

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

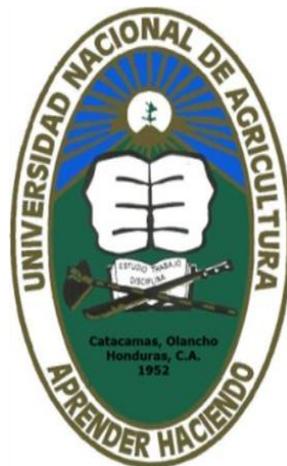
ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL DISTRITO
CENTRAL, HONDURAS

POR:

IVIS YESSENIA MEZA MERAZ

DIAGNÓSTICO

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO LICENCIADO EN
RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

JUNIO 2016

**ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DISTRITO
CENTRAL, HONDURAS**

POR:

IVIS YESSENIA MEZA MERAZ

ERLIN VIANNEY ESCOTO VALLADARES M Sc.

Asesor principal

DIAGNÓSTICO

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO LICENCIADO EN
RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

JUNIO 2016

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

Reunidos en el Departamento de Investigación y Extensión Agrícola de la Universidad Nacional de Agricultura el: **M. Sc. ERLIM VIANNEY ESCOTO**, **M.Sc. JORGE ORBIN CARDONA**, **ING. RAMÓN LEÓN CANACA**, miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

La estudiante **IVIS YESSENIA MEZA MERAZ** del IV Año de la Carrera de Recursos Naturales y Ambiente presentó su informe.

“ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DISTRITO CENTRAL, HONDURAS”

El cual a criterio de los examinadores, Aprobó este requisito para optar al título Licenciado en Recursos Naturales y Ambiente

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los veintidós días del mes de junio del año dos mil dieciséis.

M.Sc. ERLIM VIANNEY ESCOTO
Consejero Principal

M.Sc. JORGE ORBIN CARDONA
Examinador

M.Sc. RAMÓN LEÓN CANACA
Examinador

DEDICATORIA

A mi hija Meilyn Gisell Orellana Meza por ser la fuente de mi motivación e inspiración y darme la fuerza en momentos de debilidad.

A mi sobrina Cristy Michelle Ponce Meza por ser fuente de alegría en momentos de tristeza.

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos Erik Josué Meza Meraz y Selvin Reynaldo Meza Meraz por brindarme su apoyo en todo momento.

A mi hermana Idania Meza Meraz por su confianza y apoyo incondicional.

Al Equipo Técnico de la Dirección General de Recursos Hídricos por el apoyo brindado.

Muy especialmente a mis padres Vilma Nicolasa Meraz y Héctor Reynaldo Meza sin su apoyo esto no sería una realidad.

A mi asesor principal Erlin Escoto por su tiempo y esmero invertido.

CONTENIDO

	pág.
ACTA DE SUSTENTACION	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. General.....	2
2.2. Específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Aspectos generales	3
3.2. Definiciones.....	4
3.2.1. Acuífero	4
3.2.2. Formación del Acuífero.....	4
3.3. Tipos de acuífero	5
3.3.1. Acuíferos libres.....	5
3.3.2. Acuíferos confinados.....	5
3.3.3. Acuíferos semiconfinados	5
3.3.4. Acuíferos colgados	5
3.4. Tipos de pozos	6
3.5. Nivel de profundidad de un pozo	6
3.6. Aspectos relacionados con la calidad del agua subterránea	6
3.7. Fuentes de contaminación	7
3.7.1. Contaminación Puntual.....	7

3.7.2. Contaminación difusa	8
3.8. Tipos de contaminación.....	8
3.8.2. Contaminación física	8
3.8.1. Contaminación química.....	9
3.8.3. Contaminación biológica.....	9
3.9. Agua de pozo en Honduras.....	10
3.10. Descripción de la geología e hidrogeología	10
3.11. Unidades hidrogeológicas de la cuenca de Tegucigalpa	12
3.11.1. Grupo Valle de Ángeles	12
3.11.2. Unidad hidrogeológica Conglomerática (C).....	13
3.11.3. Unidad hidrogeológica Lutítico - Arenítica del río Chiquito (Va).....	13
3.11.4. Grupo Padre Miguel	14
3.11.5. Unidad hidrogeológica de las Andesitas (An).....	14
3.11.6. Unidad hidrogeológica de las ignimbritas (I)	14
3.11.7. Unidad hidrogeológica de Las Tobas (T)	15
3.11.8. Unidad hidrogeológica de la Riodacita (R)	15
3.11.9. Unidad hidrogeológica las Tobas retrabajadas (Tr)	16
3.11.10. Unidad hidrogeológica de los Basaltos	17
3.11.11. Unidad hidrogeológica de los depósitos aluviales (A)	17
IV. MATERIALES Y MÉTODO	18
4.1. Materiales	18
4.2. Descripción del método	18
4.2. Ubicación y descripción de la zona	18
4.3. Elaboración de ficha para el inventario	20
4.4. Información de datos de campo.....	20
4.5. Selección de los puntos y toma de muestra	21
4.6. Variables evaluadas	21

4.6.1. Profundidad del agua	21
4.6.2. Temperatura, pH, solidos totales disueltos, salinidad y conductividad eléctrica.....	22
4.6.3. Cloro residual	22
4.7. Identificación de amenazas de contaminación	22
4.8. Presentación de resultados.....	23
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1. Inventario de pozos.....	24
5.2. Profundidad de los pozos	25
5.3. Calidad del agua	25
5.3.1. Temperatura.....	25
5.3.2. pH	27
5.3.3. Salinidad	28
5.3.4. Conductividad.....	29
5.3.4. Sólidos totales disueltos.....	30
5.3.5. Cloro Residual	31
5.4. Análisis multivariado.....	32
5.5. Criterios de categorización de la calidad de agua.....	32
5.6. Posibles amenazas de contaminación	35
5.6.1. Zonas residenciales.....	35
5.6.2. Industria	35
5.6.3. Cementerios	36
5.6.4. Pozos sin revestimiento	36
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS.....	43

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.....	19
Figura 2. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.....	20
Figura 3. Distribución de pozos inventariados para una mejor apreciación espacial...	24
Figura 4. Medición de temperatura °C en pozos artesanales.....	26
Figura 5. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.....	26
Figura 6. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.....	27
Figura 7. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.....	28
Figura 8. Relación de profundidad y conductividad en pozos artesanales.....	29
Figura 9. Relación de profundidad y conductividad de pozos perforados.	30
Figura 10. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.....	31
Figura 11. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.....	31
Figura 12. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.....	32
Figura 13. Distribución espacial categorías de calidad del agua en pozos artesanales.	33
Figura 14. Distribución espacial categorías de calidad del agua en pozos artesanales.	34
Figura 15. Distribución espacial categorías de calidad del agua en pozos perforados..	34
Figura 16. Número de pozos perforados según categorías de calidad del agua.	35
Figura 17. Posibles fuentes de contaminación de los acuíferos.	36

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Ficha para registro de los datos en campo.	44
Anexo 2. Distribución de pH ácidos en pozos perforados.	45
Anexo 3. Distribución de pozos con alta conductividad eléctrica.	45
Anexo 4. Distribución espacial en el mapa hidrológico de los pozos censados.	46
Anexo 5. Distribución espacial de pozos en mapa geológico.	46
Anexo 6. Sociabilización de los objetivos del estudio con propietarios de pozos.	47
Anexo 7. Toma de datos de medición de variables.	47
Anexo 8. Identificación de amenazas de contaminación	47

Meza Meráz, I. Y. 2016. Estudio sobre la calidad de agua subterránea en el Distrito Central, Honduras. Diagnóstico Licenciatura en Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A. 48.

RESUMEN

Hay poco conocimiento e información de la calidad del agua subterránea del Distrito Central, así como de las amenazas potenciales de contaminación que atentan contra el acuífero volviéndolo más vulnerable. El presente estudio estableció una línea base sobre las dos aseveraciones mencionadas anteriormente. La investigación consistió en un inventario de pozos artesanales y perforados, por medio de un levantamiento de datos de campo utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS). Se inventariaron 185 pozos, 129 perforados y 56 artesanales para los cuales se creó una base de datos con información específica de ubicación, propietarios, tipo de pozo, uso, profundidad, estado actual. También se incluyó las mediciones de profundidad, temperatura (°C), pH, total de sólidos disueltos, salinidad, conductividad y cloro residual. Los resultados indicaron que el 70% de los pozos artesanales y el 73.8% de los pozos perforados presentan condiciones de calidad de agua de muy buena a ideales tomando en cuenta las variables de pH, sólidos totales disueltos, salinidad y conductividad. Respecto a la temperatura, se encontró una diferencia de 5.19 °C, que según percepción y experiencia de los pobladores se debe a acuíferos térmicos. En cuanto a la identificación de las amenazas de contaminación se encontraron gasolineras, letrinas, pozos sin revestimiento, uso de agroquímicos y cementerios. En conclusión la explotación de acuíferos en el Distrito Central va en aumento por el crecimiento demográfico y la poca accesibilidad al agua superficial. Sumado, no hay normativa ni regulación legal para la explotación hídrica subterránea.

Palabras clave: difuso, geología, hidrogeología, litología, manto freático.

I. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso natural muy valioso pues es un componente esencial del ciclo hidrológico. La contribución de agua de los acuíferos al flujo de los ríos es responsable de que éste siga teniendo caudal cuando no hay precipitaciones. Las aguas subterráneas se han aprovechado desde la antigüedad para cubrir la demanda de este vital líquido para consumo humano y actividades agropecuarias. Debido a la escasez del recurso, la necesidad de la explotación del manto freático cada vez es mayor.

Por ello, es importante prevenir el deterioro de los acuíferos y se vuelve necesario hacer investigaciones y monitoreo de los pozos existentes que están siendo explotados de manera continua e intermitente. También es importante la identificación de los pozos no explotados para tomar las medidas respectivas y evitar que sirvan como focos de contaminación. Sin embargo, por el escaso conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, insuficiente tecnología y normativa de regulación de explotación de acuíferos, no se le ha dado valor y atención significativa. Cabe mencionar que el flujo de agua subterránea así como el transporte de contaminantes no son fáciles de observar ni medir, ambos procesos son generalmente lentos y no visibles, además conlleva un alto costo de rehabilitación.

En el Distrito Central de Honduras, la disponibilidad de agua es cada vez más crítica, no existen registros confiables ni monitoreo de explotación del manto freático, por tanto, el gobierno desconoce la cantidad y calidad del agua que está siendo explotada. La información que se puede obtener en este estudio es de vital trascendencia por la generación de información puesto que puede influir en futuras decisiones relacionadas a la intervención de los acuíferos.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Generar información básica sobre la calidad de las aguas subterráneas en el municipio del Distrito Central, Honduras.

2.2. Específicos

Realizar un inventario de pozos artesanales y perforados ubicados en el municipio del Distrito Central, Honduras.

Evaluar mediante parámetros fisicoquímicos la calidad de agua subterránea presente en los pozos seleccionados.

Realizar la distribución espacial de parámetros de la calidad de agua medido en cada pozo seleccionado.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Aspectos generales

Según Sollety citado por Lagos (2002), los seres humanos pueden vivir durante varias semanas e incluso meses sin comer pero solo unos pocos días sin tomar agua, debido a que el agua es el medio en el cual todos los procesos biológicos se llevan a cabo. El 70% de la superficie de la tierra está cubierta con agua y 70% del cuerpo humano está compuesto por agua. Cada persona adulta requiere por lo menos 3 litros de agua fresca para mantener procesos metabólicos y una vida saludable.

Un 97% del agua en la tierra está en los océanos. Se estima que alrededor de 37, 756,250 km³ de agua existen en la superficie terrestre y en la atmósfera; y más de 29 millones de km³ están encerrados en las capas polares de hielo en los glaciares. De los 8, 476,250 km³ de agua fresca disponibles 8, 350,000 km³ es agua subterránea (USGS 1999).

El agua es uno de los recursos renovables más importantes en nuestro planeta, la cual forma parte de la vida ya que es un elemento indispensable en muchas actividades del ser humano y en general suple las necesidades de todos los seres vivos en la tierra. Con el aumento de la población mundial y los crecientes requerimientos de agua para la agricultura, el abastecimiento humano e industrial, se ha puesto mayor énfasis en el agua subterránea como una fuente importante de agua (Lagos 2002).

En Latinoamérica, el agua subterránea, generalmente es utilizada como fuente de agua potable por pequeñas comunidades y también para riego agrícola. Según Llamas y Custodio (1998), las aguas subterráneas han contribuido por una parte a reducir de modo muy significativo la escasez de alimentos y por otra parte, han facilitado el suministro de agua potable a centenares de millones de seres humanos, tanto en las zonas rurales y económicamente deprimidas, como en países altamente industrializados. Este aumento

en el uso de las aguas subterráneas se ha efectuado con frecuencia al margen de las instituciones públicas nacionales responsables del manejo de los recursos hídricos, las cuales por falta de conocimientos hidrogeológicos, por inercias institucionales o por otros motivos, han tenido una participación reducida en la planificación y control de esos aprovechamientos de aguas subterráneas. Esta situación tan generalizada, representa un cambio de perspectiva en lo que corresponde al recurso hídrico subterráneo.

