

**Diagnóstico de la Calidad de Agua en Pozos
Excavados de Tres Comunidades del
Valle del Yeguaré, Honduras**

Josué Jordano Montes de oca Martínez

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Diagnóstico de Calidad de Agua en Pozos Excavados de Tres Comunidades del Valle del Yeguaré, Honduras

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

Presentado por:

Josué Jordano Montes de oca Martínez

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

Diagnóstico de Calidad de Agua en Pozos Excavados de Tres Comunidades del Valle Del Yeguaré, Honduras

Presentado por:

Josué Jordano Montes de oca Martínez

Aprobado:

Erika Alejandra Tenorio, M.Sc.
Asesora

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera Desarrollo Socioeconómico
y Ambiente

Arie Sanders, M.Sc.
Asesor

Raúl Espinal, Ph. D.
Decano Académico.

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Montes de oca, J. 2009. Diagnóstico de calidad de agua en tres comunidades del Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 39p.

En Honduras el crecimiento poblacional, tanto en la zona rural como urbana, ha propiciado el incremento de la demanda de agua de fuentes subterráneas. Este crecimiento es responsable a la vez de nuevas fuentes de contaminación, tales como las provenientes de actividades agrícolas y el manejo inadecuado de aguas residuales. La presente investigación se realizó en tres comunidades: El Rincón, El Pedregal y San Francisco del Valle del Yeguaré en las proximidades de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Se realizó una caracterización físico-química y bacteriológica detallada de pozos artesanales en las comunidades mencionadas. Para lo anterior se consideraron aspectos de calidad de agua, usos y ubicación y de esta forma se generó una base de datos actualizada sobre el estado del agua subterránea en la zona. Se analizaron las concentraciones de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) fosfatos ($\text{PO}_3\text{-P}$) en los pozos con métodos colorimétricos, parámetros físico-químicos generales como pH, conductividad, temperatura, turbidez, coliformes termotolerantes y totales. Adicionalmente se obtuvieron datos de la profundidad del nivel freático, se georreferenciaron los pozos estudiados y se actualizó un inventario ya existente de pozos. Los resultados muestran concentraciones de nitratos de valores tan altos como 29.6 mg L^{-1} ($\text{NO}_3\text{-N}$), altas concentraciones de coliformes termotolerantes ($6300 \text{ UFC } 100\text{ml}^{-1}$) y una profundidad del nivel freático que va de 0.4 a 16.3 m. Se concluye que estos valores son el resultado de las actividades agrícolas y ganaderas presentes en las comunidades, además de la ubicación y mantenimiento inadecuado de fosos sépticos en la zona y la proximidad del nivel freático. Finalmente se realizó un índice de Kayser-Meyer-Olkin que brinda una noción de la correlación entre las variables analizadas y el grado de contaminación de los pozos. Todo lo anterior permite identificar cuáles son las principales fuentes de contaminación para el agua de las tres comunidades.

Palabras clave: agua subterránea, contaminación, nutrientes, pozos excavados

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS	12
5. DISCUSIÓN.....	26
6. CONCLUSIONES.....	29
7. RECOMENDACIONES	30
8. LITERATURA CITADA	31
9. ANEXO.....	34

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Parámetros físico-químicos analizados <i>in situ</i> en cada pozo.....	9
2. Pozos con la mayor profundidad de nivel freático	13
3. Comunalidades	20
4. Varianza total explicada	21

Figura

5. Concentración de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$ ml L^{-1}) en 32 pozos de la zona de San Francisco (SF).	14
6. Concentración de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$ ml L^{-1}) en 13 pozos de la zona de El Pedregal (EP).....	15
7. Concentración de ortofosfatos (PO_4^{-3} ml L^{-1}) en 32 pozos de la zona de San Francisco.....	16
8. Concentración de ortofosfatos (PO_4^{-3} ml L^{-1}) en 13 pozos de la zona de El Pedregal.	16
9. Conteos de coliformes termotolerantes en 32 pozos de la zona de San Francisco.....	18
10. Conteo de coliformes termotolerantes en 13 pozos de la zona de El Pedregal.	18
11. Conteo de coliformes totales en 32 pozos de la zona de San Francisco.....	19
12. Conteo de coliformes totales en 13 pozos de la zona de El Pedregal.....	20
13. Categorización de la calidad de agua en pozos analizados de la zona de El Pedregal.	23
14. Categorización de la calidad de agua en pozos analizados de la zona de San Francisco.....	24

Anexo

15. Datos de de localización física y geográfica de los pozos.....	34
16. Ficha de datos utilizada en la recolección de datos de campo para pozos analizados	36
17. Concentraciones de nutrientes por pozo estudiado	37

1. INTRODUCCIÓN

El agua localizada en las zonas saturadas debajo de la superficie del suelo es conocida como agua subterránea y ha jugado un papel de suma importancia desde hace mucho tiempo como sostén del crecimiento poblacional y las actividades económicas de la humanidad. Este recurso acuífero es muy particular en relación a otros, ya que a diferencia de los ríos, lagos y lagunas, las fuentes subterráneas de agua se han percibido como inagotables y exentas de contaminación, creándose así la tendencia a desestimar su manejo y protección.

En la actualidad el uso indiscriminado de este recurso acuífero ha causado una degradación del mismo, debido a la carencia de un conocimiento claro de las distintas variables geológicas, físicas y químicas presentes en las zonas explotadas. Según Brooks (2003) “el agua subterránea es generalmente de mayor calidad que el agua superficial”. Normalmente los usuarios de las fuentes de agua subterránea ignoran aquellos contaminantes que pudiesen existir dentro de una zona de recarga o pozo determinado.

