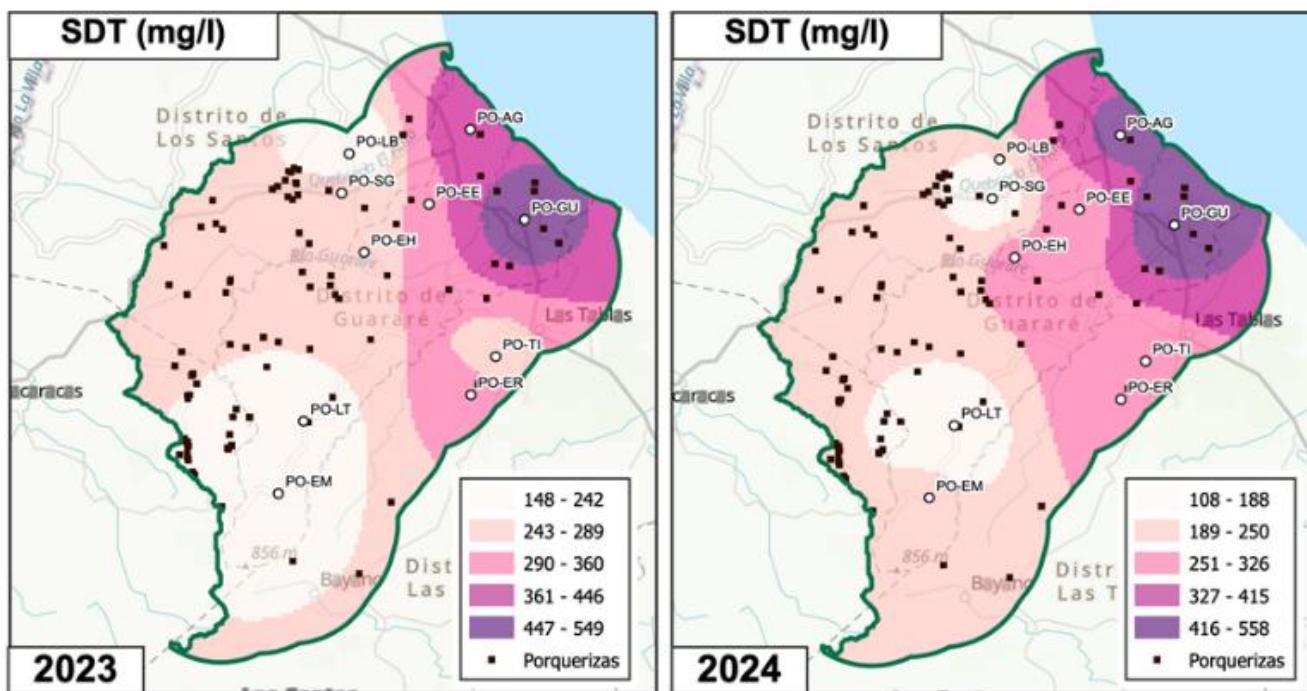


Figura 4. DQO - agua superficial.

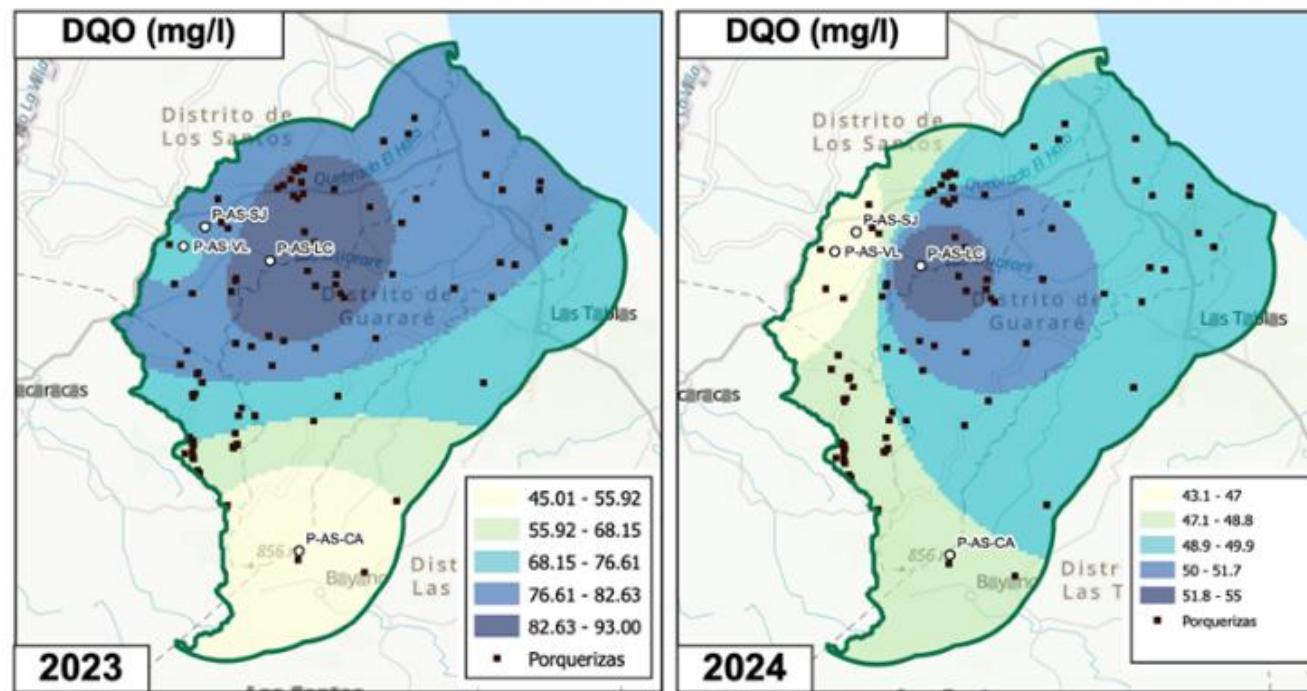


Figura 5. DQO- agua subterránea.