De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 1,500 millones de personas carecen de abastecimiento de agua potable, 1,700 millones no cuentan con instalaciones adecuadas para recibir dicha provisión. De igual manera, unos cinco millones de personas fallecen anualmente a causa de enfermedades transmitidas por medio del agua. Hoy en día la contaminación de las fuentes de agua subterránea se considera uno de los problemas ambientales más alarmantes, lo que hace necesario realizar estudios enfocados a determinar la ocurrencia, cantidad y calidad y las posibles amenazas de sobreexplotación y contaminación.

3.2. Definiciones

3.2.1. Acuífero

Según Valencia (2010), un acuífero es un estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas, en condiciones económicamente aprovechables. Los acuíferos son capas o formaciones con materiales muy variados como gravas de río, calizas agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas.

3.2.2. Formación del Acuífero

La formación acuífera puede estar constituida por diferentes tipos de materiales, entre los cuales la arena gruesa, mediana o fina, o una mezcla de ellas y la roca fragmentada (rocas basálticas y arsénicas) suelen ser las mejores. Es importante mencionar que la formación que contiene agua puede ser de distinta naturaleza geológica y de acuerdo a ello una

perforación será más o menos difícil de realizar, así como también será necesario emplear equipos y técnicas distintas (Maree 1997).

3.3. Tipos de acuífero

La clasificación principal de los acuíferos se basa en la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos. Según Valencia (2010) los siguientes son los tipos de acuíferos que existen:

3.3.1. Acuíferos libres

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático. No tiene por encima material impermeable.

3.3.2. Acuíferos confinados

Están sellados por materiales impermeables, arriba y abajo. Al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, el nivel del agua asciende hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico.

3.3.3. Acuíferos semiconfinados

Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) o/y el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que permiten una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal.

3.3.4. Acuíferos colgados

Algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar una cuña de rocas

arcillas, carbones, minerales, entre otros, introducida en otras rocas que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima.

3.4. Tipos de pozos

Según el INTA (1973), si se llega con una perforación hasta un acuífero confinado, el nivel del agua dentro de la perforación ascenderá por encima de la capa impermeable superior e incluso podría salir fuera del terreno natural, en este caso el pozo es de tipo surgente o artesiano. Por otro lado un pozo es semisurgente cuando al ejecutar una perforación se llega a un acuífero confinado y el nivel de agua dentro de la perforación asciende por encima de la capa impermeable superior pero no sale del terreno natural.

3.5. Nivel de profundidad de un pozo

Según Fabregas (1998), el agua del subsuelo en sus evoluciones cíclicas de llenado y vaciado del acuífero, experimenta ascensos y descensos. El nivel que tiene el agua en el pozo cuando no se bombea se conoce como nivel estático, por otro lado el nivel que tiene el agua del pozo cuando se extrae agua se conoce como nivel dinámico. La diferencia de medida entre el nivel estático y el nivel dinámico se conoce como depresión y cuando se bombea un pozo extrayendo agua del acuífero se forma lo que se llama cono de depresión. El nivel del agua puede alterar un gran número de elementos urbanos que se sitúan en esta franja de terreno, como son las edificaciones, las redes de agua de abastecimiento, las acequias y hasta el propio cauce de un río.

3.6. Aspectos relacionados con la calidad del agua subterránea

Según Lagos (2002), casi todas las regiones de Honduras usan las corrientes de agua superficial y otros cuerpos de agua para verter residuos sin tratamientos adecuados. Esto ha ocasionado serios perjuicios para las fuentes de agua potable, principalmente las de superficie y en menor grado, las subterráneas.

El agua químicamente pura no se encuentra en la naturaleza, La expresión “agua pura” se usa vulgarmente como sinónimo de agua potable para indicar que la misma tiene cualidad satisfactoria para uso doméstico (INTA 1973).

Según Cubillos (1988), la calidad del agua se define como: “El conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua en su estado natural o después de ser alteradas por la acción del hombre”. Por otro lado la OPS (1987) señala que el agua contaminada, es aquella que tiene alterada sus características propias naturales, causadas por cualquier tipo de contaminante y su nivel de contaminación depende del uso que se le dará a la misma.

Hay algunas características del agua que influyen sobre varias sustancias químicas y el desarrollo de los microorganismos, tales características ejercen una acción múltiple, ya sea cooperando unos con otros u oponiéndose entre sí. Dentro de esas características se puede mencionar la temperatura, el pH, la turbidez y otros parámetros de calidad que dependiendo de sus valores pueden alterar considerablemente la movilidad de sustancias químicas y el metabolismo y la reproducción de algunas especies de microorganismos (OPS 1987).

3.7. Fuentes de contaminación

La contaminación del agua subterránea puede ser debida principalmente a causas: naturales o humanas (Cardona *et al.* 1993), siendo las más graves estas últimas.

3.7.1. Contaminación Puntual

Las fuentes de contaminación puntual son aquellas en donde el contaminante proviene de un lugar específico y por lo tanto es fácil de identificar. Por ejemplo los efluentes de un beneficio de café, aguas servidas de plantas agroindustriales, drenajes de plantas mineras.

3.7.2. Contaminación difusa

Se puede definir como aquella donde el material o agente contaminante tiene origen disperso y se acumula en un volumen o área de gran dimensión, como por ejemplo la escorrentía contaminada con agroquímicos usados en un cultivo agrícola, la erosión de suelos, contaminación por heces de ganado en pasturas entre otras.

Según Carrillo *et al* (1989) citado por Gómez y Ramírez (2008), en general la contaminación difusa es la provocada por la serie de industrias, que generan una gran cantidad de desechos, que son vertidos en muchos casos en ríos, suelos; así como basureros que confinan muchos materiales de diversa composición, llegando a provocar serios daños en los mantos acuíferos por la acción de los diversos mecanismos que actúan en la superficie y en el subsuelo.

3.8. Tipos de contaminación

Según Cubillos (1988) los contaminantes se clasifican en tres grupos: físicos, químicos y biológicos. La calidad del agua es conocida o medida a través de análisis de muestras tomadas bajo determinadas condiciones, que permiten conocer sus características. Estos análisis pueden ser físicos, químicos y bacteriológicos (INTA 1973).

3.8.2. Contaminación física

Dentro de este tipo de contaminación tenemos: el calor, el cual modifica la ecología acuática pudiendo ocasionar alteraciones en procesos vitales. También están los sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables (sólidos totales) que disminuyen la penetración de la luz, afectando así la turbidez del agua. Además, mediante un análisis físico se determinan e indican condiciones o propiedades físicas como temperatura, turbidez, pH.

La temperatura del agua se determina en el momento de la toma de muestra por medio del termómetro, expresándose en grados centígrados. El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta la de sales. La temperatura

también aumenta la velocidad de las reacciones metabólicas y de cierta forma acelera la putrefacción de compuestos orgánicos (OPS 1995).

3.8.1. Contaminación química

Esta se subdivide en orgánica que incluye los compuestos biodegradables, detergentes y biocidas, que causan efectos como incremento en demanda de oxígeno para su oxidación y efectos tóxicos de diversos grados; e inorgánica que incluye sales minerales, ácidos, álcalis y algunos metales pesados como el mercurio cadmio y plomo; detergentes difíciles de degradar y tóxicos de la industria química.

3.8.3. Contaminación biológica

En este tipo de contaminación se incluyen los microorganismos patógenos, capaces de transmitir enfermedades a veces endémicas.

La realización de pruebas bacteriológicas indica la presencia de microorganismos de interés sanitario. Este es uno de los análisis más importantes ya que la presencia de esos organismos generalmente afecta la salud. La interpretación de los análisis es sencilla y el agua será considerada potable o no potable según el contenido de bacterias y de acuerdo a las normas técnicas aceptadas.

Coliformes totales es un grupo de bacterias presentes en el ambiente, la mayoría no es un peligro a la salud humana. Sin embargo, estas bacterias no están naturalmente presentes en las aguas subterráneas, por lo tanto son un indicador de la presencia de otros organismos.

Los coliformes fecales y la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) son subgrupos dentro del grupo coliformes totales, se originan de las heces de animales de sangre caliente. La presencia de *E. coli* indica que el agua ha sido expuesta a heces y existe un inmediato riesgo a la salud humana. U.S EPA (2012).

3.9. Agua de pozo en Honduras

“No existe una política nacional relativa al manejo del agua subterránea” se carece de una visión clara de país a nivel de gobierno, para el manejo efectivo de 3,096 pozos perforados, donde se tienen datos de 1250 pozos con una extracción para ocho horas de 450,521 m³ por día, con un abastecimiento a grandes sectores de la población, especialmente en las grandes y medianas ciudades como San Pedro Sula, Progreso, La Ceiba, Choluteca, Juticalpa y Tegucigalpa para cubrir las necesidades de tipo doméstico, industrial, comercial y agropecuario (13% del riego proviene de acuíferos) (Rivera 2004).

Informes técnicos, tal como el de “Contaminación salina del acuífero zona el Tular, municipios de San Lorenzo y Nacaome”, informan que es necesario iniciar un programa de monitoreo tanto de niveles de agua de análisis de calidad fisicoquímica y bacteriológica con los pozos de los acuíferos donde existe intrusión salina (desde el océano pacífico), creándose pasos preferenciales que producen la existencia de zonas de agua dulce rodeadas por agua salina, debido a la heterogeneidad geológica de la zona. Estudios de pre factibilidad de suavización del agua en pozos al Este de Tegucigalpa, indican la alta contaminación por agua “Dura” en muchas zonas de la capital, con conductividades entre 1000 y 3000 microsiemens por centímetro, como medida indirecta de la salinidad del agua subterránea.

Conforme a dicho documento, se identifican diferentes puntos de contaminación como ser la dureza del agua a nivel nacional, problemas de calidad en el Valle de Choluteca, vulnerabilidad del acuífero de Choluteca, manantiales en Copán y Ocotepeque, sabor en pozos de Tegucigalpa, calidad en la zona Sur, Norte y Central del país, calidad en el Valle de Comayagua, donde destacan: la dureza, agroquímicos, metales pesados, salinidad y sulfatos (Rivera 2004).

3.10. Descripción de la geología e hidrogeología

Según la UNESCO (1988) las provincias estructurales que contribuyeron a la formación de las masas de tierra son la Faja de la Cordillera Plegada, las Altiplanicies Volcánicas,

la Trinchera de Comayagua y la Trinchera de Bartlett. La Faja de Cordillera Plegada es una parte de la zona de rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico que se extiende de México en una zona Este - Oeste por Guatemala y a través de Honduras septentrional hasta Nicaragua. Es la principal característica positiva en la formación estructural de la tierra de Honduras.

Las rocas de esta Faja se alzaron repetidamente, se plegaron y sufrieron metamorfismos de intensidad variable. La Faja se extiende al Este y se une a una prominencia larga que comienza en el río Choluteca en la frontera hondureña - nicaragüense, pues se extiende al Noreste por los dos países hacia la costa. De ahí, la dirección continúa como una larga ondulación submarina hasta la isla de Jamaica.

Las Altiplanicies Volcánicas, en el flanco del sur de la Faja de Cordillera Plegada comenzaron como parte de una depresión extensa la cual paraleló la costa Pacífica de la América Central. Durante el Periodo Terciario recibió una gran espesura de lava.

La Trinchera de Comayagua es más reciente y es una depresión mal delimitada que atraviesa las otras. El flanco Septentrional de la Faja de Cordillera Plegada está limitada por otra depresión mal delimitada, que atraviesa las otras. El flanco Septentrional de la Faja de Cordillera Plegada está limitada por otra depresión, la Trinchera de Bartlett, que tiene origen fuera de la costa y extiende al otro lado de Jamaica. (UNESCO 1988).

Estas provincias estructurales de Honduras y de la América Central son solamente pequeños componentes de mayores sistemas de deformación cortical que han formado las cuencas Pacífica y Caribe y los continentes alrededores. La deformación cortical alrededor de las orillas de la cuenca Pacífica, según una hipótesis, la América Central se mueve diferencialmente hacia el pacífico; eso es, Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Panamá del Oeste se han movido 250 km al Suroeste relativamente al área hondureña-nicaragüense, después del clímax de la orogenia Mesozoica - Terciaria. Las fuerzas que activan el movimiento excitan también los volcanes Cuaternarios que abordan la costa pacífica de los países vecinos, según esta hipótesis. (UNESCO 1988).

Las aguas subterráneas se encuentran disponibles en cantidades abundantes solamente en las tierras bajas de la zona norte de Honduras. El nivel freático en esta zona, puede bajar unos pocos metros durante el periodo de marzo a septiembre, pero el rendimiento de los pozos no disminuye sustancialmente. En la zona central y sur, sin embargo, el nivel freático puede bajar muchos metros en el periodo de noviembre a abril; el descenso aumenta progresivamente hacia la región sur y en consecuencia el rendimiento de los pozos puede disminuir considerablemente (UNESCO 1988).

