



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

-PUIRNA-

Calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios Izabal

4.8.69.2.01

Centro Universitario de Izabal -CUNIZAB-IICI

Luis Alfredo Dardón Sandoval

Luis Fernando Chicojay de León

Jorge Alejandro Sologaistoa Dardón

Hugo Leonel Hidalgo Colindres

Puerto Barrios Izabal 11 de febrero de 2025



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

MARN Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

Ing. M Sc. Andrea Rodas Morán

Coordinadora Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Autores

Luis Alfredo Dardón Sandoval. 20210462

Luis Fernando Chicojay de León. 20230606

Jorge Alejandro Sologaistoa Dardón. 20201137

Hugo Leonel Hidalgo Colindres. 20121092

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.69.2.01 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Índice general

Índice general	3
Índice de figuras	5
índice de tablas	5
Resumen	7
Palabras clave	7
Abstract	8
Keywords	8
1. Introducción	9
2. Contexto de la investigación	10
3. Revisión de literatura	12
3.1. Agua superficial y subterránea.	12
3.2. Importancia del agua para la salud y el ambiente.....	13
3.3. Uso del agua subterránea.....	14
3.4. Conservación del agua subterránea	14
3.5. Calidad del agua subterránea.....	15
3.6. Geoquímica del agua subterránea.....	17
3.7. Contaminación del agua subterránea.....	18
3.8. Fuentes de contaminación del agua subterránea.....	18
3.9. Impacto de la calidad del agua en la salud humana.....	19
3.10. Normativa para uso y protección del agua en Guatemala.	20
3.10.1. Normas y estándares internacionales y nacionales para calidad del agua subterránea.....	20



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

3.11.	Índice de Calidad del agua (ICA).....	22
3.12.	Importancia del agua subterránea en Puerto Barrios.....	23
3.13.	Gestión del agua subterránea en Guatemala-Puerto Barrios.....	23
4.	Planteamiento del problema.....	25
6.1.	Tipo de investigación.....	28
6.2.	Enfoque y alcance de la investigación.....	28
6.3.	Diseño de la investigación.....	28
6.4.	Población, muestra y muestreo.....	29
6.5.	Técnicas.....	30
6.6.	Resumen de las variables o unidades de análisis.....	36
6.7.	Procesamiento y análisis de la información.....	37
7.	Resultados y discusión.....	38
7.1.	Registrar la ubicación geográfica de pozos artesanales y mecánicos existentes en el municipio de Puerto Barrios.....	38
7.2.	Determinar la calidad del agua a nivel freático en los pozos artesanales y mecánicos del municipio de Puerto Barrios.....	40
7.3.	Caracterizar los usos del agua subterránea por parte de la población en el municipio de Puerto Barrios.....	55
7.4.	Evaluar riesgos para la salud humana asociados con la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios.....	57
7.5.	Discusión de resultados.....	58
8.	Beneficiarios directos e indirectos.....	60
9.	Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.....	61
10.	Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND).....	62



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

11.	Vinculación.....	63
12.	Conclusiones.....	64
13.	Recomendaciones	65
	Referencias	66
	Apéndice.....	74

Índice de figuras

Figura 1	Mapa de distribución geográfica de pozos artesanales y mecánicos	39
Figura 2	Mapa de potencial de hidrogeno del agua subterránea de Puerto Barrios	41
Figura 3	Mapa de solidos totales disueltos del agua subterránea de Puerto Barrios	43
Figura 4	Mapa de conductividad eléctrica del agua subterránea de Puerto Barrios.....	45
Figura 5	Mapa de salinidad del agua subterránea de Puerto Barrios.....	47
Figura 6	Mapa de concentración de hierro en agua subterránea de Puerto Barrios	49
Figura 7	Mapa de concentración de sulfitos en el agua subterránea	50
Figura 8	Mapa de dureza del agua subterránea de Puerto Barrios	51
Figura 9	Frecuencia de contaminación por coliformes totales	53
Figura 10	Frecuencia de contaminación por E.coli	54
Figura 11	Usos del agua subterránea de Puerto Barrios.....	56
Figura 12	Casos de enfermedades por sector	57

índice de tablas

Tabla 1	Características químicas	21
Tabla 2	Características físicas y organolépticas	22
Tabla 3	Método de análisis utilizado para parámetros químicos.....	33
Tabla 4	Método de análisis utilizado para parámetros microbiológicos.....	34



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 5 Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.....	36
Tabla 6 Tabla de contingencia tipo de pozos por sector.....	38
Tabla 7 Análisis descriptivo de pH del agua subterránea.....	40
Tabla 8 Análisis descriptivo de solidos totales disueltos en agua subterránea.....	42
Tabla 9 Análisis descriptivo de conductividad eléctrica del agua subterránea.....	44
Tabla 10 Análisis descriptivo de salinidad del agua subterránea	46
Tabla 11 Análisis descriptivo de hierro, zinc, sulfitos, alcalinidad y dureza del agua subterránea de Puerto Barrios.....	48
Tabla 12 Coliformes totales y E.Coli en agua subterránea de Puerto Barrios.....	52
Tabla 13 Beneficiarios directos e indirectos de la investigación.....	60
Tabla 14 Estrategia de divulgación y difusión de los resultados	61



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Resumen

La calidad del agua subterránea y la salud humana tienen una fuerte relación, ya que el acceso a agua en óptimas condiciones es esencial para el desarrollo y bienestar de las personas. El uso de agua contaminada para suministro en el hogar representa un riesgo para la salud de las personas. Por lo tanto, esta investigación tuvo por objetivo evaluar la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios. Para esto se analizaron 52 pozos distribuidos dentro del territorio de Puerto Barrios, analizando parámetros como potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, hierro, sulfitos, coliformes totales y fecales. Los resultados muestran que existe problema de acidificación y alta concentración de hierro total en el agua subterránea de Puerto barrios principalmente en el sector de Entre Ríos. Otro hallazgo importante es la contaminación por coliformes totales y fecales, detectándose su presencia en el 48% de las muestras analizadas y observando un incremento de coliformes en el mes de diciembre posterior a eventos de precipitación. A demás para fortalecer los resultados obtenidos se utilizó una entrevista semiestructurada que permitió caracterizar los usos del agua subterránea y el riesgo para la salud de las personas. El agua subterránea es utilizada en los hogares para limpieza en el hogar (85%), higiene personal (73%), riego de plantas (65%), lavado de utensilios de cocina y cocción de alimentos (55%) y consumo humano (26%). En las áreas con alta contaminación por coliformes las personas reportaron casos de enfermedades como diarrea y dolor de estómago. Esta información es de utilidad para priorizar el monitoreo del agua subterránea de las áreas que presentar mayor contaminación como la promoción de proyectos que mejoren el acceso al agua potable.

Palabras clave

1. Calidad del agua subterránea
2. Contaminación del agua subterránea
3. Riesgos para la salud



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Abstract

Groundwater quality and human health are strongly related, as access to safe water is essential for human development and well-being. The use of contaminated water for household supply poses a significant health risk. Therefore, this study aimed to evaluate groundwater quality in the municipality of Puerto Barrios. A total of 52 wells distributed throughout Puerto Barrios were analyzed, assessing parameters such as pH, electrical conductivity, total iron, sulfites, total coliforms, and fecal coliforms. The results indicate issues with acidification and high concentrations of total iron, particularly in the Entre Ríos area. Another key finding was the contamination by total and fecal coliforms, detected in 48% of the analyzed samples, with an increase observed in December following precipitation events. To strengthen the results, a semi-structured interview was conducted to characterize groundwater use and the associated health risks. Groundwater is primarily used in households for cleaning (85%), personal hygiene (73%), plant irrigation (65%), washing kitchen utensils and cooking (55%), and human consumption (26%). In areas with high coliform contamination, residents reported cases of illnesses such as diarrhea and stomach pain. This information is valuable for prioritizing groundwater monitoring in the most contaminated areas and promoting projects that improve access to safe drinking water.

Keywords

1. Ground water quality
2. Contamination of groundwater
3. Health risks



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

1. Introducción

El recurso hídrico disponible en Guatemala es suficiente para satisfacer las necesidades de su población. Sin embargo, el manejo inadecuado del recurso dificulta el acceso al agua. Además, no existe legislación que obliguen a las instituciones a velar por la calidad y disponibilidad del agua a nivel nacional. Debido a esta carencia legal, muchos ríos están siendo utilizados para el desfogue de desechos y agua residual (Sigui, 2016). La contaminación del agua superficial ha causado un aumento en la explotación del agua subterránea para el abastecimiento domiciliar. Sin embargo, los acuíferos poco profundos pueden encontrarse contaminados por vertidos urbanos, agrícolas e industriales (Marschoff, 2012).

Según Giron (2011), la perforación de pozos artesanales y mecánicos se ha convertido en una alternativa importante para los pobladores de diversos municipios en Guatemala incluyendo a Puerto Barrios. Sin embargo, Balcárcel Valenzuela (2002) analizó la calidad del agua subterránea en el municipio de Fraijanes determinando que no cumple con los estándares establecidos en la norma COGUANOR NTG 29901 para agua potable. Además, concluyó que existe un alto riesgo de contaminación en los acuíferos del país.

En este contexto Peña (2006) identificó la presencia de enfermedades como cólera y fiebre tifoidea en niños de 0 a 10 años en Izabal, enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada. También advirtió que el área de salud carece de un plan regular para el análisis del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios, a pesar de que en 2003 se reportaron 16,304 casos de diarrea en el Hospital Nacional Infantil de Puerto Barrios. Esta problemática se ve agravada por la falta de equipo y recursos financiero por parte del ministerio de salud para realizar análisis de calidad del agua subterránea en el departamento de Izabal (Comisión Departamental de Ambiente y Recursos Naturales, 2022).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

El uso de agua contaminada para suministro en el hogar representa un riesgo para la salud de las personas, por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios. Para ello se realizó la georeferenciación de pozos artesanales y mecánicos en el municipio, seleccionando aleatoriamente 52 puntos de muestreo en los cuales se midieron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterránea. Los resultados evidenciaron que Puerto Barrios presenta acidificación del agua, alta concentración de hierro total y una elevada frecuencia de detección de coliformes totales y fecales además se observó un incremento de contaminación por coliformes después de eventos de precipitación. Para completar el análisis se realizaron entrevistas a los propietarios de los pozos lo que permitió identificar los usos que le dan al agua subterránea y si han presentado alguna enfermedad relacionada al uso o consumo del recurso hídrico.

Los resultados de la investigación muestran que existe necesidad de implementar proyectos para mejorar el acceso al agua potable y saneamiento ambiental, siendo esta investigación de utilidad para la toma de decisiones sobre la implantación de programas de monitoreo del agua subterránea priorizando las áreas que presentan mayor grado de contaminación.

2. Contexto de la investigación

La ejecución de la investigación tuvo una duración de 11 meses, iniciando en el mes de febrero y finalizando en el mes de diciembre del 2024. El área de estudio de la investigación fue el municipio de Puerto Barrios, ubicado en el departamento de Izabal, Guatemala, abarcando tanto zonas urbanas como rurales.

La población directamente beneficiada por los resultados de la investigación fueron los 52 propietarios de los pozos que fueron analizados, mientras que la población beneficiada de manera indirecta son todas aquellas personas que utilizan o estén interesadas en utilizar el agua subterránea para uso domiciliario en el municipio. Adicionalmente se benefició a 5



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

escuelas públicas con la gestión de eco filtros para purificación de agua subterránea en estas escuelas.

Puerto Barrios, cabecera departamental de Izabal, se encuentra ubicado en la bahía de Amatique en el océano Atlántico. Colinda geográficamente al norte con la bahía de Amatique, el golfo de Honduras y el mar Caribe; al este con el golfo de Honduras y la República de Honduras; al sur con la República de Honduras y el municipio de Morales; y al oeste con los municipios de Morales, Los Amates y Livingston.

Cuenta con una extensión territorial de 1,292 kilómetros cuadrados y se encuentra a 300 kilómetros de la ciudad capital. Puerto Barrios, por la concentración de población, puede dividirse en tres sectores: el casco urbano de Puerto Barrios cuenta con 33,212 habitantes; Santo Tomás con 27,331 habitantes; y Entre Ríos con 9,116 habitantes. La población proyectada para el año 2017 es de 116,263 habitantes. El índice de desarrollo humano del municipio es de 0.704, reportando que el 24.27 % de la población está en situación de pobreza y el 9 % en pobreza extrema (Consejo Municipal de Desarrollo et al., 2018).

En cuanto a las condiciones climáticas, Puerto Barrios cuenta con una precipitación anual media de 3,000 milímetros de agua y una temperatura que oscila entre los 12 y 42 grados Celsius. También tiene una humedad relativa promedio anual del 85% (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2003). Para el año 2021 en el municipio de Puerto Barrios se reportó una temperatura media anual de entre 26 y 28 grados Celsius y una precipitación anual de 3000 a 3500 milímetros de agua (Consejo Departamental de Desarrollo de Izabal, 2023). La recolección de muestras de agua subterránea se realizó durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2024. Para estos meses, se reportó una precipitación acumulada mensual de 150 a 200 mm en septiembre, de 300 a 400 mm en octubre, de 200 a 250 mm en noviembre y de 400 a 500 mm en diciembre (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2024).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

En el aspecto geológico, Puerto Barrios está constituido por rocas sedimentarias de los periodos aluviones cuaternarios, terciario y superior – Oligoceno, cuya composición es rica en minerales, materia orgánica y fósiles marinos (MAGA, 2005). Las órdenes de suelo presentes en Puerto Barrios son: Entisoles, Ultisoles, Inceptisoles y Alfisoles. Dentro de estas, las series de suelo son las siguientes: Manabique, Champona, Aluviales, Chacalte, Chacón e Inca (MAGA,2000).

3. Revisión de literatura

3.1. Agua superficial y subterránea.

Las aguas superficiales se encuentran y circulan sobre la superficie de la tierra, formando ríos, lagos, arroyos, embalses naturales y artificiales. En Guatemala al menos el 70% del suministro de agua para diversas actividades provienen de fuente superficiales, sin embargo, la mayoría de estas aguas se encuentran contaminadas por microorganismos (coliformes fecales y totales), por lo tanto, estas fuentes de suministro no son aptas para consumo humano sin desinfección previa (Chán Santisteban & Peña, 2015).

Syeed y Khan (2023) consideran que agua superficial es toda aquella acumulación de agua líquida que se encuentre sobre la superficie de la Tierra, incluyendo océanos, ríos, lagos, arroyos, humedales y embalses. El agua dulce superficial representa solo el 1% del total del recurso hídrico y es indispensable para dar forma al medio ambiente, así como para mantener las diversas formas de vida en el planeta.

Cuando pensamos en agua dulce siempre recordamos ríos y lagos de agua cristalina sin embargo la mayor parte del agua dulce del mundo es agua subterránea. El agua subterránea se encuentra bajo tierra se mantienen en acuíferos que son rocas y sedimentos permeables que contiene agua, se puede extraer por medio de pozos y también burbujan naturalmente a través de manantiales permitiendo que ríos y arroyos fluyan libremente (Herrera, 2022).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

El manto acuífero, o agua subterránea, es un recurso hídrico que se encuentra bajo la superficie del suelo. Este recurso puede desplazarse a través de los materiales porosos del suelo y emerger nuevamente en forma de manantiales, contribuyendo al caudal de los ríos. La mayoría de esta agua llega al mar o a cuencas cerradas donde se evapora. Para aprovechar este recurso, se pueden emplear perforaciones, galerías de drenaje y túneles (Ordóñez Gálvez, 2011).