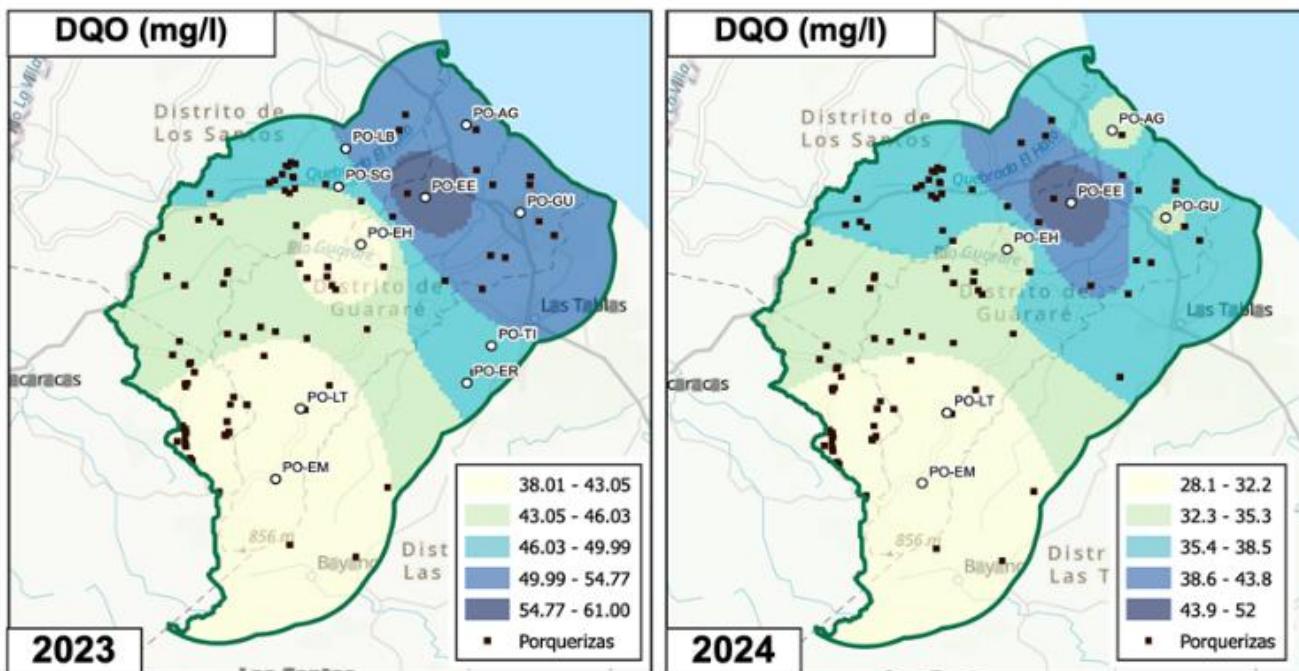


Figura 6. Fosfatos- agua superficial.

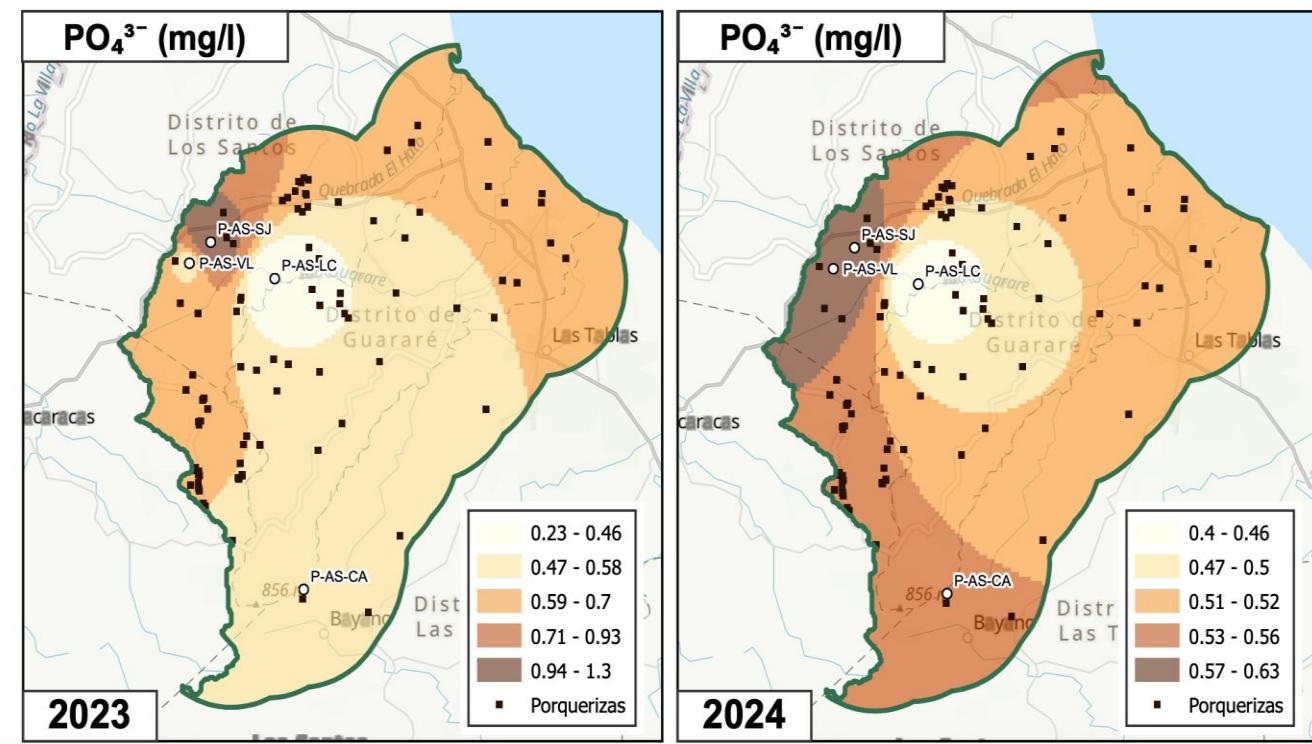


Figura 7. Fosfatos - agua subterránea.