El agua es el solvente universal. Esta misma característica la hace un canal de transporte y contención para un gran número de enfermedades incluyendo las gastrointestinales como la amebiasis, disentería bacilar (Shigelosis), el cólera y las enfermedades diarreicas como la producida por la bacteria *Escherichia coli*. Además, a través del proceso de infiltración y percolación, ciertos químicos naturales y artificiales pueden contaminar severamente las fuentes de agua poniendo en riesgo la salud de las comunidades que de ella se abastecen.

El presente trabajo busca contribuir al conocimiento sobre el estado de las fuentes subterráneas de agua en las comunidades de El Rincón, San Francisco y El Pedregal, localizadas en el Municipio de San Antonio de Oriente en las inmediaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. El estudio se enfoca en el análisis de la calidad de agua en pozos excavados y realiza una actualización de los datos de funcionamiento de casi 100 pozos identificados en años anteriores. De esta forma, se describen el proceso investigativo realizado para obtener la actualización del número de pozos del Valle del Yeguaré, se identificaron posibles fuentes de contaminación, así como las zonas de riesgo alrededor de los pozos del área bajo estudio y se desarrolló una investigación de la cantidad y naturaleza de los nutrientes presentes en los pozos muestreados.

Se espera que la información presentada cree un camino a seguir para futuros estudios de calidad de agua subterránea en la zona y que el conocimiento generado pueda ser utilizado por las autoridades de salud y aquellas personas que se ven directa e indirectamente afectadas por las condiciones del agua en los pozos.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La República de Honduras, como otros países de la región centroamericana, posee fuentes de agua subterránea que son aprovechados por la población. Debido al crecimiento poblacional en la actualidad, existe una presión mayor sobre los recursos de agua en el subsuelo. De acuerdo con la OPS (2007) la población en Honduras ha aumentado en más de 600.000 habitantes entre los años 2001 y 2005, de modo que llegó en este último año a un poco más siete millones. Los problemas incrementan a medida que este incremento poblacional conlleva a la sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos y paralelamente aumenta la cantidad de contaminantes producto de las actividades humanas.

Junto con estas tendencias, es importante resaltar que muy poco se conoce sobre las características del agua del subsuelo hondureño. Desafortunadamente, según menciona Ballesterero *et al.* (2007) casi no existen datos sistemáticos en ninguno de los países centroamericanos acerca del volumen potencial de los principales acuíferos ni de la presión que existe sobre ellos. Este desconocimiento impide informar a las personas, que consumen el agua, sobre la calidad de estos recursos, por lo que a veces estas fuentes de agua pueden ser el medio de transmisión de enfermedades que afectan severamente la salud de la población, especialmente los niños y niñas. En un estudio de la OPS (2007) se establece que de los casos de diarreas agudas notificados cada año en Honduras, 77,0% corresponden a niños menores de cinco años de edad, con una prevalencia en este grupo de 22,5%, siendo este porcentaje aún mayor en las zonas urbanas, que se encuentran fuera de Tegucigalpa y San Pedro Sula y en las zonas rurales, especialmente de La Mosquitia.

Por otro lado, en el futuro, la EAP espera encontrar fuentes alternativas de agua, por lo que es de suma importancia conocer los cambios que se presentan en el consumo del agua subterránea del Valle del Yeguaré. Se hace necesario estar al tanto de cuantas personas utilizan agua del subsuelo, cuál es el grado de extracción actual, principales usos y usuarios del recurso. Esta información debe complementarse con un análisis de la calidad de agua que incluya las concentraciones de los nutrientes disueltos en el agua y los patógenos que pudieran encontrarse en estas fuentes, principalmente pozos artesanales y que plantean un riesgo a la salud de la población.

Finalmente, aunque no menos importante, es saber que la investigación realizada constituye una oportunidad para los propietarios de los pozos analizados, usualmente de pocos recursos económicos, de conocer las características del agua que han estado tomando y utilizando para los quehaceres domésticos y actividades productivas desde hace varios años.

1.2 ÁREA DEL ESTUDIO

El estudio abarca 45 pozos de agua excavados, ubicados en las comunidades de El Rincón, San Francisco y El Pedregal, todas localizadas en el Municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Adicionalmente se actualizó información existente de otros 100 pozos excavados y perforados identificados en el 2002 en las mismas comunidades. La recolección de muestras, la actualización de datos y los análisis de laboratorio se llevaron a cabo entre los meses de agosto y septiembre de 2009.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico detallado de los pozos artesanales en las comunidades vecinas a la EAP que considere aspectos de calidad de agua, usos, condición física de los pozos y ubicación geográfica, con el fin de generar una base de conocimientos actualizada sobre el estado actual del agua subterránea en el Valle del Yeguaré.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar las concentraciones de nutrientes y las características fisicoquímicas con incidencia en la salud humana en los pozos excavados de las comunidades.
2. Identificar la presencia de indicadores de contaminación fecal en los pozos para evaluar el riesgo de presencia de patógenos.
3. Identificar las posibles fuentes de contaminación para el agua subterránea de las tres comunidades.
4. Actualizar el inventario de pozos del Valle del Yeguaré para conocer la demanda de agua subterránea.
5. Evaluar la profundidad media del nivel freático en la zona, para conocer la accesibilidad y dinámica del recurso.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DINÁMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Una porción del agua que cae en el suelo a través de la precipitación se infiltra y luego se percola. Estos procesos llevan a la saturación del suelo cuando en este existe la estructura necesaria para almacenar agua. Así, este proceso provee el agua subterránea de recarga que alimentara a ciertas estructuras de naturaleza geológica que contienen agua, conocidas como acuíferos. La superficie superior de la zona saturada es llamada capa freática o nivel freático (USGS, 2009). Por otro lado se define el agua subterránea como el agua almacenada en el subsuelo en grietas de roca y en los poros de materiales geológicos que conforman la corteza de la Tierra.