3.2. Importancia del agua para la salud y el ambiente.

El agua es un recurso fundamental para la vida en todo sentido. Plantas, animales y seres humanos dependemos de este recurso; es necesario para la industria, la recreación, el hogar, la agricultura y la ganadería. El agua es un derecho humano, y la mayoría de los países reconocen el derecho a un ambiente sano e incluyen normas y estándares de calidad del agua para consumo humano. Siendo el agua un recurso esencial para la vida y la salud de todas las personas (Environmental Law Alliance Worldwide, 2024).

El agua subterránea es esencial para el equilibrio de los ecosistemas y el bienestar del ser humano, los acuíferos mantienen y reponen los niveles de cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos y arroyos. En periodos de caudal bajo más del 50% de del agua que fluye en un río provienen de fuentes subterráneas, además el agua subterránea es esencial para la conservación de humedales y manantiales que son hábitat de una gran diversidad de plantas y animales (Herrera, 2022).

En América latina y el Caribe el agua subterránea es fundamental para el abastecimiento de agua potable, la producción agrícola y el mantenimiento de los ecosistemas, a pesar de la abundante agua superficial en países de la región como México y Costa Rica más del 70% de los hogares urbanos utilizan como fuente principal agua subterránea. En el Caribe donde los cuerpos de agua superficial son limitados el uso del agua subterránea es esencial para la producción de alimentos y abastecimiento en los hogares (World Water Assessment Programme, 2022).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

El agua subterránea es esencial para la vida en todo el mundo, especialmente en regiones áridas y semi áridas donde es la principal fuente de agua disponible. El agua subterránea es fundamental para la agricultura y la ganadería teniendo un papel clave en la seguridad alimentaria ya que sin esta no es posible la producción de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

3.3. Uso del agua subterránea.

El agua subterránea ha sido utilizada desde la antigüedad para el suministro de poblaciones y riego, siendo un recurso valioso para los seres vivos y esencial en el ciclo hidrológico. Con el paso del tiempo, se han mejorado las herramientas y técnicas para la extracción de agua subterránea (perforación de pozos y bomba sumergida), lo que ha permitido aumentar la explotación de este recurso hídrico. Se utiliza principalmente para el riego en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, la sobreexplotación del agua subterránea puede afectar a los ecosistemas debido a la disminución de los caudales de ríos y manantiales (Herráiz, 2009).

En Guatemala, el recurso hídrico proveniente de los pozos se considera esencial y abundante para el suministro de agua dulce en diversas actividades, como la agricultura, la industria, los usos públicos, privados y el consumo humano. Sin embargo, la calidad de este recurso puede variar mucho en una misma región. De igual manera, la abundancia del agua subterránea es muy variable en los distintos acuíferos del país. Es muy abundante en los valles y planicies, pero escasa o inadecuada para su uso en las zonas montañosas (Spillman et al., 2000).

3.4. Conservación del agua subterránea

Los cuerpos de agua subterránea, considerados recursos naturales indispensables para la vida se ven amenazados por la explotación y contaminación causadas por las actividades humanas, lo que resulta en problemas como enfermedades, conflictos por el recurso y dificultades económicas. La conservación de estos cuerpos de agua es crucial debido a su limitada disponibilidad y posibilidad de agotamiento. A nivel mundial, se extrae el 33% de estas



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

aguas, siendo utilizadas por más de 2 millones de personas en sus actividades diarias. Proteger los acuíferos requiere conocer su situación y características para delimitar las áreas que deben ser preservadas de la contaminación y acumulación de desechos, así como establecer una vigilancia adecuada para evitar vertidos contaminantes (Fluence Corp, 2020).

La conservación del agua subterránea es fundamental para garantizar su disponibilidad a largo plazo, considerando que su uso ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, disminuyendo los niveles de agua en muchos acuíferos del mundo, esto representa una amenaza para la seguridad alimentaria ya que el 43% del agua utilizada en la agricultura proviene de estos acuíferos. Para hacer frente a esta amenaza es necesaria una gestión sostenible del agua subterránea que incluya protección de acuíferos, monitoreo de niveles de agua y la reducción de contaminación. Debe existir un equilibrio entre la extracción y la capacidad de renovación natural del recurso hídrico (Smith et al., 2016).

Las aguas subterráneas a nivel global enfrentan grandes amenazas, principalmente la sobreexplotación del recurso para riego en la agricultura. Sin embargo, las aguas subterráneas no se recargan fácilmente, lo que representa un riesgo para su disponibilidad en las generaciones futuras (The Nature Conservancy, 2022).

En Guatemala el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales destaca la urgencia de conservar las aguas subterráneas debido a su importancia en el abastecimiento de agua potable y sostenibilidad ambiental, considera necesario fortalecer e implementar políticas de gestión sostenible del agua subterránea y aumentar la conciencia pública sobre la importancia de los acuíferos y la necesidad de implementar urgentemente estrategias para garantizar la disponibilidad futura del agua (MARN, 2022).

3.5. Calidad del agua subterránea

El agua tiene la capacidad de disolver muchas sustancias, contener elementos suspendidos o arrastrar sólidos. Todos estos elementos afectan en diverso grado la calidad del agua. Por esta



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

razón, la acción de fuentes naturales y humanas influye en que esta se encuentre contaminada por microorganismos y elementos químicos de distinto tipo (ELAW, 2024).

La calidad del agua subterránea se refiere a sus características químicas, físicas y biológicas. Para garantizar su calidad, es necesario tener conocimiento de estas características. Por lo general, las aguas subterráneas no contienen contaminantes de forma natural; estos provienen de fuentes externas que introducen sustancias que degradan su calidad. En general, podemos afirmar que el agua subterránea tiene una mejor calidad que el agua superficial. Sin embargo, este recurso puede verse expuesto a contaminantes externos provenientes de vertidos agrícolas, industriales y asentamientos humanos (Silva et al., 2013).

La Alianza de Derecho Ambiental y Agua & Environmental Law Alliance Worldwide (2024) describen como calidad del agua al resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua con el contenido de las normas que regulan la materia. La calidad del agua hace referencia a las características físicas químicas y biológicas del agua que determinan su adecuación para diversos usos, incluyendo el consumo humano. El agua potable debe estar libre de contaminantes que puedan afectar la salud, La protección de fuentes de agua es esencial para su calidad esto incluye la implementación de mejores prácticas de gestión del recurso hídrico, gestión de actividades agrícolas y forestales también la educación de la industria y de las personas para evitar que estos contaminen las fuentes de agua (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2024).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) establece que la calidad del agua para consumo humano se refiere a su estado físico, químico y microbiológico este mismo estado del agua determina su aptitud para el consumo humano y otros usos. También menciona que el agua puede clasificarse de acuerdo con su seguridad microbiológica y química para esto se evalúan criterios como la presencia de coliformes el potencial de hidrogeno y presencia de sustancias peligrosas además la OMS recomienda monitoreos continuos del agua para evitar riesgos para la salud pública.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

3.6. Geoquímica del agua subterránea

La geoquímica del agua subterránea es un campo de estudio que se centra en examinar detalladamente las características químicas de las aguas subterráneas, así como los procesos geoquímicos que influyen en ellas. Mediante este análisis, se busca comprender la interacción entre el agua y las rocas y minerales presentes en el subsuelo. Para lograrlo, se emplean diversos parámetros químicos, como la concentración de iones y elementos disueltos, el nivel de pH, la dureza, la conductividad eléctrica y la presencia de sustancias contaminantes. Estos datos nos proporcionan valiosa información para determinar el uso adecuado del agua subterránea que está siendo estudiada (Appelo & Postma, 2010).

La geoquímica del agua desempeña un papel crucial en la gestión del recurso hídrico, ya que nos permite identificar posibles fuentes de contaminación y evaluar el impacto que las actividades humanas pueden tener en la calidad del agua subterránea (Custodio & Llamas, 2018). Mediante esta disciplina, podemos tomar medidas para preservar y proteger este recurso vital para el bienestar de la sociedad (González-Abraham et al., 2012).

La composición química del agua subterránea es resultado de la interacción de múltiples procesos naturales y antropogénicos, como la infiltración del agua, que contribuye a la presencia de iones de sodio y calcio en el agua subterránea (Cardona et al., 2012). La disolución de materiales como la calcita y la dolomita aumenta las concentraciones de calcio y magnesio. El intercambio iónico también desempeña un papel clave, ya que los iones absorbidos en las superficies minerales pueden ser reemplazados por otros presentes en el agua, alterando su composición química. Además, la infiltración del agua puede introducir contaminantes al acuífero, como el arrastre de sustancias provenientes del suelo debido a la agroindustria (Malagón et al., 2021).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

3.7. Contaminación del agua subterránea.

La contaminación del agua puede alterar su calidad natural debido a las actividades humanas. Esto puede llevar a condiciones inapropiadas para su uso habitual. Existen normas que establecen límites de contaminación según el uso del agua. En el caso del agua subterránea, se utiliza principalmente para abastecer a áreas urbanas, la agricultura y la industria. El suministro de agua a la población es especialmente vulnerable a la contaminación, lo que puede tener graves repercusiones en la salud. Los contaminantes que afectan tanto el agua subterránea como la superficial incluyen sales, nitratos, materia orgánica, compuestos tóxicos y metales pesados, elementos radioactivos y microorganismos patógenos (Marschoff, 2012).

Guatemala es considerado un país en vías de desarrollo. Según estudios, tanto el agua superficial como la subterránea se encuentran contaminadas con ciertos elementos agroquímicos, industriales y residuos urbanos. Dado que somos un país agrícola, gran parte de los cultivos contaminan el agua debido a la falta de un sistema adecuado para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, este no es el único factor de riesgo de contaminación del agua subterránea. La gran mayoría de los municipios en Guatemala no cuentan con un sitio adecuado para la disposición final de los residuos sólidos que generan, lo que implica un factor de riesgo de contaminación por la infiltración de contaminantes en vertidos urbanos debido a un mal manejo de estos residuos (Argueta, 2009).

3.8. Fuentes de contaminación del agua subterránea.

Según Arizabalo & Díaz (1991), son muchos los factores de riesgo de contaminación del agua subterránea. Dentro de estos, destacan las actividades humanas, donde muchos productos domésticos, agrícolas e industriales contienen una gran cantidad de sustancias químicas que pueden alterar la calidad del agua subterránea. A continuación, se describen algunas posibles fuentes de contaminación del agua subterránea.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

- **Agricultura:** Las prácticas agrícolas están relacionadas con el principal factor de alteración y contaminación del agua subterránea. Se utilizan grandes cantidades de fertilizantes, insecticidas y herbicidas químicos que pueden infiltrarse y contaminar el agua subterránea (Ceron et al., 2021).
- **Industria:** El manejo inadecuado de las aguas residuales de la industria es un factor de contaminación del agua subterránea. En los procesos industriales se utilizan una gran variedad de sustancias que pueden llegar a infiltrarse en el suelo y alterar las características del agua subterránea (Arizabalo & Díaz, 1991).
- **Asentamientos humanos:** Los asentamientos humanos son un factor potencial de contaminación del agua subterránea. Las aguas residuales de las viviendas, en muchas ocasiones, no cuentan con ningún tipo de tratamiento y son descargadas en el suelo. Estos contaminantes pueden infiltrarse hasta llegar a contaminar el acuífero (Massone et al., 2016).
- **Vertederos a cielo abierto (basureros):** Los lixiviados que se generan en un vertedero a cielo abierto pueden infiltrarse fácilmente en el suelo y afectar directamente la calidad del agua subterránea. La presencia de materia orgánica en el acuífero puede generar un olor putrefacto en el agua y afectar negativa y significativamente la calidad del agua (Chicana Gil & Lopez Quiroz, 2021).

3.9. Impacto de la calidad del agua en la salud humana.

La calidad del agua es un aspecto primordial para salvaguardar la salud de la población. Tanto la cantidad como la calidad del suministro de agua son elementos esenciales para asegurar el abastecimiento adecuado a nivel poblacional.

Es fundamental abordar el riesgo de enfermedades considerando los factores ambientales, entre los cuales el agua juega un papel crucial. La salud ambiental implica abordar los



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

problemas de salud relacionados con las deficiencias en las condiciones ambientales y los servicios básicos. Esto implica promover y supervisar la calidad del agua potable con el fin de reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. Además, es necesario fomentar el tratamiento de aguas residuales y la gestión adecuada de los residuos sólidos para garantizar condiciones sanitarias adecuadas en los hogares. El acceso a agua potable de calidad y la preservación de su pureza son fundamentales para el bienestar humano. La falta de planificación, la insuficiente inversión y las deficiencias en los sistemas de suministro pueden tener un impacto negativo en la calidad del agua y, por consiguiente, en la salud de aquellos que dependen de este recurso (Hernández Vázquez et al., 2011).

3.10. Normativa para uso y protección del agua en Guatemala.

En Guatemala, el uso del agua está respaldado por diversas leyes y políticas que regulan el uso sostenible de este recurso. La Constitución Política de la República establece como obligación del Estado la protección de las fuentes de agua. El Código de Salud, en los artículos 80, 81 y 119, dicta que es obligación la protección y conservación de las fuentes de agua potable, responsabilizando a las municipalidades de apoyar en este proceso y al Estado en la protección de los recursos naturales, incluyendo el agua. En la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se menciona la regulación del uso del agua y su entorno. A pesar de contar con ciertas regulaciones, Guatemala aún no tiene una ley de aguas para un manejo integral de este importante recurso; sin embargo, en el país se reconoce la obligación de la gestión integral y responsable de los recursos naturales, donde se incluye el recurso hídrico (González & Colom, 2023).

3.10.1. Normas y estándares internacionales y nacionales para calidad del agua subterránea.

Las normas de calidad del agua son regulaciones y estándares establecidos por organismos gubernamentales, organizaciones internacionales y agencias de salud con el fin de garantizar la calidad del agua y asegurarse de que cumpla con las características necesarias para su uso



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

específico. Estas normas y estándares pueden variar dependiendo de la región y el uso deseado del agua, ya sea para consumo humano, riego de cultivos o uso industrial.

A continuación, se describen la Norma técnica guatemalteca-NTG29001 y el índice de calidad de agua (ICA). Norma Técnica Guatemalteca – NTG29001.

Norma Técnica Guatemalteca – NTG29001.

Esta norma se aplica a toda agua proveniente de pozos, ríos, manantiales entre otros, principalmente cuando su fin es el abastecimiento del vital líquido para consumo humano y uso doméstico. También describe las características o propiedades con las que debe contar el recurso hídrico para ser apto para consumo humano (COGUANOR NTG-29001, 2013).

Tabla 1

Características químicas

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre	0,5	1,0
Cloruro	100,0	250,0
Dureza total	100,0	500,0
Sulfato	100,0	250,0
Aluminio	0,050	0,100
Calcio	75,0	150,0
Zinc	3,0	70,0
Cobre	0,050	1,500
Magnesio	50,0	100,0
Manganeso	0,1	0,4
Hierro total	0,3	----

Nota. En la presente tabla se observan los elementos químicos que son analizados para determinar si el agua es apta para consumo humano (COGUANOR NTG-29001, 2013).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2

Características físicas y organolépticas

Características	LMA	LMP
Color	5,0u	35,0u
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm
Potencial de hidrogeno	7,0 -7.5	6,5-8,5
Solidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

Nota. En la presente tabla se observan las características físicas y organolépticas que son analizadas para determinar si la calidad del agua es apta para consumo humano (COGUANOR NTG-29001, 2013).

Límite máximo aceptable

Es un valor individual establecido para cada una de las características del agua, al superar este valor se pueden percibir cambios en la calidad del agua, sin embargo, no representa un riesgo para la salud del consumidor (COGUANOR NTG-29001, 2013).

Límite máximo permisible

Es un valor individual establecido para cada una de las características del agua, si una característica física química o microbiológica supera este valor, se determina que el agua no es apta para el consumo humano (COGUANOR NTG-29001, 2013).