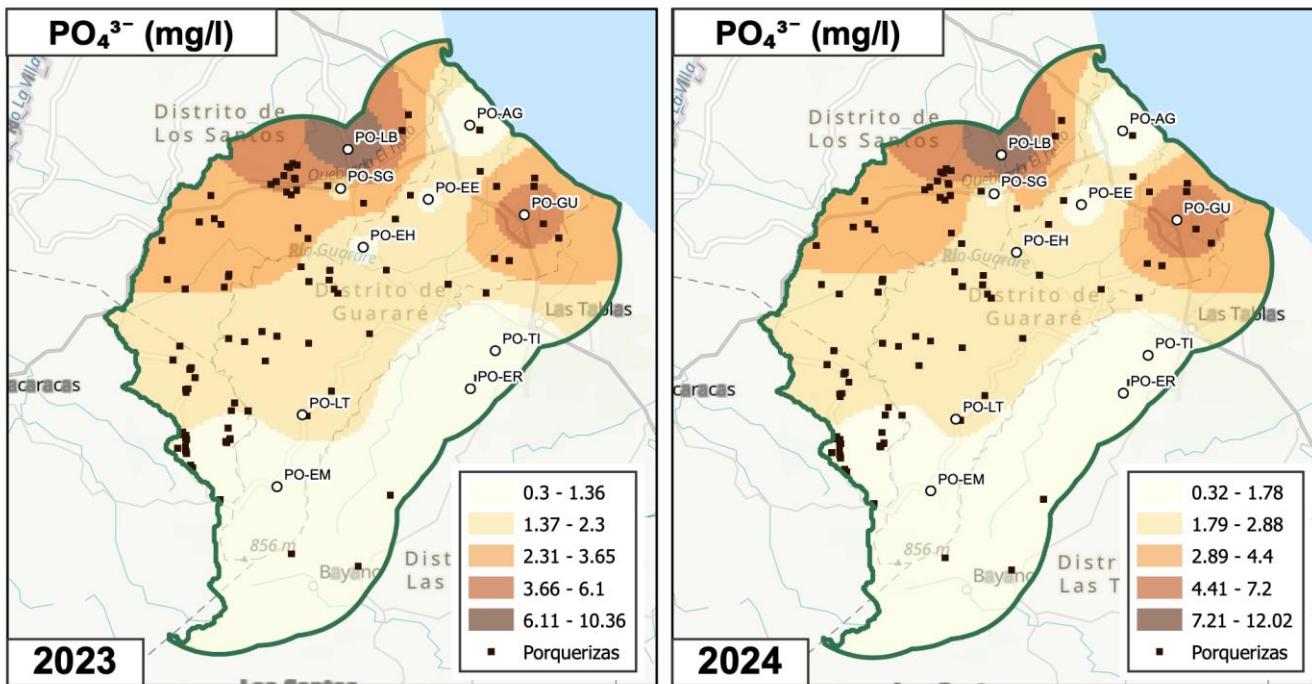


Figura 8. E-coli - agua superficial.

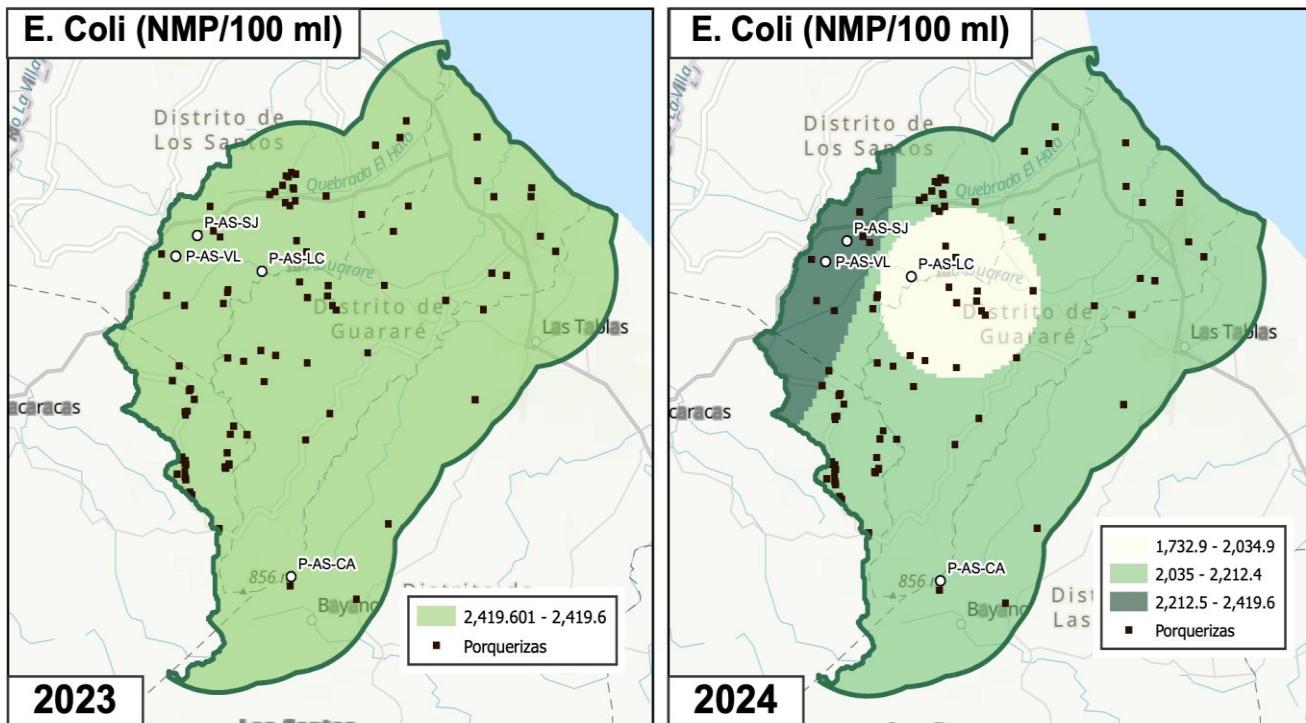
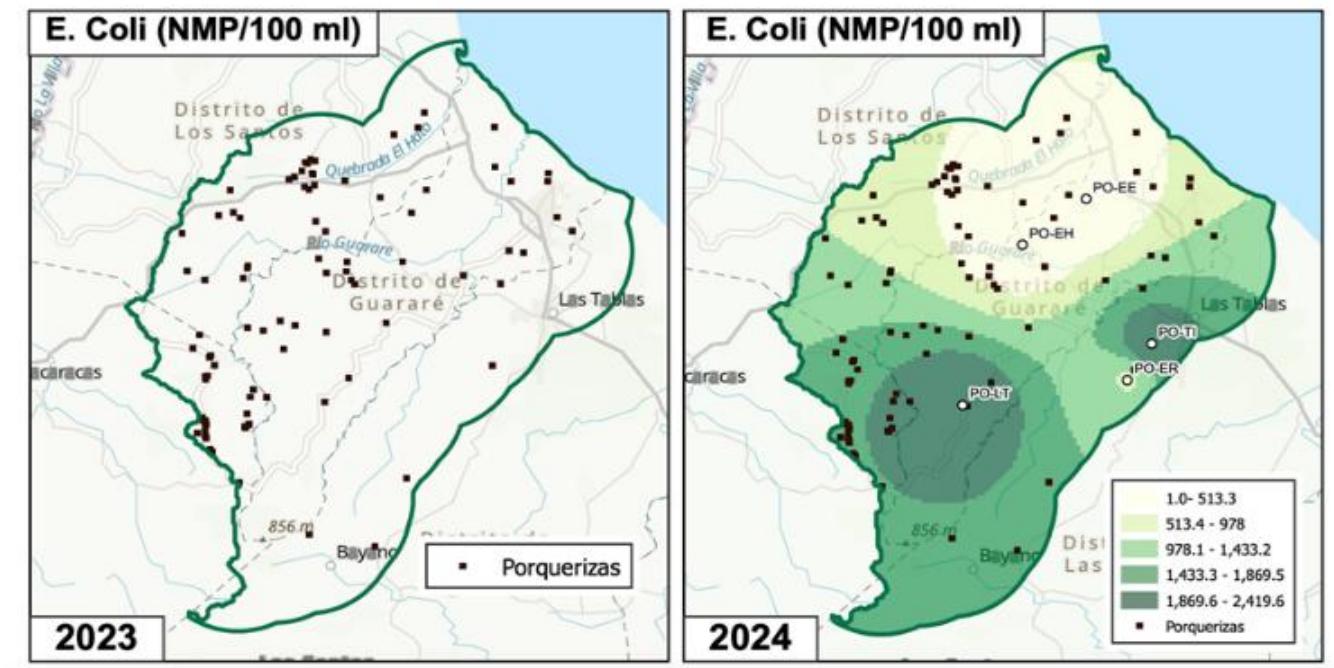