En el suelo suceden un gran número de procesos que permiten muchos de los ciclos importantes para el funcionamiento de los ecosistemas, entre estos se encuentran la infiltración, que es la capacidad de un material para permitir el paso de un líquido, como el agua a través de las rocas (USGS, 2009). Esta capacidad se ve afectada por el tipo de suelo presente en una zona específica, por ejemplo la arcilla ralentizará el paso del agua, mientras la arena facilitará que el agua se mueva a través del suelo.

Otro proceso importante es el movimiento que tiene el agua por las distintas aberturas que se presentan en el suelo o algunas rocas, este proceso se conoce como percolación. “Se asume que la percolación tiene lugar si el contenido de humedad del suelo del horizonte superior excede su capacidad de campo. La tasa de percolación de la capa superior del suelo se considera que incrementa como una función del contenido del agua en el suelo de acuerdo a una ley de poder determinada” (Clapp & Hornberger, 1978, citado por Zhiyu *et al.* 2005).

Un pozo es una perforación o excavación que se realiza en el suelo y cuyo objetivo es la extracción de agua del nivel freático. Existen varios tipos de pozos siendo los más comunes los escavados o hechos a mano, estos son normalmente poco profundos y más baratos a diferencia de los perforados que son hechos por maquinaria y profesionales especializados (Brooks, 2003). En Honduras, los pozos escavados también se conocen como pozos artesanales.

2.2 CALIDAD DE AGUA

El agua potable es aquella que cumple con un conjunto de normas establecidas por instituciones nacionales e internacionales y que se considera no ocasiona daños a la salud

del consumidor. En Honduras la OPS-OMS (2003) destaca que la calidad de los servicios de agua potable no es en su mayoría adecuada para el mantenimiento de la seguridad sanitaria de los usuarios. Más del 90 % del abastecimiento de agua potable es intermitente, solamente el 44 % dispone de cloración efectiva y no se dispone de adecuados sistemas de control y vigilancia de la calidad del agua. Esto sin duda es una de las causas más importantes de que en Honduras las enfermedades de origen hídrico están en el primer lugar de morbilidad y el segundo en mortalidad infantil.

La calidad de agua se define como un concepto complejo que implica un juicio subjetivo que es función del uso y que además incluye una relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que define su composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (SEMAREAN, 2001). Para conocer la calidad se evalúan un gran número de parámetros que permiten analizar la condición en que se encuentra una fuente de agua en particular, en este estudio se incluyeron los más importantes entre ellos el pH, este parámetro es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia (EPA, 2007). El pH posee un ámbito de 0 a 14 donde 7 es el valor considerado como neutral. Cuando el valor del pH es menor de 7 es ácido, mientras que si el mismo valor está sobre este pH es básico. El valor recomendado del pH en el agua por la Secretaría de Salud de Honduras (1995) es 6.5 a 8.5.

Otro parámetro analizado es la conductividad. Según la EPA (2006) la conductividad se define como la medida de la habilidad del agua de conducir una corriente eléctrica, varios factores influyen en los datos finales cuando se mide este parámetro, por ejemplo, los compuestos orgánicos tendrán poco efecto, mientras que los aniones de fosfatos y el nitrato (compuestos inorgánicos) tendrán un efecto fuerte sobre el resultado. Además de lo anterior, una descarga de fosfatos o nitratos, al igual que alguna falla en un pozo séptico pueden aumentar la conductividad del agua subterránea. Para la conductividad el valor recomendado por la Secretaría de Salud de Honduras (1995) es $400 \mu\text{s cm}^{-1}$.

Para evaluar la calidad de agua se debe tomar en cuenta la turbidez, la misma es una característica física que causa la interrupción de la luz por las partículas presentes, normalmente materia suspendida o impurezas que interfieren con la claridad del agua (EPA, 1999). Las aguas negras y la escorrentía son conocidas como fuentes típicas de turbidez. La Secretaría de Salud de Honduras establece como valor recomendado para la turbidez 1 UNT y para el valor máximo admisible 5 UNT.

El análisis de nutrientes juega un papel muy importante en la calidad de agua, especialmente los nitratos y nitritos. Existen diversas fuentes de nitratos, incluyendo la fijación por plantas y bacterias, las aguas residuales y la incorporación de materia orgánica al suelo para fines de fertilización, siendo los residuos de esta última actividad transportados normalmente por la escorrentía a las aguas cercanas. De acuerdo con Brooks *et al.* (2003) las fuentes de nitrógeno incluyen la fijación de gas por ciertas bacterias y plantas, además de la incorporación de materia orgánica a fuentes de agua y pequeñas cantidades que provienen del desgaste de las rocas. El nitrógeno orgánico se convierte en amonio, el cual eventualmente se oxida convirtiéndose en $\text{NO}_3\text{-N}$, una forma disponible para las plantas. En ausencia de oxígeno, el proceso de desnitrificación puede volver a convertir el nitrato en amonio y gas de nitrógeno.