3.11. Índice de Calidad del agua (ICA)

El ICA, desarrollado por la *National Sanitation Foundation*, es ampliamente utilizado a nivel mundial. Esta metodología nos permite representar los resultados finales de los parámetros evaluados mediante un valor numérico que oscila entre 0 y 100. Un valor de 0 indica una calidad muy deficiente, mientras que el valor de 100 representa una calidad excelente (Natalia Samboni, 2007).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

El ICA permite el análisis de la calidad del agua superficial y subterránea con diversos propósitos, como el uso público, recreativo, consumo y otros. Se fundamenta en el examen de parámetros fisicoquímicos, tales como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos, los sólidos suspendidos, el cloruro, los nitratos, el sulfato, el oxígeno disuelto, entre otros (Yogendra & Puttaiah, 2008).

Mediante el uso de sistemas de información geográfica, el índice de calidad del agua resulta altamente útil para identificar áreas del acuífero con potencial de suministro, así como para detectar agua apta para el consumo humano. Por tanto, se lleva a cabo el análisis de parámetros fisicoquímicos y se representan los resultados mediante estadísticas descriptivas y mapas que muestran la distribución espaciotemporal de las concentraciones (Sánchez et al., 2016).

3.12. Importancia del agua subterránea en Puerto Barrios.

El municipio de Puerto Barrios depende en gran medida del agua subterránea, la cual es utilizada por muchas familias en sus actividades diarias. El agua se obtiene a través de pozos artesanales. Estos pozos son excavados de forma rudimentaria con herramientas simples, generalmente a poca profundidad y cerca de las viviendas. Constituyen una fuente accesible y económica para la población de escasos recursos, y representan la única opción de abastecimiento de agua en comunidades con problemas de acceso al agua potable. La construcción de estos pozos se considera una solución efectiva para satisfacer las necesidades básicas de consumo de agua de las personas en Puerto Barrios (Chávez Valdez et al., 2013).

3.13. Gestión del agua subterránea en Guatemala-Puerto Barrios.

El agua subterránea representa una alternativa viable para enfrentar la escasez y contaminación del agua superficial. El recurso hídrico es fundamental para la vida y el desarrollo de la sociedad. Con el paso del tiempo, a nivel mundial se han desarrollado técnicas de muestreo y análisis del agua cada vez más precisas. Uno de estos avances es la



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

evaluación de la calidad del agua basada en un monitoreo espacial y temporal, donde se estudian sus características químicas, físicas y microbiológicas (Aguirre et al., 2016).

Actualmente, es posible representar de forma gráfica los datos obtenidos mediante la georreferenciación y el mapeo de los resultados. De esta manera, se pueden generar mapas de calidad del agua para el municipio. También se pueden identificar, a través del análisis espacial de los datos, las áreas donde la población tiene mayor probabilidad de enfermarse debido a una calidad del agua inadecuada para el consumo humano (Girón, 2019).

En Guatemala, el recurso agua fue evaluado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América en el 2000, se determinó que, debido a la escasez y contaminación del agua superficial, se confía en la calidad del agua subterránea y se espera que sea la principal fuente de abastecimiento para la población. Sin embargo, existe el riesgo de que los acuíferos poco profundos ya estén contaminados (Spillman et al., 2000).

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2015), estableció una política marco en el año 2015 para la gestión integral del recurso hídrico en Guatemala. El objetivo es establecer un instrumento participativo e inclusivo que facilite el manejo del recurso hídrico en temas de contaminación, calidad y sostenibilidad, coordinando a los actores públicos y privados en la toma de decisiones y gestión del agua.

El Consejo de Desarrollo (2020) reconoce la importancia del agua subterránea y, a través de la Municipalidad de Puerto Barrios, presenta una iniciativa de inversión para la construcción de un sistema de agua potable con perforación de pozo en el caserío El Laurel. En el informe, también se menciona que la falta de agua y el mal uso del agua extraída de pozos artesanales han ocasionado enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea y enfermedades gastrointestinales en niños de 0 a 10 años.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

A pesar de los casos de enfermedades gastrointestinales en niños registrados por el Hospital Infantil del Municipio de Puerto Barrios, el Ministerio de Salud aún no cuenta con un registro de la calidad del agua subterránea del municipio. Tampoco se dispone de un plan de monitoreo regular de la calidad del agua subterránea, principalmente debido a la falta de recursos humanos y financieros para llevar a cabo este tipo de monitoreos (Comisión Departamental de Ambiente, 2022).

4. Planteamiento del problema

La conexión entre la calidad del agua y la salud humana es una relación estable e invariable. El agua juega un papel esencial en la vida humana y en la promoción de condiciones óptimas de bienestar y salud (Basterrechea et al., 2019). En Guatemala, el suministro de agua es abundante; sin embargo, debido a una gestión inadecuada y a la contaminación, no satisface la demanda de la población. El agua superficial se encuentra contaminada por la presencia de coliformes totales y fecales, lo que implica que no cumple con los estándares microbiológicos necesarios para su consumo humano (Santisteban & Peña, 2015).

Llamas et al. (2000) destacan que la contaminación del agua superficial provoca un incremento en la extracción de agua subterránea, sin considerar que los acuíferos poco profundos también pueden sufrir problemas de contaminación debido a la aplicación de químicos en la agricultura, filtraciones de desechos de actividades urbanas, industriales y mineras. La población del municipio de Puerto Barrios utiliza el agua subterránea para el suministro en el hogar y el riego de cultivos. Sin embargo, se desconoce la calidad de este importante recurso natural. El municipio de Puerto Barrios presenta factores de riesgo de contaminación debido a la presencia de plantaciones, agroindustrias y asentamientos humanos en el área.

Balcárcel Valenzuela (2002) en su tesis doctoral menciona que el agua de los pozos evaluados en el Municipio de Fraijanes no cumple con las normas microbiológicas de COGUANOR, NGO-29001 para agua potable, concluyendo que el agua subterránea tiene



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

alto riesgo de contaminación. En el departamento de Izabal existen registros de enfermedades como el cólera y la fiebre tifoidea en niños de 0 a 10 años relacionados con el consumo de agua contaminada. Evelin Peña (2006) menciona que el área de salud no tiene un plan regular para el análisis de agua de los pozos en el municipio de Puerto Barrios, departamento de Izabal, pese a que en el año 2003 se reportaron 16,304 casos de diarrea en el Hospital Nacional Infantil del municipio de Puerto Barrios. En las reuniones de la Comisión Departamental de Ambiente y Recursos Naturales (2022), el representante del Ministerio de Salud menciona que no cuentan con el equipo y recurso financiero para el análisis del agua subterránea del departamento de Izabal, por lo que se desconoce su calidad.

Es importante contar con información actualizada que nos permita conocer el estado del recurso hídrico, principalmente su calidad. Esto constituye el primer paso para un manejo adecuado de este importante recurso natural. Los resultados de la investigación permitirán construir una base de datos geográfica que facilitará el mapeo del estado actual de la calidad del agua subterránea en el municipio. Esto puede ayudar a identificar los puntos donde la población es más vulnerable a enfermedades gastrointestinales. Asimismo, en conjunto con la Comisión de Ambiente del Departamento de Izabal, una vez obtenidos los resultados, se podrá elaborar una propuesta de plan regular para el monitoreo de la calidad del agua destinada al consumo humano en el municipio de Puerto Barrios.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

5. Objetivos

General

Evaluar la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios Izabal.

Específicos

- Registrar la ubicación geográfica de pozos artesanales y mecánicos existentes en el municipio de Puerto Barrios.
- Determinar la calidad del agua a nivel freático en los pozos artesanales y mecánicos del municipio de Puerto Barrios.
- Caracterizar los usos del agua subterránea por parte de la población en el municipio de Puerto Barrios.
- Evaluar riesgos para la salud humana asociados con la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

6. Método

6.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicado, ya que tiene como objetivo evaluar la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios, Izabal, con el fin de desarrollar estrategias que permitan un uso adecuado y responsable.

Los resultados de la investigación podrán ser utilizados por los beneficiarios directos para la construcción de sistemas de filtrado, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua en sus hogares. Además, la georreferenciación de los pozos artesanales y mecánicos facilitará monitoreos futuros de este recurso.

6.2. Enfoque y alcance de la investigación.

El enfoque de la investigación es mixto. Se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios departamento de Izabal, aplicando un enfoque cuantitativo. Asimismo, se empleó un enfoque cualitativo para caracterizar los usos del agua subterránea y los riesgos que su uso representa para la población, a través de una entrevista semiestructurada.

El alcance de la investigación es correlacional. Se utilizaron los datos obtenidos para analizar la relación entre la calidad del agua y los riesgos para la salud de la población de Puerto Barrios.

6.3. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, ya que se observó y analizó la calidad del agua subterránea sin intervenir directamente en las variables estudiadas. El período de tiempo en el que se evaluó la calidad del agua subterránea permite correlacionar esta con los riesgos para la salud de la población. Además, proporciona la información necesaria para realizar estudios posteriores de manera longitudinal, lo que facilitará analizar



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

el comportamiento de la calidad de este recurso a largo plazo y los cambios que podría experimentar con el tiempo.

6.4. Población, muestra y muestreo.

Se registraron los puntos de muestreo pozos artesanales y mecánicos mediante un formulario electrónico. En total, se registraron 223 pozos, excluyéndose aquellos contaminados con residuos sólidos por encontrarse en desuso. Posteriormente, se calculó el tamaño de la muestra de los pozos en los cuales se midieron las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua subterránea, utilizando la siguiente fórmula:

$$n = (Z^2 * \sigma^2) / (d^2 * (1-f))$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

Z: Valor crítico de la distribución normal estándar para el nivel de confianza deseado (en este caso, 90%)

σ^2 : Varianza de la población

d: Margen de error o precisión deseada (10%)

f: Fracción de muestreo (n/N), donde N es el tamaño de la población

Para la selección aleatoria de los pozos, se utilizó el software de código abierto Quantum GIS en su versión 3.28. El proceso de selección fue el siguiente: se cargó la base de datos de pozos georreferenciados al programa en formato CSV delimitado por comas, donde se creó un archivo shapefile de puntos de esa base de datos. Luego, se utilizó la herramienta de investigación "Selección aleatoria dentro de subconjuntos", seleccionando 52 pozos y garantizando así que todos los pozos tuvieran las mismas probabilidades de ser incluidos en la muestra.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

6.5. Técnicas

Registro de pozos artesanales y mecánicos

Para el registro de los puntos de muestreo (pozos artesanales y mecánicos), se realizó un formulario electrónico con los siguientes apartados: número de correlativo, coordenada geográfica, elevación, comunidad, sector, tipo de pozo y observación.

Posteriormente, se recorrieron las comunidades del municipio de Puerto Barrios con el acompañamiento de algún miembro del Consejo Comunitario de Desarrollo de cada comunidad. Durante estos recorridos, se registró la ubicación geográfica, elevación, comunidad y tipo de pozo en cada área, obteniéndose así la base de datos de pozos artesanales y mecánicos del municipio de Puerto Barrios.

Selección de indicadores de calidad del agua

Los parámetros para evaluar la calidad del agua subterránea fueron seleccionados en coordinación con la Oficina del Agua de Puerto Barrios y el Instituto de Investigaciones, tomando en cuenta el equipo disponible. Se seleccionaron los siguientes parámetros.

In situ:

- Temperatura (Temp) °C
- Potencial de hidrógeno (pH) (adimensional)
- Potencial de óxido-reducción (ORP) mV
- Conductividad eléctrica (EC) $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Conductividad eléctrica absoluta (ECa) $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Resistividad (RES) $\Omega \cdot \text{cm}$
- Sólidos totales disueltos (TDS) ppm
- Salinidad (Sal) PSU
- Saturación de oxígeno (DO) %
- Oxígeno disuelto (DO) ppm



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Químicos:

- Hierro total mg/L
- Zinc mg/L
- Sulfitos mg/L
- Dureza mg/L CaCO₃
- Alcalinidad mg/L CaCO₃

Microbiológicos:

- Coliformes totales NMP/100 mL
- Coliformes fecales (E. coli) NMP/100 mL

Medición de parámetros in situ

Para registrar los datos de los parámetros in situ, se utilizó una boleta de campo. La medición se realizó con la sonda Hanna HI 9829, equipada con un cable de 50 metros. El procedimiento consistió en:

1. Ubicación del punto de muestreo con un GPS de mano Garmin 66s.
2. Lavado de la sonda con agua del pozo antes de cada medición.
3. Inmersión de la sonda hasta el fondo en pozos artesanales y por debajo del nivel dinámico en pozos profundos.
4. Espera de 5 minutos para estabilización de la medición.
5. Registro de los resultados en la boleta de campo.

Muestreo de agua subterránea

Para la toma de muestras de agua subterránea, se utilizaron los siguientes materiales: hielera, batería de gel para mantener la cadena de frío, guantes de látex, tubo para recolección de muestras tipo bailer y bolsas para monitoreo estándar Whirl-Pak. La toma de muestras se realizó de la siguiente manera:



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

1. **Planificación y Checklist de Equipo:** Para facilitar la toma de muestras y su traslado al laboratorio, se dividió el municipio de Puerto Barrios en tres sectores: Casco Urbano de Puerto Barrios, Santo Tomás y Entre Ríos. Durante este proceso de planificación, se seleccionaron los puntos de muestreo de forma aleatoria y se elaboró un checklist de los materiales y equipos necesarios para la toma de muestras.
2. **Recolección de muestras:** Para la recolección de muestras de agua subterránea, se siguió un procedimiento detallado que inicia con el lavado del tubo tipo bailer en cada punto de muestreo, utilizando el agua del pozo del cual se obtendría la muestra. Este paso aseguró que el tubo estuviera libre de contaminantes externos. Posteriormente, el tubo bailer, que cuenta con una válvula en el extremo inferior, se sumergió en el pozo. La válvula permitió romper la columna de agua al entrar en contacto con ella, llenándose gradualmente hasta llegar al fondo del pozo, lo que garantizó la obtención de una muestra compuesta representativa del agua subterránea. Para pozos profundos, se utilizaron 150 metros de cinta para extraer las muestras. Una vez extraído el bailer, se tomaron dos bolsas para muestreo estándar de 300 ml cada una, las cuales se llenaron con el agua recolectada. En cada bolsa se anotó únicamente el número de ID correspondiente al pozo muestreado. Inmediatamente después de la recolección, las muestras se colocaron en una hielera para mantener la cadena de frío, asegurando así su preservación hasta su llegada al laboratorio.
3. **Cadena de custodia:** En el proceso de cadena de custodia, una de las muestras de 300 ml se trasladó al laboratorio del CUNIZAB, donde se colocó en cadena de frío para su posterior análisis. Simultáneamente, la otra muestra de 100 ml se envió al laboratorio AIQLAB, manteniendo también la cadena de frío y asegurando que su traslado se realizara dentro de las 24 horas posteriores a la recolección. Es importante mencionar que se tomaron dos muestras: una para análisis químico en el CUNIZAB y otra para análisis microbiológico en el AIQLAB.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Medición de parámetros químicos

Para la medición de los parámetros químicos (hierro total, zinc, sulfitos, dureza y alcalinidad), se utilizaron muestras de agua subterránea previamente recolectadas en campo. Estos parámetros se midieron utilizando los kits químicos de Hanna Instruments: HI3834 (hierro total), HI3854 (zinc), HI3822 (sulfitos), HI3812 (dureza), y HI3811 (alcalinidad). Los análisis se realizaron en un lapso de tiempo no mayor a 48 horas después de la recolección de las muestras. Ver tabla 3

Tabla 3

Método de análisis utilizado para parámetros químicos

Parámetros	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado	Método de análisis
Hierro	1 mes	Por colorimetría
Zinc	1 mes	Por colorimetría
Dureza	6 meses	Por titulación EDTA
Alcalinidad	14 días	Titulación en ácido usando fenolftaleína y azul de bromofenol
Sulfitos	28 días	Por titulación

Nota. Tiempo máximo de almacenamiento recomendado para análisis de muestras con base en la Norma COGUANOR NTG 29006.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Medición de parámetros microbiológicos

Para la medición de los parámetros microbiológicos, se envió una muestra de 100 ml de agua subterránea por cada pozo muestreado. Estas muestras fueron trasladadas en un tiempo no mayor a 24 horas. En el laboratorio, se analizaron los coliformes totales y coliformes fecales utilizando los métodos establecidos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, 2012).