Figura 9: *E. coli*- agua subterránea.



Teniendo en cuenta lo establecido en el Reglamento Técnico vigente en Panamá, DGNTI-COPANIT 21-2019, para agua potable (apta para consumo humano), los resultados obtenidos en el agua de los pozos fueron comparados respecto a los valores permisibles (VP).

Dicha comparación se realiza a través de gráficos (ver Figuras 10 a16), para algunos de los parámetros analizados de calidad de agua subterránea.

Figura 10. pH - agua subterránea.

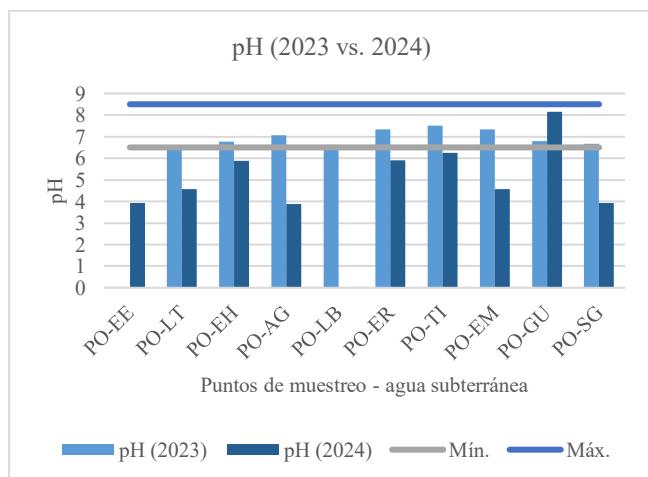


Figura 11. SDT -agua subterránea.

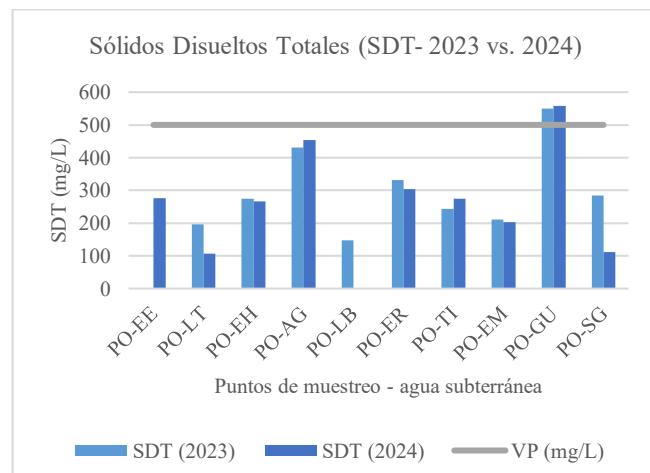


Figura 12. Turbiedad - agua subterránea.

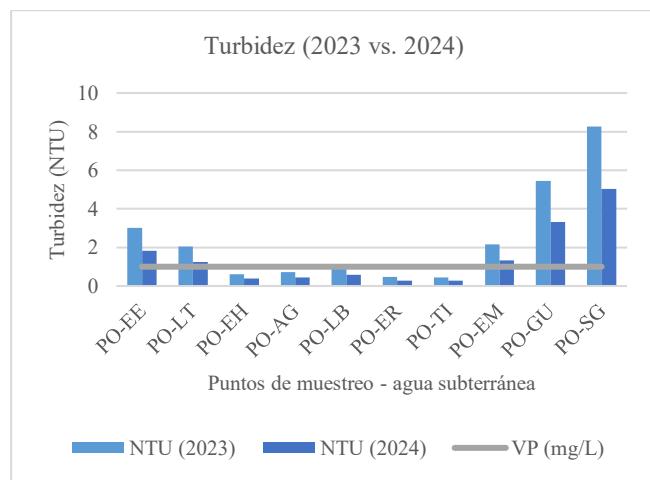


Figura 13. Cloruros -aguas subterráneas.