Los nitratos están normalmente asociados a zonas de ganadería intensiva, fertilización elevada o problemas relacionados al manejo inadecuado de las aguas de residuales. Según la OMS (2007) la presencia de este químico puede ocasionar metahemoglobinemia, conocida como enfermedad del bebe azul, si las concentraciones de nitratos sobrepasan los 50 mg L^{-1} . “El nitrógeno también puede conducir a la metahemoglobinemia en infantes y más recientemente ha creado alarma acerca de linfoma de no-Hodgkin” (Ward *et al.*, David *et al.* 2000). Cuando el nitrito está presente junto con el nitrato el riesgo es aún mayor, debido a que este es un precursor más potente de dicha enfermedad. La Secretaría de Salud de Honduras (1995) recomienda para el nitrato (NO_3) 25 mg L^{-1} y como valor máximo admisible 50 mg L^{-1} , en el caso del nitrito (NO_2) el valor máximo admisible es de 0.1 mg L^{-1} .

Así como con los nitratos y nitritos conocer sobre posibles concentraciones de fósforo en el agua es esencial. El fósforo es un compuesto necesario para el desarrollo de la agricultura tal y como se conoce en la actualidad. Este elemento es utilizado principalmente en los fertilizantes agrícolas y también se encuentra de forma natural en los ecosistemas y otras veces como contaminante (ESA, 1998).

La urbanización y la agricultura son fuentes importantes de fósforo para los acuíferos. Según la ESA (1998) entre los años de 1950 y 1995, cerca de 600 millones de toneladas de fertilizantes compuestos por fósforo fueron aplicados sobre la superficie de toda la tierra, esto principalmente sobre tierras cultivadas. El fósforo se está acumulando en los suelos agrícolas del mundo. La EPA recomienda un valor máximo permisible de 1 mg L^{-1} para las concentraciones de fósforo.

El nitrógeno amoniacal es también una sustancia química que aunque no afecta de forma directa la salud de las personas, puede comprometer la eficacia del cloro para desinfectar en el agua. Según la OMS (2007) cuando el amoníaco está presente en el agua significa que la misma está contaminada con aguas residuales o desechos de zonas ganaderas. El amoníaco puede presentarse naturalmente en el agua subterránea con sedimentos orgánicos, o en cuerpos de agua superficiales lentos o estancados que contienen materia orgánica y son mal ventilados. De acuerdo a Ersoy *et al.* (2006) las sales de amoníaco, los nitratos y ortofosfatos se originan en zonas agrícolas y residenciales cultivadas. En el caso del amonio se recomienda que tenga un valor de 0.05 mg L^{-1} y se establece como valor máximo admisible 0.5 mg L^{-1} (Secretaría de Salud de Honduras, 1995).

Así también las bacterias representan la causa de varias enfermedades gastrointestinales en los seres humanos. La OPS (1988) menciona que diversas enfermedades causadas por estos microorganismos son transmitidas dentro de los miembros de una misma especie, sin embargo existen bacterias que pueden pasar esta frontera biológica, por ejemplo a través de las heces de los animales. Entre estas bacterias una de las más conocidas es *Escherichia coli*. Esta particularidad le brinda una alta movilidad, impactando la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol.

De acuerdo a la Secretaría de Salud de Honduras (1995) el abastecimiento con agua no entubada tiene un valor recomendado de 0 UFC 100 ml^{-1} y un máximo admisible de 10

UFC 100 ml⁻¹ para coliformes totales. Por otro lado ambos valores deben ser 0 UFC 100 ml⁻¹ para los coliformes termotolerantes o fecales. Las aguas subterráneas que no se encuentran conectadas a un sistema de distribución se encuentran por ley dentro de esta categoría.

2.3 CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Generalmente los contaminantes más importantes de fuentes subterráneas son materia orgánica, componentes orgánicos sintéticos (por ejemplo, PCB y pesticidas como DDT), microbios, nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), grasas, hojarasca y (usualmente a una menor extensión) metales pesados (cadmio, mercurio y plomo). De acuerdo a Newman *et al.* (1994) los contaminantes se pueden introducir al sistema a través de diferentes fuentes de contaminación, clasificadas en puntuales y difusas. Según Baptista (2002) una vez que los distintos contaminantes llegan al ambiente, estos se mueven de acuerdo a varios factores naturales y tecnológicos interrelacionados. Este movimiento puede ser rápido o lento, los caminos pueden ser directos o muy complejos.

En Honduras la agricultura sirve de base económica. De acuerdo a Ballesterero *et al.* (2007) un 82% del agua explotada (balance de agua nacional) es dirigida a actividades agrícolas, supliendo agua a un total de 86,631 ha. De este total, 92.3% es suplida por el agua superficial y 7.7% es extraída de las fuentes de agua subterránea a través de pozos. Esta situación es aún más compleja, puesto que según la OMS (2007) la irrigación y el drenaje pueden llegar a desempeñar un papel muy importante en el transporte de contaminantes de su fuente al abastecimiento de agua. Estos también pueden afectar la calidad del agua subterránea, ya que alteran el agua y el balance de sal en el suelo, el cual puede cambiar sus características físico-químicas y afectar la lixiviación de productos químicos.

