

# **Evaluación de la calidad de agua en pozos del municipio de Amapala, Valle, Honduras**

**Gabriela Alexandra Díaz Bautista  
Gabriela Sarmiento Andújar**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**  
Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Evaluación de la calidad de agua en pozos del municipio de Amapala, Valle, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieras en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Gabriela Alexandra Díaz Bautista**  
**Gabriela Sarmiento Andújar**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2018

## Evaluación de la calidad de agua en pozos del municipio de Amapala, Valle, Honduras

Gabriela Alexandra Díaz Bautista  
Gabriela Sarmiento Andújar

**Resumen.** La evaluación de la calidad de las aguas subterráneas es importante en lugares donde ésta representa la principal fuente de agua para uso y consumo, tal es el caso de la ciudad puerto de Amapala, ubicada en la isla El Tigre. Se realizó un estudio con el fin de identificar contaminación por intrusión salina con base en la concentración de cloruros en el agua y se buscó una relación entre conductividad y cloruros para proponer una alternativa local de monitoreo de intrusión salina. Además de caracterizar la calidad del agua en términos fisicoquímicos y bacteriológicos, se propuso identificar las percepciones comunitarias asociadas a las condiciones actuales con respecto al acceso a agua potable. Para esto, se realizaron tres campañas de muestreo en la zona, obteniendo un total de 46 muestras asociadas a encuestas semiestructuradas dirigidas a las familias; además, se encuestó a 20 hogares sin pozo. Se encontró que un 58.7% de pozos, excede el límite máximo permisible de cloruros (250 mg/L) que establece la norma hondureña. Estos resultados indican la existencia de intrusión salina en el acuífero de la isla. Se encontró una alta relación entre conductividad y cloruros ( $R^2 = 0.90$ ), que permite tener un aproximado de la concentración de cloruros, una alternativa local de monitoreo del fenómeno de intrusión salina. En cuanto a coliformes totales y *Escherichia coli*, medido a 18 pozos del total, solo cinco pozos estaban dentro de los límites permitidos. En general, el agua de la mayoría de los pozos no reúne los requisitos de potabilidad.

**Palabras clave:** Agua subterránea, coliformes, fisicoquímicos, intrusión salina, salud.

**Abstract.** Evaluation of the quality of groundwater is of great importance, particularly in places where this one represents the principal source of water consumption. Such is the case of the port city of Amapala, located on the island of El Tigre. A study was carried out in order to identify saline intrusion contamination based the concentration of chlorides in the water. A relationship between conductivity and chlorides was sought in order to propose a locally feasible method for a monitoring saline intrusion. In addition to characterizing the water's quality in physicochemical and bacteriological terms, community perceptions of the current conditions for drinking water access were identified. For this, three sampling campaigns were carried out in the area, obtaining 46 samples associated with semi-structured surveys aimed at families; In addition, 20 homes without wells were surveyed. It was found that 58.7% of wells exceeded the maximum permissible limit of chlorides (250 mg/L) established by the Honduran standard. These results indicate the existence of saline intrusion in the aquifer of the island. A high relation between conductivity and chlorides was found ( $R^2 = 0.90$ ), such that conductivity can be used to approximate the concentration of chlorides, as a local alternative to monitor the phenomenon of saline intrusion. As for total coliforms and *Escherichia coli*, measured to 18 wells of the total, only five wells were within the allowed limits. In general, the water in most wells did not meet the potability requirements.

**Key words:** Coliformes, groundwater, health, physicochemical, saline intrusion.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>31</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>36</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Parámetros fisicoquímicos evaluados y su respectivo valor permisible según la normativa hondureña. ....	6
2. Parámetros fisicoquímicos y sus métodos de análisis. ....	7
3. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados y sus respectivos valores permisibles según la normativa hondureña. ....	9
4. Parámetros seleccionados y sus métodos de análisis. ....	10
5. Medidas de ajuste del modelo de regresión lineal. ....	17
6. Modelo efectos fijos de la regresión lineal. ....	17
7. Parámetros para la caracterización del agua de pozos. ....	22
8. Porcentaje de enfermedades asociadas al uso y/o consumo de agua reportadas por el Centro de Salud. ....	27
9. Principales enfermedades reportadas por la población en las encuestas aplicadas. ....	28
Figuras	Página
1. Mapa de ubicación del casco urbano Amapala, Valle, Honduras. ....	4
2. Agrupación de pozos por zonas del municipio de Amapala (2018). ....	12
3. Resultados de conductividad de los 46 pozos por zonas. ....	13
4. Resultados de TDS de los 46 pozos por zonas. ....	14
5. Resultados de cloruros de los 46 pozos por zonas. ....	15
6. Mapa de distribución de intrusión salina con base en la concentración cloruros. ....	16
7. Regresión lineal entre cloruros y conductividad con bandas de predicción. ....	18
8. Cantidad de coliformes totales por pozo en contraste con los valores permitidos según la normativa hondureña. ....	19
9. Porcentaje de pozos con <i>Escherichia coli</i> , por rangos. ....	19
10. Mapa de coliformes totales NMP/100 mL. ....	20
11. Mapa de <i>Escherichia coli</i> NMP/100 mL. ....	21
12. Comparación de gastos semanales en Lempiras por consumo agua embotellada por hogares con y sin pozo. ....	24
13. Comparación de gastos semanales en Lempiras por consumo de refrescos embotellados por parte de hogares con y sin pozo. ....	25
14. Comparación de gastos semanales en refrescos embotellados y en agua para consumo. ....	26

Anexos	Página
1. Morbilidad por diarrea en grupos etarios de Amapala durante las primeras 25 semanas del 2018. ....	36
2. Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que cuentan con pozo. ....	37
3. Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que no poseen pozo. ....	39
4. Pruebas de chi-cuadrado respecto al consumo de agua embotellada de personas con y sin pozo. ....	40
5. Dinámica del manejo de venta de agua mediante cisternas. ....	41
6. Dinámica de distribución de agua de pozo en los diferentes barrios de Amapala. ....	41
7. Visualización de alrededores de los pozos. ....	41
8. Transporte de agua de la purificadora “El Cerrito” a la isla. ....	42
9. Medida de parámetros fisicoquímicos y toma de muestra para análisis bacteriológicos. ....	42
10. Actividades de pesca en la isla. ....	42
11. Condiciones de manejo de los pozos. ....	43
12. Pozo de purificadora La Sirena. ....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

El acelerado y constante crecimiento demográfico mundial ejerce presión sobre los recursos hídricos. Según reportes del Informe Anual del Grupo de Recursos Hídricos, habrá un déficit de agua del 40% a nivel mundial para el año 2030 (WRG 2030 Resources Group, 2013). Según los pronósticos, en el periodo 2000-2050 el aumento de la demanda de agua de la industria, se va a cifrar en un 400% (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2015). Las aguas subterráneas serán las más demandadas dado que son las principales para consumo y actividades domésticas, además de representar el 29% del agua dulce. Sin embargo, ante su sobreexplotación, existen pocas políticas que impulsen una buena gobernanza, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de este importante recurso.

Las aguas subterráneas tienen características apreciadas para consumo y usos domésticos, pues resultan más difíciles de contaminar en comparación a las aguas superficiales, pero cuando esto ocurre es más difícil tratarlas ya que su renovación y recarga es muy lenta (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015). Al hacer referencia a la calidad del agua, se consideran sus características fisicoquímicas y biológicas y la normativa para estos parámetros, dependerá de su uso final. Según la calidad del agua, su consumo puede o no, tener repercusiones sobre la salud tanto en el corto como en el largo plazo.

Está demostrado que la mayoría de las enfermedades provocadas por microorganismos patógenos está relacionada con el consumo de agua contaminada (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). Por lo general, los acuíferos destinados a usos urbanos se ven afectados por falta de sanidad en el manejo, mientras que los acuíferos cercanos a las costas se exponen a la intrusión de agua salina, lo que los hace más vulnerables dado la alta densidad poblacional de las mismas (Carretero, Rapaglia y Kruse, 2012).

La intrusión salina es un fenómeno natural, generalmente intensificado por las actividades humanas en el ciclo natural del agua. Se puede definir como el movimiento de la frontera (interface) entre el agua subterránea y el agua del mar. En verano, cuando el suministro de agua fresca disminuye, la frontera se desplaza hacia el interior y con las extracciones descontroladas se favorece el crecimiento de la cuña salada (López y Gómez, 2007). Si la salinidad en el agua alcanza altas concentraciones, ya no debe ser consumida.

La intrusión salina es un problema casi irreversible, en caso de poder revertirlo, es un proceso costoso por lo que, con frecuencia, los pozos afectados deben ser abandonados (Urenda, 2016). La mejor forma de evitar el abandono de un acuífero es detectando la intrusión salina durante la etapa inicial. Esto se logra, principalmente, mediante el uso de

modelos o ecuaciones matemáticas en combinación con análisis químicos e isotópicos. En este sentido, uno de los indicadores más comunes de salinidad en el agua es su concentración de cloruros en función de la conductividad eléctrica (Peinado, et al., 2012).

Por otro lado, el agua subterránea es propensa a contaminarse con derivados microbianos relacionados con las excretas de humanos u otros animales de sangre caliente. Un indicador de contaminación bacteriológica por contaminación fecal en agua es la presencia de *Escherichia coli*, que se incluye dentro de las bacterias entéricas patógenas. El agua destinada a consumo no debe contener microorganismos indicadores (*Escherichia coli* o bacterias coliformes termotolerantes) en ninguna muestra de 100 mL. Sin embargo, esto no quita la posibilidad de contener otros organismos patógenos (OMS, 2008).

En la zona sur de Honduras, en el departamento de Valle, se encuentra el municipio de Amapala. De acuerdo al mapa de unidades hidrogeológicas de Honduras, Amapala tiene un acuífero de rocas con recursos de agua subterránea local y limitada. Los suelos son de tipo Pespire, los cuales se caracterizan por contener minerales máficos, poseer arcilla, tener una capacidad regular de infiltración (FAO, 1969). Además, Amapala abarca suelos vertisoles, arenosoles y acrisoles es decir arenosos y arcillosos, según el Servicio Mundial de Información sobre Suelos WoSIS (International Soil Reference and Information Centre [ISRIC], 2018).

Según estudios del año 2011, en el municipio de Amapala existen tres autoridades a cargo de la prestación de servicios de agua y son: un prestador gubernamental que es el SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados), un prestador Municipal y Juntas Administradoras de agua. El suministro de agua por parte del SANAA en el 2006 abastecía el 82.72% de la población. Sin embargo, para el año 2011 sólo el 55% hacía uso de esa fuente de agua. Esta reducción se debe a que el suministro de la misma por parte del SANAA, era discontinuo. Debido a esto, la población ha optado por la compra de agua de pozos para actividades domésticas (Escoto, 2011).

Amapala no cuenta con estudios que evalúen la calidad de agua; sin embargo, en el año 2011, la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), realizó un estudio exploratorio. En el cual se midió pH y temperatura, no se consideraron parámetros bacteriológicos u otros de interés asociados a la salud de los consumidores. A inicios del 2017, como parte de una gira académica de estudiantes de Zamorano, se realizó un muestreo en los pozos antes visitados por la DGRH y se identificaron niveles elevados de cloruros en varios pozos de la isla. Posteriormente, se realizó este mismo ejercicio a inicios de 2018 con otro grupo de estudiantes de Zamorano.

Existen pocos estudios de intrusión salina en la región, uno de ellos es el caso de la Bahía de Jiquilisco, en la zona del Bajo Lempa (Programa Regional de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente [PRISMA], 2001). Usaron métodos hidrogeológicos y geofísicos en diversos puntos de la zona y se determinó que no existía presencia de intrusión salina en ese momento. Sin embargo, se hizo una proyección del estado del acuífero hasta 30 años donde quedó en manifiesto la evolución de la cuña de intrusión salina dadas las condiciones de vulnerabilidad del lugar.



El conocimiento del estado de los recursos hídricos en calidad y cantidad resulta primordial para la creación de políticas locales por parte de las autoridades en torno al uso y regulación del consumo de la misma. Estas políticas están orientadas a la planificación de las actividades humanas que aseguren la protección del acuífero con base en un control permanente de la calidad del agua y regulación de las extracciones. De igual modo, la información generada por este estudio es útil como herramienta preventiva, dado que permite monitorear las áreas con mayor concentración de cloruros. Además, es importante que la población en general conozca acerca de la calidad del agua que consume y los puntos de contaminación puntual para evitar afectaciones a su salud (López y Gómez, 2007).

El estudio consistió en analizar la calidad del agua de los pozos del casco urbano de Amapala, ubicado en la Isla del Tigre. Para esto, se cuenta con la información de la ubicación de 64 pozos de acuerdo a datos obtenidos de la Dirección de Recursos Hídricos de la Secretaría de Ambiente en el año 2011. Los pozos no cuentan con información que muestre el estado de calidad del agua, pero se presumen niveles de salinidad y contaminación biológica en los mismos.

Esta investigación, proporciona información del estado del agua subterránea de la zona en cuanto a las características bacteriológicas, (coliformes totales y *Escherichia coli*), parámetros organolépticos (turbidez), y fisicoquímicos (conductividad, dureza, cloruros, sólidos totales disueltos, pH, temperatura, oxígeno disuelto). Asimismo, el estudio busca conocer las percepciones comunitarias sobre el agua destinada a usos domésticos e indagar sobre las implicaciones socioeconómicas de la situación de acceso a agua en la isla.

El estudio servirá como base de datos para análisis futuros, además aporta al diagnóstico de intrusión salina para el municipio. Se espera que el estudio contribuya a la toma de decisiones sobre valoración de las aguas subterráneas y regulaciones de consumo y manejo de agua en la isla. Es por ello que se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar los niveles de intrusión salina en pozos seleccionados del casco urbano Amapala.
- Caracterizar con base en la normativa nacional, la calidad de agua destinada a consumo en los pozos seleccionados del casco urbano.
- Identificar percepciones comunitarias y las implicaciones socioeconómicas asociadas a las condiciones actuales del acceso a agua potable en Amapala.
- Proponer una alternativa local para monitorear la intrusión salina en los pozos del casco urbano.

## 2. METODOLOGÍA

### Descripción del sitio de estudio.

En la zona sur de Honduras, a 126 km de Tegucigalpa, se encuentra el municipio de Amapala, Valle con una extensión territorial de 80.7 km<sup>2</sup> y una población que para el 2015 era de 12,249 habitantes distribuidos en dos islas: Zacate Grande y El Tigre. Mientras que el caso urbano, Amapala, tiene una población de 7,955 habitantes. La precipitación media anual de Amapala es 1,471 mm, por lo que pertenece a una zona subhúmeda según el Atlas de zonas áridas realizado para Honduras bajo la coordinación de la SERNA y expertos en el año 2006 (UNESCO, 2010).