En las regiones onduladas y montañosas se encuentran manantiales dispersos, pero estos tienden a secarse estacionalmente. En los manantiales y pozos de poca profundidad de todo el país, es común la contaminación bacteriana, pero en la mayoría de los otros aspectos, las aguas subterráneas son de buena calidad. Las aguas duras se encuentran en áreas dispersas, sobre todo entre las áreas de rocas calcáreas. En las zonas pantanosas, las aguas pueden ser nauseabundas, tienen malos olores y presentan un color oscuro. En las áreas costeras existe la intrusión marina (UNESCO 1988).

3.11. Unidades hidrogeológicas de la cuenca de Tegucigalpa

3.11.1. Grupo Valle de Ángeles

Este grupo, que interesa casi la totalidad de la parte oriental de la cuenca de Tegucigalpa y Comayagüela. Está representado por dos distintas unidades formacionales estas son:

1. Formación Conglomerática de Villanueva (Kvv) que aflora en la zona Sur-Oriental.
2. Formación Lutítica de río Chiquito (Kvc) que se encuentra en la parte Nor-oriental de la cuenca, comprendiendo también el miembro Piliguin (Kvp), constituido por lutitas arcósicas calcáreas, de modesta extensión areal, que desde un punto de vista hidráulico puede ser asimilado a las lutitas del río Chiquito. Estas dos sobredichas formaciones, parecen estar en formación estratigráfica.

3.11.2. Unidad hidrogeológica Conglomerática (C)

Las características hidráulicas de la unidad Conglomerática no son bien conocidas y las informaciones son limitadas y muy fragmentarias. La formación de los conglomerados está interesada por una serie de fallas y fracturas que podría provocar una anomalía en la dirección de los escurrimientos subterráneos. Los escasos elementos a disposición no permiten determinar las características de tal acuífero y los resultados obtenidos de las investigaciones directas efectuadas no pueden ser extendidos a toda la unidad.

Los datos disponibles tienen por lo tanto, valores estrechamente puntuales e indican una productividad de los pozos perforados en dicho acuífero muy baja, comprendida entre 0.2 y 1.0 l/s.

3.11.3. Unidad hidrogeológica Lutítico - Arenítica del río Chiquito (Va)

El aspecto y el comportamiento hidrodinámico de esta unidad están condicionado por el particular arreglo geo-estructural de los litotipos que la caracterizan, constituidos por limolitas, lutitas y areniscas intensamente fracturadas y complicadas de una tectónica de carácter plegado. De las diferentes relaciones entre los caracteres litológicos tectónicos y geomorfológicos del río Chiquito se pueden distinguir:

- a. Áreas con permeabilidad baja o muy baja, en correspondencia de términos litológicos arcillosos.
- b. Áreas con permeabilidad de discreta a buena, en correspondencia de litotipos areníticos-rudíticos.
- c. Zonas de fracturación y fallas, cuya densidad favorece la circulación hídrica subterránea, con posibilidad de conspicias extracciones.
- d. Zonas donde los accidentes tectónicos producen una disposición discontinua y a veces sinusoidal de los estratos arcillosos intercalados a las capas más arenosas permeables, con consecuentes fenómenos de artesianismo, como ha sido verificado en algunas perforaciones realizadas a lo largo de la carretera Tegucigalpa a Valle de Ángeles.

3.11.4. Grupo Padre Miguel

La secuencia de las rocas volcánicas que constituyen el Padre Miguel ocupa la mayor parte de la cuenca de Tegucigalpa. Litológicamente este grupo está presentado por las ignimbritas, flujos máficos, tobas y sedimentos volcánicos de edades que van desde la oligocénica hasta la miocénica y que se encuentran en posición de horizontal a sub-horizontal, en discordancia estratigráfica con la formación cretácica de Valle de Ángeles.

Los caracteres hidrodinámicos de tales rocas resultan estar condicionados por variaciones laterales de facies, de huecos estratigráficos y de fallas que favorecen y/o impiden las interconexiones hidráulicas.

3.11.5. Unidad hidrogeológica de las Andesitas (An)

Esta unidad caracteriza el margen septentrional de la cuenca de Tegucigalpa, constituyendo un extenso afloramiento en la zona de La Cuesta e incluye todos los litotipos máficos hipoglanulares porfíricos y andesitas. Tales rocas se presentan con un elevado grado de alteración en forma arenosa en la parte superior, mientras que en la parte inferior presentan características de roca más compacta y litoide.

La permeabilidad de este material está relacionada casi exclusivamente a los efectos disyuntivos debido a los accidentes tectónicos que producen zonas intensamente fracturadas con circulación de agua subterránea. Condiciones más favorables para la circulación hídrica subterráneas se encuentran en las partes más superficiales, alteradas de esta formación.

3.11.6. Unidad hidrogeológica de las ignimbritas (I)

Esta unidad incluye las ignimbritas vitrofíricas con cristales de cuarzo y sanidino que están reagrupadas bajo la sigla “Og” del mapa geológico.

Se trata de rocas litoides pseudo estratificadas y fracturadas, aflorantes prevalentemente en la zona de Cerro Grande. Las características hidráulicas y de permeabilidad a través de los pozos obtenidos y de las pruebas de bombeo son bastante modestas con caudales de 3 a 5 l/s para los pozos más productivos.

3.11.7. Unidad hidrogeológica de Las Tobas (T)

En esta unidad se encuentra incluida toda la secuencia miocénica de las tobas ignimbríticas y rocas asociadas de tipo riolítico – andesítico, rocas prevalentemente litoides que derivan de una deposición de tipo primario. Tal unidad hidrogeológica interesa los litotipos cartografiados con la simbología Mpmi, Mpml y Mpmp.

Las tobas ignimbríticas (Mpmi) afloran sobre una extensa faja en correspondencia del límite meridional de la cuenca de Tegucigalpa, caracterizada por una baja y difusa densidad de fracturación. Estas constituyen también un amplio afloramiento en la zona septentrional inmediatamente al Norte de Tegucigalpa, a lo largo de la línea del Picacho, El Hatillo y Cerro La Tigra. Afloramientos menores a placas se encuentran discordantes sobre la formación Valle de Ángeles, de escaso o muy poco interés hidrogeológico.

Las Tobas arcillosas (litotipo Mpmp) afloran inmediatamente al Sur de Comayagüela y a lo largo de la carretera del Batallón. En el ámbito del extenso afloramiento meridional se pueden distinguir tres áreas con un discreto grado de tectonización: el área de las Tranquilas que constituye un limbo al Suroeste interesado tectónicamente por una línea principal que parece ser de tipo disyuntivo y de una serie de fracturas vicareantes; el área del Cerro de la Ardilla al Sureste, interesa por una fracturación de tipo secundario; la tercera área, del Portillo resulta intensamente fracturada, alterada e hidrotermalizada. Los pozos perforados en tal unidad evidencian características hidráulicas de 1 y 4 l/s.

3.11.8. Unidad hidrogeológica de la Riodacita (R)

Esta unidad está presentada por las riodacitas vitrofíricas de edad miocénica, que afloran en el área de la cuenca imbrífera de Los Laureles, a lo largo de la línea de Las Torres-

Las Tapias. Esta faja se extiende aproximadamente 6 km en dirección Este- Oeste y de 1.5 km Norte - Este.

Modestos afloramientos de riolacita vitrofíricas se encuentran presentes también en el área del aeropuerto de Toncontín y cerca de la colonia Mayangle. Esta tiene un espesor de un centenar de metros y se presenta con características prevalentemente litoides y no muy complicada por accidentes tectónicos, a menos que por la presencia de dos líneas de fracturación primaria ortogonales entre ellas, con dirección Noroeste-Sureste en la zona localizada al Norte de Las Torres. La formación está interesada en un complejo por microfisuras (diacclasas) con hundimiento sub-vertical y oblicuo.

3.11.9. Unidad hidrogeológica las Tobas retrabajadas (Tr)

Esta unidad presenta las secuencias miocénica de material piroclástico retrabajado y bien estratificado depositado en ambiente prevalentemente lacustre con presencia de cenizas, tufitas y sedimentos vulcanicos-clásticos de ambiente fluvio-lacustre.

La secuencia de capas piroclásticas retrabajadas y bien estratificadas (Mpmm) se encuentra a lo largo de la zona Sur-Oriental del relieve del Pedregal, inmediatamente subyacente a los basaltos Cuaternarios; su espesor se puede evaluar alrededor de un centenar de metros.

La secuencia de las tufitas y de los sedimentos vulcanicos clásicos (Mpms) ocupa un área centro meridional de la cuenca al Sur de Comayagüela y Tegucigalpa (Toncontín); un modesto afloramiento está representado a la derecha hidrográfica del río Grande en el área de los Jutes. El litotipo está constituido por materiales volcánicos resedimentados en ambiente fluvio-lacustre, a veces con estratificación cruzada y está caracterizado por capas con textura de fina a gruesa de diferente espesor. ¹

¹ NFIDROCT 1987 los pozos perforados e inventariados en esta unidad fueron 177 y las características hidráulicas que se pueden deducir indican una transmisibilidad muy modesta, con caudales variables entre 0.1 y 4.7 l/s por cada pozo.

3.11.10. Unidad hidrogeológica de los Basaltos

Las coladas basálticas están preferentemente representadas sobre el altiplano del Pedregal y subordinadamente en la zona Sur y Sur-Oriental de la cuenca de Tegucigalpa, en coladas yuxtapuestas según distintas etapas eruptivas, separadas y a veces por niveles de subsuelos rojo oscuro arcillificados. Estas han sido puestas en una única unidad hidrogeológica: unidad de los basaltos (B).

Las disponibilidades hídricas de tal unidad son muy pobres y relacionadas exclusivamente a la infiltración local de las aguas meteóricas a través del complejo sistemas de fracturas, originando así unas modestas capas suspendidas sobre las intercalaciones de paleosuelos, generalmente impermeables.

3.11.11. Unidad hidrogeológica de los depósitos aluviales (A)

Esta unidad incluye los depósitos aluvionales y eluviales de edad cuaternaria, indicados en el mapa geológico bajo las siglas Qr, Qel, Qal. Esta está constituida por sedimentos que se pueden relacionar a episodios de expansión y deposición fluvial, a veces terrazados e interesados por facies de rejuvenecimiento (Qal), en zonas de depresión caracterizadas por una paleo morfología y de depósitos de materiales vulcanicos heterogénicos derivados de los desmantelamientos de las rocas in situ (Qel). Tales sedimentos se encuentran a lo largo de zonas más o menos amplias, situadas al lado de los ríos principales y están constituidos por materiales arenosos gravosos conteniendo niveles de limo arcilloso de varios espesores.

Ellos constituyen depósitos acuíferos superficiales de espesor variable y limitados lateralmente por las formaciones autóctonas. En algunos casos se ha observado que estos depósitos contienen agua con alto contenido de contaminación debido a la presencia de descargas o fugas de la red de alcantarillado.

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Materiales

Para realizar el estudio se utilizó receptores GPS, computadora, cámara fotográfica, papelería, Clorímetro, Piezométrico, pipeta, balde, multiparámetro, herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG),

4.2. Descripción del método

Se usó el método cuantitativo y cualitativo. La investigación fue cuantitativa porque se hizo un inventario de pozos (artesanales y perforados) con su respectiva codificación, además, los análisis de parámetros fisicoquímico que fueron comparados con los rangos permisibles según la Norma Técnica de Agua Potable de Honduras (1995). También, se realizó un análisis multivariado de componentes principales y la presentación de gráficos de barras y líneas. Respecto al ámbito cualitativo, se tuvo en cuenta los datos existentes de la información geológica una vez realizada la subdivisión del área de estudio. Asimismo, se tomó en consideración las cualidades propias de cada pozo como ser: ubicación, tipo de pozo, condición de uso, finalidad y exposición a fuentes de contaminación.

4.2. Ubicación y descripción de la zona

El Distrito Central pertenece al departamento de Francisco Morazán. Tegucigalpa y Comayagüela son las ciudades más importantes que juntas conforman el casco urbano, el cual consta de 41 aldeas en un área de 1514.72 km². La temperatura media anual es de 22°C, precipitación media 1002 mm y altura media de 990 msnm. Según el censo del INE (2013) el Distrito Central tiene una población de 1.157.509 personas, con un aumento poblacional del 21.72% en comparación con el censo del 2001. Basado en los datos

anteriores, es evidente que la demanda de agua para consumo y fines productivos aumenta con el tiempo.