Tabla 4

Método de análisis utilizado para parámetros microbiológicos

Parámetros	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado	Método de análisis
Coliformes fecales	24 horas	Según Standard Methods Water & Wastewater 22 nd Edition, 2012.
Coliformes totales	24 horas	Según Standard Methods Water & Wastewater 22 nd Edition, 2012.

Nota. Tiempo máximo de almacenamiento recomendado para análisis de muestras con base en la Norma COGUANOR NTG 29006.

Es importante mencionar que cada muestra contaba con un número de identificación. En total, se analizaron 104 muestras de agua subterránea, correspondientes a 52 puntos de muestreo, con dos repeticiones: una medición realizada en los meses de septiembre y octubre, y otra en noviembre y diciembre.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Entrevista semi estructurada

Se llevó a cabo una entrevista semiestructurada con el objetivo de recopilar información sobre los usos del agua subterránea y evaluar los riesgos asociados a su uso. La entrevista constó de un total de 7 preguntas, las cuales eran cerradas, con respuestas predefinidas como "Sí" o "No" o mediante la selección de una categoría de uso. Sin embargo, en cada pregunta se incluyeron campos abiertos para que los participantes pudieran ampliar sus respuestas y proporcionar información cualitativa según sus experiencias.

Las entrevistas se realizaron con los propietarios de cada pozo muestreado. Para garantizar la claridad y comprensión del cuestionario, el instrumento fue validado por miembros del equipo de investigación y pedagogos, quienes realizaron ajustes en la redacción de las preguntas, mejorando su comprensión para los habitantes de las comunidades de Puerto Barrios.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

6.6. Resumen de las variables o unidades de análisis

Tabla 5

Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
Registrar la ubicación geográfica de pozos artesanales y mecánicos existentes en el municipio de Puerto Barrios.	Ubicación geográfica de los pozos artesanales y mecánicos.	Boleta electrónica para registro de ubicación y geográfica de pozos.	Se asignó un número de identificación y una coordenada geográfica a cada pozo identificado.
Determinar la calidad del agua a nivel freático en los pozos artesanales y mecánicos del municipio de Puerto Barrios.	Parámetros in situ. Parámetros químicos (hierro, zinc, sulfitos, dureza y alcalinidad). Parámetros microbiológicos (coliformes fecales y coliformes totales).	Boleta de campo para medición de parámetros in situ. Boleta de laboratorio para medición de parámetros químicos. Informe de laboratorio de parámetros microbiológicos.	Valor numérico por parámetro en mg/L, ppt y número de colonias en 100 ml de agua subterránea.
Caracterizar los usos del agua subterránea por parte de la población en el municipio de Puerto Barrios.	Usos del agua subterránea.	Entrevista semi estructurada.	Caracterización de los usos del agua subterránea.
Evaluar riesgos para la salud humana asociados con la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios.	Calidad del agua y salud humana.	Entrevista semi estructurada. Análisis de correlación calidad del agua subterránea y riesgo para la salud.	Categorización y análisis de riesgos para la salud. Matriz de correlación calidad del agua subterránea y riesgos para la salud.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

6.7. Procesamiento y análisis de la información.

Para el procesamiento y análisis de información, se realizó un vaciado de los datos obtenidos en Microsoft Excel. Esta base de datos luego fue exportada al software de código abierto Jamovi, donde se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Con base en el tipo de distribución de resultados, se procedió a reportar la media o mediana, valores mínimos y máximos o percentiles, dependiendo de si la muestra sigue una distribución normal o dispersa. Asimismo, esta base de datos se transformó a un formato CSV para ser exportada al software de código abierto QGIS, donde con la herramienta de interpolación de datos IDW se procedió a realizar mapas de distribución espacial para cada parámetro evaluado y reportarlo de una forma gráfica.

La información de la entrevista semiestructurada fue vaciada y procesada en Microsoft Excel para representar el uso del agua subterránea y los casos de enfermedades reportados durante la entrevista por los pobladores.

Los resultados finalmente fueron presentados en tablas descriptivas, mapas de distribución espacial y gráficos de barras, para su fácil interpretación.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

7. Resultados y discusión

7.1. Registrar la ubicación geográfica de pozos artesanales y mecánicos existentes en el municipio de Puerto Barrios.

Se registraron y georreferenciaron 223 pozos en el municipio de Puerto Barrios, divididos en dos categorías: pozos artesanales y pozos mecánicos. Debido al tamaño de Puerto Barrios y a la distribución de su población, se divide en tres grandes sectores: Puerto Barrios, Santo Tomás y Entre Ríos. Ver tabla 6 y figura 1.

La investigación se realizó con 52 puntos de muestreo, de los cuales 46 son pozos artesanales (88.5%) y 6 son pozos mecánicos (11.5%). Estos se encuentran distribuidos en los siguientes sectores del municipio: Puerto Barrios 25 pozos (48.1%), Entre Ríos 19 pozos (36.5%) y Santo Tomás 8 pozos (15.4%). De estos pozos, 27 (51.9%) se encuentran en área rural y 25 (48.1%) en área urbana. Asimismo, están distribuidos en 24 comunidades del municipio de Puerto Barrios.

Tabla 6

Tabla de contingencia tipo de pozos por sector

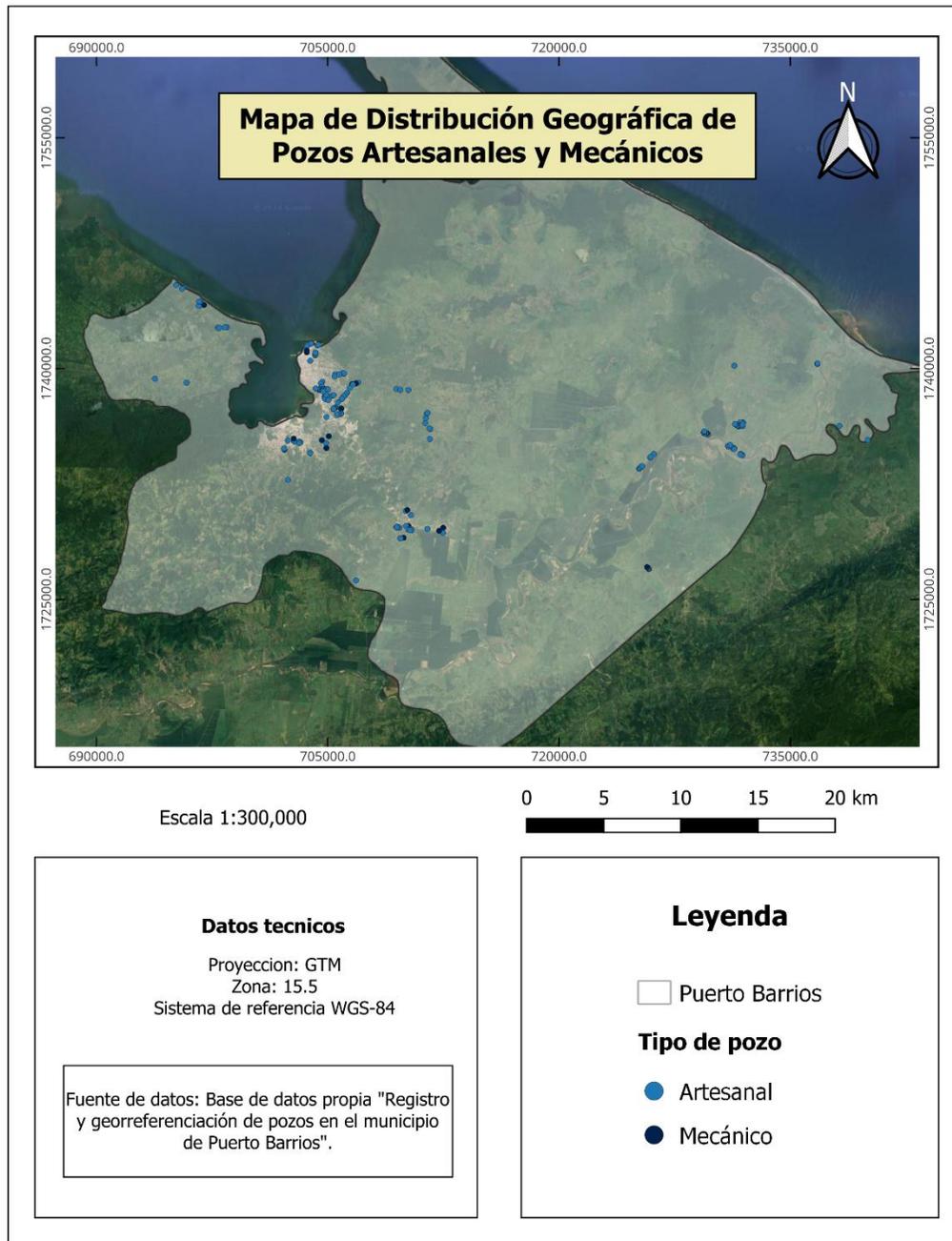
Tipo de pozo	Sector							
	Entre Ríos		Puerto Barrios		Santo Tomás		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Artesanal	71	89.9 %	105	93.8 %	26	81.3 %	202	90.6 %
Mecánico	8	10.1 %	7	6.3 %	6	18.8 %	21	9.4 %
Total	79	100.0 %	112	100.0 %	32	100.0 %	223	100.0 %

Nota. Numero de pozos por sector. Elaboración propia. Realizado en Jamovi.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 1

Mapa de distribución geográfica de pozos artesanales y mecánicos



Nota. Se seleccionaron 52 puntos de muestreo para la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Elaboración propia. Realizado en Qgis.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

7.2. Determinar la calidad del agua a nivel freático en los pozos artesanales y mecánicos del municipio de Puerto Barrios.

Análisis de parámetros in situ del agua subterránea

En general, el agua subterránea del municipio de Puerto Barrios en relación con el pH se encuentra dentro de los límites permisibles (6.5-8.5) según la norma COGUANOR NTG-29001. Sin embargo, al observar el mapa de distribución espacial de este parámetro, identificamos que el sector urbano de Entre Ríos y Nueva Punta de Palma presentan problemas de acidificación, superando los límites máximos permisibles y siendo no apta para el consumo humano. Ver Tabla 7 y Figura 2.

Tabla 7

Análisis descriptivo de pH del agua subterránea

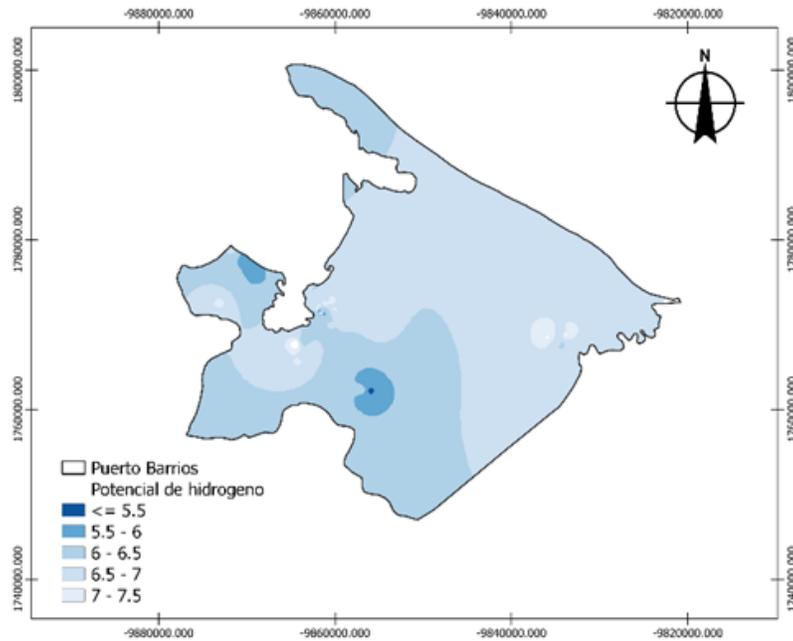
	Sector	Media	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
					W	p	25th	50th	75th
pH	Entre Ríos	6.63	6.70	0.556	0.895	0.040	6.55	6.70	6.90
	Puerto Barrios	6.75	6.86	0.531	0.946	0.199	6.54	6.86	7.10
	Santo Tomás	6.64	6.80	0.600	0.909	0.348	6.25	6.80	7.00

Nota. Dado que los resultados de Puerto Barrios y Santo Tomás presentan una distribución normal, se presenta un análisis de media. De la misma manera se presenta un análisis de mediana dado que los resultados de Entre Ríos presentan una distribución anormal. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 2

Mapa de potencial de hidrogeno del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Se observa la variabilidad espacial del potencial de hidrogeno en el agua subterránea de Puerto Barrios.
Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Los valores máximos de sólidos totales disueltos en el agua subterránea de Puerto Barrios no superan las 300 ppm, observando valores normales para este recurso. Incluso los puntos con mayor concentración se encuentran dentro de los rangos permisibles de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 29901. Ver Tabla 8 y Figura 3.

Tabla 8

Análisis descriptivo de sólidos totales disueltos en agua subterránea

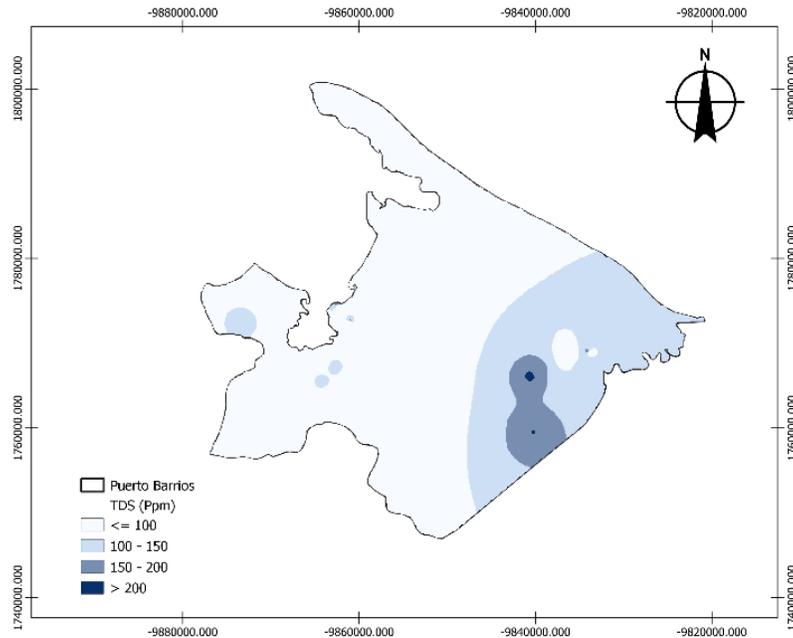
	Sector	Media	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
					W	p	25th	50th	75th
TDS [ppm]	Entre Ríos	107.9	100.0	77.6	0.938	0.246	39.5	100.0	165.0
	Puerto Barrios	68.7	56.0	46.4	0.784	< .001	44.0	56.0	77.0
	Santo Tomás	86.3	83.5	41.3	0.930	0.518	49.5	83.5	117.5

Nota. Debido a la alta variabilidad de los datos se presenta un análisis de mediana. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 3

Mapa de solidos totales disueltos del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Se observa la variabilidad espacial de solidos totales disueltos en el agua subterránea del municipio de Puerto Barrios. Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

La conductividad eléctrica del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios se mantiene por debajo del límite máximo permisible que es 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ver Tabla 9 y Figura 4.