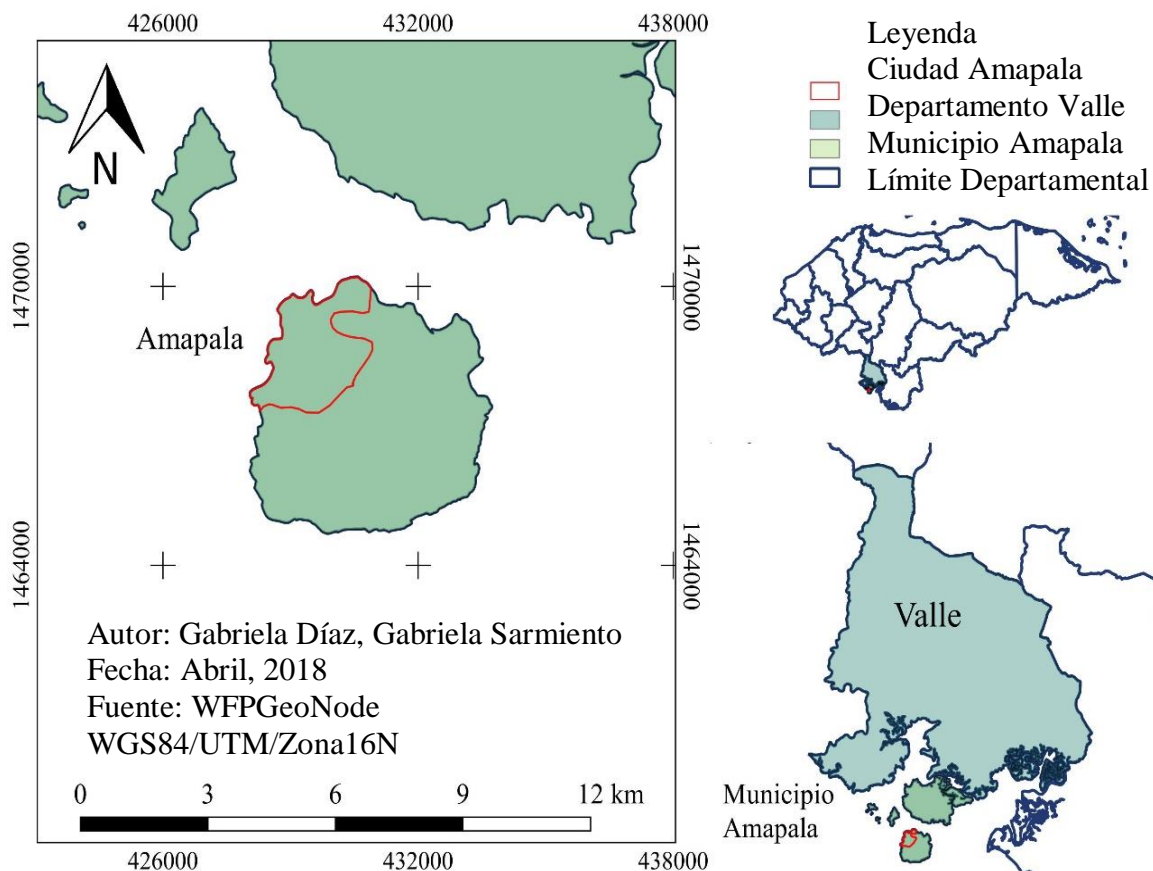


Figura 1. Mapa de ubicación del casco urbano Amapala, Valle, Honduras.

### **Descripción del enfoque, alcance y diseño.**

Este estudio es de enfoque mixto, ya que es cualitativo y cuantitativo. El primer enfoque se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas a los ciudadanos y una entrevista dirigida al Centro de Salud. El segundo, mediante la evaluación de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos correspondientes. El estudio tiene un alcance descriptivo y correlacional; descriptivo porque se analizan los parámetros fisicoquímicos, organolépticos y bacteriológicos y correlacional porque se buscó establecer la relación que existe entre la conductividad y los cloruros. Finalmente, el estudio cuenta con un diseño no experimental de tipo trasversal correlacional puesto que se realizaron tres visitas ocasionales al lugar de estudio.

### **Descripción del muestreo de calidad de agua.**

Se aplicó un muestreo no probabilístico discrecional, porque los pozos, fueron seleccionados de acuerdo a criterios que se consideraron de aporte para el estudio (Torres, Paz, y Salazar, 2010); los pozos fueron seleccionados por conveniencia. Se realizaron tres campañas de muestreo, una en marzo del 2017 y dos en el año 2018: la primera en el mes de febrero, la segunda en el mes de marzo y la última en julio; en las que, en total, se recolectaron 46 muestras. Cada muestra está asociada a una encuesta semiestructurada dirigida a los habitantes de las viviendas donde se encuentran los pozos y a su ubicación.

Las encuestas se aplicaron con el fin de obtener información socioeconómica relacionada con el servicio de agua potable en Amapala. Las muestras se recolectaron en recipientes de polietileno de alta densidad, con capacidad de 500 mL y 1 L. En el último muestreo, a más de los recipientes se usaron bolsas estériles “Whirl Pack” del 100 mL, para el análisis bacteriológico.

Una vez recolectadas las muestras se midió pH, conductividad, TDS y salinidad. Las muestras en todo momento se mantuvieron a bajas temperaturas para evitar evaporación y deterioro. Se procedió a establecer un laboratorio *in situ* para realizar los análisis de turbidez, cloro residual, e incubación de coliformes totales y *Escherichia coli*, ya que su valor cambia rápidamente durante el transporte o el almacenamiento (OMS, 2006).

En las muestras destinadas para análisis bacteriológicos, se realizaron diluciones para aquellas con elevadas cargas bacterianas. Los cloruros, al igual que la dureza, fueron analizados en un período menor a tres semanas posterior a su recolección, mientras que las bacterias coliformes fueron dentro de un periodo menor a 30 horas (Eaton, Clesceri, Rice y Greenberg, 2005). Este proceso se realizó en el Laboratorio de Calidad de Agua del departamento de Ambiente y Desarrollo, Zamorano.

### **Intrusión salina.**

Los recursos hídricos subterráneos en ocasiones presentan un deterioro de la calidad de agua por intrusión salina, la misma que puede ser identificada mediante la medición de: conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y cloruros. Estos son parámetros principales para el seguimiento de salinidad. Se evaluaron en los 46 pozos seleccionados, para una descripción de la calidad del agua en comparación con la normativa, que permite

la identificación de intrusión salina de acuerdo a las concentraciones de cloruros. Además, se realizó una representación espacial de la distribución de cloruros y se determinó la relación entre conductividad y cloruros mediante una ecuación a partir de regresión lineal.

**Análisis fisicoquímicos.** Como parte de un proceso de diagnóstico, a las muestras tomadas de los pozos de malacate (artesanales), se les midieron los parámetros fisicoquímicos los cuales permiten conocer el estado del agua de consumo y sus niveles de salinidad y fueron los siguientes:

**Conductividad eléctrica (CE).** Determina la capacidad del agua de conducir corriente a partir de las sustancias disueltas en ella, depende de la presencia de iones. Los compuestos inorgánicos son buenos conductores a diferencia de los orgánicos. Además, es una medida indirecta de la cantidad de minerales disueltos en el agua (Eaton et al., 2005).

**Sólidos Totales Disueltos o TDS por sus siglas en inglés.** es un parámetro básico indicador de la calidad del agua que engloba todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua; por lo que mide la materia sólida presente en el la misma (Sigler y Bauder, 2012). Los TDS cuantifican la cantidad de sales disueltas en el agua, “principalmente calcio, magnesio, sodio, potasio como cationes y también carbonato, bicarbonato, sulfato y cloruro como aniones” (Cruz, Troyo, Murillo, García y Murillo, 2017).

**Los Cloruros.** Indican la presencia de sales en los cuerpos de agua y con esto se puede explicar exposición a aguas residuales o intrusión salina (Bartram y Ballance, 2011). El ion cloruro se encuentra en mayores cantidades en el agua de mar, pero es menor en aguas subterráneas por lo que resulta ser un indicador fiable de intrusión salina (Molina, 2005). El agua de mar tiene una concentración de ion cloruro de aproximadamente 19,400 mg/L mientras que el agua salobre en los estuarios de entre 500 y 5,000 mg/L y el agua dulce de corrientes y lagos varía de 1 a 250 mg/L (Earth Institute, 2011).

El análisis de cada uno de los parámetros antes mencionados tomó en cuenta la normativa de calidad de agua, la misma que varía según las necesidades de cada país. En el caso de Honduras, la normativa vigente desde 1995 es la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable (Ministerio de Salud de la República de Honduras, 1995). En el Cuadro 1 se observan los parámetros definidos anteriormente con sus valores aceptados por la norma.

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados y su respectivo valor permisible según la normativa hondureña.

Parámetros	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Conductividad	400 $\mu$ S /cm	-
TDS	-	1,000 mg/L
Cloruros	25 mg/L	250 mg/L

Fuente: Ministerio de Salud de la República de Honduras (1995).

La medición de conductividad eléctrica, pH, TDS, salinidad, se realizó con el medidor multiparamétrico de pH y conductividad portátil Thermo Scientific™ Orion®. En el análisis de cloruros se usó una solución titulante de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), 0.0141 N y una solución indicadora de cromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). Se tomó una muestra de 100 mL, se agregó 1 mL de cromato de potasio, se tituló con la solución de nitrato de plata, hasta llegar a un primer cambio de color a ladrillo pálido. Simultáneamente, se preparó una solución como blanco con agua destilada para fines de comparación. Las mediciones se reportan en mg Cl/L. En el Cuadro 2, se describen los parámetros evaluados y el método usado para su respectivo análisis (Eaton et al., 2005).

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos y sus métodos de análisis.

Sitio de análisis	Parámetro	Método	Unidad
<i>In situ</i>	Conductividad eléctrica	2510 B. Método de Laboratorio	$\mu\text{S/cm}$
<i>In situ</i>	Sólidos totales disueltos (TDS)	Método del Electrodo	ppm
<i>In situ</i>	Salinidad	2520 B. Método de Conductividad Eléctrica	ppm
Laboratorio en campo	Cloruros	4500-Cl B. Método Argentométrico	mg Cl/L

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).

**Representación espacial.** Con el fin de visualizar la cuña salina en la isla y la distribución de la misma en la porción evaluada de la isla, se elaboró un mapa a partir de los datos de cloruros de cada pozo georreferenciado, los cuales son un indicador de la misma. Para ello se aplicó la herramienta de interpolación espacial por el método Kriging en el programa ArcGIS®. Con base en la norma hondureña, se estableció como rango bajo aquel que cuenta con una concentración de cloruros menor a 250 mg/L y con base en estudios similares, como es el caso de Blanco, Brown, y Márquez (2018), se establecieron los rangos medio y alto de 250 - 500 mg/L y mayor a 500 mg/L de cloruros, respectivamente.

**Relación entre conductividad y cloruros.** Se determinó mediante revisión bibliográfica que los parámetros más adecuados para una regresión lineal son conductividad eléctrica y cloruros. A los datos obtenidos de las variables cloruros y conductividad se les corrigió la normalidad y homocedasticidad utilizando la corrección varConstPower o Función de variación de potencia constante más.

### **Análisis de caracterización fisicoquímica y bacteriológica.**

A 18 pozos de los 46 pozos totales, en el mes de julio del 2018, se les midió los parámetros fisicoquímicos antes mencionados con adición de los parámetros bacteriológicos, es decir coliformes totales y *Escherichia coli*. Los mismos que permiten identificar contaminación fecal que puede originarse por manejo inadecuado de aguas residuales o inadecuada manipulación de los pozos. Estos parámetros son los siguientes:

**Coliformes totales y fecales.** Según la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras son “bacilos gramnegativos no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares”. Las Coliformes fecales, están dentro de los coliformes totales, llamados también termotolerantes y su principal indicador es la *Escherichia coli* (Ministerio de Salud de la República de Honduras, 1995).

**Turbidez.** Refleja la presencia de partículas de materia o suspensión de sedimentos. Estas partículas pueden proteger a los microorganismos de acciones como la desinfección provocando que proliferen las bacterias (OMS, 2006). Es un indicador de calidad fisicoquímica del agua y un requisito obligatorio de un país.

**El cloro residual libre.** Es el remanente de cloro en el agua después de que parte del añadido reaccione en el proceso de desinfección de ésta (Water, Engineering and Development, 2009). Mientras los valores sean ajustados al rango permitido aseguran una mejor eliminación de agentes patógenos (Díaz, Guzmán y Nava, 2015).

**Oxígeno Disuelto OD.** Se ve influenciado por la temperatura. No existe un valor de referencia recomendado sobre la salud (OMS, 2006). Es un indicador de calidad de agua y se considera que a mayor concentración de OD indica una mejor condición de calidad de agua (De la Mora, et al., 2018).

**Temperatura.** Es un parámetro que influye en la actividad biológica, en las características químicas y bioquímicas del agua y en la absorción de oxígeno, además intervienen en los resultados de otros parámetros fisicoquímicos (Manjare, Vhanalakar y Muley, 2010).

**Potencial de hidrógeno (pH).** Indica la concentración del ion hidronio en una solución. Expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación y de concentración. Es importante ya que cuanto más alcalina se presente el agua mayor será el tiempo de exposición o de concentración de cloro residual libre que se debe agregar en el agua (OMS, 2006).

Los resultados de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente, fueron comparados con la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de Honduras, previamente mencionada, la cual establece los valores máximos permitidos que se muestran en el Cuadro 3, con respecto a oxígeno disuelto y salinidad no existe un valor establecido en la norma.

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados y sus respectivos valores permisibles según la normativa hondureña.

<b>Parámetros</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor máximo admisible</b>
Coliformes totales	0 NMP/100 mL	10 NMP/100 mL
Coliformes fecales	0 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL
Turbidez	1 UNT	5 UNT
Cloro residual libre	0.5 mg/L - 1.0 mg/L	5 mg/L
Dureza	-	400 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Temperatura	18 a 30 °C	-
Concentraciones de iones de hidrógeno	6.5 a 8.5 pH	-

Fuente: Ministerio de Salud de la República de Honduras (1995).

La medición de temperatura se realizó con un medidor multiparamétrico portátil de pH y conductividad. En el análisis de turbidez se aplicó el método nefelométrico, en el que se usó un turbidímetro Hach 2100Q®. Este mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados, a través de un rayo de luz que pasa por la muestra. La densidad de partículas está dada por la luz que éstas reflejan a la fotocelda del turbidímetro. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (Lagos, 2002). Se calibró el instrumento con la ampolla de verificación 10 NTU, como blanco, luego se agregó 10 mL de la muestra de agua a analizar, este proceso se repitió para cada una de las muestras.