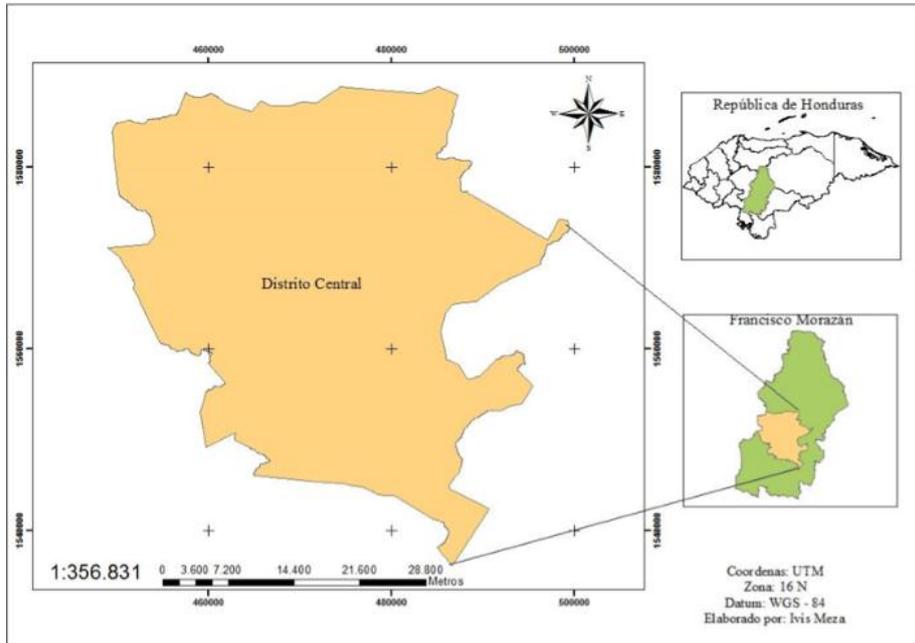


Figura 1. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.

Según el Instituto de Geografía Nacional, el Distrito Central cuenta con cuatro tipos de acuíferos que son: acuíferos locales y extensivos moderadamente productivos; acuíferos locales, moderada a altamente productivos; rocas con recursos de aguas subterránea locales y limitados y acuíferos locales y extensivos, pobre a moderadamente productivos. Siendo este último el más extenso y el más explotado (Anexo 2).

El Distrito Central cuenta con nueve tipos de formaciones litológicas de las cuales cuatro son las más relevantes para este estudio:

- Rocas piroclásticas andesíticas y riolíticas, volcánicas.
- Capas rojas heterogéneas, piedra caliza Jaitique.
- Basalto y andesita flujos piroclástico y umbrales.
- Basaltos y andesitas flujo de rocas piroclásticas.

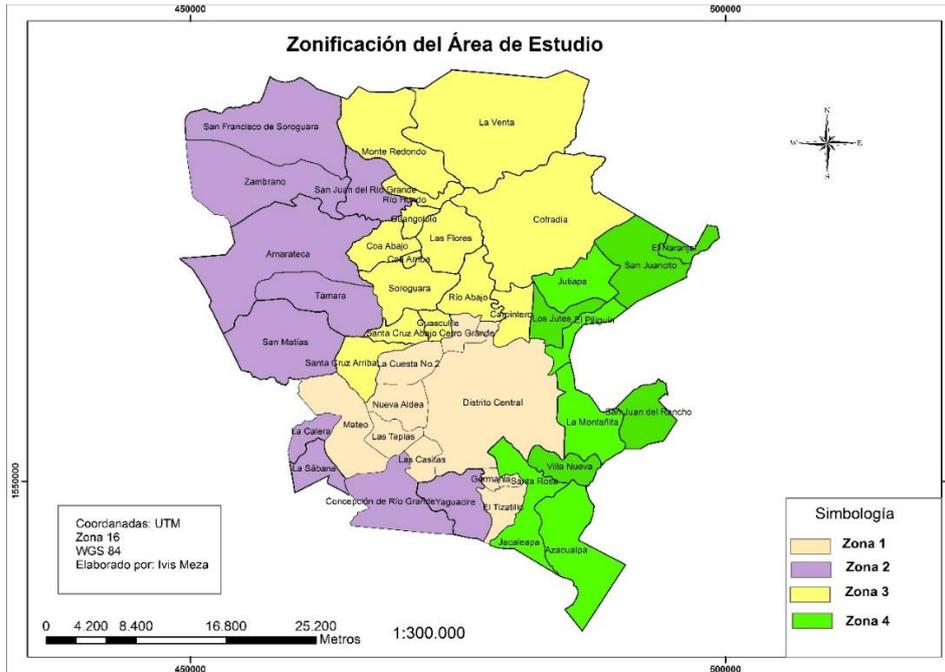


Figura 2. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.

4.3. Elaboración de ficha para el inventario

Para el levantamiento de datos de campo se usó una ficha diseñada por la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) la cual contenía los siguientes datos: fecha, nombre del encuestado, número de hoja, comunidad, ubicación específica, coordenadas WGS-84, tipo de pozo, tipo de bomba, detalles de la bomba, profundidad, nivel estático, diámetro del pozo, caudal estimado (m^3/s), pH, conductividad, temperatura, total de sólidos disueltos, salinidad, cloro residual y observaciones (uso doméstico, industrial, comunitario, número de viviendas abastecidas, condición de abandono, mantenimiento del pozo, posibles fuentes de contaminación y cualquier otro aspecto o condición relevante (Anexo 1).

4.4. Información de datos de campo

Para la ubicación de los pozos se contactaron informantes clave, a la vez se socializaron los objetivos y la importancia del estudio con miembro de la Junta de Agua o Patronato. Seguidamente se hicieron visitas domiciliarias para informar a los dueños de los pozos sobre el estudio. Luego se procedió a la georeferenciación de los mismos utilizando

receptores de GPS. Con lo anterior, se inició el proceso de recolecta de información para la base de datos de cada pozo. La información obtenida con el receptor GPS (coordenadas UTM) y la información de la ficha, fue tabulada y analizada con las herramientas de Sistema de Información Geográfica para la interpretación de los datos y generación de mapas temáticos.

4.5. Selección de los puntos y toma de muestra

Los puntos de muestreo se seleccionaron tomando en cuenta las cuatro zonas presentadas en la figura 1. Al llegar a cada zona, se contactó al encargado de suministro de agua para ubicar cada pozo, teniendo el cuidado de seleccionar solamente aquellos pozos que no tuviera alteración externa en las propiedades del agua.

Se tomó la muestra de agua para hacer los análisis de parámetros puntuales de los pozos que fuera posible (algunos estaban sellados, otros presentaban el agua demasiado sucia como para hacer análisis). Se muestrearon pozos artesanales y perforados mediante el equipo multiparámetro YSI Incorporated 556 MPS en recipientes (balde de ocho litros) ambientado con el agua del pozo tres a cuatro veces. Para medir el cloro, se utilizó el clorímetro HACH DR /990 de campo y con los pozos perforados se tuvo el cuidado de tomar la muestra antes que el agua llegase a la cisterna para asegurar la fiabilidad de los datos. A cada pozo visitado se le llenó la ficha de registro.

4.6. Variables evaluadas

4.6.1. Profundidad del agua

La medición del nivel del agua respecto a la superficie se hizo con piezómetro Solinst modelo 10. Consiste en una sonda graduada en pies, que permitió mediciones precisas la cual se introdujo dentro del pozo dejándole deslizar hasta conseguir un sonido de alarma del aparato que indicó contacto con el agua. Se midieron solo los pozos accesibles ya que algunos estaban sellados, generalmente pozos perforados. Inmediatamente se procedió a

registrar el dato en la ficha. Esta sonda alcanza 200 pies, por lo que además de medir el nivel del agua se midió la profundidad del pozo.

4.6.2. Temperatura, pH, sólidos totales disueltos, salinidad y conductividad eléctrica

Estos parámetros se midieron directamente en campo con el multiparámetro portátil, marca YSI Incorporated modelo 556 MPS. Esta medición se realizó colocando el aparato dentro del agua en el recipiente previamente ambientado; esto se hizo de manera rápida por tres minutos aproximadamente hasta que se lograra la estabilidad de los datos. Los valores medidos fueron anotados en la ficha correspondiente y posteriormente se procedió a lavar el multiparámetro con agua destilada y seguidamente se secó con papel toalla para no alterar los resultados de la próxima medición, y así sucesivamente hasta obtener el último dato.

4.6.3. Cloro residual

La medición del cloro (mg/l) se realizó con un aparato portátil HACH DR /990 Colorímetro. El proceso de medida se hizo con dos frascos de vidrio graduado en ml, donde se colocó uno de los frascos que contiene solución cero de cloro y otro con la muestra de agua. De inicio se introdujo el primer frasco en el clorímetro y posteriormente el segundo frasco para la lectura de la muestra. Este procedimiento se hizo en pocos segundos ya que el cambio de temperatura del agua puede alterar el dato real.

4.7. Identificación de amenazas de contaminación

Esta identificación dependió de la información que proporcionaron los dueños o encargados de los pozos y lo observable a simple vista. Se consideraron: las gasolineras, uso de agroquímicos, cementerios, letrinas, pozos a la intemperie y sin revestimiento.

4.8. Presentación de resultados

Los resultados fueron presentados mediante diferentes tipos de gráficos para cada una de las variables. Además, se realizó una combinación de variables para identificar y categorizar los pozos (artesanales y perforados) de manera espacial de acuerdo a las condiciones de calidad de agua según cuatro parámetros evaluados (pH, conductividad, salinidad y sólidos disueltos). Por último, se realizó un análisis multivariado de componentes principales donde se visualizó la agrupación y distribución de los pozos muestreados basados en cinco parámetros de calidad de agua (pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos y cloro residual).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Inventario de pozos

El inventario y la medición de parámetros de calidad de agua de los pozos en el área de estudio fueron realizados en el periodo del 19 de noviembre 2015 al de 10 febrero 2016. Los pozos seleccionados fueron 115 y se sumaron a la base preliminar de 70 pozos registrados del departamento de Investigación e Información de DGRH. En total fueron 185 pozos de los cuales, 56 artesanales y 129 perforados.

En la zona noreste del DC (El Naranjal, San Juancito, Los Jutes) no se inventarió ningún pozo solamente en El Piliguín un pozo artesanal² debido a que son abastecidos con agua potable del Parque Nacional La Tigra. Por motivos de seguridad, no se visitaron las aldeas: Coa Abajo, Coa Arriba, Guangololo, El Naranjal y La Montañita.

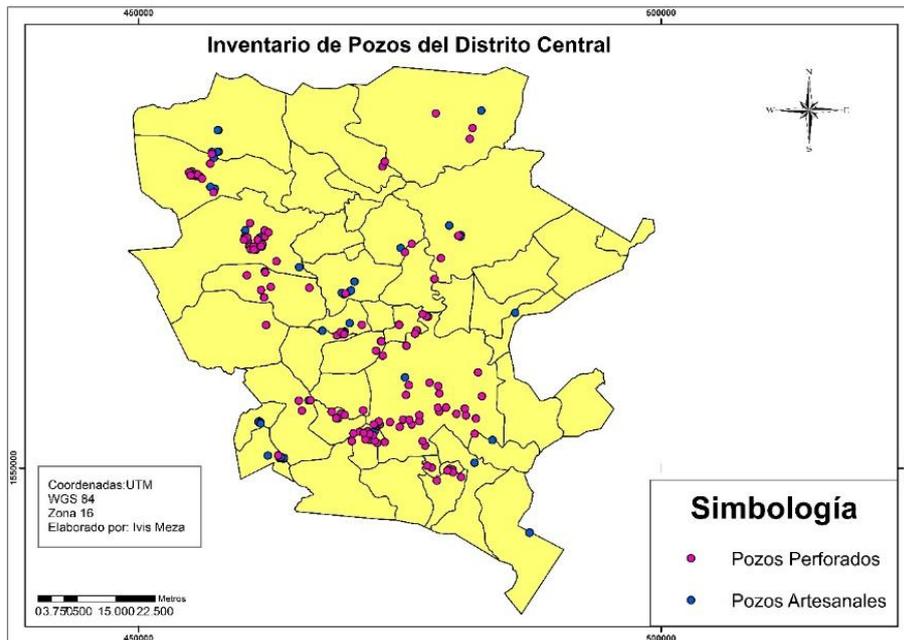


Figura 3. Distribución de pozos inventariados para una mejor apreciación espacial.

² Asociación de Amigos de la Tigra (AMITRIGRA) informó que el Servicio de Acueductos y Alcantarillados SANAA tiene alrededor de tres pozos los cuales quedaron pendiente para que la DGRH haga el respectivo seguimiento.

5.2. Profundidad de los pozos

Los datos obtenidos a través de las mediciones piezométricas indicaron que la profundidad promedio de los 42 pozos artesanales fue de 11.3 m, habiendo un rango de 2 m hasta 39 m. Respecto a los pozos perforados, solamente a 85 se les conoció la profundidad teniendo un rango 21.3 m a 300 m con un promedio de 118 m. En ambos casos se encontraron pozos sellados, por tanto no se midió la variable.