Tabla 9

Análisis descriptivo de conductividad eléctrica del agua subterránea

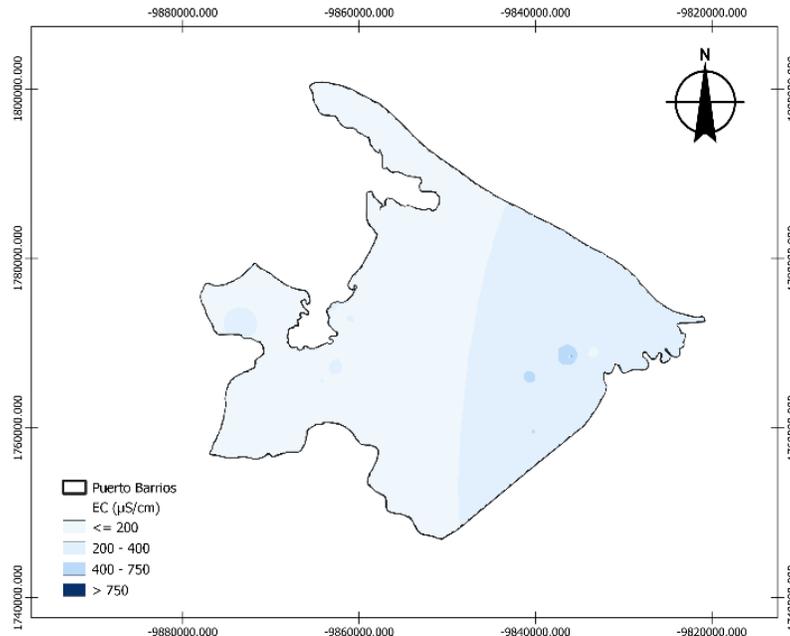
	Sector	Media	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
					W	p	25th	50th	75th
EC[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Entre Ríos	264	231	253.3	0.806	0.001	79.5	231	368
	Puerto Barrios	135	112	94.6	0.803	< .001	74.0	112	154
	Santo Tomás	170	168	81.1	0.934	0.557	99.3	168	218

Nota. Se presentan análisis de mediana por la distribución anormal de los datos. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 4

Mapa de conductividad eléctrica del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Se observa la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica del agua subterránea en Puerto Barrios. Elaboración propia.

En cuanto a la salinidad existe una variabilidad en los datos debido a que, en el área del Caribe, ocurre el fenómeno de la intrusión salina en el acuífero, lo que incrementa los valores de salinidad en el agua y produce datos atípicos en la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. Este parámetro a menudo no es tomado en cuenta cuando se trata de agua subterránea; sin embargo, debido a la ubicación en la que nos encontramos, es importante considerarlo.

La mayor parte del territorio del municipio de Puerto Barrios se encuentra a nivel del mar y cuenta con áreas inundables en las zonas costeras, lo que favorece la intrusión salina en el acuífero. Esto altera la variabilidad y aumenta el error en los análisis de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. La salinidad generalmente no es un parámetro de importancia en los análisis de calidad de agua para consumo humano; sin embargo, se tomó



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

en cuenta porque en varios pozos de la zona costera este parámetro es elevado. Incluso se encontró un pozo mecánico con una concentración de sal por encima de 0.5 PSU (agua ligeramente salóbrega). Los habitantes de las comunidades, Las Vegas, Media Luna y Switch III mencionan que en estas localidades se han perforado pozos mecánicos que no han sido exitosos, ya que el recurso es inutilizable debido a la alta concentración de sal.

Como se observa en el mapa de salinidad, las comunidades anteriormente mencionadas cuentan con valores que van de 0.3 a 0.5 PSU. Es importante mencionar que los pozos donde se realizó la medición de salinidad son de tipo artesanal y los pobladores mencionan que la concentración de sal aumenta con la profundidad, existiendo tres antecedentes de pozos mecánicos con agua subterránea no apta para el uso domiciliario en estas comunidades debido a la alta concentración de sal. Ver Tabla 10 y Figura 5.

Tabla 10

Análisis descriptivo de salinidad del agua subterránea

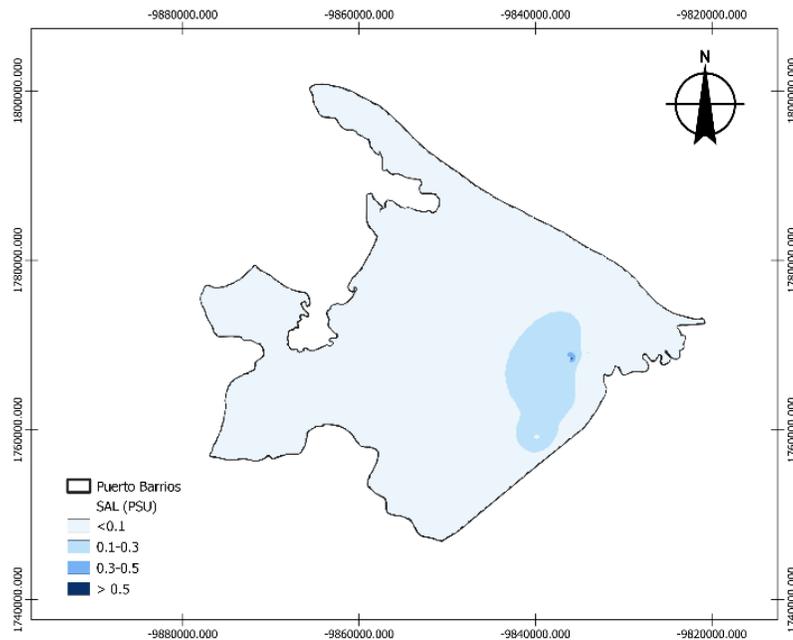
		Media	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
					W	p	25th	50th	75th
Sal. [PSU]	Entre Ríos	0.15	0.11	0.18	0.676	< .001	0.04	0.11	0.18
	Puerto Barrios	0.06	0.05	0.05	0.799	< .001	0.03	0.05	0.07
	Santo Tomás	0.06	0.06	0.04	0.961	0.818	0.04	0.06	0.09

Nota. Debido que la distribución de los datos no es normal se presenta un análisis de mediana. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 5

Mapa de salinidad del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Se presenta la variabilidad espacial de salinidad del agua subterránea debido a las condiciones especiales del municipio de Puerto Barrios. Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Análisis de parámetros químicos del agua subterránea

La concentración de hierro no implica un riesgo para la salud humana, las altas concentraciones de este metal dificultan el uso doméstico del agua subterránea. De acuerdo con la norma COGUANOR NTG 29001, la concentración máxima permitida es de 0.2 mg/l. Se observa un problema en el sector de Entre Ríos por la alta concentración de este metal, siendo perceptible en el agua por sus características organolépticas, como su olor y color fuertes. Los pobladores mencionan que tienen problemas con sus utensilios de cocina, tuberías y sanitarios debido a la alta concentración de hierro. Ver Tabla 11 y Figura 6.

Tabla 11

Análisis descriptivo de hierro, zinc, sulfitos, alcalinidad y dureza del agua subterránea de Puerto Barrios

	Sector	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
				W	p	25th	50th	75th
Hierro	Entre Ríos	2	1.939	0.837	0.004	0.000	2.000	4.000
	Puerto Barrios	0	1.214	0.679	<.001	0.000	0.000	1.000
	Santo Tomas	0.000	0.916	0.693	0.002	0.000	0.000	1.250
Zinc	Entre Ríos	0.000	0.271	0.555	<.001	0.000	0.000	0.300
	Puerto Barrios	0.000	0.199	0.384	<.001	0.000	0.000	0.000
	Santo Tomas	0.000	0.000	NaN	NaN	0.000	0.000	0.000
Sulfitos	Entre Ríos	4.000	6.021	0.812	0.002	2.000	4.000	10.000
	Puerto Barrios	0.800	1.020	0.692	<.001	0.400	0.800	1.000
	Santo Tomas	1.500	0.744	0.798	0.027	1.000	1.500	2.000
Alcalinidad	Entre Ríos	210	343.598	0.725	<.001	102.500	210.000	354.000
	Puerto Barrios	130	139.472	0.794	<.001	90.000	130.000	180.000
	Santo Tomas	120.000	114.881	0.935	0.559	46.500	120.000	200.000

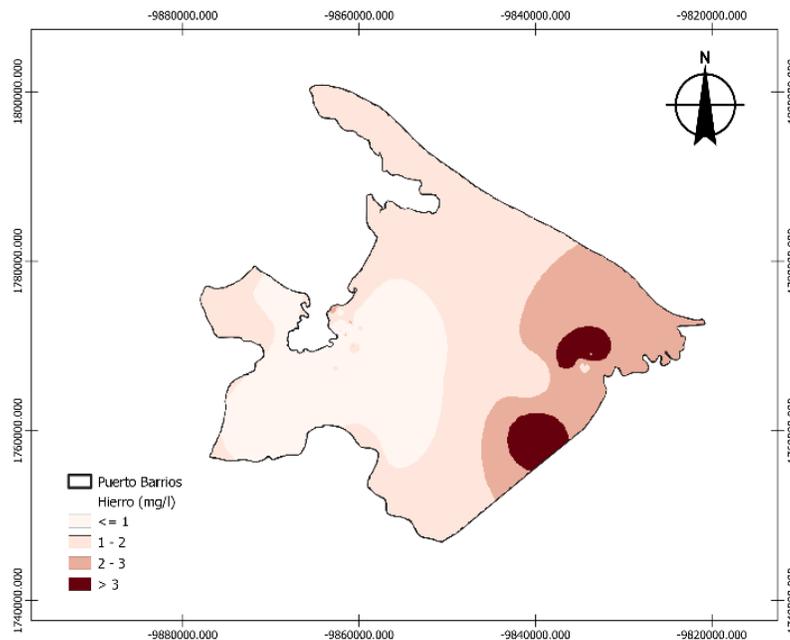
Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

	Sector	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
				W	p	25th	50th	75th
Dureza	Entre Ríos	210	329.552	0.634	< .001	112.500	210.000	270.000
	Puerto Barrios	120	109.011	0.821	< .001	90.000	120.000	210.000
	Santo Tomas	135.000	121.844	0.873	0.163	82.500	135.000	225.000

Nota. Se presentan análisis de mediana debido a que la distribución de los datos para estos parámetros no es normal. Elaboración propia.

Figura 6

Mapa de concentración de hierro en agua subterránea de Puerto Barrios



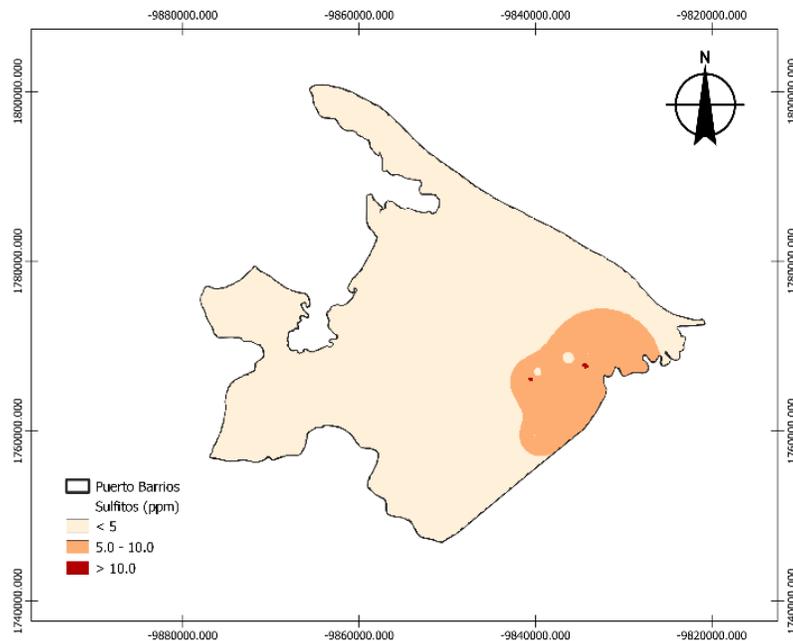
Nota. Se presenta la distribución espacial de la concentración de hierro en el agua subterránea de Puerto Barrios. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Los sulfitos generalmente no se encuentran presentes en el agua, son un buen indicador de contaminación agrícola e industrial. Como se observa en el mapa, en el sector de Entre Ríos existen concentraciones de 5 a 10 mg/l, lo que indica contaminación del agua. Esto se asocia principalmente a las plantaciones de banano y palma africana que existen en el área. También puede estar relacionado con la intrusión de agua del río Motagua en el acuífero, considerando que las áreas donde se encontraron sulfitos en el agua son colindantes con el río Motagua. Ver Figura 7.

Figura 7

Mapa de concentración de sulfitos en el agua subterránea



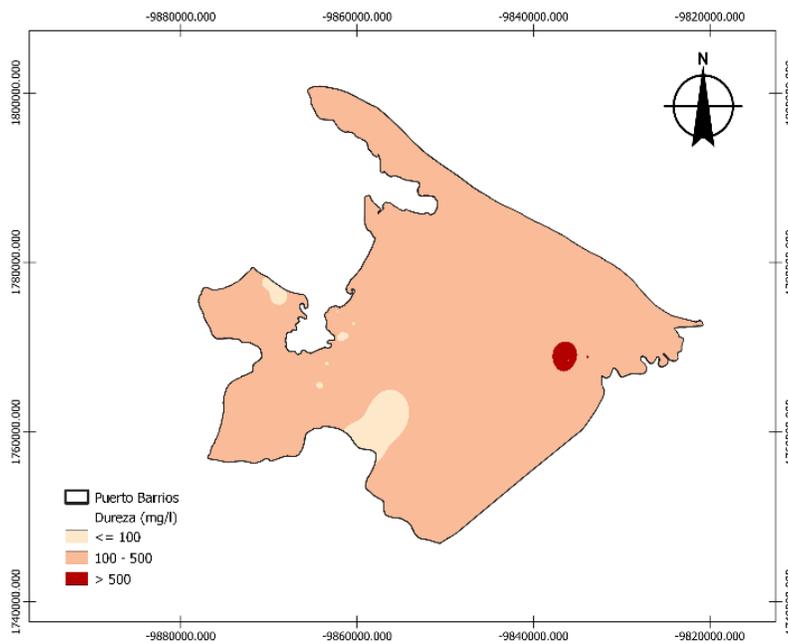
Nota. Se presenta la distribución espacial de la concentración de Sulfitos en el municipio de Puerto Barrios. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Los valores de dureza del agua se encuentran dentro de los valores esperados para el área de Puerto Barrios, considerando que está formada mayormente por rocas sedimentarias. La concentración de dureza se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma COGUANOR NTG 29901 (500 mg/L). Por lo tanto, este parámetro no supone un problema para la utilización del agua subterránea. Ver Figura 8.

Figura 8

Mapa de dureza del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Distribución espacial de la dureza del agua subterránea en Puerto Barrios. Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Análisis de parámetros microbiológicos

En el mes de septiembre se observa mayor contaminación por coliformes totales en el área rural de Entre Ríos y Puerto Barrios. Comparado con el mes de diciembre, en donde tuvimos lluvias torrenciales, tenemos un aumento masivo en la contaminación por coliformes tanto en el área rural como urbana. Sin embargo, se observa mayor grado de contaminación en el área urbana en el periodo de diciembre. Esto indica una contaminación por falta de infraestructura para el manejo de aguas residuales, siendo esta arrastrada al suelo donde posteriormente se infiltra al acuífero. Ver Tabla 12 y Figura 9.