La medición de cloro residual libre se realizó con el uso del reactivo DPD (Dietil-p-fenilendiamida) y el colorímetro portátil DR900 HACH®. El cloro residual libre es un agente oxidante concentrado e inestable. Factores como la luz solar, el pH, la temperatura y la salinidad influyen en la descomposición del cloro libre. Recipientes de plástico presentan una gran demanda de cloro, no son adecuados para la toma de muestra. Se seleccionó el programa en el colorímetro. Se ubicó el cuadrante de longitud de onda. Se llenó con 10 mL de muestra que es el blanco, luego se llenó otra celda con 10 mL de la muestra más el polvo de cloro libre DPD y se agitó. Posteriormente, se colocó en el soporte de la celda. El resultado se visualizó en mg/L de cloro (HACH Company, 2000).

En el análisis de coliformes totales y *Escherichia coli*, se utilizó el método Colilert/Quanti-Tray®, donde los resultados son reportados como NMP/100 mL de muestra. Las muestras de agua se tomaron en bolsas plásticas estériles “Whirl Pack®”, manteniéndolas a 4 °C para ser transportadas al lugar de análisis. En la bandeja Quanti-Tray® de 51 celdas se tuvo el cuidado de menor manipulación posible, se usó guantes y mascarilla durante el proceso. Seguidamente, se distribuyó la muestra ya mezclada con el reactivo Colilert en la bandeja, luego se colocó en el porta-dispositivo de goma y se introdujo a la selladora.

Posteriormente, se dejó incubando a 35 °C por 24 horas, luego se cuantificaron las celdas positivas. Una vez registrada la medición de coliformes totales y fecales, a aquellas muestras sin diluir que presentaron valores mayores al límite máximo de detección, que corresponde a 2,420 NMP/100 mL, se analizaron nuevamente con 01:100 diluciones de la muestra hasta encontrar un conteo dentro del rango de detección del método.

Cuadro 4. Parámetros seleccionados y sus métodos de análisis.

Sitio de análisis	Parámetro	Método	Unidad
Laboratorio en campo	Coliformes fecales y otras coliformes	Método Colilert/ Quanti-Tray®/ 2000	NMP/100 mL
Laboratorio en campo	Cloro residual libre	8021 DPD Método HACH	mg/L
<i>In situ</i>	Oxígeno disuelto	4500-O G. Electrodo de membrana	mg/L
<i>In situ</i>	Temperatura	2550 B. Laboratorio y campo	°C
<i>In situ</i>	Turbidez	180.1 Método por nefelometría HACH	UNT
<i>In situ</i>	Potencial de Hidrógeno (pH)	4500-H <sup>+</sup> pH B. Método Electrométrico	--
Laboratorio, Zamorano	Dureza	2340 C. Titulación con EDTA 0.01 M	mg/L como CaCO <sub>3</sub>

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water y Wastewater (2005).

#### **Análisis de caracterización socioeconómica y de percepción.**

Con el fin de identificar cuáles son los impactos de la disponibilidad, consumo y calidad de agua de los pozos del casco urbano de Amapala, se realizaron 66 encuestas semiestructuradas, distribuidas para dos grupos meta: 46 encuestas para hogares que cuentan con pozo y 20 encuestas para hogares sin pozos. Las encuestas permitieron conocer características generales de la vivienda, así como también el tipo de manejo que se le está dando al agua de pozos.

Las encuestas para hogares con pozos cuentan con cuatro secciones: i) datos generales y características de la vivienda, ii) fuentes de abastecimiento de agua, iii) evaluación y conocimiento del sistema de agua en cuanto a servicios y capacitaciones y iv) salud y educación sanitaria. Información que permite el análisis de distintos factores y aspectos relevantes sobre la situación socioeconómica de la familia.

Las encuestas para hogares sin pozos cuentan con tres secciones que comprenden: i) datos generales y características de la vivienda, ii) evaluación y conocimiento de fuentes de abastecimiento de agua tanto para actividades domésticas como para beber y iii) salud y educación sanitaria. Junto a la aplicación de las encuestas, de forma simultánea, se procedió



a la toma de la muestra de agua del pozo que corresponde a la respectiva vivienda del casco urbano de Amapala, con el fin de contar con la información descriptiva asociada a la muestra de agua.

Los datos recolectados en las encuestas se ingresaron a una base de datos en el programa estadístico informático Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 19®. En el programa se realizó análisis de estadística descriptiva con tablas y cuadros de frecuencia, además pruebas estadísticas chi-cuadrado con tablas personalizadas generados por el programa, posteriormente se tabuló los datos en Microsoft Excel.

Adicionalmente, con el fin de conocer las tasas de morbilidad potencialmente asociadas al consumo de agua o al saneamiento de la isla. Se realizó una entrevista abierta dirigida al personal médico encargado del Centro de Salud de Amapala, institución de salud más cercana a los pobladores del casco urbano de Amapala. A partir de la entrevista se obtuvo información de las principales enfermedades registradas hasta la fecha.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Descripción de los pozos.

Los pozos analizados fueron, en su mayoría, artesanales o de malacate con una antigüedad promedio de 51 años, pudiendo llegar hasta los 100 años. La profundidad, al nivel freático, mínima obtenida fue de 2.6 m mientras que la máxima fue de 25.7 m. Por otro lado, la distancia a la costa varía en un rango de 2 m y 375 m. Estos pozos no cuentan con sello hidráulico, poseen un mantenimiento inadecuado y están ubicados cerca de animales, basureros y letrinas; características que favorecen su contaminación.

#### Análisis físicoquímicos.

El casco urbano de Amapala se dividió por zonas para un mejor análisis de sus datos (Figura 2). La Zona 1 corresponde a los barrios Nuevo y Las Flores y se evaluaron en ella nueve pozos. La Zona 2 abarca los barrios Las Delicias, El Centro y La Chácara; con 22 pozos. Finalmente, la Zona 3 cubre los pozos que se encuentran en los barrios de La Máquina y Cara Opando con 15 pozos evaluados.

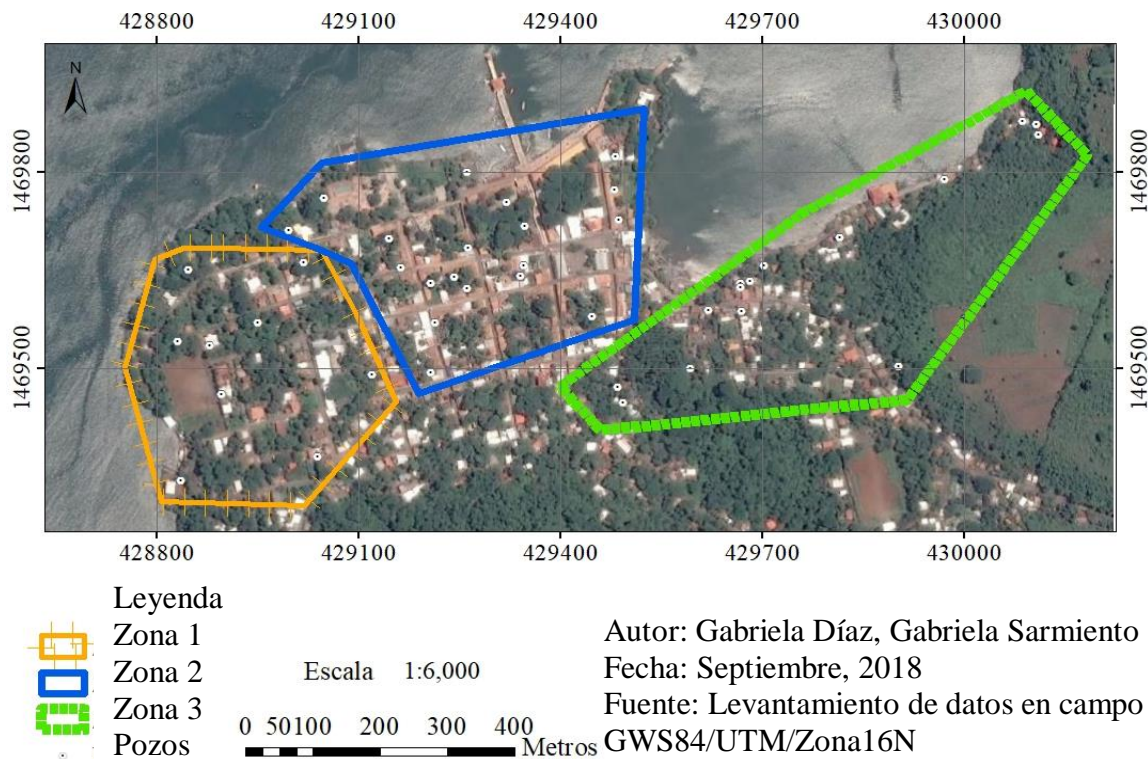


Figura 2. Agrupación de pozos por zonas del municipio de Amapala (2018).

A los 46 pozos se les evaluó su estado con base en los valores máximos admisibles en cuanto a conductividad, TDS y cloruros mencionados por la norma de Honduras. En lo que respecta al parámetro de conductividad eléctrica, se identificó que 45 de los pozos, los cuales constituyen 97.83% del total, se encuentran por sobre el valor máximo recomendado (400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Solo un pozo, se encuentra por debajo de este valor, que corresponde al pozo P40 de la Zona 3, como se observa en la Figura 3.

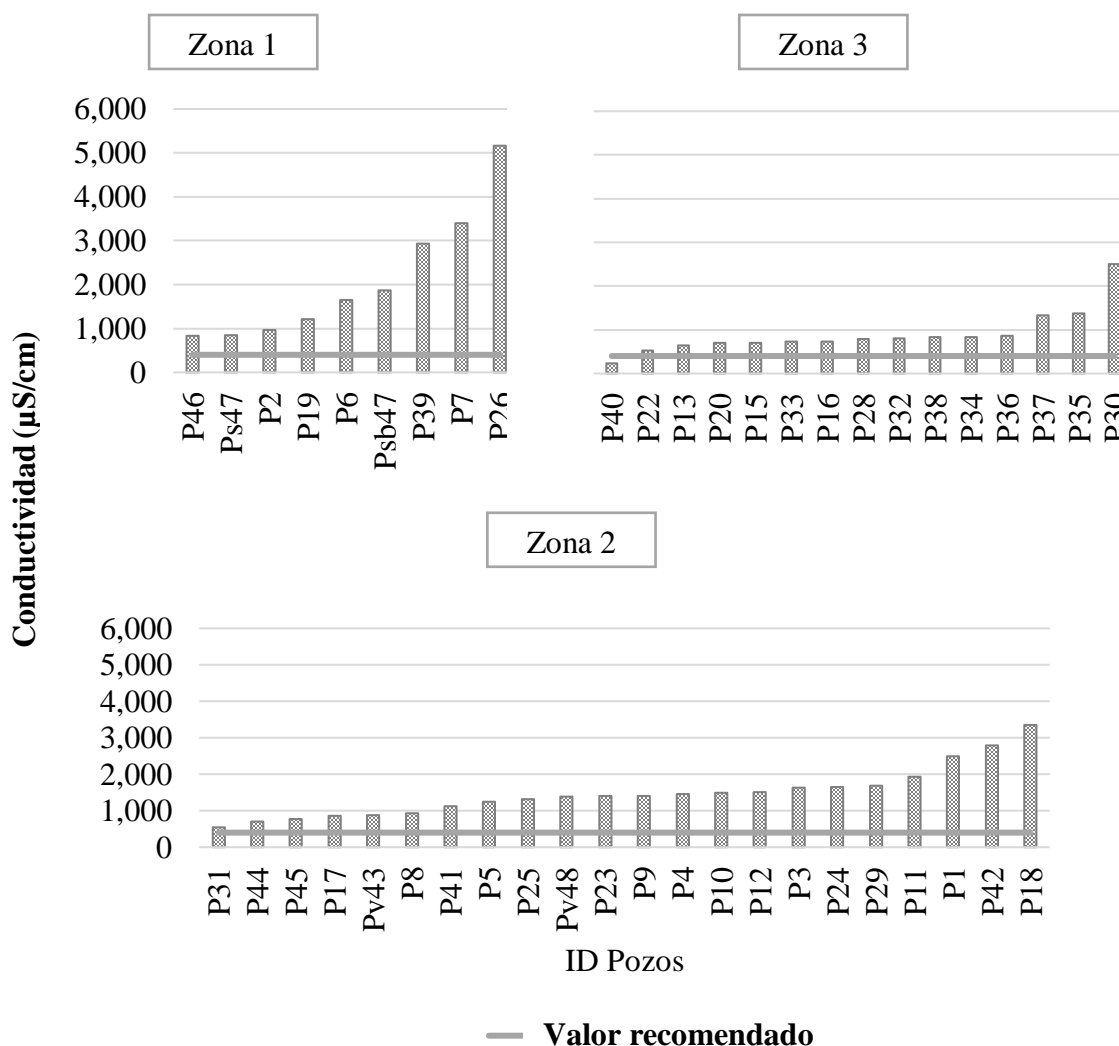


Figura 3. Resultados de conductividad de los 46 pozos por zonas.

En cuanto a sólidos totales disueltos TDS, 11 pozos, es decir un 23.9% de los 46 pozos son los que se encuentran fuera de norma, los cuales sobrepasan los 1,000 mg/L, el resto de pozos sí cumple la normativa, como se observa en la Figura 4. La mayoría de estos pozos corresponden a la Zona 3, le sigue la Zona 2 y finalmente la Zona 1.