5.3. Calidad del agua

Normalmente se cree que el agua subterránea siempre es de buena calidad y por lo tanto, no requiere mayores tratamientos para su consumo. A través de esta investigación se ha logrado comprobar que en el Distrito Central la anterior aseveración no es del todo aplicable debido a que las aguas presentan algunos problemas que pueden afectar la salud humana. Además se encontró unas 2794 viviendas dependientes de las aguas subterráneas que equivalen a 13970 personas según la proyección del INE (2013).

5.3.1. Temperatura

De los 56 pozos artesanales, se midió la temperatura a 45 donde se obtuvo un mínimo de 17.2 °C y máximo de 32.1 °C. Respecto a los pozos perforados, de los 129 seleccionados solamente se midió la temperatura a 103 teniendo como mínimo 19.95 °C y máximo de 43.49 °C. El promedio para pozos artesanales fue de 22.53 °C y 27.79 °C para pozos perforados, mostrando una diferencia de 5.26 °C que podría atribuirse a que los pozos artesanales están más expuestos a la temperatura del ambiente.

Según Mayorga (1989) el rango de temperatura del agua para consumo humano en Honduras es de 18°C a 30°C. Por lo tanto, no toda el agua de los pozos cumple con esta norma principalmente el de los perforados.

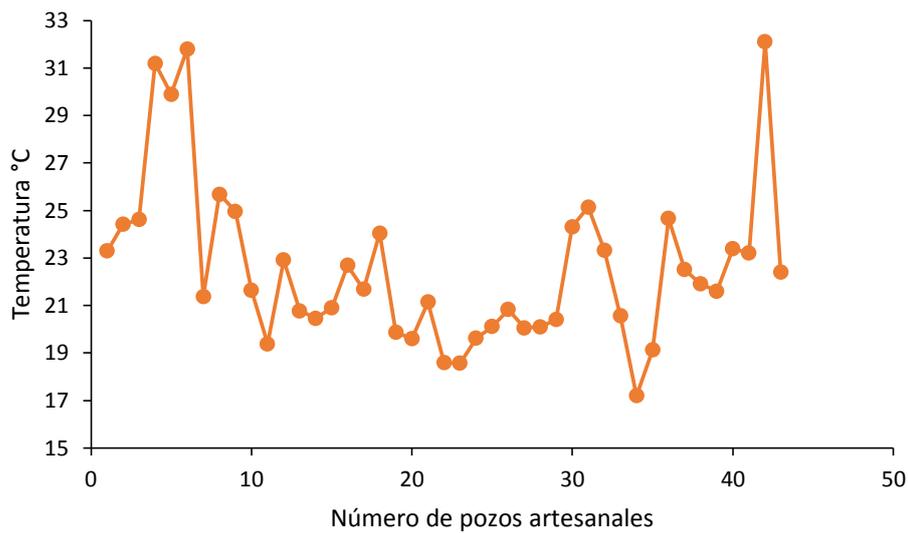


Figura 4. Medición de temperatura °C en pozos artesanales.

De los pozos artesanales solamente tres registraron temperaturas por encima de lo estimado para Honduras según Mayorga (1989) que es de 18 a 30 °C. Cabe destacar que son temperaturas que apenas superan en 1.1 °C el rango sugerido.

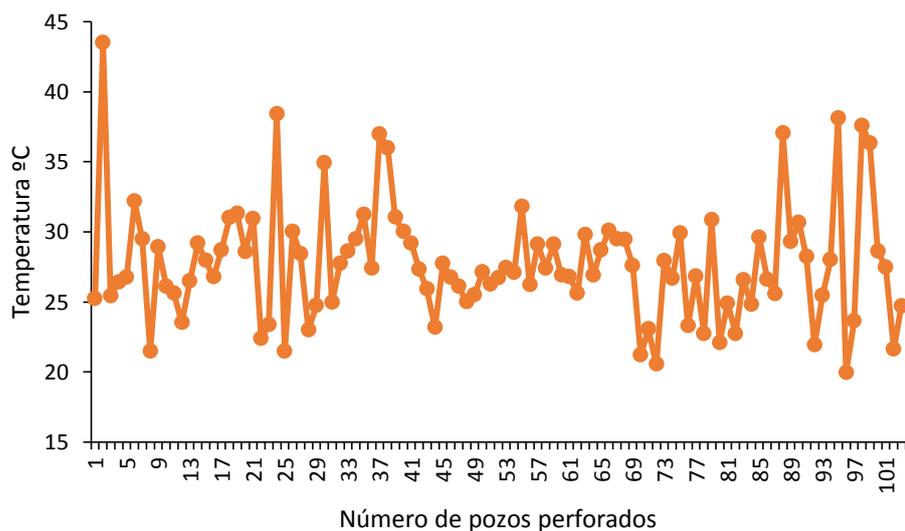


Figura 5. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.

En relación a los pozos perforados únicamente 20 registraron una temperatura por encima de lo estimado para Honduras según Mayorga (1989). Algunas de las temperaturas más altas se registraron en la aldea Amarateca a una altura de 971 msnm y en la aldea Las Flores a 1030 msnm. Se cree según percepción de los pobladores que es producto de acuíferos térmicos.

5.3.2. pH

Según la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable en Honduras (1995) el pH del agua para consumo humano debe estar en el rango 6.5 a 8.5. De los pozos artesanales medidos, se obtuvo un pH promedio de 6.64 considerado dentro del rango permisible. No obstante, 19 pozos estaban por debajo de este rango. Para los pozos perforados se identificaron 52 con valores por debajo de los parámetros permisibles, el promedio medido fue de 6.25 (Figura 6 y 7).

En general más del 46% de los pozos tuvieron un pH por debajo de lo permisible y ningún pozo supero en términos de pH el límite según la Norma Técnica vigente.

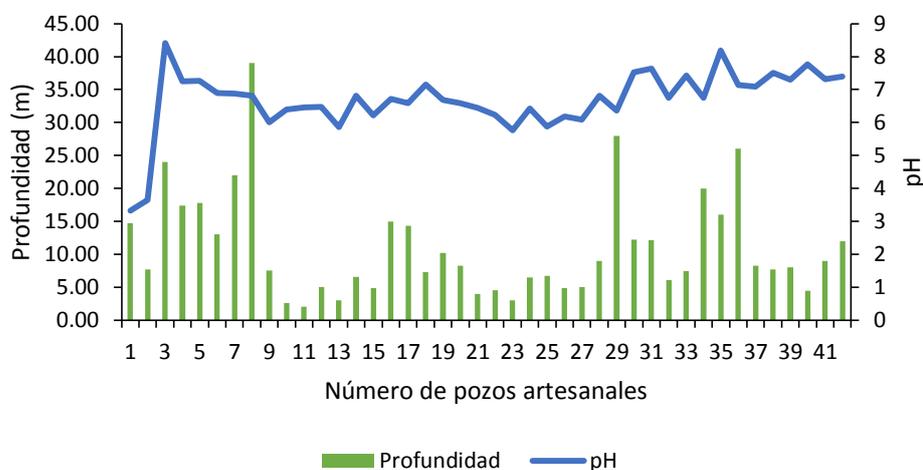


Figura 6. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.

El pH más bajo se encontró en la formación litológica andesíticas y riolíticas piroclásticas, rocas volcánicas con valores de pH mínimo de 3.32 a una profundidad de 14.69 m ubicado en la aldea Mateo (zona de industria textil). El máximo de pH fue de 8.41 a una profundidad de 24 m en formación litológica de basalto y andesita flujos piroclásticas en una zona industrializada de la aldea Zambrano. Cabe mencionar que se desconoce si la formación geológica modifica los valores de pH, o en su defecto se debe a una actividad antropogénica realizada en la zona.

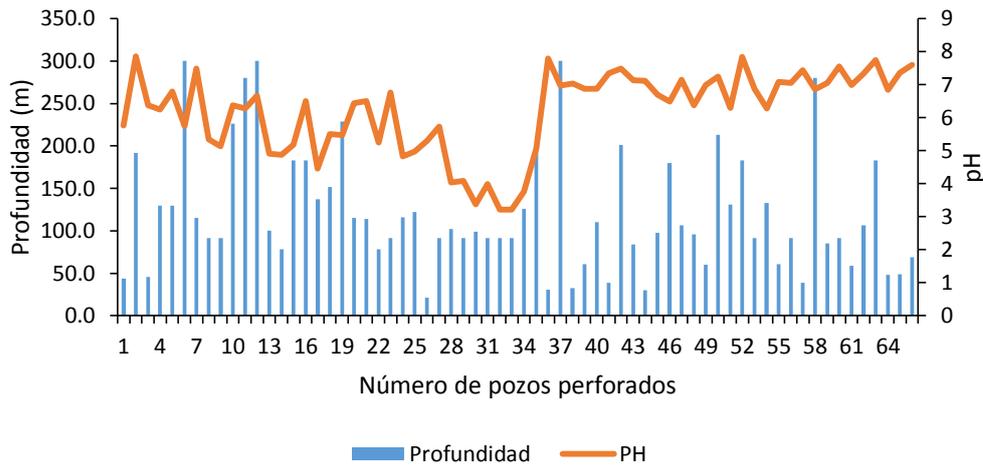


Figura 7. Medición de temperaturas °C en pozos perforados.

Los resultados obtenidos mostraron que el 48.48% de los pozos registran pH que va desde 3.21 a 6.48 con un promedio de 5.19, éstos valores están por debajo de lo permisible según la Norma Técnica.

Dichos pH fueron encontrados en pozos ubicados en formaciones litológicas rocas volcanoclásticas, piroclásticas andesíticas y riolíticas. Además los valores más bajos se encontraron en la zona Sur del Distrito Central donde podría relacionarse con la concentración de industrias que existen en esta zona y por la formación de capas rojas heterogéneas, piedra caliza Jaitique (Anexo 2). Con esto, no se atribuye la variación de pH a la formación geológica, faltaría realizar estudios para determinar el origen de esta conexión (pH - geología).

5.3.3. Salinidad

Según los resultados obtenidos el 50% de los pozos artesanales presentaron valores que superaron lo permitido por la norma Técnica. De los pozos perforados el 81.5% está por encima del valor. En términos generales esto indica que existe tendencia a solidos totales disueltos y conductividades altas.

5.3.4. Conductividad

En los pozos artesanales la conductividad más altas que van desde 509 $\mu\text{s}/\text{cm}$ hasta 1205 $\mu\text{s}/\text{cm}$ se encontraron en grupos de rocas de flujo volcánico, esto puede deberse posiblemente al origen geológico donde estaban ubicados estos pozos. Asimismo, también se encontró conductividad alta en toba volcánica piroclásticas, con valores por encima de lo permisible pero no tan extremos como en el flujo volcánico. Basado en lo anterior, la conductividad está relacionada con el material geológico, pero no se descarta la intrusión de otros agentes que modifiquen dicha conductividad. De los pozos muestreados, el 35.71% está por encima de lo que establece la Norma Técnica que es de 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

También se pudo relacionar la profundidad con la conductividad y se observó una tendencia directamente proporcional en ciertos casos. No obstante, se encontró alta conductividad en pozos poco profundos (Figura 8)

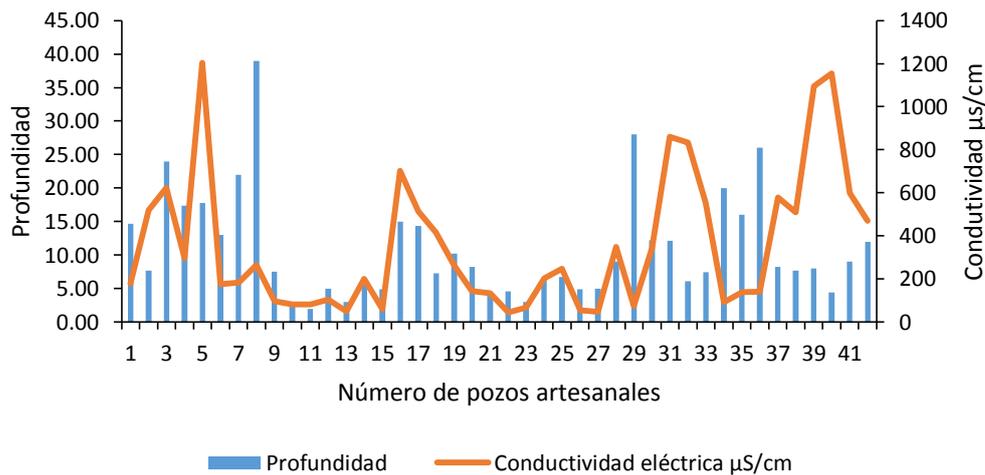


Figura 8. Relación de profundidad y conductividad en pozos artesanales.