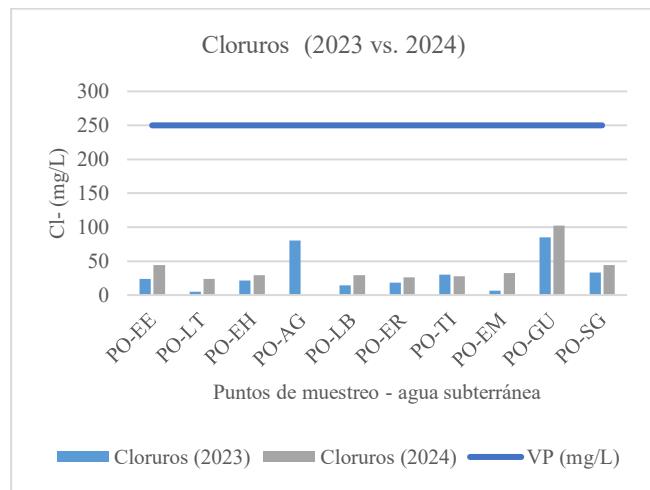


Figura 14. Sulfatos - agua subterránea.

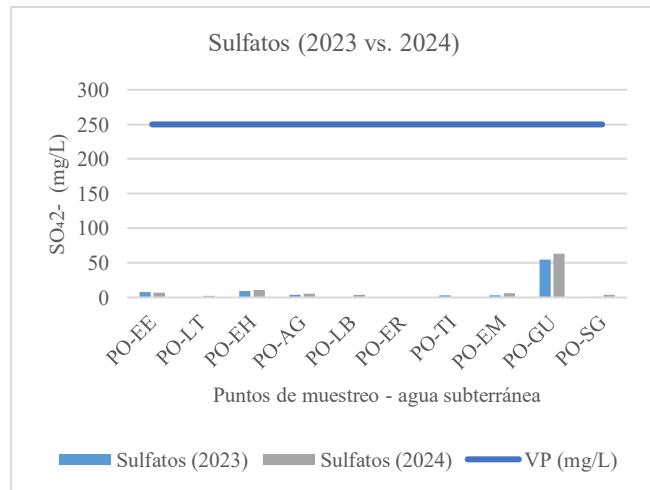


Figura 15. Conductividad – agua subterránea.

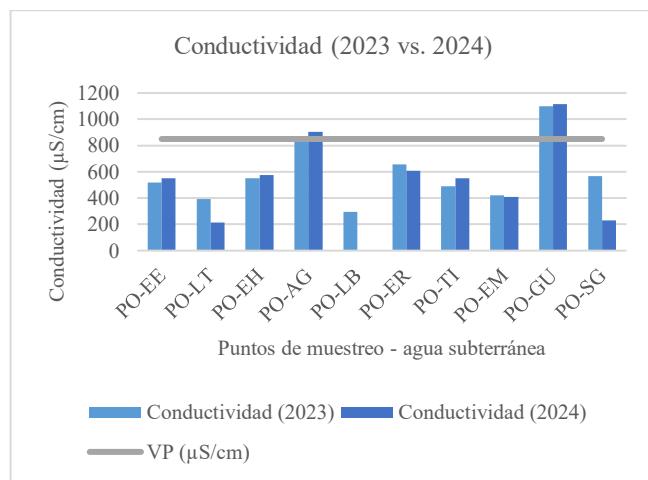
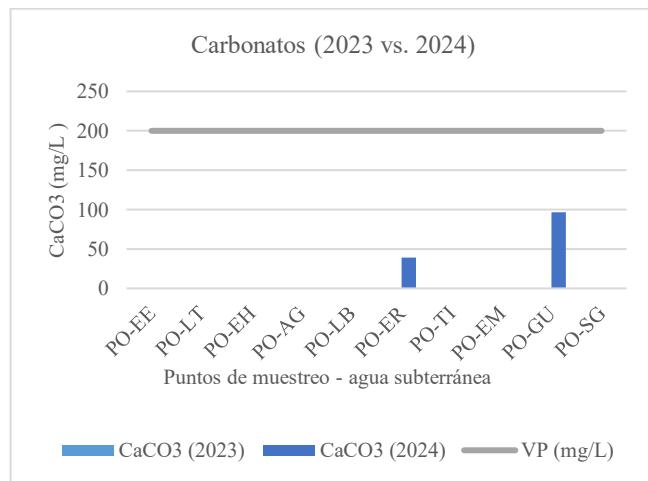


Figura 16: Carbonatos - agua subterránea.



Las gráficas mostradas a continuación (17 a 20), ilustran los valores obtenidos para los distintos parámetros de calidad de agua superficial de los puntos de muestreo seleccionados. Estas representaciones no muestran un valor de referencia como en las gráficas de aguas subterráneas, dado que, las muestras no fueron captadas en la descarga de la granja porcina sino en el cuerpo receptor, lo cual no se encuentra regulado en Panamá, razón por la cual no se puede aplicar lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo No. 168 de fecha 27 de diciembre de 2017, que regula el manejo ambiental integral en las granjas porcinas, y DGNTI-COPANIT 24-99 o DGNTI-COPANIT 35-2000, actualmente 35-2019.

Figura 17. DQO -agua superficial.