Es realmente importante conocer la dinámica del agua subterránea, ya que existen poblaciones a nivel nacional que se suplen de dichas fuentes. De acuerdo a Losilla *et al.* (2001) en Honduras existen solamente cerca de 1,250 pozos que se encuentran registrados, 234 de estos abastecen poblaciones urbanas y se les extraen al menos unos 75 hm³ al año. Los datos mencionados no toman en cuenta la explotación que se realiza en Islas de La Bahía donde la perforación es elevada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA

El estudio consistió en un levantamiento en campo que incluyó el registro de la ubicación, la medición del nivel freático y el análisis de calidad de agua *in situ*. Además se realizaron análisis físico-químicos y bacteriológicos en el laboratorio de calidad de agua, la generación de una base de datos georreferenciada y un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Se llevó a cabo un breve reconocimiento del área en donde se realizaría el estudio. Se tomó en cuenta que la presencia de ganadería en la zona, en muchos casos intensiva y la densidad de viviendas alrededor de los pozos podían tener efectos sobre la calidad del agua subterránea. Además las fosas sépticas cerca de los acuíferos eran otro motivo que ameritaba el análisis de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos, químicos comunes en el agua en una situación como la descrita. También se consideró de importancia la realización del análisis de bacterias termotolerantes y coliformes totales. Por otro lado se debían establecer las características del agua en los pozos por lo que se recurrió a medir parámetros físico-químicos generales del agua entre ellos pH, temperatura, conductividad y turbidez.

3.2 ACTUALIZACIÓN DE BASE DE DATOS

En el 2002, se estableció una base de datos, que incluye varios pozos de la comunidad de San Francisco, El Pedregal y Casablanca, así como otros en las propiedades de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano (Lagos, 2002). A través del presente estudio los datos de 64 pozos fueron analizados y actualizados. Se incluyeron tres pozos en El Rincón, 29 en El Pedregal, uno en Jicarán y 31 pozos fueron agregados en El Valle San Francisco. Diecinueve de los 29 pozos en El Pedregal fueron actualizados, georreferenciados y evaluados desde el punto de vista físico-químico. Esta actividad requirió el desarrollo de una ficha (Anexo 4) de campo que incluía algunos datos personales del propietario(a) y también datos generales del pozo (Anexo 1).

3.3 MEDICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

Se midió la profundidad del nivel freático en los pozos muestreados utilizando un medidor Testwell Instruments® WLM Series compuesto por una cinta métrica de polietileno y un sensor con una sonda de acero anticorrosivo y teflón de 12 mm de diámetro. Los valores

de la profundidad del nivel freático se utilizaron en el establecimiento de la profundidad promedio del nivel freático para las tres comunidades.

3.4 GEORREFERENCIACIÓN DE POZOS

Se registraron las coordenadas y la elevación de cada pozo mediante un GPS map 76Cx de Garmin®. El uso de este sistema de información geográfico permitirá localizar la posición de los pozos para otra investigación o actualización.

3.5 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA *IN SITU*

3.5.1 Análisis físico-químico

Para la realización de análisis físico-químico *in situ* se utilizó un medidor múltiparametro HACH® del laboratorio de calidad de agua de DSEA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros físico-químicos analizados *in situ* en cada pozo

Parámetro de calidad de agua	Unidad utilizada
pH	Escala gradual de pH
Conductividad Eléctrica	Micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Temperatura	Grados Celsius o centígrados ($^{\circ}\text{C}$)

La recolección de muestras para el análisis de nitratos, nitritos, orto-fosfatos y amonio se llevó a cabo en 45 pozos artesanales de agua para lo cual se utilizó un recipiente con capacidad para 1 galón. Posteriormente para los análisis de nutrientes se almacenó el agua en envases de polietileno de alta densidad (PE/HE) de 250 ml (8 onzas) y 125 ml (4 onzas).

3.6 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA *EX SITU*

3.6.1 Análisis de la turbidez

La turbidez en las muestras se analizó mediante el método nefelométrico. Este método se basa en una comparación de la intensidad de la luz reflejada de la muestra bajo condiciones definidas con la intensidad de la luz reflejada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones (APHA, 1998). Este análisis se realizó usando el turbidímetro LaMotte®, antes del filtrado de las muestras.

3.6.2 Análisis bacteriológico

Las muestras para análisis de bacterias fueron tomadas en bolsas plásticas estériles Nasco Whirl-Pak de HACH®. El método utilizado fue Petrifilm de 3M®, el cual permite el conteo de coliformes gracias a un plato que posee un medio de cultivo (Carolina

Biological Supply Company, 2000). Se inoculó 1 ml de agua en las placas Petrifilm y luego permanecieron en una incubadora Revco® por un periodo de 24 horas, a una temperatura de 35 ± 0.5 °C. Mediante este procedimiento se obtuvo el número de coliformes termotolerantes y totales por ml de muestra por lo que, para fines de comparación con la normativa nacional, se han convertido los resultados para obtener la concentración de bacterias con base en un volumen de 100 ml.

3.6.3 Análisis de nutrientes

Después de muestrear los pozos, parte del agua recolectada fue filtrada para reducir interferencias en la aplicación del método colorímetro. Se usaron filtros de papel endurecido de celulosa mezclada, con poros de $0.45 \mu\text{m}$ tipo HAWP. Los nutrientes analizados en las muestras fueron los nitratos, nitritos, ortofosfatos y amonio. Para todos los análisis se utilizaron métodos colorimétricos. La lectura de concentraciones se realizó mediante un colorímetro DR/890 HACH®. Todas las muestras se mantuvieron a una temperatura <4 °C para ser preservadas en caso de que se necesitara repetir alguno de los análisis.

Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$). Para los nitratos se utilizó el método de reducción de cadmio. Mediante este análisis el cadmio reduce los nitratos presentes en la muestra a nitritos. El ion de nitrito reacciona en un medio que tiene ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia, los cuales forman parejas para terminar en un producto ámbar (Hach Company, 1999).

Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$). En el análisis de nitritos se usó el método de diazotización. Para cuantificar la concentración de nitritos, estos se hacen reaccionar con ácido sulfanílico para formar una sal disódica intermedia. Esta pareja con ácido cromotrópico produce un color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente (Hach Company, 1999).