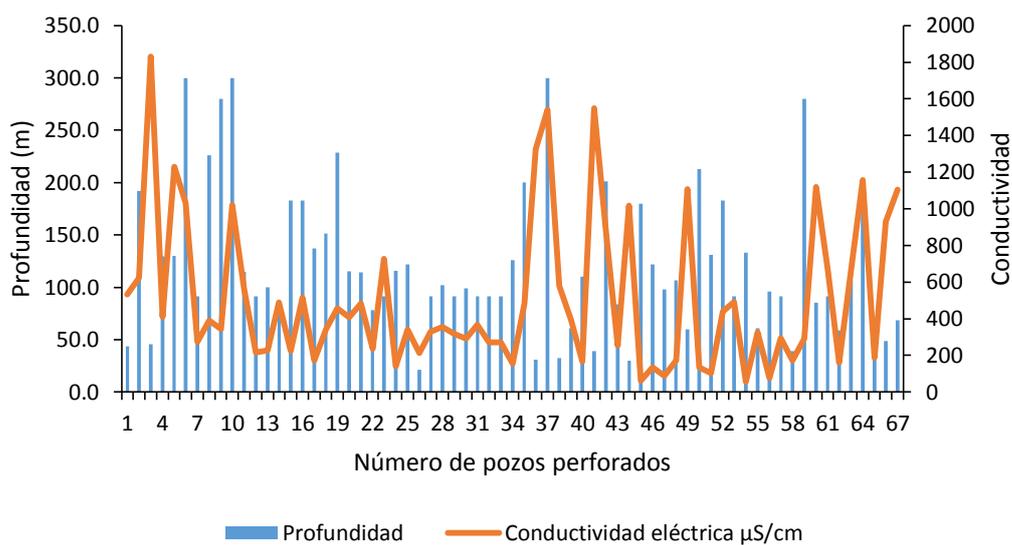


Figura 9. Relación de profundidad y conductividad de pozos perforados.

De los pozos perforados, los resultados mostraron que 28 presentaron valores de conductividad por encima de lo permisible según la Norma Técnica. Se encontró conductividad que va desde $408\mu\text{s}/\text{cm}$ hasta $2796\mu\text{s}/\text{cm}$. Estos pozos están ubicados en la aldea las Casitas, el casco urbano del Distrito Central y Amaratéca, en las formaciones litológicas volcánicas, piroclásticas andesíticas y riolíticas, capas rojas heterogéneas, piedra caliza Jaitique (Anexo 3).

5.3.4. Sólidos totales disueltos

Este resultado mostró que el 100% de los pozos artesanales (42) se encontraron dentro del límite permisible por la Norma Técnica que es de 1000 g/l . En cambio de 103 pozos perforados en ocho se registraron valores por encima del límite llegando hasta un máximo de 1764 g/l .

La concentración de sólidos disueltos está estrechamente relacionada con la conductividad y salinidad. Cuando aumenta una de estas variables, las otras dos tienden a tener el mismo comportamiento. Esto fue expuesto por Rivera (2004) según estudios realizados en el este de Tegucigalpa donde encontró que la alta contaminación por agua “Dura” en muchas zonas de la capital presentaba conductividad entre 1000 y 3000 microsiemens por centímetro.

5.3.5. Cloro Residual

Según la Norma Técnica de Honduras el cloro residual permitido debe oscilar entre 0.5 a 1.0 mg/l. De los pozos artesanales medidos, ninguno excede el rango de la Norma Técnica pero sí la mayoría está por debajo de 0.5 hasta 0.11 (figura 10). Es de aclarar que los resultados son de muestras de agua sin tratamiento previo.

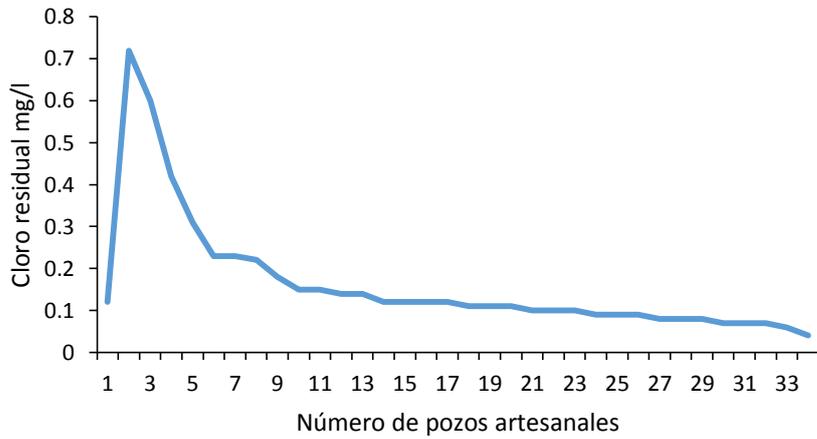


Figura 10. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.

Respecto a los pozos perforados, las concentraciones de cloro fueron más bajas en comparación a pozos artesanales. Los rangos oscilaron de 0 a 0.26, presentando valores por debajo de lo permisible por la norma técnica (Figura 11). Estas muestras fueron tomadas en pozos sin tratamiento previo de cloración.

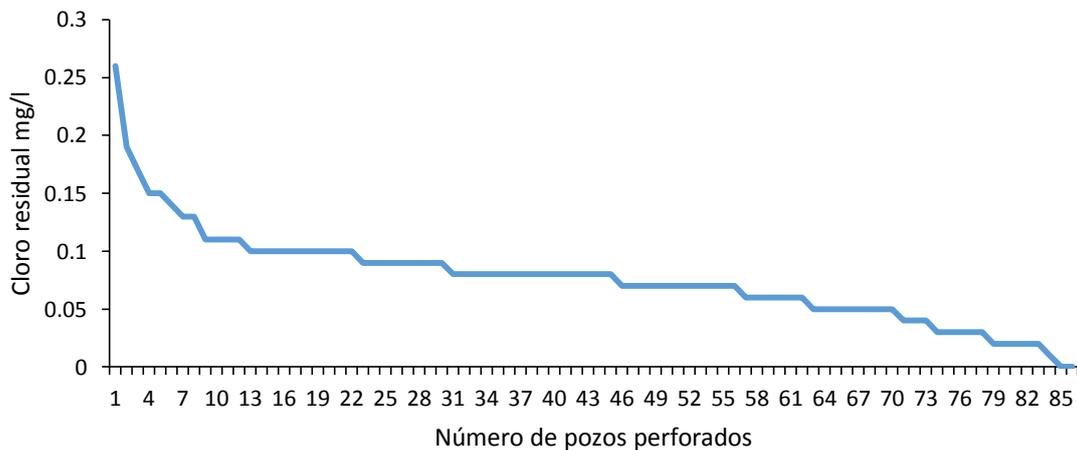


Figura 11. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.

5.4. Análisis multivariado

El resultado de este análisis mostró la relación de variables. Las líneas más largas en el componente principal uno, son las más importantes. Los sólidos totales disueltos, salinidad y la conductividad están relacionadas porque al aumentar una de estas variables, aumentan las otras dos.

Respecto a las demás variables (pH, temperatura y cloro residual) no existe relación alguna entre ellas, tampoco son representativas para alterar las variables principales (sólidos totales disueltos, salinidad y conductividad) (Figura 12).

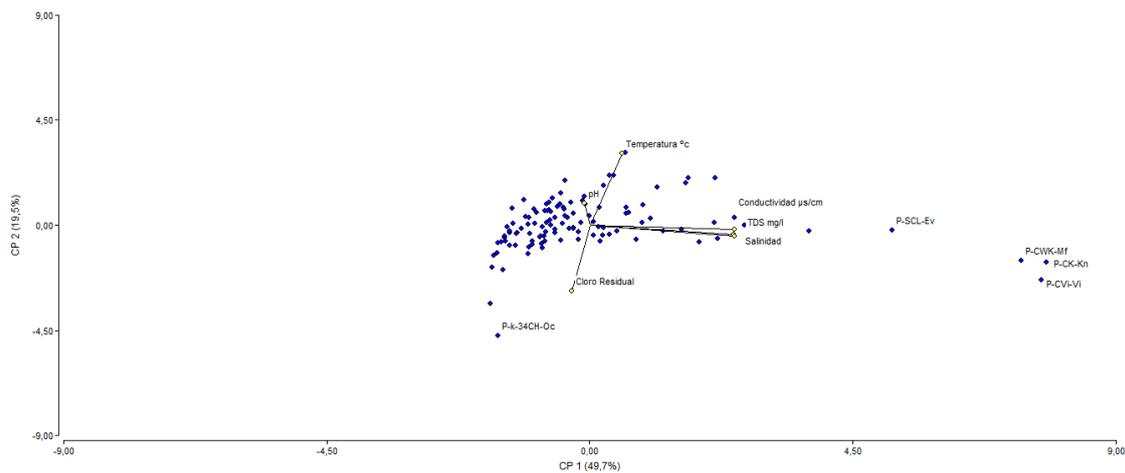


Figura 12. Concentraciones de cloro residual en pozos artesanales.

5.5. Criterios de categorización de la calidad de agua

Se realizó una categorización de acuerdo a cuatro parámetros de calidad de agua (pH, conductividad, TDS y salinidad) considerados para consumo humano. No se consideró el cloro porque los pozos clorados no fueron medidos. La categorización realizada tuvo un máximo de cinco clases, siendo 0 la categoría “muy mala” y 4 “Condiciones ideales”.

Variables consideradas para categorización de calidad de agua.

Condiciones de cumplimiento de lo establecido por la Norma: cumple valor 1, no cumple valor de 0. El mismo criterio para las cuatro variables.

Categorías de acuerdo al cumplimiento de parámetros de calidad de agua:

Valor de 4: Condiciones ideales.

Valor de 3: Muy bueno.

Valor de 2: Bueno.

Valor de 1: Malo.

Valor 0: Muy malo.

Con lo anterior, se realizó un análisis mediante herramientas de SIG y se identificó de manera espacial la distribución de los pozos de acuerdo a cada categoría. Esto se hizo para pozos artesanales y perforados (Figura 13 y Figura 15).

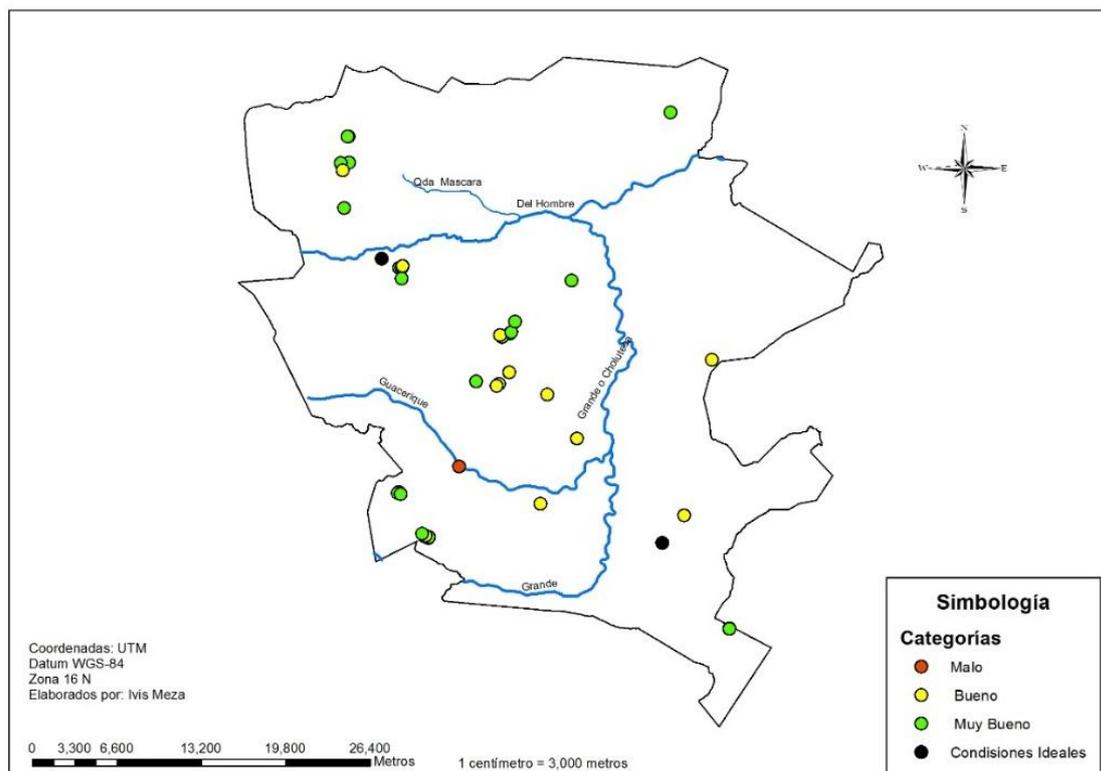


Figura 13. Distribución espacial de categorías de calidad del agua en pozos artesanales.

La calidad de agua de los pozos artesanales presentó un 70% de condiciones muy buenas a ideales para consumo humano en función a los cuatro parámetros analizados (Figura 16). Criterio valorizado tomando en cuenta el cumplimiento de la normativa vigente.