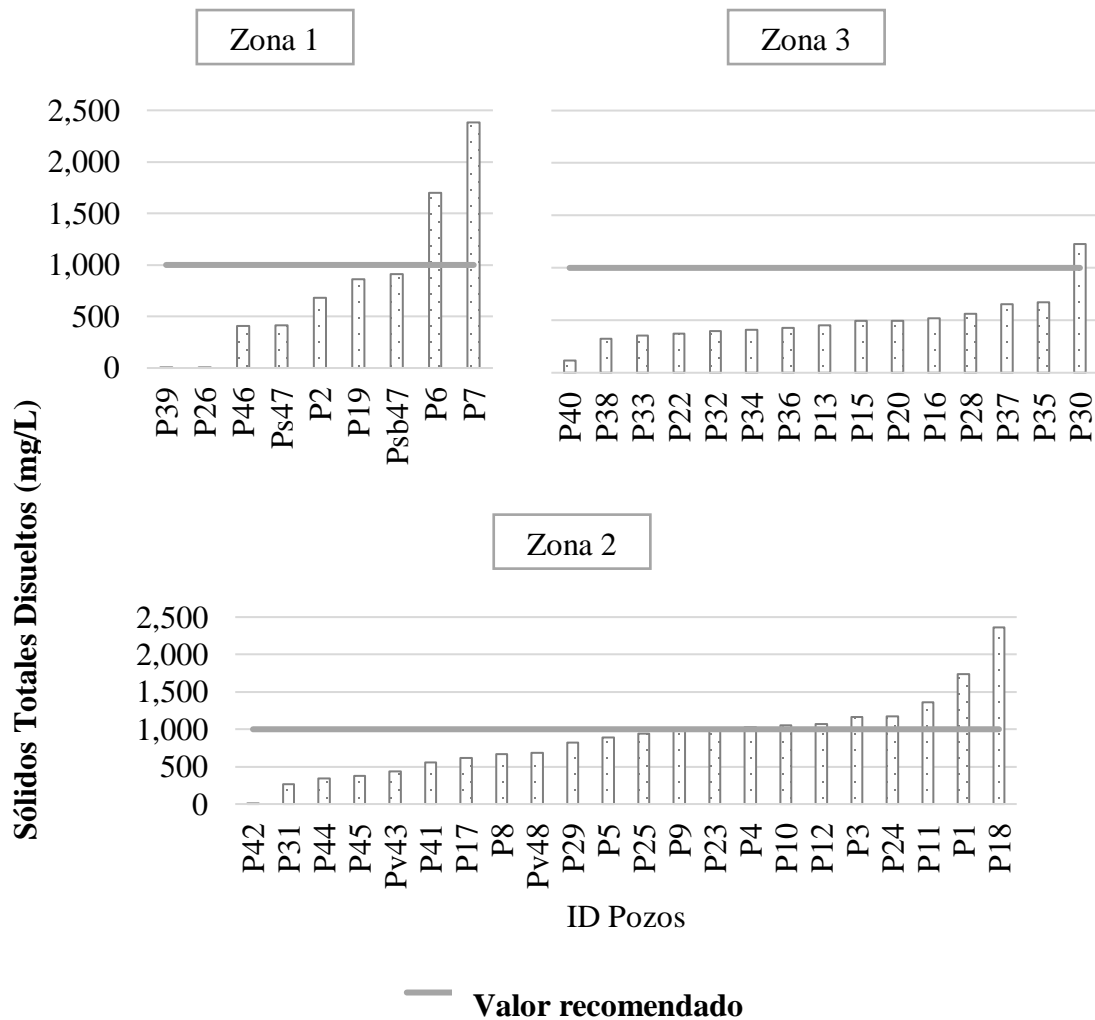


Figura 4. Resultados de TDS de los 46 pozos por zonas.

En cuanto a cloruros se obtuvo que 27 de los 46 pozos, los cuales corresponden al 58.7% del total de pozos, están fuera de norma, dado a que superan los 250 mg/L, como se observa en la Figura 5. Según estudios de Cruz et al. (2017) realizados en México cuando las concentraciones de cloruros sobrepasan los 1,000 mg/L de cloruros, se infiere que hay presencia de intrusión salina. Para este estudio se consideró la norma hondureña que menciona como valor máximo admisible de cloruros en agua de consumo, un valor de 250 mg/L, a partir del que se empieza a detectar el sabor salubre del agua.

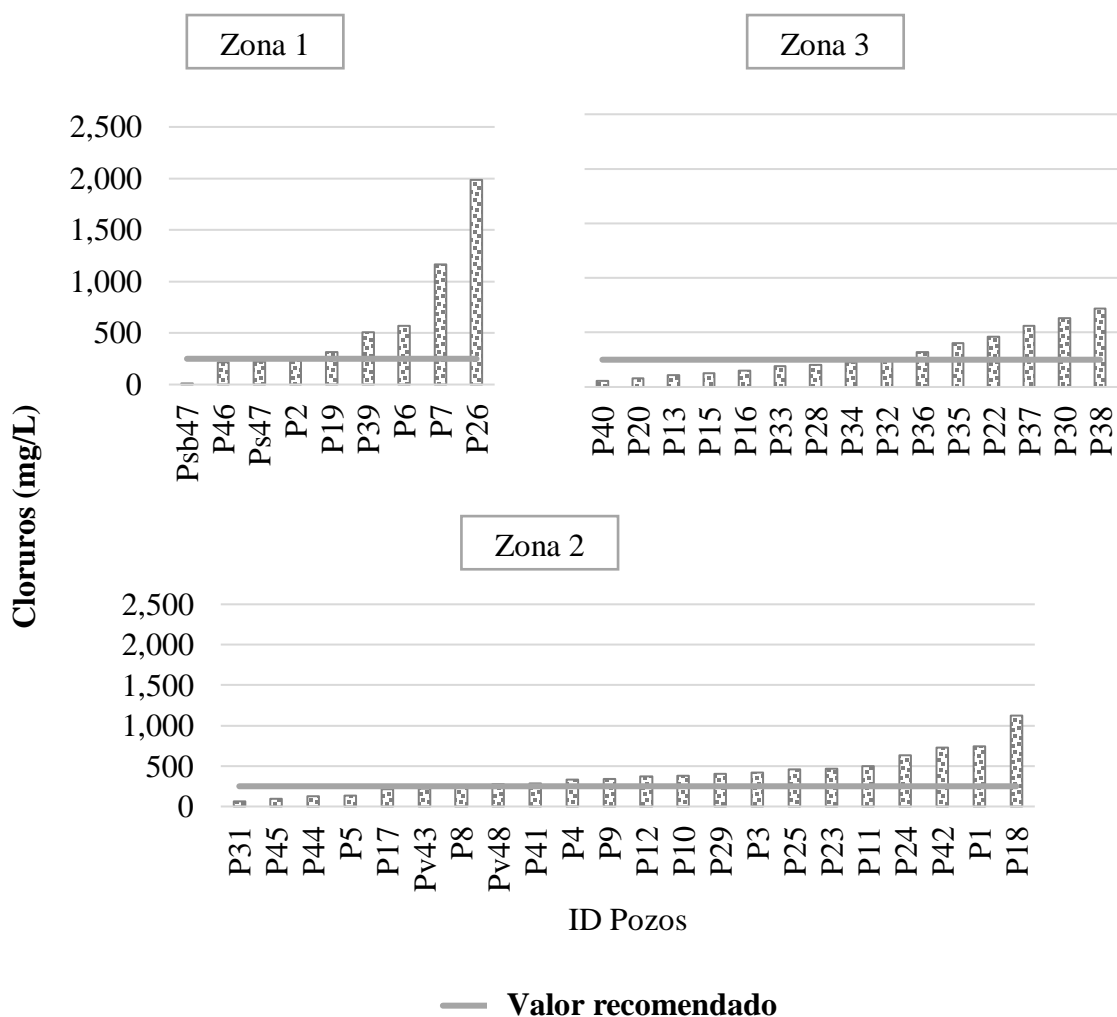


Figura 5. Resultados de cloruros de los 46 pozos por zonas.

Un estudio realizado en Chile por Molina (2005), menciona que los parámetros indicadores potenciales de salinidad del agua son la CE y TDS. Se ratifica que valores altos en cloruros y sales solubles totales se toman en cuenta para evaluar intrusión salina (Cuevas, 2016). Existe una relación entre salinidad y cloruros, así se asume que la concentración de cloruros es un indicador de intrusión salina, ya que la mayor cantidad de estos iones están presentes en agua de mar de forma constante (Salamanca y Schneider, 2013).

Existen concentraciones de cloruros en aguas subterráneas de forma natural, debido a la geología del acuífero, usualmente menores a 10 mg/L para zonas húmedas. En el caso de Amapala (zona subhúmeda) se esperan valores no tan alejados de éste, ya que concentraciones superiores a 1,000 mg/L de cloruros existen solo para zonas áridas (UNESCO, WHO, UNEP, 1996). En el estudio se obtuvo una concentración máxima de cloruros de 1,984 mg/L y un valor mínimo de 12.5 mg/L. Debido a que se registraron concentraciones superiores a 250 mg/L de cloruros se infiere que un 58.7% de los pozos está afectado por intrusión salina, aunque no se excluye la relación con sales existentes en formaciones de rocas sedimentarias.

Los niveles de intrusión salina en Amapala superan los hallados en estudios recientes en México y California. En México, el acuífero sur de Quintana Roo presentó un 9.9% de las muestras de pozos que sobrepasan la concentración de cloruros determinados por la norma, que puede estar asociado con intrusión salina (Sánchez, Álvarez, Guadalupe, Carrillo, y Amílcar, 2016). Mientras en el acuífero de La Paz Baja California Sur presentan evidencia de intrusión salina de un 42.85% de los pozos evaluados (Cruz et al., 2017).

Sin embargo, la intrusión salina de Amapala está por debajo de los niveles típicos de un acuífero fuertemente explotado. Tal es el caso del acuífero de Tarragona, España el cual posee, en promedio, concentración que superan los 1,100 mg/L y datos extremos de hasta 4.5 g/L Garrido (2003). Cabe destacar que acuíferos como este, a diferencia del acuífero de Amapala, están sometidos a altas tasas de extracción debido a las actividades industriales.

**Representación espacial.** En la Figura 6 se muestran los pozos clasificados en categorías de contaminación por intrusión salina en el sitio de estudio. Se observa que, estos resultados no siguen la tendencia de los obtenidos por Pulcha y Baldeón (2015) quienes obtuvieron que a menor distancia de la costa, mayor era la intrusión salina. En definitiva, los pozos con intrusión alta, en este estudio, están próximos a la costa; sin embargo, algunos de ellos poseen rangos de intrusión media e incluso baja. Si bien es cierto, esta desigualdad en la distribución geográfica de la intrusión salina no es lo comunmente esperado; estudios como el de Garrido (2003), han encontrado una tendencia similar. Esto puede deberse a factores como la tasa de extracción de los mismos. Acorde con Blanco, Brown y Márquez (2018) este es uno de los indicadores claves de peligro de contaminación por intrusión salina.

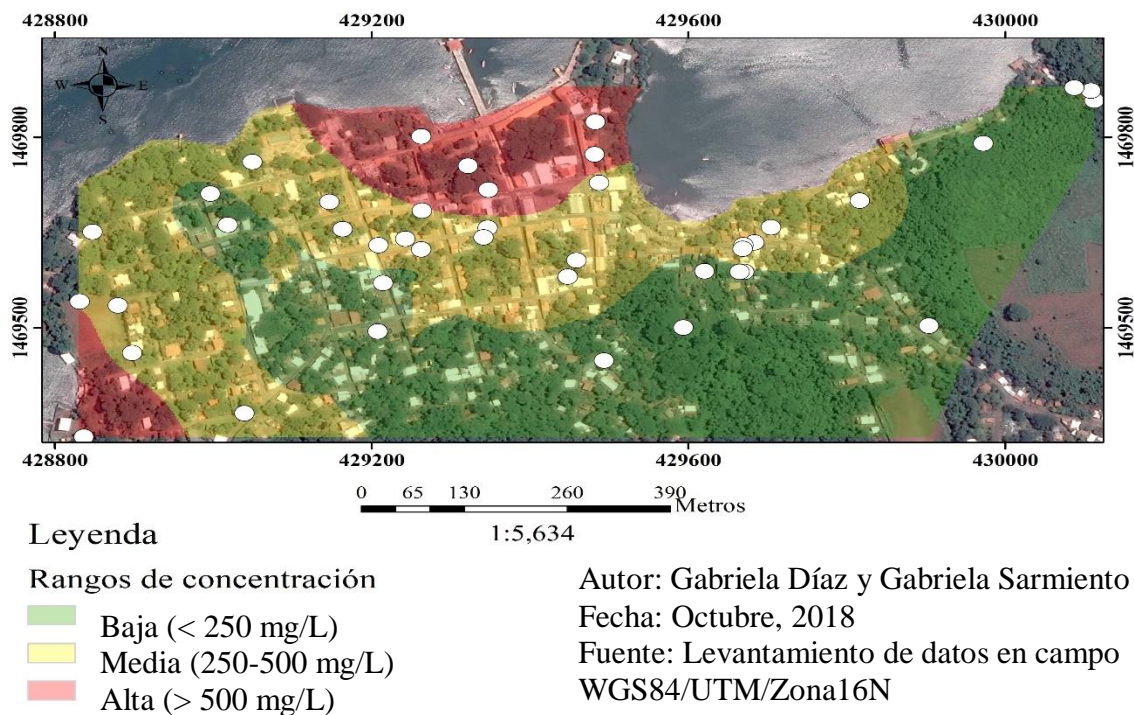


Figura 6. Mapa de distribución de intrusión salina con base en la concentración cloruros.

**Relación entre conductividad y cloruros.** Las muestras de los pozos indican concentraciones altas tanto en conductividad como en cloruros, con un 97.8% y 58.7%, respectivamente que sobrepasan la norma. Con base en estudios que aplicaron modelos de regresión lineal para relacionar estas variables, se define como fuerte y confiable la relación entre las mismas dado su  $R^2$  (Abyaneh, Nazemi, Neyshabari, Mohammadi y Majzoubi, 2005). Asimismo, en México, donde el modelo de regresión lineal fue el más práctico y mostró una relación alta y muy similar a los demás modelos entre ellos polinómico y potencial (Peinado, et al., 2012). Por ello, se aplicó para este estudio el modelo de regresión lineal, con el cual se obtuvo la ecuación de predicción de la cantidad de cloruros a partir de la medición de la conductividad eléctrica de los pozos.

En el Cuadro 5 se observa que previo a la regresión lineal, la corrección con varConstPower mejoró el modelo (valores de AIC y BIC relativamente bajos) y ajustó los residuos (varianza residual de 0.02) el cual mejora el ajuste del modelo según la varianza residual. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) obtenido, indica que sólo un 10% de la variabilidad observada de los cloruros en este estudio no es explicada por el modelo.

Cuadro 5. Medidas de ajuste del modelo de regresión lineal.

<b>N</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>Log Lik</b>	<b>Sigma</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
43	510.19	518.76	250.10	0.02	0.90

Fuente: InfoStat (2018).

La precisión de la estimación es muy buena para la pendiente (EE = 0.02) y bueno (EE = 23.75) para el intercepto de acuerdo a sus valores de error estándar (cuando mayor es el EE, menos confiable es la estimación). La pendiente estimada por el modelo es de 0.32, esto indica que, por cada incremento unitario en la concentración de conductividad, la cantidad de cloruros en el agua aumenta 0.32 unidades como se observa en el Cuadro 6.

El valor de la relación es directamente proporcional (incremento) debido a que la pendiente es positiva. Tanto en la coordenada de origen como en la pendiente se encontraron valores de probabilidad menores de 0.05, lo cual indica que la concentración de ambos parámetros es significativamente distinta de cero. Lo anterior demuestra que el modelo lineal explica la variación de la concentración de cloruros con relación de la variación de conductividad.

Cuadro 6. Modelo efectos fijos de la regresión lineal.

	<b>Valor</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor P</b>
Intercepción	-62.22	23.22	-2.66	0.0110
Conductividad	0.32	0.02	13.55	< 0.0001

Fuente: InfoStat (2018). Variable dependiente: cloruros.  $P < 0.05$  indica diferencia significativa.

Si bien es cierto, se deben considerar diferentes variables para la determinación de intrusión salina en un acuífero costero; este estudio proporciona una herramienta óptima, dadas las condiciones económicas y tecnológicas de la isla, para obtener un estimado del nivel de contaminación del acuífero. Esta información favorece el monitoreo del acuífero para determinar alternativas viables de gestión de recursos hídricos. La Figura 7 representa relación entre conductividad y cloruros.