La Secretaria de Salud de Honduras utiliza como valor recomendable 25.0 mg L^{-1} de NO_3 y como valor máximo admisible 50.0 mg L^{-1} de NO_3 . En este estudio se analizan las cantidades de $\text{NO}_3\text{-N}$ no NO_3 . Por tal razón se realizó una conversión para fines comparativos con la normativa nacional. De esta forma 25.0 mg L^{-1} de NO_3 equivalen a 5.7 mg L^{-1} de $\text{NO}_3\text{-N}$ y 50.0 mg L^{-1} de NO_3 equivalen a 11.3 mg L^{-1} de $\text{NO}_3\text{-N}$.

Ortofosfatos (PO_4^{-3}). Para analizar ortofosfatos se utilizó el método de ácido ascórbico. Mediante este método los ortofosfatos reaccionan con el molibdato en un medio ácido para producir un complejo fosfomolibdato. El ácido ascórbico reduce entonces el complejo, dando como resultado una sustancia azul, siendo esta más oscura mientras la presencia de ortofosfatos sea mayor. (Hach company, 1999).

Amonio ($\text{NH}_3\text{-N}$). Para el amonio se utilizó el método ácido salicílico. El método consiste en combinar los compuestos de amonio con el cloro para formar monocloramina. La monocloramina reacciona con el ácido salicílico formando 5-amino salicílico. El 5-amino salicílico es oxidado en presencia de un catalizador para lograr un color azul. Luego el azul desaparece, volviéndose una sustancia amarillo-verdosa (Hach Company, 1999).

3.7 INDICE DE CALIDAD

Un elemento central de este estudio es el cálculo del índice de calidad de agua de los pozos investigados. Para llegar a este índice se deben determinar las variables más importantes que distinguen la calidad entre los pozos, seguido por un proceso de acumulación de variables para un índice único. El método para la obtención de datos tiene los siguientes pasos:

- Determinar cuáles de las variables tienen la mayor capacidad de medir la calidad de agua de los pozos.
- Utilizar las variables de forma sistemática para calcular el índice de calidad de agua.

Para este análisis se utilizó el programa informático SPSS (versión 12.0). Adicionalmente este programa fue utilizado para obtener los distintos promedios en cada variable de calidad de agua y una medida de adecuación previa a la estimación del índice único.

Para la determinación de la calidad de agua fueron seleccionadas siete variables: conductividad, turbidez, nitratos, ortofosfatos, amonio, coliformes termotolerantes y coliformes totales. Se busca una correlación entre las variables para identificar la influencia que existe entre ellas. De esta forma se analizó si el valor de un parámetro influye a otro valor de las siete variables. Adicionalmente, el análisis permitió identificar los pozos con la calidad de agua más degradada.

4. RESULTADOS

Para fines del presente estudio los pozos analizados han sido divididos en dos grupos. El primero corresponde al área de San Francisco (32 pozos) e incluye la comunidad de Jicarán (un pozo). El segundo grupo corresponde a la zona de El Pedregal (29 pozos) e integra la comunidad de El Rincón (tres pozos). Para facilitar la identificación de los pozos en esta sección se presenta un formato simple. Por ejemplo, 1SF representa el pozo número uno de la comunidad de San Francisco (SF) y así sucesivamente. Esto permite identificar cada pozo y su ubicación dentro de las tres comunidades estudiadas.

4.1 ACTUALIZACIÓN DEL NÚMERO DE POZOS

Como se mencionó anteriormente, Lagos (2002) realizó un estudio en el cual se inventariaron 35 pozos perforados y 65 de tipo artesanal. De estos pozos, 70 pertenecían a la comunidad de El Pedregal, 26 a Casablanca, 2 a la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano y los 2 últimos a la comunidad de San Francisco. En el presente estudio el número de pozos fue actualizado, se agregaron 31 pozos en San Francisco, seis pozos en El Pedregal, tres pozos en El Rincón y uno en Jicarán. Lo anterior suma 41 nuevos pozos al inventario ya realizado, esto eleva la cantidad a 141 pozos registrados en las cinco comunidades mencionadas. De los 41 pozos agregados al inventario, veinticuatro de ellos fueron construidos entre el 2003 y el 2009. De los 17 restantes 11 se construyeron en una fecha anterior al 2002 y de los otros 6 se desconocen las fechas de construcción.

4.2 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Se midieron 59 pozos, cinco no pudieron ser medidos ya que estaban sellados y su medición no fue posible. La profundidad del nivel freático varió según la comunidad y las características geofísicas de las mismas. La profundidad promedio del nivel freático en las dos zonas (San Francisco y El Pedregal) fue de 2.3 y 3.2 metros respectivamente. El pozo con el nivel freático más profundo es el pozo 28EP en El Pedregal con 16.3 metros y el mínimo es el pozo 21SF con 0.4 metros en San Francisco (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pozos con la mayor profundidad de nivel freático

Localización	Profundidad del nivel freático (metros)
28EP	16.3
1SF	10.7
1ER	10.1
12EP	7.5
3EP	5.9
4EP	5.7
5EP	4.9
2ER	4.6
6EP	4.5
5SF	4.5

Cinco de los pozos con el nivel freático más profundo se encuentran en la comunidad de El Pedregal (Cuadro 2). Mientras tanto, ocho de los pozos con el nivel freático más superficial están en la comunidad de San Francisco, incluido el más superficial.