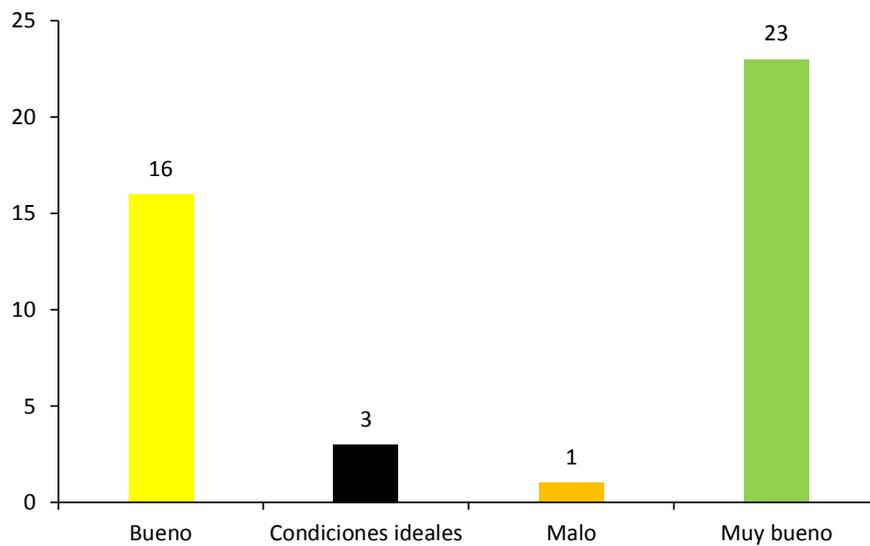


Figura 14. Distribución espacial de categorías de calidad del agua en pozos artesanales.

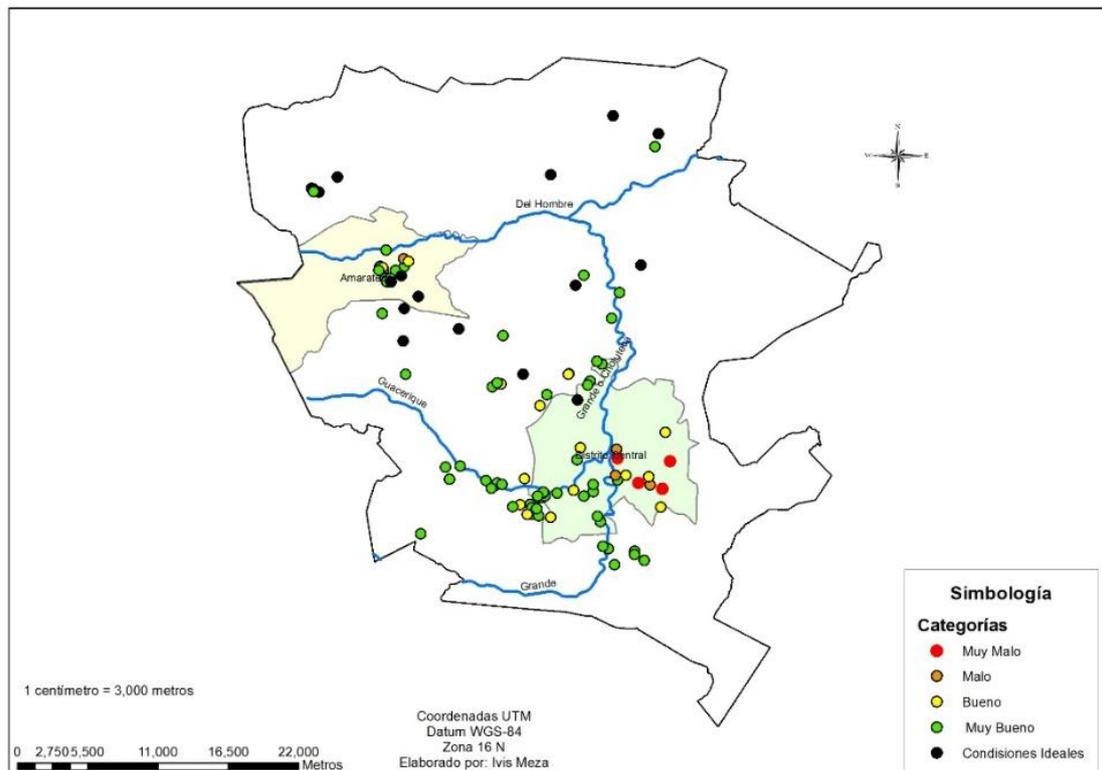


Figura 15. Distribución espacial de categorías de calidad del agua en pozos perforados.

Para los pozos perforados, el 73.8% mostraron condiciones muy buenas a ideales, dato muy cercano a los artesanales. Solamente el 7.8% mostró condiciones de malo a muy malo (Figura 16).

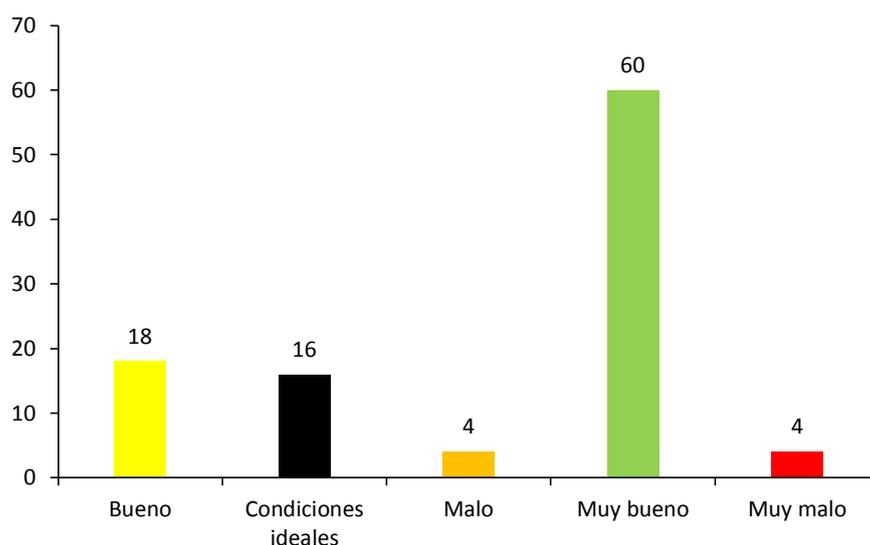


Figura 16. Número de pozos perforados según categorías de calidad del agua.

5.6. Posibles amenazas de contaminación

5.6.1. Zonas residenciales

En el Distrito Central se encontraron aldeas que no disponen de un sistema adecuado de saneamiento básico, siendo el uso de letrinas y fosas sépticas el sistema más común encontrado. Cabe resaltar que estos sistemas son construidos sin los requerimientos técnicos y en la mayoría de los casos a criterio de un maestro de obras o “albañil” sin ningún tipo de control o supervisión. Esto conduce a pensar en una posible migración de agentes patógenos que pueden contaminar principalmente a pozos artesanales.

5.6.2. Industria

La actividad industrial principalmente en Tegucigalpa y Comayagüela generan residuos líquidos sin tratamiento alguno lo que provoca una importante lixiviación de contaminantes. En este estudio no se logró identificar las industrias que potencialmente podrían contaminar, pero por observación y antecedentes se saben que existen establecimientos como gasolineras que son una amenaza latente de contaminación.

5.6.3. Cementerios

Se encontraron pozos dentro de cementerios. Esto es preocupante porque dependiendo de la geología e hidrogeología local, los cementerios podrían convertirse en una fuente puntual de contaminación, debido a la descomposición de cadáveres y aún más, si éstos han sido tratados con medicamentos radiactivos pre-muerte. El nivel de la capa freática y el tipo de suelo, son determinantes para que se produzca o no dicha contaminación.

5.6.4. Pozos sin revestimiento

Se encontraron pozos artesanales que no tenían ningún tipo de protección lo que aumenta la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación difusa o cualquier otro tipo de contaminante, por ejemplo las heces fecales se vuelven una amenaza potencial de contaminación para los pozos destapados y en terreno de media o alta pendiente en temporada lluviosa.

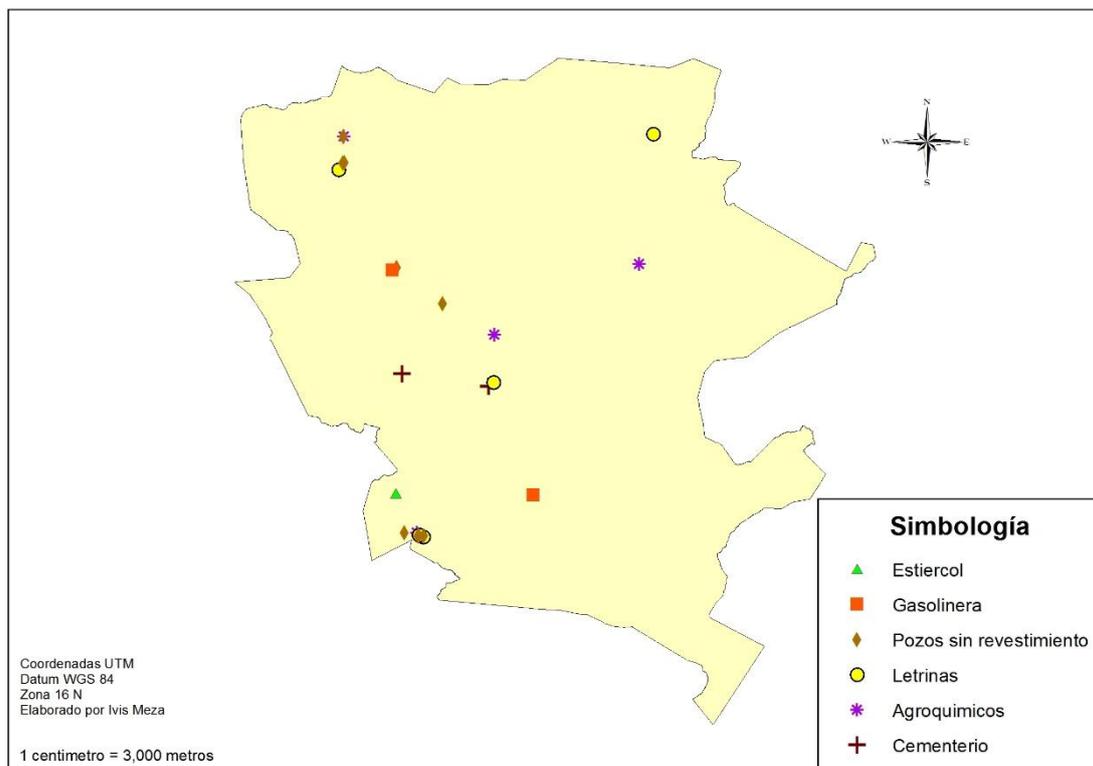


Figura 17. Posibles fuentes de contaminación de los acuíferos.

Según esta investigación se encontraron seis posibles fuentes de contaminación: estiércol, pozos sin revestimiento, cementerios, gasolineras, letrinas y agroquímicos. Cabe mencionar que estas fuentes de contaminación solo representan el 62% del total de los pozos y el 38% restante fueron censados por el Departamento de Investigación e Información de la Dirección General de Recursos Hídricos y no se consideró este criterio.

VI. CONCLUSIONES

Hay comunidades que no se benefician del sistema público de suministro de agua esto ha llevado que se opte por alternativas como la perforación de pozos a pesar de los elevados costos de perforación y operación.

De los pozos seleccionados, los perforados fueron más del doble de los artesanales (129 a 56) y son actualmente explotados por el sector privado. Además, de los 129 pozos perforados 114 no pagan el canon por su uso.

No hay regulación, control ni registro público de las perforaciones, esto hace más vulnerables a los acuíferos a contaminarse y ser sobreexplotados.

No existe una normativa pública que regule el uso y manejo de las aguas subterráneas, solamente se ha iniciado el proceso de crear el reglamento.

En la mayoría de las comunidades, la ausencia de un sistema de colección y tratamiento de aguas residuales domésticas provocan la contaminación del acuífero ya que la forma más común de evacuar dichas aguas son las fosas sépticas.

La cantidad de pozos perforados es alta y se está concentrando en zonas industrializadas y/o con este potencial. Esto pone en evidencia el riesgo de sobreexplotación y contaminación del acuífero en el Distrito Central.

VII. RECOMENDACIONES

Proteger los pozos artesanales que están sin revestimiento por lo menos tres metros de profundidad para reducir las infiltraciones de aguas vertidas, y un anillo de protección alrededor para evitar el flujo de escorrentía superficial.

Sociabilizar los resultados de este estudio con los beneficiados y las autoridades locales a fin de crear mayor conciencia de amenazas potenciales de contaminación a las que está siendo sometido el acuífero.

Crear la normativa y los medios de ejecución de la misma para la explotación de aguas subterráneas en Honduras.

Establecer un sistema de monitoreo de pozos artesanales y perforados sobre la cantidad y calidad del agua subterránea para prevenir daños a la salud humana y al ambiente.

Crear alianzas o convenios con instituciones públicas o privadas para hacer análisis microbiológicos y otros parámetros necesarios para monitorear la calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

Cardona, A; Carrillo, RM; Amienta, AH. 1993. Elementos traza: contaminación y valores de fondo en aguas subterráneas de San Luis Potosí, S.L.P., Mx. Geofís. Vol. 32 (2):227-286.