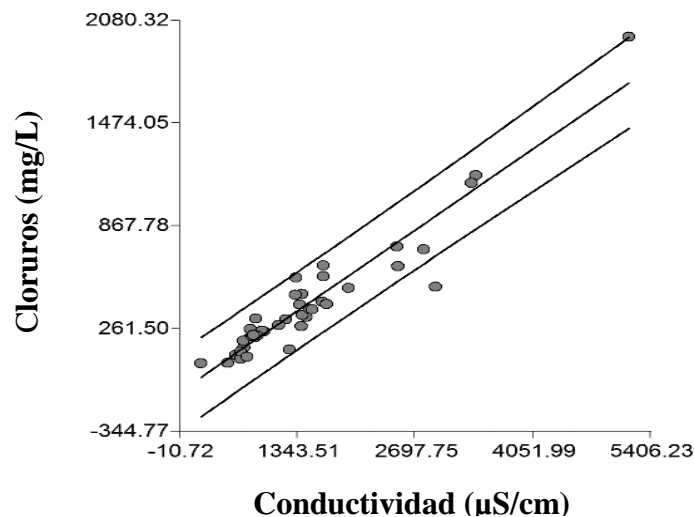


Figura 7. Regresión lineal entre cloruros y conductividad con bandas de predicción.

A partir de la regresión se obtuvo la ecuación descrita a continuación, como instrumento de predicción de la concentración de cloruros en función de una medición *in situ* de conductividad. Esta representa una alternativa viable para la isla, dadas las condiciones actuales de acceso a tecnología para un análisis de cloruros:

$$Y = a + b (X) \quad [1]$$

$$Y = - 63.22 + 0.32 (X)$$

Donde:

Y = Valor de predicción de cloruros (mg/L)

X = Valor de conductividad ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )

**Análisis de caracterización fisicoquímica y bacteriológica.**

En la Figura 8 se muestran los datos de coliformes totales en comparación con la norma para el parámetro. La norma hondureña establece un valor máximo permisible de 10 NMP/100 mL. Del total de pozos a los que se les evaluó este parámetro, solo el 5.5% cumple con la normativa. El resto se encuentra fuera de la misma con valores que van desde los 23 NMP/100 mL hasta más de 81,640 NMP/100 mL lo cual corresponde a una distribución que normalmente siguen los datos microbianos.



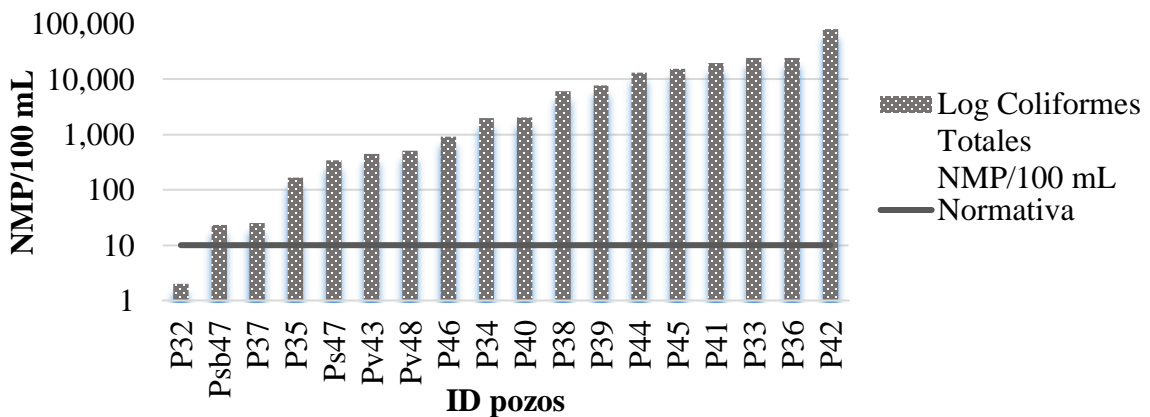


Figura 8. Cantidad de coliformes totales por pozo en contraste con los valores permitidos según la normativa hondureña.

Por otro lado, en la cuantificación de *Escherichia coli*, solo cuatro muestras se encuentran dentro de la normativa de 0 NMP/100 mL, ya que la medición del NMP/100 mL fue < 1 y corresponde a los pozos Ps47, P37, Psb47 y P32, representando aproximadamente un 20%. Es importante resaltar que la muestra Psb47, corresponde a la purificadora La Sirena y se encuentra dentro de los rangos permitidos. Mientras que en el rango de uno a 1,000 NMP/100 mL se encuentra un 50% de las muestras y finalmente, en concentraciones mayores a 1,000 NMP/100 mL se encuentra un 30%, como se observa en la Figura 9.

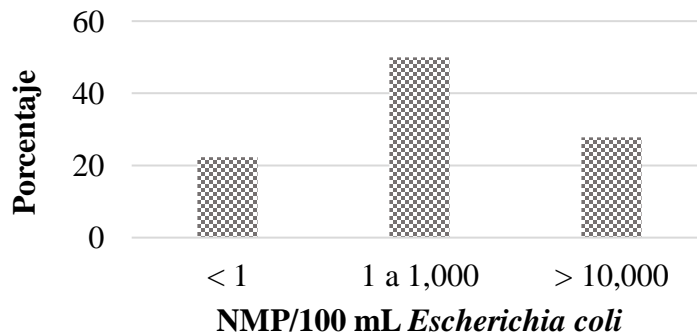


Figura 9. Porcentaje de pozos con *Escherichia coli*, por rangos.

En la Figura 10 y 11 se representa la distribución espacial de los resultados de contaminación por coliformes totales y *Escherichia coli*. En estos se observa que, en general, los pozos con mayores concentraciones de coliformes se encuentran próximos a la costa, los mismos que cuentan con menores concentraciones de cloruros. Estos resultados son coherentes con Gómez, Aguirre, Betancur y Toro (2008) quienes explican que las mayores concentraciones de coliformes se encuentran en zonas con menor salinidad debido al efecto inhibitor de la salinidad en la proliferación bacteriana.

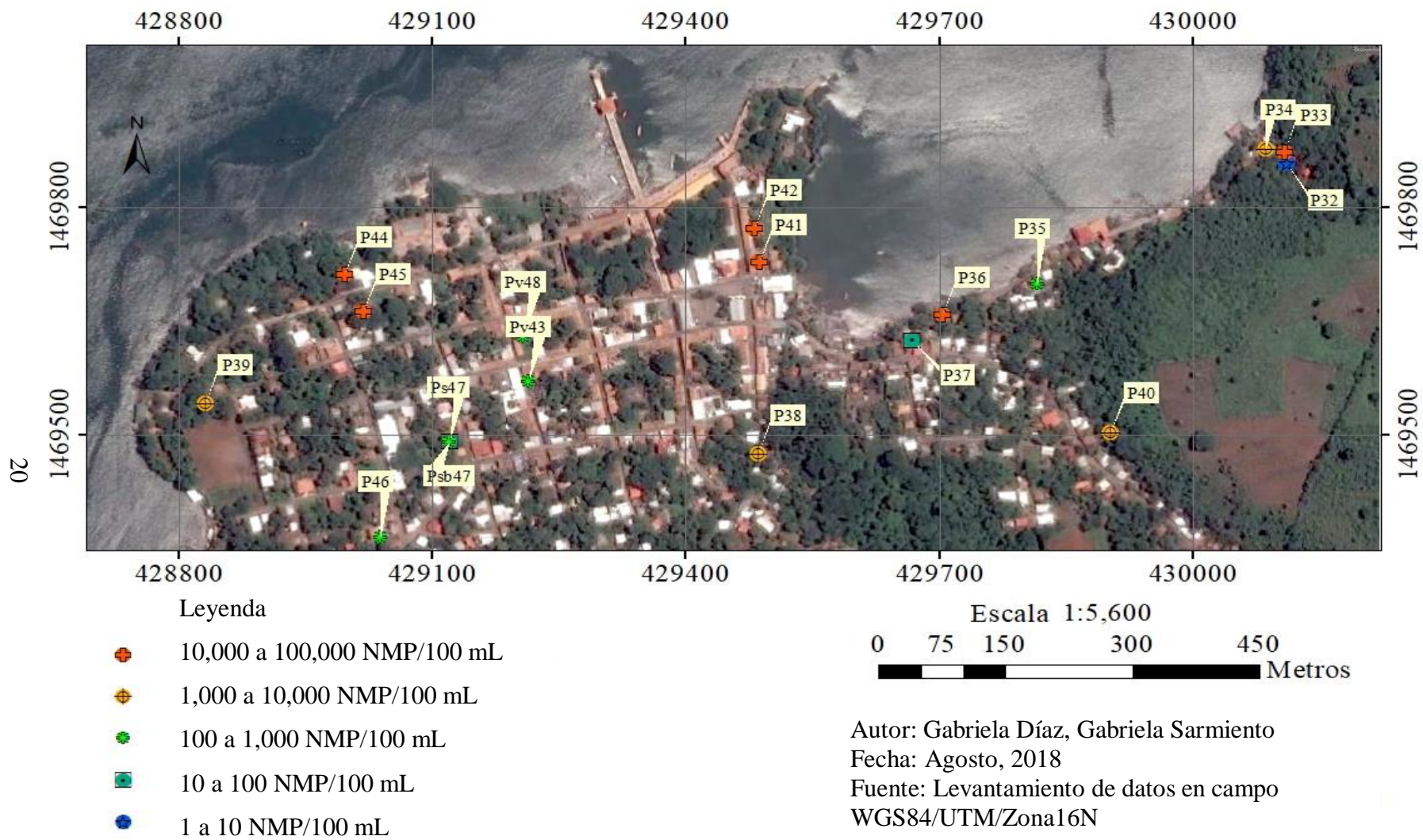


Figura 10. Mapa de coliformes totales NMP/100 mL.

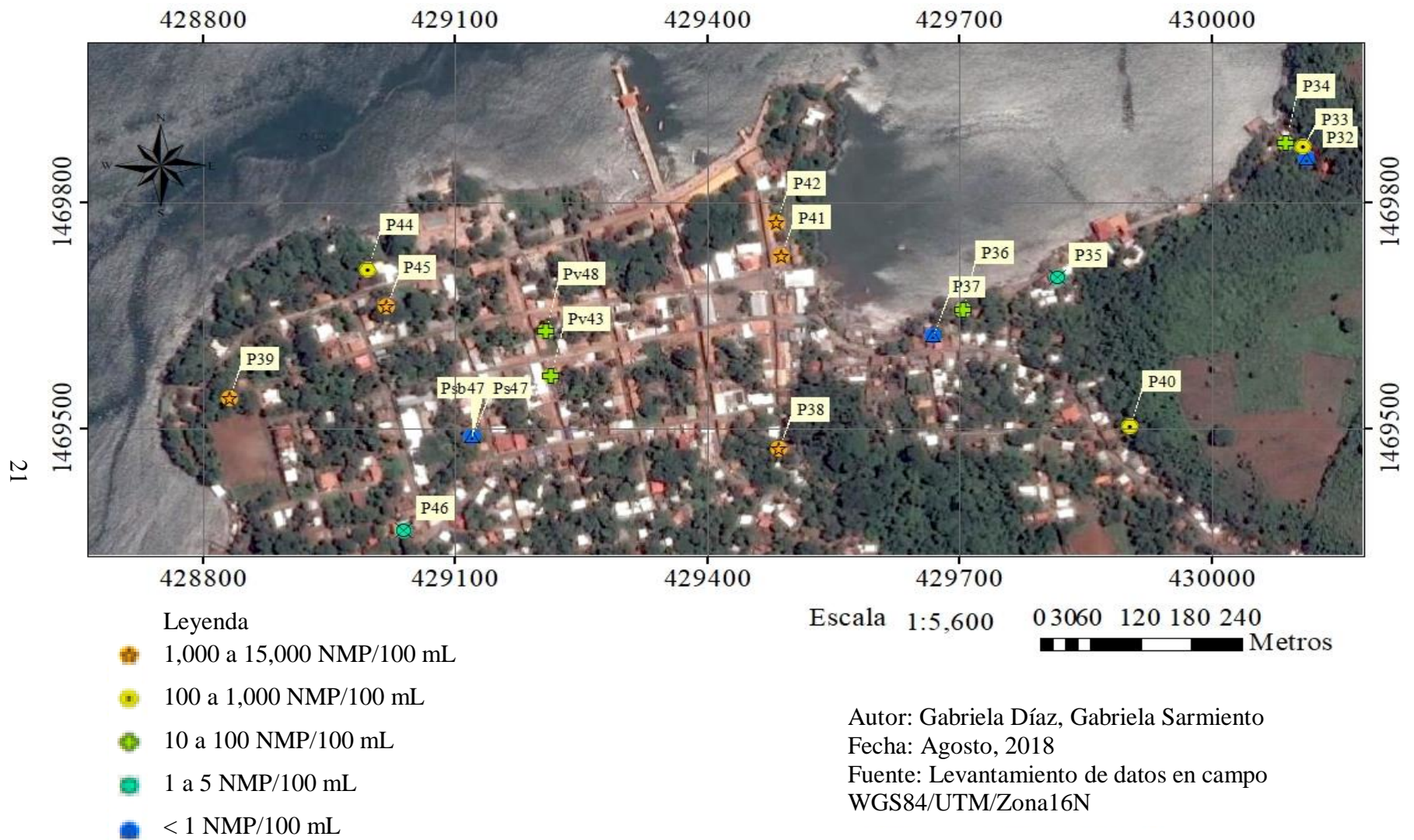


Figura 11. Mapa de *Escherichia coli* NMP/100 mL.

La alta contaminación del agua de los pozos con *Escherichia coli*, se infiere que es debido a la cercanía de las letrinas, ya que *Escherichia coli* se usa como indicador para identificación de contaminación fecal reciente (OMS, 2008). De los 18 pozos a los que se les evaluó el estado bacteriológico, un 41.2%, dispone sus excretas en letrinas mientras que las familias que poseen un sistema de alcantarillado representan solo un 29.4%. Las letrinas son a menudo excavaciones profundas donde el material sólido permanece en el suelo, lo cual se traduce en un mayor riesgo de las aguas subterráneas a ser contaminadas por patógenos (UNESCO, WHO, UNEP, 1996). En la Figura 11 se observa la localización de los pozos y sus rangos de contaminación bacteriológica.

Es importante resaltar que solo un 40% de usuarios de este grupo de 18 pozos aplica cloro al agua que consumen, es decir solo este porcentaje de familias consumen el agua de sus pozos mientras que un 73% compran agua embotellada. Pese a la alta carga bacteriana encontrada, los encuestados reportan bajo porcentaje de enfermedades gastrointestinales. Esto es explicado por el porcentaje de familias que no consume agua de su pozo y que, en su lugar, recurren al consumo de agua embotellada.