Tabla 12

Coliformes totales y E.Coli en agua subterránea de Puerto Barrios

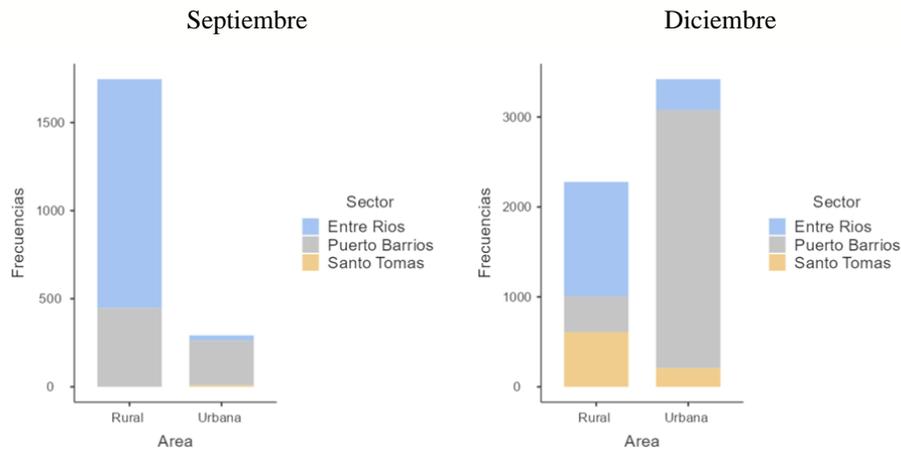
	Mediana	DE	Shapiro-Wilk		Percentiles		
			W	p	25th	50th	75th
Coliformes totales (sep)	7.00	108.98	0.367	<.001	0.0	7.00	38.00
E. Coli (sep)	0.00	8.22	0.561	<.001	0.0	0.00	4.00
Coliformes totales (dic)	79.00	112.43	0.845	<.001	25.0	79.00	141.50
E. Coli . (dic)	0.00	30.00	0.550	<.001	0.0	0.00	14.50

Nota. se presenta un análisis de mediana debido a la variabilidad de los datos, la unidad de medida utilizada es NMP/100 ml. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 9

Frecuencia de contaminación por coliformes totales



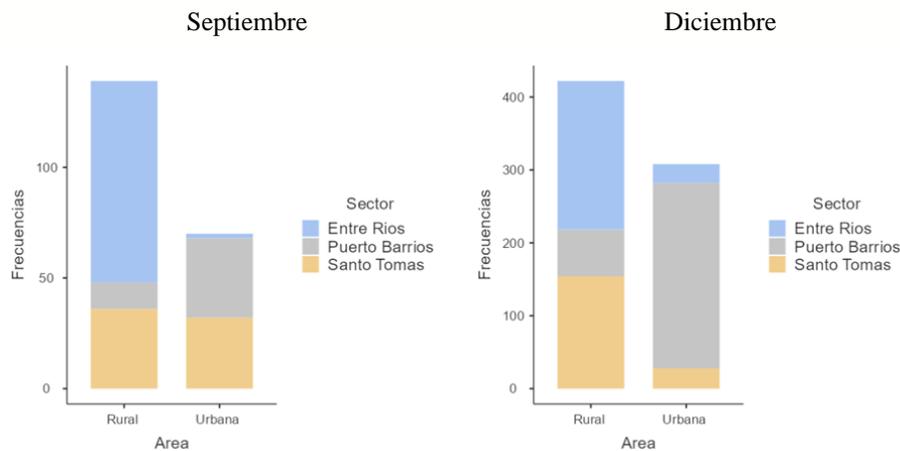
Nota. Se observa la frecuencia de contaminación por coliformes totales dividida por sector y área, urbana y rural. Elaboración propia.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

En el mes de septiembre se observa un mayor grado de contaminación por E. coli en el área rural de los sectores Entre Ríos, Puerto Barrios y Santo Tomás. Al compararlo con el mes de diciembre, que fue un mes con mayor precipitación, observamos un aumento masivo de contaminación por E. coli en el área urbana y rural de Entre Ríos y Santo Tomás. Esto se debe al arrastre de contaminantes de la superficie del suelo por falta de infraestructura para manejo de agua residual, lo que provoca contaminación al acuífero. Ver Figura 10.

Figura 10

Frecuencia de contaminación por E.coli



Nota. Se observa la frecuencia de contaminación por E.coli dividido por sector y área. Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

7.3. Caracterizar los usos del agua subterránea por parte de la población en el municipio de Puerto Barrios.

El agua subterránea es utilizada principalmente para la limpieza en el hogar e higiene personal. Esto incluye desde la limpieza del domicilio hasta ducharse, usarla en los sanitarios, lavarse los dientes y otras actividades relacionadas con la higiene personal. También se utiliza el agua para la cocción de alimentos, y una pequeña parte de la población incluso la consume directamente.

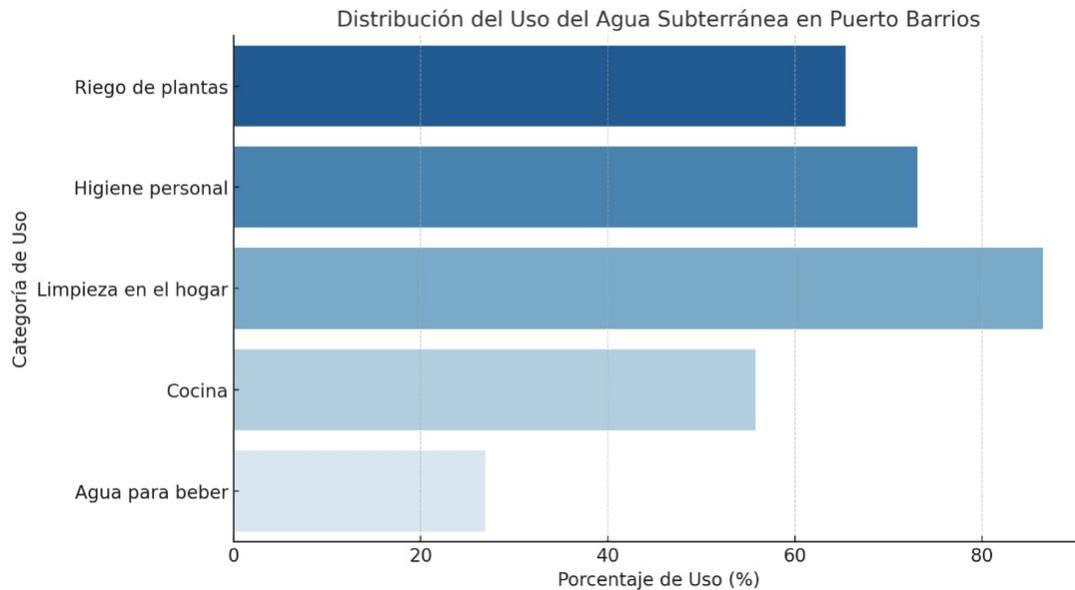
Evaluar riesgos para la salud humana asociados con la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios.

El 50% (26) de las personas entrevistadas consideran que el uso del agua subterránea si representa un riesgo para la salud de quien la utiliza y es por esta razón que no la utilizan para cocción de alimentos ni consumo humano. El 19% (10) de las personas mencionan que si han presentado alguna enfermedad o síntoma que asocian al uso del agua subterránea, sin embargo, ninguno ha consultado al médico y por esta razón ninguno tiene un diagnóstico clínico. Ver Figura 11.

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 11

Usos del agua subterránea de Puerto Barrios



Nota. Se presenta la distribución de los usos del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios siendo este recurso mayormente utilizado para limpieza en el Hogar. Elaboración propia.

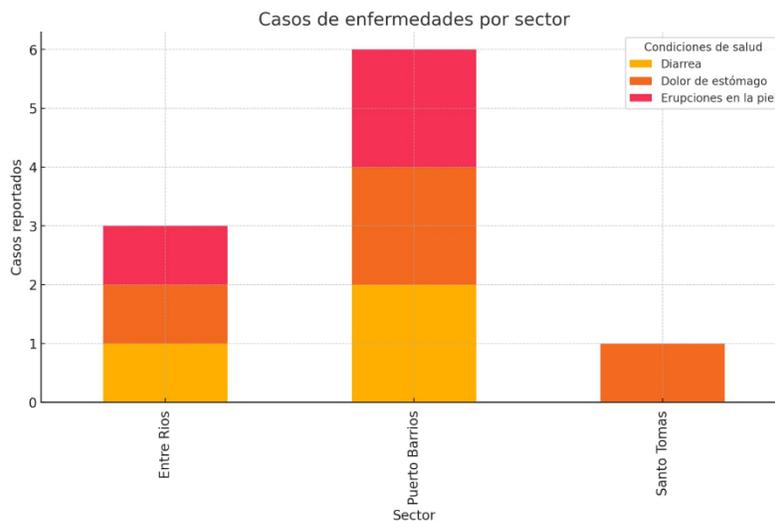
Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

7.4. Evaluar riesgos para la salud humana asociados con la calidad del agua subterránea en el municipio de Puerto Barrios.

Al comparar los datos de análisis microbiológicos con los casos de enfermedades, es evidente que existe una fuerte relación entre las enfermedades gastrointestinales reportadas y la contaminación microbiológica por coliformes totales y coliformes fecales. En cuanto a las erupciones en la piel, se observa una relación entre esta enfermedad y la acidez del agua subterránea. Ver Figura 12.

Figura 12

Casos de enfermedades por sector



Nota. Distribución de casos de enfermedades por sector. Elaboración propia.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

7.5. Discusión de resultados

La evaluación de la calidad del agua subterránea en Puerto Barrios muestra una dependencia de la población a realizar pozos artesanales y mecánicos para el abastecimiento de agua en el hogar, principalmente en el sector rural de Entre Ríos, en comunidades como Switch III, Las Vegas, Media Luna, La Laguna y Jimeritos. El agua subterránea es la única forma de acceder al recurso hídrico para uso en el hogar. El acceso limitado al agua potable obliga a las comunidades a utilizar agua subterránea sin ningún tratamiento previo (Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala, 2022).

El análisis de parámetros fisicoquímicos muestra que el pH del agua subterránea en general cumple con los límites establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001 (6.5 – 8.5). Sin embargo, en algunas áreas como Entre Ríos y Punta de Palma se identificaron valores por debajo de 6.5, asociados a acidificación. Este fenómeno se relaciona con la infiltración de agua residual y factores naturales como el tipo de roca sedimentaria de la región. (Barrera-de-Calderón et al., 2021).

La conductividad eléctrica, sólidos totales y salinidad se mantuvieron dentro de los rangos permisibles a excepción de las áreas más cercanas al mar. En el área rural de Entre Ríos se reportan pozos mecánicos que no han tenido éxito por su alta concentración de sal. La intrusión salina al acuífero es un fenómeno común en zonas costeras, donde el agua de mar penetra en los acuíferos de agua dulce, afectando su calidad (Cruz-Falcón, Murillo-Jiménez & Fraga-Palomino, 2023).

En cuanto a metales, se detectaron concentraciones de hierro superiores a 3 mg/l, principalmente en el sector de Entre Ríos, afectando las características organolépticas como color, olor y sabor del agua. Aunque el hierro no representa un riesgo toxicológico, limita el uso domiciliario del agua. Se detectaron concentraciones de sulfitos (5-10 mg/l) en



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

comunidades cercanas al Río Motagua y a plantaciones agrícolas de banano y palma africana (Blanes & Giménez, 2006).

En relación con los análisis microbiológicos, se detectaron coliformes totales y *E. coli* en el 48% de la muestra, siendo esto un problema grave de contaminación fecal, que aumentó con la lluvia en el segundo análisis que se realizó en el mes de diciembre. Estos resultados coinciden con estudios realizados en países en vías de desarrollo, donde la causa principal de contaminación microbiológica es la inexistente o mala gestión de aguas residuales (Hernández Vázquez et al., 2011). En Puerto Barrios, a pesar de que hay plantas de tratamiento de agua residual, ninguna se encuentra en funcionamiento.

El 50% de la población considera que el uso del agua subterránea sí representa un riesgo para su salud y la de su familia. El uso principal es la limpieza en el hogar y la mayoría de la población evita consumir el agua subterránea, lo que mitiga los riesgos para la salud, pero no los elimina por completo. Más del 50% utiliza el agua para higiene personal y cocción de alimentos, y solo alrededor del 20% utiliza el agua para beber, principalmente en áreas rurales donde no hay otra forma de adquirir el recurso. El análisis del agua subterránea ha tomado gran relevancia por los escasos de agua potable y su amplio uso para el abastecimiento domiciliar (Cerón, Sarria, Torres, & Soto-Paz, 2021).

En relación con los usos y la calidad del agua, existe una correlación entre la contaminación microbiológica y los casos de diarrea y dolor de estómago, existiendo presencia de estos síntomas en las áreas donde existe mayor cantidad de coliformes totales y fecales. En cuanto a irritación en la piel, existe una relación entre el síntoma y la acidez del agua subterránea. Los principales contaminantes del agua para consumo humano son las heces del hombre y de animales conteniendo agentes microbianos como (hepatitis, poliomiélitis); bacterias (*Vibrio cólera*, *Salmonella typhi* y otras enterobacterias); protozoarios (*Amebas*, *Giardias*) y helmintos. Todos estos microorganismos representan un riesgo para la salud de los habitantes que utilizan agua contaminada (Ramos-Mancheno, 2024).



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Los resultados de la investigación permiten priorizar áreas para la evaluación constante del recurso hídrico y, de la misma manera, priorizar áreas para la ejecución de proyectos para el mejoramiento de acceso al agua potable, teniendo como área prioritaria las zonas rurales de Entre Ríos, debido a que la calidad del agua en estas áreas presenta concentraciones de hierro, sulfitos, salinidad y coliformes totales y fecales, y el agua subterránea es el único medio disponible para acceder a este recurso.

8. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 13

Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterránea.	Propietarios de pozos.	52 familias	Población interesada en realizar perforaciones de pozos.
Mapas de distribución espacial de ph, hierro, salinidad, dureza, conductividad eléctrica.	Propietarios de pozos Instituciones MARN, MSPAS y CODEMA.	52 familias	Instituciones y organizaciones que requieran información sobre agua subterránea.
Casos de enfermedades reportadas por la población.	MARN, MSPAS y CODEMA.	24 comunidades de Puerto Barrios Izabal	Organizaciones que deseen realizar proyectos sobre agua y



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
			saneamiento ambiental.
Shape con base de datos completa de todos los parámetros evaluados debidamente georreferenciados.	IICI, MARN, Municipalidad de Puerto Barrios y CODEMA.	24 comunidades de Puerto Barrios y Izabal	Organizaciones que busquen priorizar proyectos para el mejoramiento de acceso al agua de calidad.
Ecofiltros para filtrado de agua subterránea.	Escuelas públicas de nivel primaria.	5 escuelas	Niños de 5 escuelas de nivel primario.

9. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Tabla 14

Estrategia de divulgación y difusión de los resultados

	Sí	No
Presentación TV		X
Entrevistas radiales		X
Podcast		X
Entrevista DIGI		X
Recursos audiovisuales		X
Congresos científicos nacionales o internacionales		X
Talleres		X



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

	Sí	No
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico		X
Divulgación por redes sociales institucionales	X	
Presentación pública	X	
Presentación autoridades USAC	X	
Presentación a beneficiarios directos	X	
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado	X	
Docencia postgrado		X
Póster científico		X
Trifoliales		X
Conferencias		X
Presentación comisión departamental de ambiente y recursos naturales	X	

10. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

La presente investigación contribuyó al cumplimiento de la prioridad nacional "Acceso al agua y gestión de los recursos naturales". Específicamente, abordó la meta E4P3M7, que buscaba incrementar al 90% el acceso al agua potable y saneamiento mejorado. También se enfocó en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible número tres, "Salud y bienestar", y número seis, "Agua limpia y saneamiento".