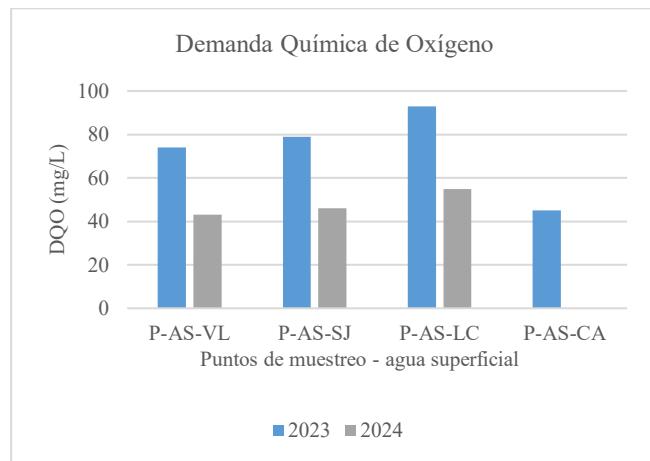


Figura 18. Fosfatos -agua superficial.

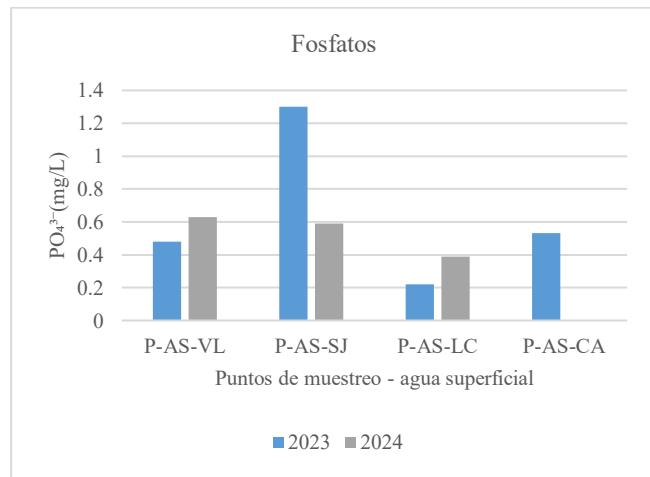


Figura 19. Nitrógeno de nitratos - agua superficial

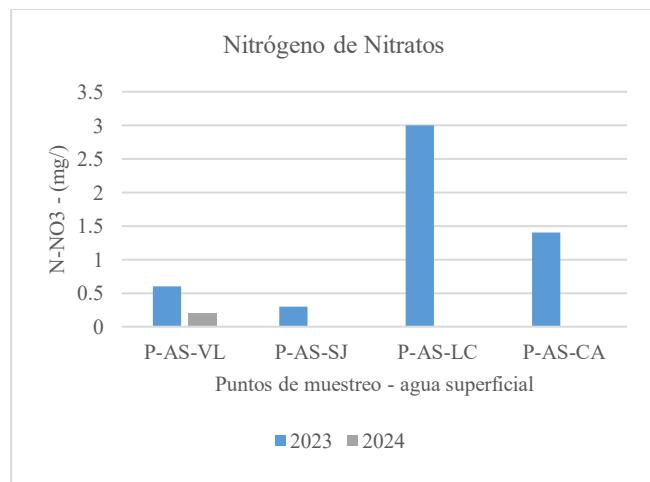
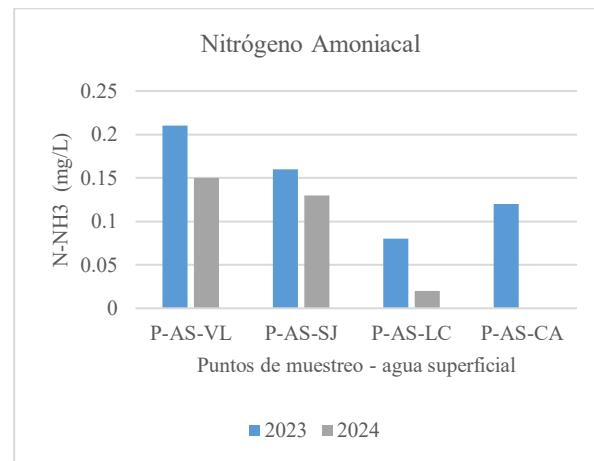


Figura 20. Nitrógeno amoniacial - agua superficial



Discusión de resultados

El análisis espacial de los sólidos disueltos en agua superficial muestra que las mayores concentraciones se localizan en áreas con mayor presencia de granjas porcinas (ver figura 2).

Para el año 2024, la ausencia de datos en el punto P-AS-CA genera una variación en la interpolación, aunque la tendencia de concentración máxima persiste en torno a las zonas con mayor densidad de porcinos, mostrando potencial de mejora en la calidad del agua (ver figura 3). Este patrón se correlaciona con la proximidad a la zona costera de la cuenca, lo que sugiere que la densidad poblacional podría ser un factor más determinante que la cantidad de granjas porcinas, considerando la distribución de áreas pobladas obtenida de MiAmbiente (2021).

Las concentraciones de DQO en agua superficial coinciden espacialmente con las zonas de mayor concentración de porcinos (ver figura 4). Sin embargo, los valores relativamente bajos de DQO sugieren que la contaminación es predominantemente orgánica. La falta de inclusión de este parámetro en los datos más recientes de monitoreo para la cuenca 126 (MiAmbiente, 2025) limita el análisis comparativo de la biodegradabilidad de los contaminantes. La interpolación para DQO no es precisa, pero se observa una tendencia decreciente en los puntos evaluados, manteniéndose las mayores concentraciones en las zonas de granjas porcinas.

La calidad de agua está condicionada por factores externos, como actividades humanas y agrícolas, y la carencia de sistemas de saneamiento en las comunidades. En Panamá solo el 83.3% de los hogares utiliza instalaciones sanitarias mejoradas, mientras que un 14.7% emplea letrinas (OLAS, 2023). Las instalaciones mejoradas incluyen sistemas que separan higiénicamente las excretas del contacto humano (JMP, 2022).

En aguas naturales los fosfatos se presentan en concentraciones menores a 1 mg/l, favoreciendo la proliferación de vegetación acuática y la degradación del cuerpo de agua (UNEP, 2024). En la figura 6 se observa una disminución de fosfatos entre campañas de monitoreo y en zonas con mayor cantidad de granjas porcinas, aunque los mapas comparativos de la figura 7, muestran que la presencia de contaminantes es mayor en sitios cercanos a centros poblados y pozos.