Una vez analizada la parte bacteriológica se tomó en cuenta otros parámetros, los mismos que ayudan a caracterizar el estado del agua de los pozos como se observa en el Cuadro 7. En términos generales, tanto el aspecto del agua como los valores obtenidos con la medición de turbidez, se consideran dentro de la norma con un promedio de 1.57 UNT por pozo a excepción de un pozo que supera las 5 UNT permitidos (P43). El agua se encuentra en un rango de ligeramente ácida y alcalina de acuerdo al pH promedio obtenido (6.97). Al considerar los valores promedio en dureza solo un pozo sobrepasa con 0.20 los 400 mg CaCO<sub>3</sub>/L determinados por la norma.

En cuanto a la cantidad de cloro libre los pozos evaluados tienen valores inferiores a la norma con un promedio de 0.03 mg/L, por lo que no alcanzan el valor mínimo recomendado de 0.5 mg/L para garantizar desinfección. En lo que se refiere a la temperatura 28.45 °C se encuentra dentro del rango de 18 °C a 30 °C recomendado. Según la normativa nacional y la OMS (2018), al referirse a OD y salinidad propiamente dicha, no recomiendan un valor de referencia relacionado con afecciones a la salud.

Cuadro 7. Parámetros para la caracterización del agua de pozos.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>
Coliformes totales	NMP/100 mL	81,640.00	2.00	10,280.65
<i>Escherichia. coli</i>	NMP/100 mL	13,140.00	1.00	1,659.36
Profundidad	m	25.74	2.64	8.98
Cloro libre	mg/L	0.07	0.00	0.03
Turbidez	UNT	23.07	0.00	1.57
pH	-	7.98	6.33	6.97
Temperatura	°C	32.20	25.00	28.45
OD	mg/L	7.75	2.24	5.31
Conductividad	µS/cm	2,936.00	235.50	1,175.72

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>
TDS	ppm	908.30	1.37	415.31
Salinidad	ppm	1,548.00	88.00	597.22
Cloruros	mg/L	729.98	12.50	300.96
Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /L	420.00	0.00	181.33

### **Caracterización socioeconómica.**

La población encuestada con pozo propio estuvo distribuida en los barrios de La Máquina, Las Delicias, El Centro, Barrio Nuevo, Cara Opando, La Chácara y Las Flores. La mayoría de los hogares encuestados se concentran en los barrios de El Centro y La Máquina con 41.3 y 34.8% de la población, respectivamente. Cabe destacar que, de estos, más del 50% son pozos con una antigüedad de 51 a 100 años y con un mantenimiento pobre.

Por otro lado, la población encuestada sin pozo propio estuvo distribuida en los barrios de La Máquina, El Centro y Barrio Nuevo. En este caso, la mayoría de la población se concentró en el Barrio de La Máquina (40%). En general, se encuestó un 43% de hombres y un 56% de mujeres en toda la población.

Por medio de la aplicación de encuestas se obtuvo que un 78% de la población con pozo propio hace uso del mismo para actividades domésticas. El resto es abastecido de llave pública (8.7%), pozo comunal (6.5%), conexión domiciliaria (8.7%) u otras fuentes de abastecimiento (2.2%). Existen diversas razones porque este 22% de los hogares no hace uso del agua de su pozo; sin embargo, la principal es el desuso por desconfianza, ya que no conocen el estado de la misma. De igual modo, se obtuvo que las principales fuentes de abastecimiento de las personas sin pozo propio fueron: i) vendedor (85%), ii) acarreo de pozo comunitario (5%), iii) SANAA (5%) y iv) otro (5%).

### **Uso y consumo de agua.**

Se comparó el consumo de agua embotellada por parte de los hogares encuestados con pozo y sin pozo. Se obtuvo que, en términos porcentuales, la mayoría de los hogares, tanto con pozo (40%) como sin pozo (57.9%) gastan entre HNL 150 y 500 a la semana en compra de agua, como se observa en la Figura 12. En el caso de las personas con pozo propio, esto se debe a que no usan su agua para consumo porque dudan que su calidad sea apta para dicho fin. Del mismo modo, las personas sin pozo propio desconfían de la calidad de sus proveedores. Con base en los resultados del chi-cuadrado, se pueden establecer diferencias significativas entre los gastos de personas con y sin pozo dado que el valor P obtenido es de 0.005, es decir menor al nivel de significancia establecido (0.05).

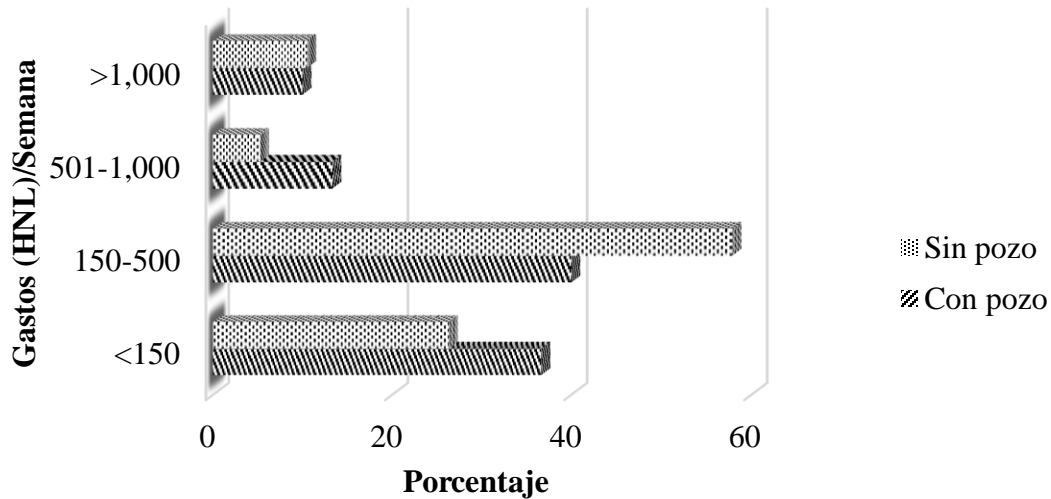


Figura 12. Comparación de gastos semanales en Lempiras por consumo agua embotellada por hogares con y sin pozo.

### Dinámica de venta de agua.

Cabe destacar que, si bien es cierto, las personas encuestadas compran agua embotellada, gran parte de la población compra agua embolsada. A partir de una plática con uno de los distribuidores de Agua Purificada del “Cerrito”, se sabe que cada dos días se distribuyen en la isla 500 fardos de 20 bolsas (500 mL) cada uno. Además, una entrevista con el personal de la empresa purificadora La Sirena, reveló que la planta distribuye, aproximadamente 1,800 paquetes de 20 bolsitas (500 mL) y 600 botellones al mes con una frecuencia variada. La planta no cuenta con datos exactos diarios dado que la demanda varía acorde con la disponibilidad de agua lluvia y otros factores.

Un 65% de la población encuestada sin pozo propio mencionó que usa agua lluvia, por lo menos, para sus actividades domésticas. Asimismo, un 28% de las personas con pozo propio hace uso de agua lluvia para sus actividades domésticas. El agua para consumo por parte de los hogares sin pozo, en proveniente en un 60% de la planta La Sirena, 25% de la purificadora Aguazul y 15% de vendedores. Los vendedores son hogares dedicados a la venta de agua de su pozo particular, de los cuales se identificaron y analizaron dos. Éstos proveedores son residentes que cuentan con camiones distribuidores con tanques de un m<sup>3</sup>, los mismos cuestan HNL 70 cada uno.

Es importante recalcar que la disposición y manejo de los residuos sólidos por parte de la municipalidad en Amapala no es la adecuada por lo que los habitantes recurren al manejo de forma particular. El mal manejo de estos residuos, en particular las bolsas plásticas de agua, se evidencia en las calles del casco urbano. Además, dado que los habitantes usan la quema de los mismos como forma de manejo esto representa un problema ambiental.

### Dinámica de compra refrescos embotellados.

Además de la compra de agua, se sabe que en el casco urbano es muy frecuente el consumo de refrescos embotellados. Al mismo tiempo, esto representa una inversión que, como se observa en la Figura 13, es mayor en las personas sin pozo. Sin embargo, dado que la mayoría de las personas con pozo asegura no consumir agua del mismo, no se puede establecer relación entre la tenencia de pozo y el mayor o menor gasto en compra de refrescos.

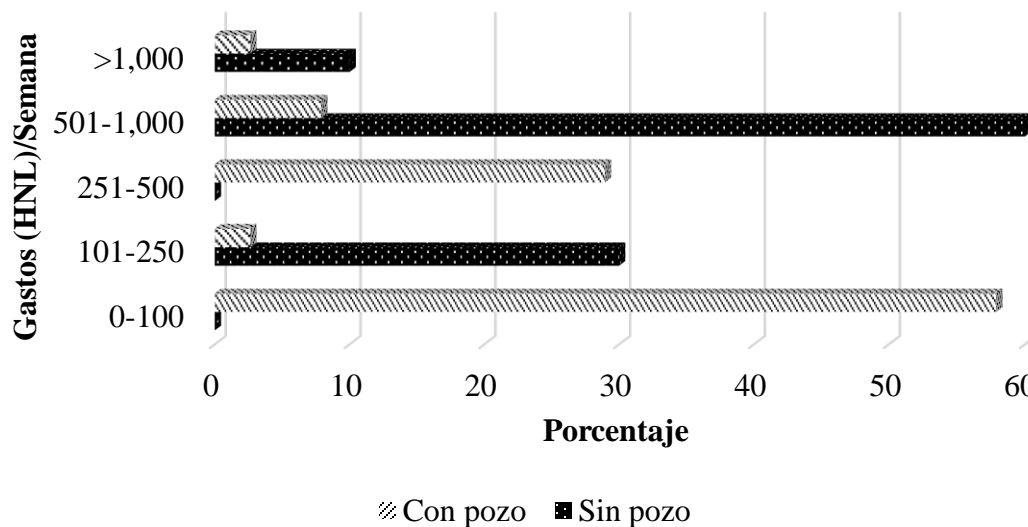


Figura 13. Comparación de gastos semanales en Lempiras por consumo de refrescos embotellados por parte de hogares con y sin pozo.

Asimismo, se realizó una comparación de gastos semanales en refrescos embotellados y en agua para consumo por parte de la población encuestada y se obtuvo que más del 40% gasta más en un rango de HNL 0 a 100, en refrescos semanales que en agua. Sin embargo, un gran grupo de la población, que gasta entre HNL 101 y 500, invierte más en la compra de agua, como se muestra en la Figura 14.

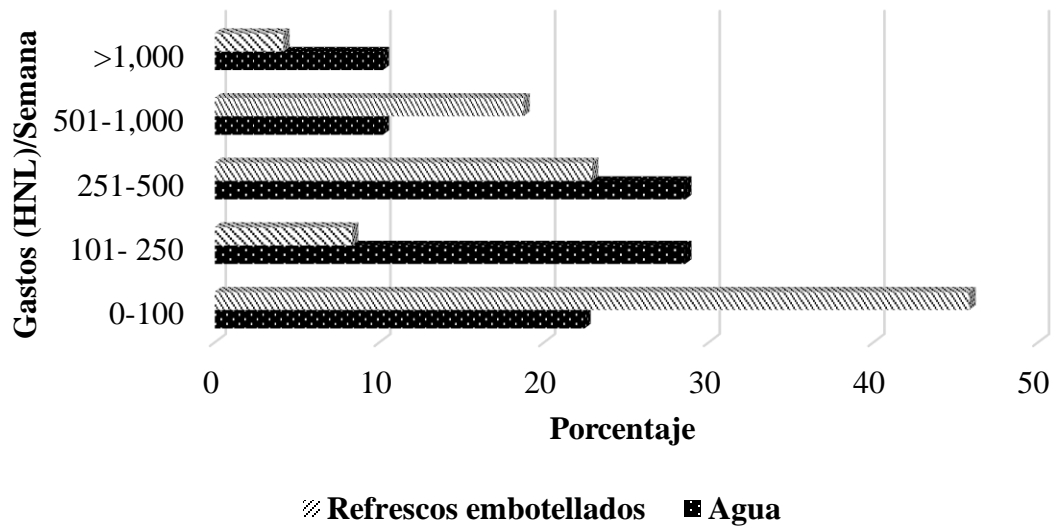


Figura 14. Comparación de gastos semanales en refrescos embotellados y en agua para consumo.

**Almacenamiento y tratamiento.**

El 30% de las personas sin pozo guarda en su casa el agua para su consumo, principalmente en baldes tapados. De estos, apenas un 15% clora su agua, previo a su consumo. Asimismo, el 67% de las personas con pozo guarda en su casa el agua para su consumo en botellas y tambos; apenas el 9.4% de la población posee cisternas para el almacenamiento del agua. El 48.8% de estos realiza tratamientos principalmente clorado, hervido y filtrado.

En este sentido, ninguno de los pozos a los que se les evaluó el cloro residual presentó evidencia de cloración adecuada. Los valores encontrados están dentro de un rango de 0 - 0.07 mg/L los cuales son inferiores al valor recomendado por la norma hondureña (0.5 - 1 mg/L) y del rango recomendado por la OMS (0.2 - 0.5 mg/L). Cabe recalcar que el almacenamiento inocuo es importante en la calidad de agua para consumo y la reducción de incidencia de diarrea en poblaciones abastecidas por agua no tratada (OMS, 2017).

**Percepción.**

La mayor parte de la población considera que la calidad del agua es muy buena con base en los parámetros organolépticos como color, olor y sabor, pese a que se obtuvieron resultados alarmantes de coliformes y cloruros de hasta 13,140 NMP/100 mL de coliformes fecales y valores mayores a 800 mg/L de Cl<sup>-</sup>. Al mismo tiempo, se obtuvieron valores de turbidez que, en general, son menores a 1.38 NTU los cuales explican la aceptación popular del agua.

**Conocimiento.**

A penas un 11% de la población encuestada posee conocimientos en temas de Educación Sanitaria y Mantenimiento Domiciliario, los cuales dicen haberlos adquirido a partir de charlas y/o capacitaciones impartidas por algunas instituciones estatales como el Centro de



Salud. Asimismo, el 67% de la población encuestada dice saber qué es el cambio climático y cómo afecta la disponibilidad de agua de la isla. Sin embargo, solo el 35% realmente posee nociones acertadas al respecto; las mismas que están orientadas a la sequía, cambios en los patrones de lluvia y su impacto en los cultivos.

### **Afectaciones a la salud.**

En los Cuadros 8 y 9 se presentan las enfermedades más recientes identificadas en el sitio de estudio. El total de atenciones del mes de junio del 2018 fueron 719, de éstas el 24.5% están relacionadas al consumo de agua contaminada. De estas, la principal enfermedad asociada es la diarrea, la misma que ha sido reportada por los encuestados y por el centro de salud. Esta constituye el 7% de las atenciones relacionadas al consumo de agua en el mes de junio. Cabe destacar que, conforme explica la OMS (2018), no se puede afirmar que la causa de las diarreas reportadas es directamente relacionada al consumo de agua contaminada dada la existencia de otros factores importantes, como las prácticas de saneamiento e higiene.