La altura promedio sobre el nivel del mar de los pozos en las comunidades es de 828 metros sobre el nivel del mar (msnm). En la Zona de San Francisco la altitud promedio fue 761 msnm y en El Pedregal 878 msnm. Los pozos a menor altura están localizados en la comunidad de San Francisco 17SF (753 msnm), ya que esta comunidad está en una de las zonas bajas del Valle del Yeguaré. La mayor elevación se registró en la comunidad de El Pedregal en el pozo 1EP (940 msnm).

4.3 EVALUACIÓN DE LOS POZOS

La zona de El Pedregal tuvo una media de turbidez de 16.81 UNT, esta misma zona presentó el valor más elevado con (123 UNT) en el pozo 2EP y el más bajo el 8EP (0.02 UNT). Por otro lado la zona de San Francisco tuvo una turbidez media de 11.40 UNT. Con respecto al pH se midió este parámetro en 60 pozos con el valor de pH más alto de 8.1 en el 23EP. Al mismo tiempo este fue el tercero con el nivel freático más profundo (10.1 m). El pH más bajo determinado fue de 4.1 en 7EP en El Pedregal. Los resultados de temperatura de los pozos analizados mostraron valores entre 23.2 y 28.4 °C. En promedio la temperatura del agua fue 25.2 °C para la zona de El Pedregal y 25.1 °C para San Francisco.

La conductividad en San Francisco alcanzó las 235.4 UNT, mientras que en El Pedregal este valor fue de 153.9. El pozo 15 SF presentó el mayor valor de conductividad con 650.0 UNT. En cambio el más bajo estuvo en El Pedregal (21EP) con 63.4 UNT.

Los resultados de los análisis de nitratos presentaron valores altos en relación a las medidas establecidas por las autoridades hondureñas y recomendaciones internacionales. En general se obtuvo un promedio para la zona de El Pedregal de 5.99 mg L^{-1} , mientras que el valor para la zona de San Francisco fue de 4.1 mg L^{-1} (Figura 1).

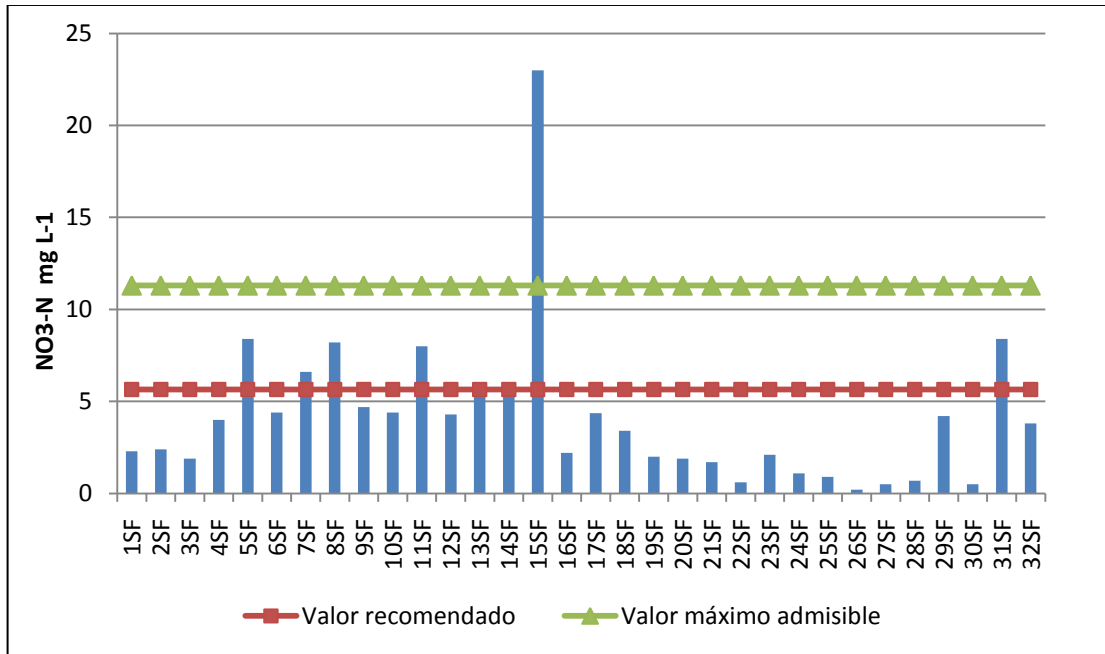


Figura 1. Concentración de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N ml L}^{-1}$) en 32 pozos de la zona de San Francisco (SF).

El Pozo 1SF fue el pozo analizado en Jicarán el cual se mantuvo en la norma establecida por la Secretaria de Salud hondureña. Seis de los pozos (5SF, 7SF, 8SF, 11SF, 15SF y 31SF) sobrepasaron los valores recomendados, pero aun se mantuvieron entre el rango descrito anteriormente a diferencia del pozo 15SF que sobrepasó el valor máximo admisible (Figura 1).