El monitoreo realizado en pozos como los Barreros (PO-LB) y Guararé (PO-GU), evidencia influencia de actividades ganaderas y falta de sistemas adecuados de recolección de aguas residuales, lo que podría favorecer la infiltración de contaminantes en el acuífero.

Para el año 2024, el agua subterránea muestra un valor que supera el límite máximo de detección en zonas alejadas de las granjas porcinas (ver figura 9), lo que resalta la importancia de analizar la calidad del agua en áreas con sistemas sanitarios deficientes.

La turbidez presenta una tendencia a la disminución en la campaña de monitoreo más reciente (ver figura 12), aunque el 50% de los pozos supera el valor permisible según la norma de Panamá.

Los valores de cloruros no superan el límite máximo permisible, aunque muestran un aumento en la temporada seca de 2024 (ver figura 13). En la figura 15 se observa que la conductividad supera el valor permitido en dos pozos, siendo el más alto el de Guararé, cercano al puerto y susceptible a intrusión salina.

El nitrógeno muestra concentraciones elevadas aguas abajo según se aprecia en la figura 19; este también se encuentra presente en purines de cerdo (Collao Barrios, 2008). El nitrógeno no es fácilmente lixiviante, sin embargo, es esencial su monitoreo para

prevenir la contaminación de fuentes subterráneas (González, 2013).

En síntesis, aunque parámetros como la DQO, coliformes fecales y E.coli, sugieren contaminación orgánica, no se puede atribuir exclusivamente a la actividad porcina, dada la influencia de otras actividades agrícolas y humanas. El análisis de los mapas (figuras 2 a 9) muestra que la contaminación aumenta hacia zonas bajas de la subcuenca y áreas con mayor densidad poblacional (MiAmbiente, 2021). La turbidez y conductividad en pozos costeros como Guararé evidencian riesgos asociados a la erosión y la intrusión salina, respectivamente.

Por lo anterior, autores como Malla et al. (2018), sugiere el empleo de trazadores biológicos específicos para identificar las fuentes de contaminación.

Conclusiones

El impacto de las granjas de aprovechamiento porcino sobre la calidad del agua superficial y subterránea en la sub-cuenca del río Guararé se evaluó mediante las correlaciones entre los valores obtenidos y las ubicaciones de las granjas. Sin embargo, estas correlaciones resultaron ser en su mayoría débiles.

A partir de los resultados de esta investigación, se concluye que la georreferenciación de los puntos de muestreo, en relación con la ubicación de las porquerizas y los valores de los parámetros de calidad del agua, permite visualizar e identificar posibles sitios críticos dentro del área de estudio. Este enfoque, basado en herramientas de geolocalización, facilita la toma de decisiones por parte de los gestores de la cuenca.

Como conclusión general, se observó que no existe una correlación clara entre las actividades porcinas, la cantidad de ganado en la zona y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. No obstante, los resultados revelaron que los niveles de contaminación en el agua tienden a aumentar en áreas con mayor concentración de población, lo que sugiere que la actividad humana podría ser una fuente significativa de dicha contaminación.

Para futuras investigaciones, se recomienda diversificar las variables analizadas, incluyendo otros contaminantes, además de considerar un monitoreo más

extenso a lo largo del tiempo para capturar las variaciones estacionales y de largo plazo en la calidad del agua. También sería útil aumentar el número de puntos de muestreo, tanto en agua superficial como subterránea, para mejorar la precisión de los resultados.

Comparar áreas cercanas a las granjas con zonas no impactadas por las mismas proporcionaría un contexto más claro sobre el impacto de las actividades porcinas en la calidad del agua. Además, se sugiere para posteriores trabajos, el uso de modelos predictivos y de simulación para evaluar la dispersión de contaminantes y su impacto bajo diferentes escenarios de manejo de granjas, lo que ayudaría en la toma de decisiones para la gestión de la cuenca.

Agradecimientos

Los autores desean patentizar su especial agradecimiento a los investigadores y personal de apoyo técnico del proyecto de investigación "Caracterización de las aguas subterráneas en la sub-cuenca del río Guararé para su seguridad Hídrica" (Código FID22-063) del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), por su colaboración técnica, propiciar el análisis crítico de los resultados y permitir el uso de sus instalaciones para todo el desarrollo de este trabajo.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos del proyecto de investigación "Caracterización de las aguas subterráneas en la sub-cuenca del río Guararé para su seguridad hídrica" (código FID22-063). Dicho estudio es desarrollado a través del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Los recursos fueron obtenidos mediante convocatoria de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT).

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

Como citar este documento

Mitre Núñez, M. V., Alfaro De Arcia, L. R., & Morales De León, D. (2025). Evaluación geoespacial del efecto de porquerizas en la calidad hídrica del río Guararé. *Aqua, Saneamiento & Ambiente*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v20i1.1870>

Consentimiento informado

No aplica.

Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: M.V.M.N.

Conceptualización, seguimiento y revisión de texto, forma y fondo: L. R. A.,

Planificación, gestión del financiamiento y revisión de texto, forma y fondo: D. M. D.

Referencias

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA.
- Cabrera Bermúdez, J. (2011). *Amenaza potencial de contaminación en el horizonte acuífero Paso Real, realidad o ficción*. [Ponencia en Taller sobre aguas subterráneas y contaminación]. IX Congreso Cubano De Geología (Geología 2011). La Habana, Cuba.
- Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), Universidad Tecnológica de Panamá. (2023). *Caracterización de las aguas subterráneas en la sub-cuenca del río Guararé para su seguridad hídrica (Proyecto FID22-063)*. Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT).
- Collao Barrios, G. C. (2008) *Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos provenientes de la utilización de purines de cerdo en la agricultura*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104870>
- Contraloría General de la República de Panamá [CGR]. (2021). *Encuesta Pecuaria 2020 refleja disminución de aves y aumento de ganado y cerdos con relación al 2019*. <https://www.contraloria.gob.pa/publicaciones/encuesta-pecaaria-2020-refleja-disminucion-de>