El monitoreo de las enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada, como la diarrea, es importante porque permite evitar brotes con capacidad de afectar un gran número de personas. La diarrea ha sido considerada como uno de los peligros leves y agudos de consumir dicha agua; pero de alta frecuencia, sobre todo posterior a eventos fuertes de precipitación (OMS, 2018).

Cuadro 8. Porcentaje de enfermedades asociadas al uso y/o consumo de agua reportadas por el Centro de Salud.

<b>Enfermedad</b>	<b>Porcentaje</b>
Diarrea	7.0
Parasitarias	1.9
Piel	2.5
Urinarias	1.8
Hipertensión	7.5
Diabetes	3.8
Total	24.5

Fuente: Centro de Salud de Amapala, 2018 (Carrasco, comunicación personal, 2 de julio, 2018).

A partir de los datos suministrados por el Centro de Salud se obtuvo información sobre el comportamiento epidemiológico semanal de la diarrea, por edades, en la municipalidad. Hasta la semana 25 del año en curso se reportó una mayor incidencia en niños entre 1- 4 años, lo cual corresponde al 49.5% de los casos registrados. En segundo plano, el 21.2% de los casos reportados corresponden a niños menores a un año.

Estos resultados son acordes con la tendencia de la región latinoamericana, donde la proporción de niños menores a cinco años que mueren cada año, por diarrea, es 50 veces mayor que en la región norteamericana (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2008). Cabe destacar que, en los países en desarrollo el 25% de las diarreas es causado por *Escherichia coli* según informes de la OMS.

El Cuadro 9 se presentan las principales y más recientes enfermedades en los hogares de las personas encuestadas con y sin pozo. En el mismo se observa que, contrario a lo esperado, los casos de gripe son los más comunes, mientras que los de diarrea no representan un alto porcentaje. Esto puede deberse a que, conforme explica la OMS, la incidencia de diarrea, sobre todo por consumo de agua contaminada, es mayor en niños menores a cinco años y este instrumento de investigación estuvo dirigido a adultos.

Cuadro 9. Principales enfermedades reportadas por la población en las encuestas aplicadas.

<b>Población</b>	<b>Enfermedades más comunes</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Enfermedades recientes</b>	<b>Porcentajes</b>
Con pozo	Diarrea	0.00	Diarrea	6.6
	Gripe	59.20	Malaria	4.9
	Problemas en la piel	1.41	Dengue	8.2
	Problemas crónicos	4.23	Gripe	39.3
	Otras	2.82	Piel	6.6
	No enferman	32.4	Conjuntivitis	11.5
Sin pozo	-	-	Otra	23.0
	Diarrea	5	Diarrea	5.0
	Gripe	10	Gripe	10.0
	Otras	15	Otras	15.0
	No enferman	70	No se han enfermado	70.0

## 4. CONCLUSIONES

- Se identificó presencia de intrusión salina elevada en la mayoría de los pozos evaluados. La cuña de intrusión salina en Amapala es desigual desde la línea costera y a lo largo de la sección evaluada de la isla.
- La relación existente entre conductividad y cloruros permite, de forma rápida, tener un estimado de la concentración de cloruros y favorece el monitoreo de la intrusión salina en la isla.
- Existen niveles elevados de contaminación bacteriana en los pozos evaluados, lo que representa un riesgo a la salud de los consumidores. Las condiciones observadas de construcción y manejo de los mismos, junto con los sistemas domiciliarios de eliminación de excretas, potencialmente favorecen su contaminación.
- La percepción de los consumidores en términos de calidad de agua es opuesta a los resultados encontrados en el estudio. La calidad de agua en la isla es calificada solamente en función de su claridad y sabor. Esto sumado a la falta de conocimientos sobre manejo y manipulación de agua para consumo representa un potencial problema sanitario en la comunidad.
- La carencia de una red de abastecimiento de agua potable continua y la dependencia de la compra de agua a particulares, genera un mercado de agua no regulado en cuanto a precios y calidad, que impacta la economía de la comunidad, particularmente en las viviendas que no cuentan con pozos propios.

## 5. RECOMENDACIONES

- Implementar alternativas de desinfección de agua en el hogar previo al consumo, en la población del casco urbano de Amapala.
- Enriquecer este estudio con información general de acuífero y su geología, recarga hídrica y tasa de extracción dado que, la vulnerabilidad de un acuífero a la intrusión salina está determinada, principalmente por estos factores.
- Acompañar al estudio con el cálculo de un Índice de Calidad de Agua subterránea (ICA) para categorizar el agua en excelente, buena, media, pobre y complementar la caracterización fisicoquímica y bacteriológica.
- Caracterizar la cuña de intrusión salina en torno a sus dimensiones y determinar la situación actual, así como pronosticar la evolución del problema bajo escenarios de cambio climático que propicien el incremento del nivel del mar.
- Establecer un programa de medición de conductividad en los pozos de la isla, a partir de la ecuación propuesta como alternativa local de monitoreo en el presente estudio, con el fin de evaluar el avance del fenómeno de intrusión salina y establecer restricciones para los vendedores de agua de la isla.
- Comunicar a la población sobre los riesgos asociados al consumo de agua contaminada y establecer un programa de vigilancia sanitaria en la isla, tanto para manejo intra-domiciliario de agua, como para la disposición de excretas y residuos.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abyaneh, H., Nazemi, A., Neyshabari, M., Mohammadi, K., & Majzoubi, G. (2005). *Chloride Estimation in Ground Water From Electrical Conductivity Measurement*. Recuperado de Tarim Bilimleri Dergisi: <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/15/174/1432.pdf>
- Bartram, J., & Ballance, R. (2011). *Water Quality Monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. (OMS, Ed.) Londres, Inglaterra.
- Blanco, E., Brown, O., & Márquez, R. (2018). Vulnerabilidad a la intrusión salina y la contaminación en la cuenca sur de Ciego de Ávila. *scielo*, 39. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382018000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100004)
- Carretero, S., Rapaglia, J., & Kruse, E. (2012). Análisis de la futura salina en un acuífero costero como respuesta al cambio de climático. Partido de la Costa, provincia de Buenos Aires. La Plata, Buenos Aires. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Silvina\\_Carretero/publication/310328271\\_Analisis\\_de\\_la\\_futura\\_intrusion\\_salina\\_en\\_un\\_acuifero\\_costero\\_como\\_respuesta\\_al\\_cambio\\_climatico\\_Partido\\_de\\_La\\_Costa\\_Provincia\\_de\\_Buenos\\_Aires/links/582bb8e708ae004f74afbc74/Anal](https://www.researchgate.net/profile/Silvina_Carretero/publication/310328271_Analisis_de_la_futura_intrusion_salina_en_un_acuifero_costero_como_respuesta_al_cambio_climatico_Partido_de_La_Costa_Provincia_de_Buenos_Aires/links/582bb8e708ae004f74afbc74/Anal)
- Cruz, A., Troyo, E., Murillo, J., García, J., & Murillo, B. (2017). *Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz, Baja California Sur, México*. Recuperado de scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n1/2395-8030-tl-36-01-39.pdf>
- Cuevas, L. (2016). *Análisis del comportamiento de la CE, SST y los Cloruros en los pozos Rojas I y Rojas II*. Recuperado de Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas: <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6588/Tesis%20Leticia%20Cuevas%20Vald%C3%A9s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De la Mora, C., Flores, J., Rubio, O., Chávez, Á., García, J., & Flores, H. (2018). Variaciones espacio-temporales y modelaje de la concentración de oxígeno disuelto en el Lago de Chapala, México. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=e46403f1-e38a-47ef-92fa-58faa7d12aa0%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=128211007&db=fua>

- Díaz, P., Guzmán, B., & Nava G. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v35nspe/v35nspea18.pdf>
- Earth Institute. (2011). *Chloride and Salinity [Cloruro y Salinidad]*. Recuperado de Lamont Doherty Earth Observatory: <https://www.ldeo.columbia.edu/edu/k12/snapshotday/activities/2011/Classroom%20HS%20activity/chloride%20conversion/Chloride%20and%20Salinity.pdf>
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., & Greenberg, A. (Edits.). (2005). *Standard methods for the examination of water & waste water* (21st ed.). Washington: American Public Health Association.
- Environmental protection agency. (2006). *Voluntary estuary monitoring manual chapter 14*. Recuperado de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2009\\_03\\_13\\_estuaries\\_monitor\\_chap14.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2009_03_13_estuaries_monitor_chap14.pdf)
- Escoto, J. P. (2011). Análisis de la situación agua potable y saneamiento del municipio de Amapala, Valle. Amapala, Valle.: Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento [CONASA].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1969). *Los suelos de Honduras*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/009/ar884s/ar884s.pdf>
- Garrido, E. (2003). Estado actual y evolución de la intrusión marina en los acuíferos costeros del litoral septentrional de Tarragona (España). Tarragona, Española. Recuperado de [http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroCA/publica/libros2\\_TH/tiac-01/Area%20I-3.pdf](http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroCA/publica/libros2_TH/tiac-01/Area%20I-3.pdf)
- Gómez, F., Aguirre, N., Betancur, J., & Toro, M. (2008). Distribución de dos indicadores bacterianos de calidad de agua en el golfo de Urabá, Caribe colombiano. Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/18249/1/14023-41574-1-PB.pdf>
- HACH Company. (2000). Manual de análisis de agua. Estados Unidos. Recuperado de [file:///D:/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua%20(1).pdf)
- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra. (2014). Recuperado de Evaluación de los recursos hídricos en su régimen: <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/07/evaluacion-de-recursos-hidricos.pdf>
- International Soil Reference and Information Centre. (2018). *ISRIC World Soil Information*. Recuperado de Soil Grids Amapala, Valle, Honduras: [https://www.soilgrids.org/#/?lon=-87.6515968&lat=13.2932777&zoom=14&layer=TAXNWRB\\_250m&vector=1&showInfo=1](https://www.soilgrids.org/#/?lon=-87.6515968&lat=13.2932777&zoom=14&layer=TAXNWRB_250m&vector=1&showInfo=1)

- Lagos, R. (2002). Línea base de la calidad de agua subterránea en el Valle del Yeguaré, Honduras. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2270/1/IAD-2002-T024.PDF>
- López, J., & Gómez, J. (2007). La intrusión marina y su incidencia en los acuíferos españoles.
- Manjare, S., Vhanalakar, S., & Muley, D. (2010). *Analysis of water quality using physico-chemical parameters tamdalge tank in Kolhapur district, Maharashtra*. Recuperado de International Journal of Advanced Biotechnology and Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32578889/ANALYSIS\\_OF\\_WATER\\_QUALITY\\_USING\\_PHYSICO-CHEMICAL.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537674642&Signature=SwZwuJ9HA2w3VnYRHTkOOCsXWb8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32578889/ANALYSIS_OF_WATER_QUALITY_USING_PHYSICO-CHEMICAL.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537674642&Signature=SwZwuJ9HA2w3VnYRHTkOOCsXWb8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename)
- Ministerio de Salud de la República de Honduras. (1995). Norma técnica para la calidad de agua potable. Tegucigalpa, Honduras. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/normas/lac/11.HON/01.norma.pdf>
- Molina, M. (2005). *Universidad de Chile*. Recuperado de Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: sector costa quebrada Los Choros, IV región: <http://documentos.dga.cl/SUB4438.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Primer apéndice a la tercera edición. *Guías para la calidad de agua potable, 1*. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2008). Aspectos microbiológicos. *Guía para la calidad del agua potable (Tercera)*. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_7\\_fig.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_7_fig.pdf?ua=1)
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Tratamiento y almacenamiento inocuo del agua en los hogares*. Recuperado de Organización Mundial de la Salud: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/household/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/household/es/)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Llamamiento urgente para evitar el agotamiento irreversible de las aguas subterráneas. *párr 6*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/283110/icode/>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. (Cuarta). Ginebra, Suiza. Recuperado de <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

- Organización Panamericana de la Salud. (2008). Tratamiento de la diarrea. Manual clínico para los servicios de salud. Washington, United States of America. Recuperado de <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/166083/9789275329276.pdf;jsessionid=1FBD7F31734585364EBE75A26BDC2A83?sequence=1>
- Peinado, H., Green, C., Herrera, J., Escolero, O., Delgado, O., Belmonte, S., & Ladrón, M. (2012). Relationship between chloride concentration and electrical conductivity in groundwater and its estimation from vertical electrical soundings (VESs) in Guasave, Sinaloa, Mexico. *Ciencia e investigación agraria*, 39. Recuperado de scielo: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071816202012000100020](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071816202012000100020)
- Programa Regional de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. (2001). Estudio de la intrusión de aguas salinas en las zonas costeras de la Bahía de Jiquilisco.
- Quijada, R. (2015). Caracterización bacteriológica del agua embotellada comercializada en la zona centro-oriental de Honduras. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4520/1/IAD-2015-028.pdf>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2010). *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado*. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. Obtenido de [http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL\\_02\\_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf](http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf)
- Sánchez, J., Álvarez, T., Guadalupe, J., Carrillo, L., & Amílcar, R. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7. doi:2007-2422
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales. Estados Unidos. Recuperado de [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2010). *Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe*. Recuperado de PHI-LAC, N°25: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216333s.pdf>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme. (1996). Groundwater. En D. Chapman (Ed.), *Water Quality Assessments* (Second ed., pág. 434). doi:0-419-21600-6
- Urenda, F. (2016). *Salinidad y aguas subterráneas*. Recuperado de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/308327108\\_SALINIDAD\\_Y\\_AGUAS\\_SUBTERRANEAS](https://www.researchgate.net/publication/308327108_SALINIDAD_Y_AGUAS_SUBTERRANEAS)



Water, Engineering and Development. (2009). Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. (B. Reed, Ed.) Reino Unido: Loughborough University . Recuperado de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>

WRG 2030 Resources Group. (2013). Alianza en aras de una administración sostenible de recursos hídricos. Recuperado de <http://www.2030wrg.org/wp-content/uploads/2014/08/2030-WRG-Annual-Report-Spanish.pdf>

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Morbilidad por diarrea en grupos etarios de Amapala durante las primeras 25 semanas del 2018.