Carrillo R, y Armienta. MA. 1989. Diferenciación de la contaminación inorgánica en las aguas subterráneas del valle de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. México. Geofís. Int., Vol. 28-4, pp. 763-783.

CEPIS 2002. (a) Guías OMS para la calidad del agua de bebida. (En línea) consultado set 14 2015. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/>.

Collazo M. y Montaña J. (2012). M.G.A.P. / P.P.R. Manual de Agua Subterránea.

FÁBREGAS, J. 1998. Explotación y control de aguas subterráneas urbanas en el municipio de Murcia. Jornada Técnica Aguas Subterráneas. 24 p.

INTA, 1973. Manual para perforación de pozos. Ministerio de agricultura y ganadería de Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 47 p.

Lagos Macias HR.2002. Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguaré, Honduras. (en línea). Consultado 17 set 2015. Disponible en bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2270/1/T1548.PDF

LLAMAS, R.; CUSTODIO E. 1998. Agua y Desarrollo, Madrid, España. (en línea). Consultado 16 set. 2015. disponible en: <http://www.cidob.es/castellano/publicaciones/afer/45-46llamas.html>

MOORE, J.E., ZAPOROSEK, A. AND MERCER, J.W., 1995. Groundwater A Primer. American Geological institute, Alexandria, Virginia. 550 p.

OPS, 1987. Criterios relativos a la salud y otra información de base. OPS. Guía para la calidad del agua potable. (Washington, Estados Unidos). P 200-220.

OPS, 1995. Normas de calidad de agua. Organización Panamericana de la Salud. 23 p.

RHEINHEINER, G. 1987. Microbiología de las aguas. Traducción del Alemán por José Romero. 4ed. Zaragoza, España. Acribia. 560 p.

Rivera K. 2004. Usamos agua de pozo.(en línea). FAO, Revista Electrónica de la REDLACH, Cartas de Opinión. 1(1):8. Consultado 12 set. 2015. Disponible en www.produccion-animal.com.ar/agua.../31-usamos_agua_de_pozo.pdf

SOLLEY, W.B; PIERCE, R.R; y PERLMAN, H.A. 1993. Estimated use of water in the United States in 1990. U.S. Geological Survey Circular 1081. p 14-21.

U.S. EPA. 2012. Recreational Water Quality Criteria (en línea). Consultado 04 nov.2015. Disponible en water.epa.gov

Valencia Cuestas, M. 2010. Ciclo hidrológico y los acuíferos. (en línea). Consultado 14 oct 2015. Disponible en <http://www.aguassub.com/aguassubpdf/1AGUASSUBTERRANEASTEMA%203-CICLO%20HIDROLOGICO%20Y%20ACUIFEROS.pdf>

SANAA. Proyecto de incorporación de Aguas Subterráneas y de la Fuentes de la Montaña El Chile para el Abastecimiento Hídrico de Tegucigalpa, (6, Tegucigalpa, HN). 1987, Informe. Tegucigalpa, HN. 72 p.

MAYORGA J. J. 1988. Water quality of low stream on the “cerro Guanacaure” watershed, Choluteca, HN. Tesis Mag. Sc. School of renewable natural resources. University of Arizona. 60 p.

Primer Taller Sobre el Mapa Hidrogeológico del Istmo Centroamericano y México, (1, San José, CR). 1988, Taller. Ed. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina. Montevideo, UY. 74 p.

Eppler, D., Fakundiny, R., and Ritchie, A. (1986). Reconnaissance evaluation of Honduran geothermal sites. Los Alamos National Laboratory. 15 p.

AMADOH. (2008). Descripción de la asociación de madereros de Honduras.

Simmons, C. S. (1969). Los suelos de Honduras. Informe al Gobierno de Honduras. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Conductividad Eléctrica/Salinidad. Folleto informativo, 3130. (en línea). Consultado 01 jun. 2016. Disponible en http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf

Instituto Geográfico Nacional. InterAmerican Geodetic Survey 1991. Mapa Geológico de Honduras.HN, Tegucigalpa. Esc 1:500.000.

ANEXOS

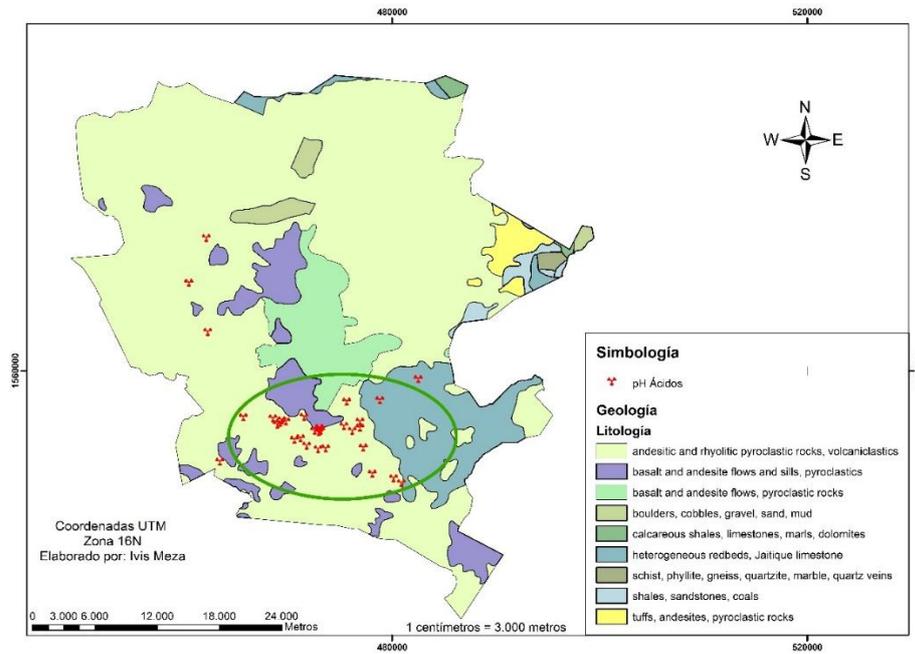
Anexo 1. Ficha para registro de los datos en campo.

**Dirección General de Recursos Hídricos
Departamento de Hidrogeología**

Ficha para Censo de pozos

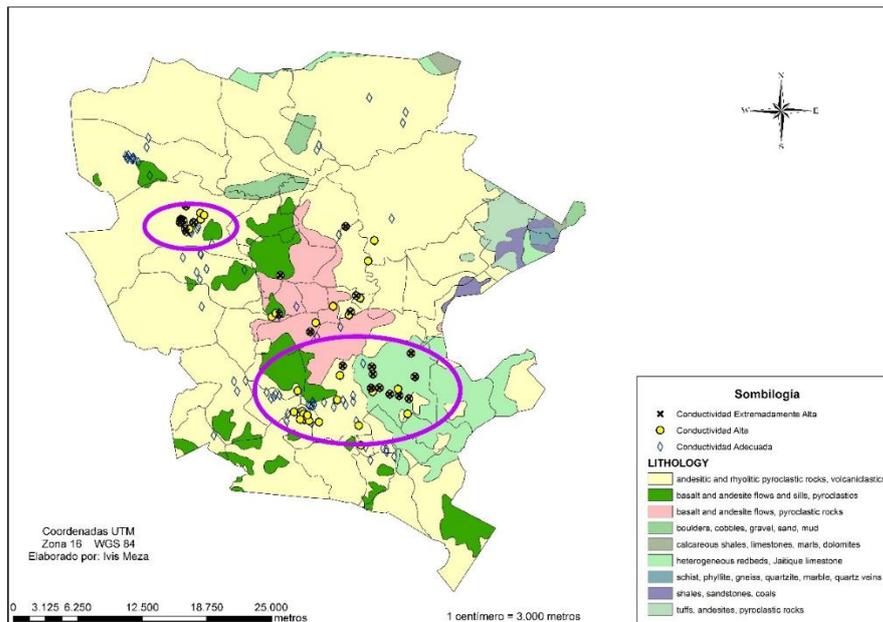
Fecha		Encuestado	
# de Hoja	Municipio	Comunidad	Ubicación específica
Coordenadas WGS 84 X _____ Y _____ Z _____			
Tipo de Pozo Artesanal__ Perforado__		Tipo de Bomba	Detalle de Bomba
Profundidad del pozo	Nivel estático	Diámetro del pozo	Caudal estimado
Química del Agua pH _____ Conductividad _____ Temperatura _____ TDS _____ Salinidad _____ Cloro Total _____			
Observaciones		Tipo de pozo X: Y: Z: Prof: N.E. Diam:	

Anexo 2. Distribución de pH ácidos en pozos perforados.



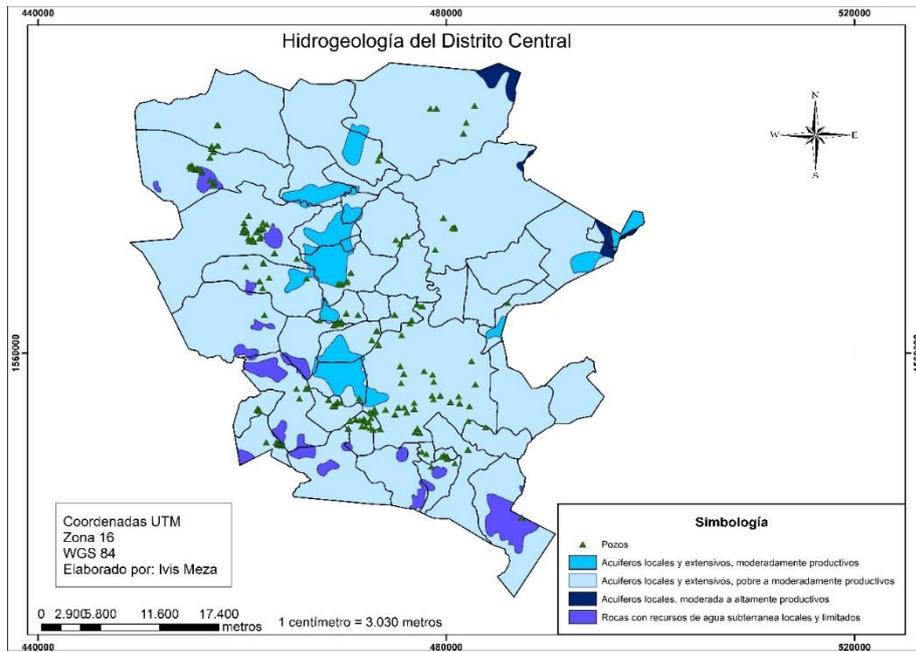
Anexo 3. Distribución de pozos con alta conductividad eléctrica.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. InterAmerican Geodetic Survey (1991)

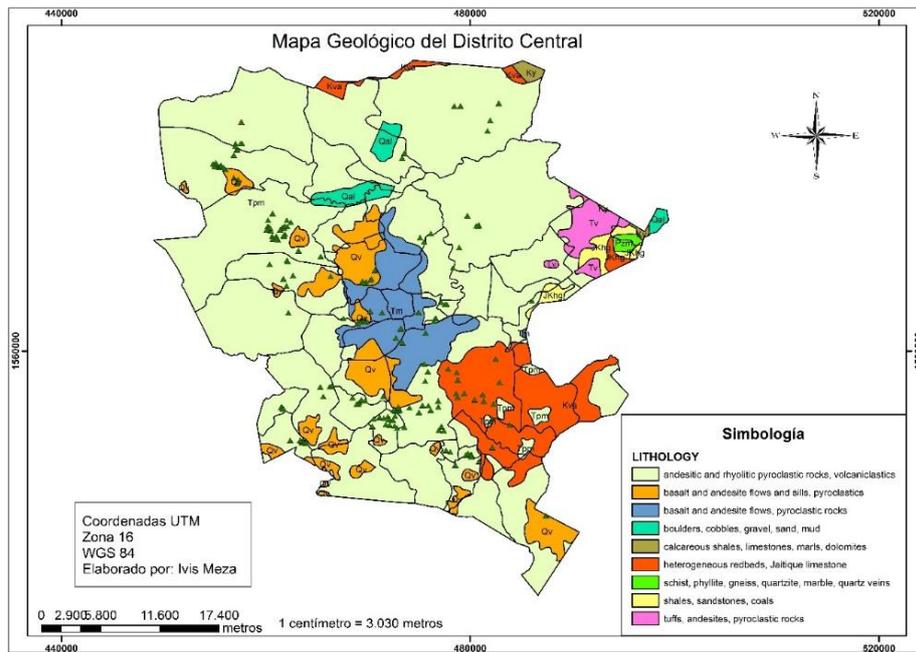


Anexo 4. Distribución espacial en el mapa hidrológico de los pozos censados.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. InterAmerican Geodetic Survey (1991)



Anexo 5. Distribución espacial de pozos en mapa geológico.



Anexo 6. Sociabilización de los objetivos del estudio con propietarios de pozos.



Anexo 7. Toma de datos de medición de variables.



Anexo 8. Identificación de amenazas de contaminación