La investigación registró la ubicación geográfica de pozos artesanales y mecánicos, analizó la calidad del agua subterránea y los usos que la población da a este recurso. En consecuencia, se promueve una mejor gestión del agua subterránea al priorizar áreas más afectadas por



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

contaminación microbiológica para monitoreo constante y ejecución de proyectos para mejoramiento al acceso a agua potable.

La información presentada por la presente investigación es el primer paso para establecer en conjunto con la Municipalidad de Puerto Barrios, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, una planificación para el monitoreo del agua subterránea en áreas prioritarias como el sector de Entre Ríos y promover proyectos principalmente en esta área para mejorar el acceso al agua potable y evitar la presencia de enfermedades por el uso de agua contaminada.

11. Vinculación

Para el desarrollo de la presente investigación, se establecieron vínculos con las siguientes instituciones y organizaciones:

Municipalidad de Puerto Barrios: Se mantuvo una relación directa con la Oficina del Agua, encargada de la gestión del recurso hídrico en el municipio.

Consejo Comunitario de Desarrollo: Se contó con la colaboración activa de los alcaldes comunitarios del municipio de Puerto Barrios.

Comisión Departamental de Ambiente y Recursos Naturales: Responsable de la difusión de información y la coordinación conjunta de las instituciones del departamento de Izabal para la implementación de acciones en favor del medio ambiente.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

12. Conclusiones

Se registraron y georreferenciaron 223 pozos en Puerto Barrios, de los cuales el 90.6% son de tipo artesanal y el 9.4% son de tipo mecánico. Este registro de pozos indica que parte de la población de Puerto Barrios depende directamente de los pozos para acceder al recurso hídrico para uso domiciliario. Además, el registro de los pozos es esencial para futuras evaluaciones de calidad del agua.

En general, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos mostraron que la mayoría de los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001. Sin embargo, se encontraron zonas con problemas de acidificación, alta concentración de hierro y contaminación por coliformes totales y fecales. El agua subterránea del área rural del sector de Entre Ríos presentó los peores resultados en relación con la concentración de hierro, con más de 3mg/l, y el agua con mayor frecuencia de detección de coliformes totales y fecales, en 100 ml de agua.

Se determinó que el agua subterránea es utilizada principalmente para la limpieza en el hogar e higiene personal, seguido por su uso en la cocina para la cocción de alimentos. Mientras que el uso para consumo humano es reducido, principalmente por la percepción de riesgo que tienen las personas sobre este recurso. Sin embargo, en áreas rurales no hay acceso a otro tipo de fuente de agua, por lo que algunas familias lo utilizan incluso para el consumo humano.

Se encontró una correlación entre la contaminación por coliformes totales y fecales en el agua subterránea, y los casos de enfermedades gastrointestinales reportadas por la población. Los casos de diarrea y dolor de estómago se encuentran en las zonas con mayor concentración microbiológica. Además, se observan reportes de irritación en la piel en las zonas que presentan mayor grado de acidez del agua subterránea.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

13. Recomendaciones

Establecer un programa de monitoreo de agua subterránea en colaboración con la municipalidad de Puerto Barrios, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, priorizando las áreas con mayor grado de contaminación detectada en la investigación.

Debido a que existe un alto grado de contaminación por coliformes totales y fecales, siendo esto común en los países en vías de desarrollo por la mala gestión de agua residual, se recomienda a la Municipalidad de Puerto Barrios implementar proyectos de saneamiento, sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de agua residual.

Implementar una campaña de concientización sobre la importancia del tratamiento del agua subterránea para un uso más seguro de este recurso, incluyendo métodos accesibles para la población como la cloración y el uso de ecofiltro.

Priorizar el área rural del sector de Entre Ríos en proyectos para mejora del acceso al agua potable, considerando que es donde existe mayor grado de contaminación y la única fuente de suministro de agua en el hogar son en su mayoría pozos artesanales.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2024). *El agua potable*.
<https://espanol.epa.gov/espanol/el-agua-potable>
- Aguirre Cordón, M. R., Vanegas Chacón, E. A., & García Álvarez, N. (2016). *Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA): Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 39-43.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200006&lng=es&tlng=es
- Alianza de Derecho Ambiental y Agua & Environmental Law Alliance Worldwide. (2024). *Guía de muestreo para el monitoreo de calidad del agua, aire y suelo. Guatemala*.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2^a ed.). A.A. Balkema Publishers.
- Arizabalo, R. D., & Díaz, G. (1991). *La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos* (Vol. 6). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Argueta, A. (2009). *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3045_C.pdf
- Balcárcel Valenzuela, J. R. (2002). *Evaluación de la calidad del agua subterránea que surte al municipio de Fraijanes* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad del Valle de Guatemala.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

- Barrera-de-Calderón, M., Garfias, J., Martel, R., & Salas-García, J. (2021). *Controles geológicos en el flujo de agua subterránea y distribución de volúmenes de extracción asociados a una estructura volcánica compleja. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(1), e00011. <https://doi.org/10.18268/bsgm2021v73n1a170820>
- Basterrechea, M., Dix, M., van Tuylen, S., Méndez, Á., Díaz, L., Mayorga, P., & Gil, N. (2019). *Calidad del agua en Guatemala. En Calidad del Agua en las Américas* (p. 375).
- Blanes, P. S., & Giménez, M. C. (2006). *Evaluación de los niveles de hierro y arsénico en aguas naturales subterráneas de la región centro-oeste de la provincia del Chaco - Argentina. Información Tecnológica*, 17(3), 3-8. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000300002>
- Ceron, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). *Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. Información Tecnológica*, 32(1), 47-56. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
- Chávez Valdez, M., Rivera Herrejón, G., Romero Contreras, T., & Vizcarra Bordi, I. (2013). *El pozo: Usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. Estudios Sociales* (Hermosillo, Son.), 21(41), 261-286. <https://doi.org/10.22201/udg.25000000.2013.41.123>
- Chicana Gil, D. A., & Lopez Quiroz, E. J. (2021). *Revisión sistemática de los impactos de la contaminación de aguas subterráneas producidas por lixiviados de vertederos municipales.*



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Chán Santisteban, M. L., & Peña, W. (2015). *Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19–23.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662015000100019&lng=en&tlng=es

Consejo Departamental de Desarrollo de Izabal. (2023). *Plan de Desarrollo Departamental PDD-2021-2032 Departamento de Izabal*. SEGEPLAN.

Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Puerto Barrios, Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial, & Dirección de Ordenamiento Territorial. (2018). *Plan de desarrollo y de ordenamiento territorial PDM OT de Puerto Barrios, Izabal. Guatemala, Guatemala*.

Cruz-Falcón, A., Murillo-Jiménez, J. M., & Fraga-Palomino, H. C. (2023). *Evolución de la intrusión marina y relaciones iónicas en el acuífero de La Paz, BCS, México. Terra Latinoamericana*, 41, e1636. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1636>

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea* (Vols. I y II). Editorial Omega.

Environmental Law Alliance Worldwide. (2024). *Guía básica: Muestreo de agua para comunidades*.

Fluence Corp. (2020). *Importancia de preservar el agua subterránea*. <https://www.fluencecorp.com/es/importancia-de-preservar-el-agua-subterranea/>



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2022).

Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une. Guatemala.

Girón, D. (2009). *Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula.* Universidad de San Carlos de Guatemala.

González, E., & Colom, E. (2023). *Lección 3: Marco institucional y legal relacionado a la gestión integrada de los recursos hídricos en Guatemala.* Instituto de Recursos Hídricos de Guatemala.

González-Abraham, C. E., Mendoza, M. E., & Ramírez, J. L. (2012). *Evaluación geoquímica del agua subterránea en sistemas hidrogeológicos.* *Revista de Geociencias Ambientales*, 3(1), 45-58.

Herraiz, A. S. (2009). *La importancia de las aguas subterráneas.* *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114.

Herrera, E. (2022). *¿Qué es el agua subterránea y por qué es tan importante?* *World Wildlife Fund.* <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-agua-subterranea-y-por-que-es-tan-importante>

Hernández Vásquez, L., Chamizo García, H., & Mora Alvarado, D. (2011). *Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica.* *Revista Costarricense de Salud Pública*, 20(1), 25-30.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292011000100004&lng=en&tln=es



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2003). *Atlas climatológico*.

https://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm

Llamas, R., Hernández-Mora, N., & Cortina, L. M. (2000). *El uso sostenible de las aguas subterráneas* (Vol. 1). Fundación Marcelino Botín.

Malagón, J. P., Piña, A., Argüello, S., & Donado, L. D. (2021). *Análisis hidrogeoquímico-multivariado del agua subterránea del sistema acuífero del Valle Medio del Magdalena, Colombia: Estudio a escala regional*. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(3). Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222021000300020

Marschoff, C. M. (2012). *La contaminación del agua subterránea. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. <https://www.petrotecnica.com.ar/junio12/sinpublicidad/Contaminacion.pdf>

Massone, H., Corleto, B., Albornoz, D., Lima, L., Fresta, P., Pertini, I., ... & Barilari, A. (2016). *Inventario de fuentes puntuales de contaminación potencial del agua subterránea: caso de estudio Mar del Plata*.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2000). *Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000: Memoria técnica* (pp. 1-48).

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2005). *Atlas temático de la república de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2024). *Informe del Sistema de Monitoreo de Cultivos* (No. 12). <https://precios.maga.gob.gt/novedades/12-informe-smc-diciembre-2024/>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Política marco para la gestión integrada del recurso hídrico en Guatemala*. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2014.-Politica-Marco-para-la-gestion-integrada-del-Recurso-Hidrico.pdf>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2022). *Foro: ¿Cómo hacer visible lo invisible en Guatemala? Destaca la situación actual del agua subterránea y las acciones para proteger el recurso hídrico*. <https://www.marn.gob.gt/foro-agua-subterranea-marn/>

Ordóñez Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas-acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Día Mundial del Agua 2022: Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible*. FAO. <https://www.fao.org/land-water/events/world-water-day-celebrations/dia-mundial-del-agua-2022/es/>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Ginebra. ISBN 978-92-4-354995-8.

Ramos-Mancheno, A. D. J. (2024). *Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas*. *Polo del Conocimiento*, 9(1), 614-632. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i1.6396>



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v27n3.25691>
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). *Calidad del agua subterránea: Acuífero sur de Quintana Roo, México. Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(4), 75-96.
- Santisteban, M. L. C., & Peña, W. (2015). *Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*, 7(1), 19-29.
- Sigui, N. (2016). *¿Por qué continúa la contaminación de aguas en Guatemala? Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(2), 167–176. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v3i2.187>
- Silva, J. T., Moncayo, R., Ochoa, S., Estrada, F., Cruz-Cárdenas, G., Escalera, C., ... & López, M. (2013). *Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río Duero, Michoacán. Tecnología y ciencias del agua*, 4(5), 127-141. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500009&lng=es&tlng=es
- Smith, M., Cross, K., Paden, M., & Laban, P. (Eds.). (2016). *Gestión sostenible de las aguas subterráneas. UICN Oficina Regional para México, América Central y el Caribe*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.es>
- Spillman, T. R., Waite, L., Webster, T. C., Buckalew, J., & Alas, H. (2000). *Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala*.



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Syeed, M., & Khan, R. H. (2023). *Indicadores ambientales y de sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/surface-water>

The Nature Conservancy. (2022). *Aguas subterráneas: nuestro recurso oculto más valioso*. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/aguas-subterraneeas-nuestro-recurso-mas-valioso/>

World Water Assessment Programme (WWAP). (2022). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2022: Aguas subterráneas: Hacer visible el recurso invisible*. UNESCO. <https://es.unesco.org/wwap>

Yogendra, K., & Puttaiah, E. (2008). *Determinación del Índice de Calidad del Agua y adecuación de una urbanización. Shimoga, Karnataka*. Recuperado de https://www.academia.edu/32049089/Determination_of_Water_Quality_Index_and_Suitability_of_an_Urban_Waterbody_in_Shimoga_Town_Karnataka



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice

Boleta de campo para medición de parámetros in situ


 Dirección General de Investigación
 Universidad de San Carlos de Guatemala


Cunizab
Centro Universitario de Izabal
Universidad de San Carlos de Guatemala

Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μ S/cm]	EC Abs.[μ S/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Boleta para medición de parámetros químicos


 Dirección General de Investigación
 Universidad de San Carlos de Guatemala


Cunizab
Centro Universitario de Izabal
Universidad de San Carlos de Guatemala

Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Resultados de parámetros químicos



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
5	75	0	10	675	585
10	2	<0.6	4	405	339
13	5	<0.6	4	540	495
25	3	<0.6	6	240	210
26	<1	0.6	10	165	155
27	<1	0.6	14	150	210
28	4	0	20	303	300



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
57	4	0.6	0	>1,500	>1,500
45	4	<0.6	16	189	210
65	1	<0.6	16	237	240
50	4	<0.6	2	465	225
71	1	<0.6	2	270	210
49	4	<0.6	2	204	180
60	4	<0.6	2	210	180
91	1	<0.6	0.4	70	60
149	<1	<0.6	0.2	15	36



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del Caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
151	1	0.6	0.4	90	60
137	<1	0.6	0.4	210	180
170	3	0	0.4	145	90
51	2	0.6	4	7	9
74	<1	0.6	2	22	36
213	<1	0.6	2	55	72
214	<1	0.6	2	50	66
217	<1	0.6	4	10	90
201	<1	0.6	1	90	90



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del Caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
204	0.1	0.6	3	150	180
52	2	0.6	2	345	405
44	0.1	0.6	2	12	60
38	0.1	0.6	1	24	60
198	0.1	0.6	2	54	90
35	2	0.6	1	230	270
193	1	0.6	1	190	210
143	1	0.6	1	180	135
121	<1	0.6	1	90	150



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del Caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
160	11	10.6	1	20	60
128	3	0	2	300	300
120	11	10.6	1	220	225
117	1	10.6	2	100	105
127	0	10.6	1	220	270
112	2	10.6	0.2	150	120
109	11	10.6	0.2	165	210
114	11	10.6	0.2	45	120
115	11	10.6	0.6	180	210



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del Caribe de Izabal -IICI-
Medición de parámetros químicos del agua subterránea

ID	HIERRO	ZINC	SULFITOS	ALCALINIDAD	DUREZA
96	11	0.6	0.4	30	120
106	11	10.6	0.4	90	105
85	3	10.6	2	510	450
180	75	10.6	5	102	90
177	3	10.6	0.8	180	105
82	3	10.6	0.8	600	435
90	11	10.6	2	120	105
183	11	0.6	1	130	120
136	11	0.6	1	30	60



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Resultados de parámetros in situ



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	121	27	6.41	41	112.5	154	163	0.0065	77	0.07	7.1	0.58
2	117	27.81	6.54	34.9	126.3	182	191	0.0055	91	0.08	6.8	0.54
3	143	26.39	7.34	-14	117.5	147	151	0.0068	71	0.07	9.7	0.79
4	160	26.21	5.45	97.5	186	112	115	0.0089	56	0.05	8.5	0.69
5	106	26.07	6.86	13.3	133.8	43	41	0.0233	22	0.02	7.9	0.64
6	109	26.52	6.79	18.1	141.9	74	76	0.0135	37	0.03	6.4	0.51
7	96	26.40	6.70	22.4	137.8	71	73	0.0141	35	0.03	7.6	0.62
8	112	25.61	6.91	10.8	25.5	91	92	0.0110	45	0.04	5.5	0.44
9	114	27.39	7.11	-2.9	57.1	170	178	0.0059	85	0.04	10.8	0.86
10	115	26.92	6.86	13.9	76.8	119	123	0.0084	59	0.08	8.4	0.67