<b>Semana</b>	<b>Menores a un año</b>	<b>1-4 años</b>	<b>De 5-14 años</b>	<b>Mayores a 15 años</b>
1	1	3	0	0
2	2	4	1	1
3	2	4	5	0
4	0	6	1	0
5	1	4	0	0
6	4	5	1	4
7	3	3	0	3
8	4	11	2	4
9	2	10	2	3
10	4	5	0	2
11	2	3	0	1
12	1	3	0	2
13	2	0	0	0
14	4	7	1	2
15	2	3	0	1
16	4	11	3	2
17	2	7	0	4
18	1	1	0	0
19	3	7	2	4
20	1	8	3	3
21	8	10	1	2
22	3	7	1	3
23	3	6	3	5
24	2	6	2	7
25	2	13	0	6
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>174</b>	<b>28</b>	<b>59</b>

## Anexo 2. Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que cuentan con pozo.



Carrera de  
**Ambiente y Desarrollo**

### Diagnóstico de situación de Sistemas de Agua para Consumo en Amapala

Fecha: / /2018		Nº de Encuesta:	
Nombre del entrevistador (a)			
Nombre del/la entrevistado(a):		Edad:	<input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer
Departamento:		Municipio:	
Dirección (barrio o caserío):			
Características de la vivienda (1)			
1	Tipo de vivienda	<input type="checkbox"/> Casa independiente <input type="checkbox"/> Cuarto en mesón o cuartería <input type="checkbox"/> Otros: <input type="checkbox"/> Apartamento <input type="checkbox"/> Local no construido para vivienda	
2	Material predominante en la construcción de las paredes	<input type="checkbox"/> Ladrillo <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Desechos <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Bahareque <input type="checkbox"/> Otros:	
3	Material predominante en el piso	<input type="checkbox"/> Cerámica <input type="checkbox"/> Ladrillo barro <input type="checkbox"/> Plancha de cemento <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Ladrillo cemento <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Tierra	
4	Material predominante en el techo	<input type="checkbox"/> Teja de barro <input type="checkbox"/> Lámina de zinc <input type="checkbox"/> Material de desecho <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Lámina asbesto <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Paja, palma (similar) <input type="checkbox"/> Otro	
5	Cuántas piezas tiene esta vivienda? (NO incluye el baño)	No. de piezas:	
6	Cuántas piezas (dormitorios) utiliza para dormir?	No. de piezas:	
7	Donde hace sus necesidades?	Al Aire	
		Letrina	
		Inodoro	
<input type="checkbox"/> Letrina húmeda (sello hidráulico) <input type="checkbox"/> Letrina con pozo negro <input type="checkbox"/> Letrina con pozo séptico <input type="checkbox"/> Abonera <input type="checkbox"/> Inodoro conectado con alcantarillado <input type="checkbox"/> Inodoro conectado a pozo séptico <input type="checkbox"/> Inodoro con desagüe a río o laguna			
8	El uso del servicio sanitario es:	<input type="checkbox"/> Exclusivo de la vivienda <input type="checkbox"/> Compartido con otras viviendas	
9	Su vivienda es abastecida de agua por medio de:	<input type="checkbox"/> Conexión domiciliaria <input type="checkbox"/> Pozo personal <input type="checkbox"/> Acarreador <input type="checkbox"/> Llave pública <input type="checkbox"/> Pozo comunal <input type="checkbox"/> Otros	
10	A que otro servicio usted tiene acceso?	Cuánto gasta mensualmente?	
		Luz eléctrica	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Lps.
		Transporte (público)	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Lps.
		Servicios de salud	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Lps.
		Servicios de educación	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Lps.
		Cable TV	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Lps.
Fuentes de abastecimiento de agua (2)			
11	¿Desde hace cuándo tiene conexión a la red del SANAA?	Años:	
12	¿Desde hace cuando cuenta con su pozo?	Años:	
13	¿Se mide el consumo de agua en la red del SANAA?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
14	¿Cómo se mide el consumo?	<input type="checkbox"/> Contrador <input type="checkbox"/> Pila <input type="checkbox"/> Otro:	
15	¿Cuánto tiempo recibe el servicio del SANAA?	Horas/día:      Días/semana:	
16	¿Cuándo disminuye la cantidad de agua en su casa?	<input type="checkbox"/> En invierno <input type="checkbox"/> Por temporadas <input type="checkbox"/> En verano <input type="checkbox"/> Nunca	
17	¿Se le ha informado sobre alguna limitante del sistema de agua?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Explique:	
18	Ha tenido que acarrear agua? (si la respuesta es no pasa a la pregunta 22)	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
19	Cuanto tiempo demora en traer el agua?	<input type="checkbox"/> Mas de media hr <input type="checkbox"/> Media hora <input type="checkbox"/> Menos de media hr	
20	Quién trae el agua a casa	<input type="checkbox"/> La mujer <input type="checkbox"/> El hombre <input type="checkbox"/> Niños <input type="checkbox"/> Otro:	
21	Ha utilizado agua lluvia para usos domésticos	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	

**Continuación Anexo 2. Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que cuentan con pozo.**

Evaluación y conocimiento del sistema de agua (3)			
Servicios			
22	Cuanto está pagando por el agua del SANAA?	Lps. Por:	<input type="checkbox"/> Mes <input type="checkbox"/> Otro:
23	Sabe con base en qué se define el precio del agua?	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si	Explique
24	Qué piensa del color del agua del SANAA?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
25	Qué piensa del gusto del agua del SANAA?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
26	Qué piensa del color del agua de su pozo?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
27	Qué piensa del gusto del agua de su pozo?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
28	Compra agua embotellada para tomar en su hogar?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
29	Cuánta gasta al mes su familia en comprar agua embotellada?	Lps.	
30	¿Cree que la situación del agua en Amapala ha cambiado en los últimos 10 años?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Explique
31	¿Ha escuchado hablar de Cambio Climático? En caso negativo pase a pregunta 33	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Explique
32	¿Cómo cree que el CC puede afectar la Isla del Tigre?		
Capacitaciones			
33	Ha recibido capacitaciones en temas relacionados con el agua?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
34	En que temas recibió capacitación?	<input type="checkbox"/> Hábitos de higiene <input type="checkbox"/> Partes del sistema <input type="checkbox"/> Educación sanitaria/saneamiento <input type="checkbox"/> Mantenimiento domiciliario <input type="checkbox"/> Mantenimiento del sistema <input type="checkbox"/> Operación del sistema <input type="checkbox"/> Funciones, deberes y derechos <input type="checkbox"/> Pago de tarifas <input type="checkbox"/> Manejo de cuencas <input type="checkbox"/> protección de fuentes	
35	¿Quién les ha proporcionado esa capacitación?		
36	Cuál es su opinión sobre la calidad de la capacitación recibida	<input type="checkbox"/> Muy útil <input type="checkbox"/> A veces útil <input type="checkbox"/> Poco útil <input type="checkbox"/> Nada útil	
Salud y educación sanitaria			
37	Recientemente algún miembro de la familia ha padecido de alguna enfermedad? (Marcar el mayor número de respuestas posibles)	<input type="checkbox"/> Tos <input type="checkbox"/> Fiebre <input type="checkbox"/> Diarrea <input type="checkbox"/> Malaria <input type="checkbox"/> Conjuntivitis <input type="checkbox"/> Colera <input type="checkbox"/> Disentería <input type="checkbox"/> Dengue <input type="checkbox"/> Problema en la piel <input type="checkbox"/> Otra:	
38	De qué se enferman mas en la casa?	<input type="checkbox"/> Tos, gripe <input type="checkbox"/> Dolor de cabeza <input type="checkbox"/> Tristeza/depresión <input type="checkbox"/> Diarrea <input type="checkbox"/> Gastritis <input type="checkbox"/> Problema en la piel <input type="checkbox"/> Problema crónico(asma, diabetes, etc)	
39	Cuántos de los niños han tenido diarrea en el último mes? (SOLO niños menores de 5 años)	<input type="checkbox"/> 1 niño <input type="checkbox"/> 2 -3 niños <input type="checkbox"/> Mas de 3 niños <input type="checkbox"/> Ninguno	
40	Guarda en su casa el agua para consumo?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
41	Si es sí, en que guarda el agua? Podemos ver por favor	Tipo	Tapado
		<input type="checkbox"/> Botellas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Tambo plástico	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Vasija de barro	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Baldes	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Pilas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Barriles metálicos	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Latas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> Cisterna	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
	<input type="checkbox"/> No observado		
42	Con qué saca el agua que está guardada para usarla?	<input type="checkbox"/> Vaso/posillo <input type="checkbox"/> Guacal <input type="checkbox"/> Cucharón <input type="checkbox"/> Llave <input type="checkbox"/> Otro:	
43	Dónde mantiene el utensilio con el que saca el agua?	<input type="checkbox"/> Aire libre <input type="checkbox"/> Cubierto <input type="checkbox"/> En el recipiente <input type="checkbox"/> Guardado	
44	Realiza algún tratamiento al agua que consumen?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
45	Qué tipo de tratamiento?	<input type="checkbox"/> Clorado <input type="checkbox"/> Filtrado <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Hervido <input type="checkbox"/> Sodis	
46	Usted considera que su agua de pozo tiene buen sabor?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Explique
47	Cuántos frescos de botella compró para su familia la semana pasada?	Lps.	
Observaciones:			

**Anexo 3. Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que no poseen pozo.**



Carrera de  
**Ambiente y Desarrollo**

**Diagnóstico de situación de Sistemas de Agua para Consumo en Amapala (sin pozos)**

Fecha: / /2018		Nº de Encuesta:	
Nombre del entrevistador (a)			
Nombre del/la entrevistado(a):		Edad:	<input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer
Departamento:		Municipio:	
Dirección (barrio o caserío):		Teléfono:	
Características de la vivienda (1)			
1	Tipo de vivienda	<input type="checkbox"/> Casa independiente <input type="checkbox"/> Cuarto en mesón o cuartería <input type="checkbox"/> Otros: <input type="checkbox"/> Apartamento <input type="checkbox"/> Local no construido para vivienda	
2	Material predominante en la construcción de las paredes	<input type="checkbox"/> Ladrillo <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Desechos <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Bahareque <input type="checkbox"/> Otros:	
3	Material predominante en el piso	<input type="checkbox"/> Ceramica <input type="checkbox"/> Ladrillo barro <input type="checkbox"/> Plancha de cemento <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Ladrillo cement <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Tierra	
4	Material predominante en el techo	<input type="checkbox"/> Teja de barro <input type="checkbox"/> Lámina de zinc <input type="checkbox"/> Material de desecho <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Lámina asbestr <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Paja, palma (similar) <input type="checkbox"/> Otro	
5	Donde hace sus necesidades?	Letrina	<input type="checkbox"/> Letrina húmeda (sello hidráulico) <input type="checkbox"/> Letrina con pozo negro <input type="checkbox"/> Letrina con pozo séptico <input type="checkbox"/> Abonera
		Inodoro	<input type="checkbox"/> Inodoro conectado con alcantarillado <input type="checkbox"/> Inodoro conectado a pozo séptico
6	El uso del servicio sanitario es:	<input type="checkbox"/> Exclusivo de la vivienda <input type="checkbox"/> Compartido con otras viviendas	
7	Cuántos son los integrantes en la vivienda?		
Evaluación y conocimiento de fuentes de abastecimiento de agua (2)			
Agua para actividades domésticas			
8	¿Cuál es su fuente de agua para actividades domésticas	<input type="checkbox"/> SANAA <input type="checkbox"/> Vendedor <input type="checkbox"/> Acarreo de pozo comunitario <input type="checkbox"/> Otro	
9	¿Existe alguna forma de medir su consumo?	<input type="checkbox"/> Contrador <input type="checkbox"/> Pila <input type="checkbox"/> Otro:	
10	¿Cuánto tiempo recibe el agua y con qué frecuencia?	Horas/día:	Días/semana:
11	Si compra agua: ¿Con qué frecuencia y cuánta agua compra al mes? (m3)		
12	En caso de comprar el agua ¿Cómo decide de dónde comprar el agua?	<input type="checkbox"/> Precio <input type="checkbox"/> Servicio <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Otro:	
13	¿Cuánto está pagando al mes por el agua?	Lps.	
14	¿Sabe con base en qué se define el precio del agua?	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si	Explique
15	¿Ha utilizado agua lluvia para usos domésticos?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
Agua para beber			
16	¿Cuál es su fuente de agua para beber?	<input type="checkbox"/> SANAA <input type="checkbox"/> Vendedor <input type="checkbox"/> Purificador ¿Cuál? <input type="checkbox"/> Otro	
17	¿Por qué elige ese proveedor ?		
18	¿Cuánta agua compra al mes para beber? (Litros)		
19	¿Cuánto gasta al mes su familia en comprar agua embotellada?	Lps.	
20	¿Cómo califica la calidad del agua comprada en cuanto a su rendimiento?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
21	¿Cómo califica la calidad del agua a en cuanto a sabor?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	
22	¿Cómo califica la calidad del agua en cuanto a aspecto?	<input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala	

**Continuación Anexo 3.** Modelo de encuesta socioeconómica aplicada a las familias del casco urbano Amapala que cuentan con pozo.

Salud y educación sanitaria			
23	Recientemente algún miembro de la familia ha padecido de alguna enfermedad? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
24	¿Cuántos vasos de agua consume al día?		
25	¿De qué se enferman mas en la casa?		
26	¿Cuántos de los niños han tenido diarrea en el último mes? (SOLO niños menores de 5 años) <input type="checkbox"/> 1 niño <input type="checkbox"/> 2 -3 niños <input type="checkbox"/> Mas de 3 niños <input type="checkbox"/> Ninguno		
27	Guarda en su casa el agua para consumo? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
28	Si es sí, en que guarda el agua? <i>Podemos ver por favor</i>	Tipo	Tapado
		<input type="checkbox"/> Botellas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Tambo plástico	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Vasija de barro	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Baldes	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Pilas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Barriles metálicos	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Latas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
		<input type="checkbox"/> Cisterna	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> No observado		
29	Realiza algun tratamiento al agua que consumen? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
30	Qué tipo de tratamiento? <input type="checkbox"/> Clorado <input type="checkbox"/> Filtrado <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Hervido <input type="checkbox"/> Sodis		
31	¿Cuánto es el gasto en refrescos al mes?		
Observaciones:			

**Anexo 4.** Pruebas de chi-cuadrado respecto al consumo de agua embotellada de personas con y sin pozo.

	Valor	Grados de libertad	Probabilidad
Chi-cuadrado de Pearson	10.111 <sup>a</sup>	2	0.006
Razón de verosimilitudes	10.613	2	0.005
N de casos válidos	40		

(a. 2 casillas 33.3% tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 2.00).

**Anexo 5.** Dinámica del manejo de venta de agua mediante cisternas.



**Anexo 6.** Dinámica de distribución de agua de pozo en los diferentes barrios de Amapala.



**Anexo 7.** Visualización de alrededores de los pozos



**Anexo 8.** Transporte de agua de la purificadora “El Cerrito” a la isla.



**Anexo 9.** Medida de parámetros fisicoquímicos y toma de muestra para análisis bacteriológicos.



**Anexo 10.** Actividades de pesca en la isla





**Anexo 11.** Condiciones de manejo de los pozos.



**Anexo 12.** Pozo de purificadora La Sirena.