- [aves-y-aumento-de-ganado-y-cerdos-con-relacion-al-2019/](https://www.inec.gob.pa/publicaciones)
- Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica [CNSH]. (2016). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos.* <https://www.senacyt.gob.pa/wp-content/uploads/2018/12/3.-Plan-Nacional-de-Seguridad-Hídrica-2015-2050-Agua-para-Todos.pdf>
- Cornejo, A., López-López, E., Ruíz-Picos, R. A., Sedeño-Díaz, J. E., Armitage, B., Arefina, T., Nieto, C., Tuñón, A., Molinar, M., Ábreo, T., Pérez, E., Tuñón, A.R., Maguén, J., Rodríguez, A., Pineda, J., Cubilla, J., & Ávila Quintero, I. M. (2017). *Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud.* Ministerio de Ambiente. <https://sinia.gob.pa/diagnostico-de-la-condicion-ambiental-de-los-afluentes-superficiales-de-panama-ano-2017/>
- Esri. (2023). *IDW Spatial Analyst.* (ArcGIS Pro). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.2/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm>
- González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Mente & Materia, Revista Académica, Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)*, 4(1), 12-13. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/334>
- Grondona, S., Massone, H., González, M., & Bedmar, F. (2022). Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea en áreas agrícolas. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 38(1), 111–125. <https://doi.org/10.20937/RICA.54194>
- Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá [IDIAP]. (2022). *Proyecto de Innovación Agropecuaria Sostenible e Incluyente.* https://proyectos.idiap.gob.pa/proyectos/innovation_productiva_sostenible_sistemas_producción_agricultura_familiar_panama/es
- Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá [IMHPA]. (2024). *Régimen Pluviométrico de Panamá.* <https://www.imhpa.gob.pa/es/regimen-pluviometrico-pantama>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC] (2023). *Resultados Finales Básicos XII Censo Nacional de Población y VIII de Vivienda 2023.* <https://www.inec.gob.pa/publicaciones>
- Malla, B., Ghaju Shrestha, R., Tandukar, S., Bhandari, D., Inoue, D., Sei, K., Tanaka, Y., Sherchand, J.B., y Haramoto, E. (2018). Validation of host-specific Bacteroidales quantitative PCR assays and their application to microbial source tracking of drinking water sources in the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Applied Microbiology*, 125(1), 609-619. <https://doi.org/10.1111/jam.13884>
- Méndez Novelo, R., Pacheco Ávila, J., Castillo Borges, E., Cabrera Sansores, A., Vázquez Borges, E. y Cabañas Vargas, D. (2015). Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 19(1), pp. 51-61. <http://redi.uady.mx/bitstream/handle/123456789/2272/document%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mesa Wilchez, C., Mesa Ospina, A., Montenegro Marín, C., & Gaona García P. (2017). *Análisis geoestadístico y predicción espacial para el índice de calidad del agua en el Río Bogotá.* En 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education” (pp. 1-10). Boca Raton, FL, Estados Unidos. https://laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/full_papers/FP104.pdf
- Ministerio de Ambiente [MiAmbiente] (2021). *Datos abiertos y Geoservicios.* Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), Mapa: Cobertura Boscosa y Uso del Suelo, año 2021 (1:25,000). https://sinia.gob.pa/datos/Suelo/Cobertura_Boscosa_Uso_Suelo_2021_11x17_20241029.pdf
- Ministerio de Ambiente [MiAmbiente]. (2025). *Registros Históricos de Índice de Calidad de Agua 2002 – 2023.* Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). <https://sinia.gob.pa/registros-historicos-de-índice-de-calidad-de-agua-2022-2023/>
- Ministerio de Ambiente [MiAmbiente]. (2025). *Resumen Ejecutivo. Estudio de Prospección, Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas en la República de Panamá.* Sistema Nacional de Información Ambiental

- (SINIA). <https://sinia.gob.pa/estudio-de-prospeccion-exploracion-y-evaluacion-de-aguas-subterraneas-en-la-republica-de-panama/>
- Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá. (2019). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019: Tecnología de los alimentos, Agua potable, Definiciones y requisitos generales* (06 de mayo de 2019). https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/287_77_B/GacetaNo_28777b_20190520.pdf
- Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá. (2019). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2019: Medio ambiente y protección de la salud. Seguridad. Calidad del agua. Descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de aguas continentales y marinas* (27 de junio de 2019). https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/288_06_B/GacetaNo_28806b_20190628.pdf
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (2017). Decreto Ejecutivo No. 168 del 27 de diciembre de 2017, reglamento del manejo ambiental de forma integral de las granjas porcinas. Gaceta Oficial No. 28696-A, jueves 17 de enero de 2019. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/pan189767.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA). (2023). *Apoyo técnico y logístico para la identificación de puntos de muestreo en la sub-cuenca del río Guararé*. [Comunicación institucional].
- Obozige, F.J., Adie, D. B., y Abukabakar, U.A. (2018). *Water quality assessment and mapping using inverse distance weighted interpolation: a case of river Kaduna, Nigeria*. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH), 37(1), 249-261. <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v37i1.33>
- Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento [OLAS]. (2023). *Panamá, Diagnóstico de país*. <https://www.olasdata.org/countries/panama>
- Rivas-Ríos, F. (2013). *La crisis del agua en la Provincia de Los Santos, Panamá*. <https://apronadpanama.wordpress.com/2013/02/01/la-crisis-del-agua-en-la-provincia-de-los-santos-panama/>
- Toro Chacón, L., Díaz Celis, C., Cárdenas, J., Aguilar, L., Pimienta, A., & Torres, M. A. (2020). Aplicación de tecnologías SIG en el análisis geoespacial de determinantes de calidad del agua: oxígeno disuelto, pH y temperatura del agua. En III Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI-2020. Universidad de Los Llanos. https://cici.unillanos.edu.co/media2020/memorias/CICI_2020_paper_56.pdf
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2024). *¿Qué es el fósforo y por qué aumenta la preocupación por su impacto ambiental?* <https://www.unep.org/news-and-stories/story/what-phosphorus-and-why-are-concerns-mounting-about-its-environmental-impact>