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	5	26	7.43	4.1	39.8	44	46	0.022	22	0.02	6.7	0.57
2	10	26	7.02	4.8	37.9	126	205	0.051	100	0.09	6.3	0.50
3	13	28	6.89	2.4	116	394	420	0.025	199	0.19	5.4	0.42
4	26	27	6.90	8.9	12.4	231	244	0.043	116	0.11	12	0.96
5	27	26.7	6.5	8.8	109	178	184	0.066	89	0.08	18.1	1.46
6	28	27	6.7	9.3	114	360	375	0.0028	181	0.17	1.9	0.39
7	25	28.9	6.6	28.3	-25.7	273	289	0.037	136	0.95	8.8	0.69
8	60	27.6	7.2	-7.4	85.8	22	23	0.0428	11	0.01	6.3	0.50
9	57	26.9	7.3	-13.4	-130.6	1090	1100	0.0009	54.5	0.80	6.5	0.52
10	65	27	6.7	23.5	48.7	428	446	0.023	214	0.20	6.8	0.54



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	71	28.6	6.7	22	59	375	401	0.0027	187	0.28	6.7	0.53
2	45	27.3	6.9	9.8	51.3	298	312	0.0034	149	0.14	5.2	0.41
3	50	26.8	6.9	10.3	-126.7	550	569	0.0018	271	0.26	5.7	0.46
4	49	26.7	6.8	17.8	-18.9	277	287	0.0036	139	0.15	5.8	0.46
5	51	27	6.3	51.3	109.9	23	24	0.0435	72	0.01	5.4	0.43
6	214	26.4	6.0	61.2	129.7	70	72	0.0141	35	0.03	5.7	0.46
7	213	26.9	6.6	25.8	133.9	125	130	0.0080	63	0.06	7.7	0.62
8	217	27.8	5.1	118	206.2	89	94	0.00112	44	0.04	7.8	0.62
9	74	27.9	5.7	83.4	176	54	57	0.0185	27	0.02	7.2	0.76
10	35	26.7	6.8	12.7	99.6	104	108	0.0096	52	0.05	5.5	0.44



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	44	28.1	5.8	27.5	172	85	91	0.0018	42	0.04	6.4	0.50
2	38	27.8	5.8	73.7	12.1	75	79	0.0132	38	0.03	7.6	0.61
3	52	27.9	7.0	28.2	-50	260	273	0.0039	131	0.12	5.3	0.40
4	204	26.9	7.5	-29.4	86.2	179	185	0.0066	89	0.08	8.2	0.65
5	198	26.9	7.0	0.01	87.8	2026	2305	0.0041	113	0.11	5.1	0.70
6	201	27.2	6.4	30.5	138.9	157	160	0.0064	78	0.07	10.2	0.8
7	193	27.2	6.8	12.2	134	294	307	0.031	147	0.11	11.2	0.89
8	170	24	7.7	-35.9	336	35	35	0.0182	28	0.02	6.6	0.55
9	149	26.9	6.1	84.1	164.8	89	92	0.0112	45	0.04	10.6	0.85
10	151	27	6.1	54.4	149.2	129	134	0.0078	64	0.06	9.4	0.75



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	85	27.51	6.86	14.1	-49.3	220	231	0.0045	110	0.10	6.6	0.52
2	82	25	6.88	13.83	-18.41	450	469	0.0022	223	0.21	5.9	0.47
3	90	26.69	7.41	-18.3	10	111	115	0.0089	56	0.05	12.9	104 *
4	183	27.13	7.28	-10	38.8	142	147	0.0070	71	0.07	8.8	0.70
5	180	26.03	7.25	-9.5	-100.5	193	197	0.0052	96	0.09	4.7	0.39
6	177	26.39	6.87	13.1	-17.3	350	365	0.0028	178	0.17	9.8	0.76
7	156	27.65	5.72	82.2	138	48	50	0.0208	24	0.02	11.7	0.93
8	127	27.53	6.71	22.6	164.8	56	59	0.0017	28	0.03	5.7	0.45
9	128	27	6.79	18	-43	60	62	0.0167	30	0.03	4.8	0.38
10	120	27.84	6.93	91.7	55	89	92	0.0112	44	0.01	5.8	0.45



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No.	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	EC Abs.[μS/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	85	27.51	6.86	14.1	-49.3	220	231	0.0045	110	0.10	6.6	0.52
2	82	25	6.88	13.83	-18.41	450	469	0.0022	223	0.21	5.9	0.47
3	90	26.69	7.41	-18.3	10	111	115	0.0089	56	0.05	12.9	104 *
4	183	27.13	7.28	-10	38.8	142	147	0.0070	71	0.07	8.8	0.70
5	180	26.03	7.25	-9.5	-100.5	193	197	0.0052	96	0.09	4.7	0.39
6	177	26.39	6.87	13.1	-17.3	350	365	0.0028	178	0.17	9.8	0.76
7	156	27.65	5.72	82.2	138	48	50	0.0208	24	0.02	11.7	0.93
8	127	27.53	6.71	22.6	164.8	56	59	0.0017	28	0.03	5.7	0.45
9	128	27	6.79	18	-43	60	62	0.0167	30	0.03	4.8	0.38
10	120	27.84	6.93	91.7	55	89	92	0.0112	44	0.01	5.8	0.45



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



Calidad del agua subterránea del municipio de Puerto Barrios Izabal
Instituto de investigaciones del caribe de Izabal -IICI-
Medición de Parámetros In Situ del Agua Subterránea

No	ID	Temp	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μ S/cm]	EC Abs.[μ S/cm]	RES[KOhm-cm]	TDS [ppm]	Sal.[PSU]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
1	99	26.9	6.1	53.9	116.7	148	153	0.0068	74	0.07	6.6	0.53
2	137	27.9	7.1	-0.9	73.9	97	103	0.0103	49	0.04	7.6	0.83
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Resultados de coliformes totales y fecales

1 de 4



AIQ Laboratorio
6ta. Calle 4-17 Zona 1 Edificio Tikal
Ala Norte 6to Nivel, Oficina 614
aiqlab@uscg.edu.gt
www.aiqlaboratorio.com
Teléfono: 22204388 / 22513338 / 51936980

INFORME DE LABORATORIO

Análisis solicitado por: Ing. LUIS DARDÓN
Dirección: PUERTO BARRIOS IZABAL, GUATEMALA
Dirigido a: CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL
Proyecto: CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS
Referencia: SALIDA POZOS

Responsable del muestreo: Cliente
Número de registro laboratorio: 2024-FQ03610
Tipo de muestra: AGUA POTABLE
Fecha de ingreso: 15 / NOVIEMBRE / 2024
Fecha de Informe: 04 / ENERO / 2025

Código interno	E. Coli	Coliformes Totales	Norma Coganor 29001 LMP	Límite de detección del método	Límite de detección del método
45	80 NMP / 100 ml	4 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
49	38 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
50	738 NMP / 100 ml	33 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
57	240 NMP / 100 ml	32 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
60	40 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
65	38 NMP / 100 ml	8 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
71	14 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
5	12 NMP / 100 ml	8 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
10	20 NMP / 100 ml	4 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
13	32 NMP / 100 ml	16 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
25	4 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
26	8 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
27	4 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
28	2 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
51	20 NMP / 100 ml	8 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
74	28 NMP / 100 ml	8 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
213	8 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
214	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
217	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
35	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
38	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
44	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
52	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
193	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
198	No detectable / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
201	4 NMP / 100 ml	No detectable / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
204	4 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml

Lic. Eduardo Saquilmer V,
Químico
Colegiado No. 5292
Eduardo Saquilmer
Químico, Colegiado 5292
AIQ LABORATORIO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA POTABLE EN BASE A NORMA COGUANOR NTG 29001
Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012
Criterio: Norma Coganor NTG 29001

XXV.I.FQ.3610-13



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

2 de 4



AIQ Laboratorio
6ta. Calle 4-17 Zona 1 Edificio Tikal
Ala Norte 6to Nivel, Oficina 614
aiqlabq@gmail.com
www.aiqlaboratorio.com
Teléfono: 22204388 / 22513338 / 51936980

INFORME DE LABORATORIO

Análisis solicitado por: Ing. LUIS DARDÓN
Dirección: PUERTO BARRIOS IZABAL, GUATEMALA
Dirigido a: CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL
Proyecto: CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS
Referencia: SALIDA POZOS

Responsable del muestreo: Cliente
Número de registro laboratorio: 2024-FQ03611
Tipo de muestra: AGUA POTABLE
Fecha de ingreso: 27 / NOVIEMBRE / 2024
Fecha de Informe: 04 / ENERO / 2025

Código interno	E. Coli	Coliformes Totales	Norma Coganor 29001 LMP	Límite de detección del método	Límite de detección del método
82	16 NMP / 100 ml	12 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
85	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
90	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
136	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
177	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
180	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
183	60 NMP / 100 ml	4 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
117	108 NMP / 100 ml	10 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
120	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
121	42 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
127	10 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
128	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
143	8 NMP / 100 ml	4 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
160	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
96	40 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
106	14 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
109	142 NMP / 100 ml	16 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
112	46 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
114	160 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
115	46 NMP / 100 ml	32 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
91	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
137	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
140	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
151	6 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
170	4 NMP / 100 ml	2 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
5	142 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
10	68 NMP / 100 ml	22 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml

Lc. Eduardo Saquilmej
Químico
Colegiado No. 5292
Eduardo Saquilmej
Químico, Colegiado 5292
AIQ LABORATORIO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA POTABLE EN BASE A NORMA COGANOR NTG 29001
Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012
Criterio: Norma Coganor NTG 29001

XXV.I.FQ.3610-13



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

3 de 4



AIQ Laboratorio
6ta. Calle 4-17 Zona 1 Edificio Tikal
Ala Norte 6to Nivel, Oficina 614
aiqlabq@gmail.com
www.aiqlaboratorio.com
Teléfono: 22204388 / 22513338 / 51936980

INFORME DE LABORATORIO

Análisis solicitado por: Ing. LUIS DARDÓN
Dirección: PUERTO BARRIOS IZABAL, GUATEMALA
Dirigido a: CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL
Proyecto: CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS
Referencia: SALIDA POZOS

Responsable del muestreo: Cliente
Número de registro laboratorio: 2024-FQ03612
Tipo de muestra: AGUA POTABLE
Fecha de ingreso: 11 / DICIEMBRE / 2024
Fecha de informe: 04 / ENERO / 2025

Código interno	E. Colif	Coliformes Totales	Norma Coganor 29001 LMP	Límite de detección del método	Límite de detección del método
13	92 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
25	44 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
26	120 NMP / 100 ml	46 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
27	108 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
28	84 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
51	60 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
57	380 NMP / 100 ml	142 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
60	64 NMP / 100 ml	12 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
71	46 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
65	224 NMP / 100 ml	68 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
0	20 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
45	84 NMP / 100 ml	46 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
49	140 NMP / 100 ml	22 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
50	116 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
74	84 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
214	68 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
217	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
243	46 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
85	248 NMP / 100 ml	26 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
82	164 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
90	288 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
91	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
136	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
137	96 NMP / 100 ml	64 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
143	48 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
149	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml

Lc. Eduardo Saquimer V.
Químico
Colegiado No. 5292
Eduardo Saquimer
Químico, Colegiado 5292
AIQ LABORATORIO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA POTABLE EN BASE A NORMA COGUANOR NTG 29001
Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012
Criterio: Norma Coganor NTG 29001

XXV.I.FQ.3610-13



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

4 de 4



AIQ Laboratorio
6ta. Calle 4-17 Zona 1 Edificio Tikal
Ala Norte 6to Nivel, Oficina 614
aiqlabq@gmail.com
www.aiqlaboratorio.com
Teléfono: 22204388 / 22513338 / 51936980

INFORME DE LABORATORIO

Análisis solicitado por: Ing. LUIS DARDÓN
Dirección: PUERTO BARRIOS IZABAL, GUATEMALA
Dirigido a: CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL
Proyecto: CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS
Referencia: SALIDA POZOS

Responsable del muestreo: Cliente
Número de registro laboratorio: 2024-FQ03613
Tipo de muestra: AGUA POTABLE
Fecha de ingreso: 19 / DICIEMBRE / 2024
Fecha de informe: 04 / ENERO / 2025

Código interno	E. Coli	Coliformes Totales	Norma Coguanor 29001 LMP	Límite de detección del método	Límite de detección del método
151	26 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
160	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
170	232 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
180	470 NMP / 100 ml	22 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
183	128 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
96	392 NMP / 100 ml	86 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
106	256 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
109	108 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
112	312 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
113	74 NMP / 100 ml	42 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
114	62 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
117	166 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
120	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
121	38 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
127	146 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
128	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
177	266 NMP / 100 ml	104 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
35	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
38	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
45	22 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
52	124 NMP / 100 ml	28 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
193	62 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
198	10 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
201	94 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml
204	18 NMP / 100 ml	No detectable/100 ml	No detectable/100 ml	1.1 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml

Lc. Eduardo Saquilmer V.
Químico
Colegiado No. 5292
Eduardo Saquilmer
Químico, Colegiado 5292
AIQ LABORATORIO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA POTABLE EN BASE A NORMA COGUANOR NTG 29001
Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012
Criterio: Norma Coguanor NTG 29001

XXV.I.FQ.3610-13



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Encuesta para entrevista a propietarios de pozos



Calidad del agua subterránea en el Municipio de Puerto Barrios Izabal Cuestionario

Consentimiento informado: El objetivo de este cuestionario es recopilar información sobre los usos del agua subterránea y los posibles riesgos asociados a su uso. Su participación es voluntaria y sus respuestas son confidenciales. Los datos recopilados se utilizarán únicamente con fines de investigación manteniéndose de forma anónima. Al responder este cuestionario usted da su consentimiento para participar en el presente estudio. Los resultados de esta encuesta serán presentados posteriormente.

1. Datos generales:

ID _____ Tipo de pozo _____ Profundidad (ft) _____

Ubicación _____ Área: Urbana _____ Rural _____

Pendiente: Ladera _____ Plan _____ Observación _____

Cerca de: Drenajes _____ Basura _____ Industria _____ Plantaciones _____

Otro _____

Agua olor: Rechazable _____ No rechazable _____ Observación _____

Agua Color: Rechazable _____ No rechazable _____ Observación _____

2. Usos del agua subterránea

Utiliza el agua de pozo para: Riego de plantas _____ Higiene personal _____

Limpieza en el hogar _____ Cocina _____ Agua para beber _____

Otro _____

Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



3. Riesgos por el uso de agua de pozo

A. ¿Considera que el uso del agua de pozo le ha producido algún riesgo a la salud?

Si ____ No ____

B. ¿Cree que usted o algún miembro de su familia ha tenido alguna enfermedad por el uso del agua de pozo?

Si ____ No ____

Si su respuesta es sí, explique por qué:

C. ¿Ha observado algún síntoma recurrente en su familia que pueda estar relacionado con el agua de pozo?

Si ____ No ____

Si su respuesta es sí, mencione los síntomas: _____

D. ¿Ha consultado a un médico por problemas de salud que podría atribuir al uso del agua de pozo?

Si ____ No ____

Si su respuesta es sí, ¿qué diagnóstico recibió?: _____

E. ¿Ha notado alguna diferencia en la salud de su familia desde que comenzó a usar agua de pozo en comparación con otras fuentes de agua?

Si ____ No ____

Si su respuesta es sí, explique:



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024



F. ¿Ha tenido usted o alguien de su familia alguna de estas enfermedades después de usar agua de pozo?

Diarrea ____ Dolor de estómago ____ Erupciones en la piel ____ Fiebre alta ____

Náuseas o vómitos ____

Otro _____

Fecha: _____



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Luis Alfredo Dardón Sandoval	
12/03/2025	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Mario Estuardo Salazar Rodríguez Coordinador del Instituto de Investigaciones del Caribe de Izabal	
12/03/2025	



Informe Final de Proyecto de Investigación 2024

Aprobación de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Andrea Rodas Morán Coordinadora del programa universitario de investigación	
12/03/2025	

/Digi2024