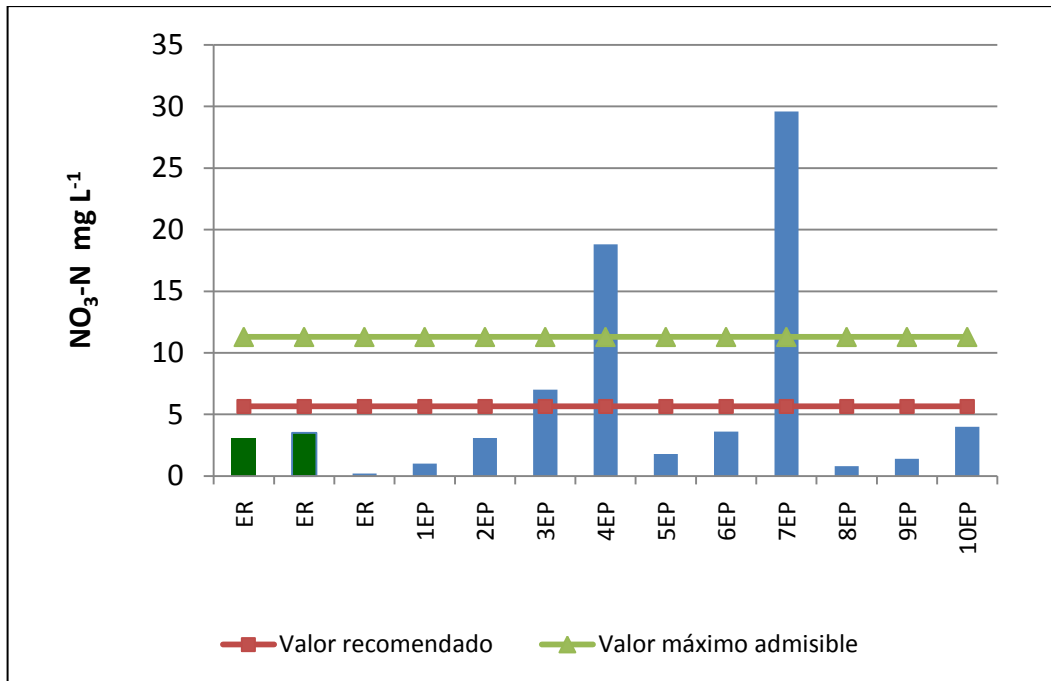


Figura 2. Concentración de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$ mg L^{-1}) en 13 pozos de la zona de El Pedregal (EP).

En El Pedregal nivel más bajo de $\text{NO}_3\text{-N}$ lo tuvo el 3R con 0.2 mg L^{-1} , mientras que el valor más alto correspondió al pozo 7EP con 29.6 mg L^{-1} un valor que dobló el máximo admisible (Figura 2). El pozo 4EP tuvo el segundo lugar dentro del grupo con 18.8 mg L^{-1} . La comunidad de El Pedregal (10 pozos analizados) presentaron el promedio más alto (5.99 mg L^{-1}). La segunda más alta fue San Francisco con 4.1 mg L^{-1} de $\text{NO}_3\text{-N}$. El Rincón y Jicarán coincidieron con el mismo promedio cada uno 2.3 mg L^{-1} .

El promedio de los ortofosfatos en ambas zonas estudiadas fue bajo. La zona de El Pedregal tuvo un promedio de 0.21 mg L^{-1} , en tanto que en la zona de San Francisco el valor promedio fue de 0.49 mg L^{-1} .

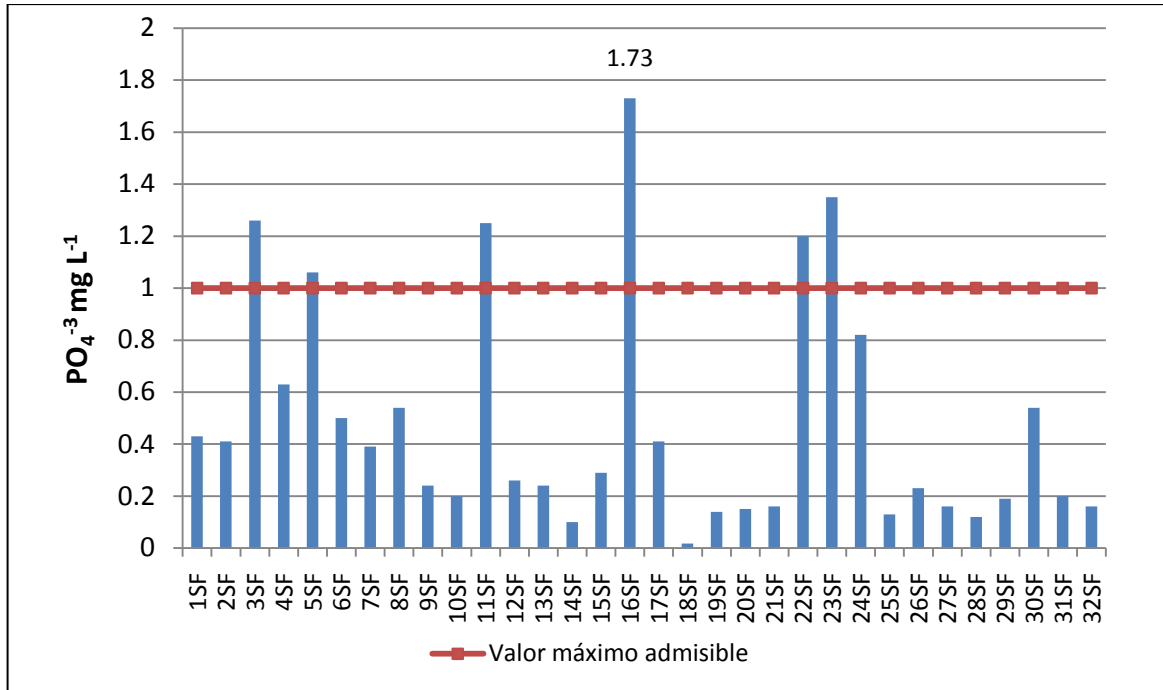


Figura 3. Concentración de ortofosfatos (PO_4^{3-} ml L^{-1}) en 32 pozos de la zona de San Francisco.

La EPA establece como valor máximo admisible 1mg L^{-1} de ortofosfatos, la línea con cuadros. Seis pozos estuvieron encima de dicha línea en San Francisco, El 3SF, 5SF, 11SF, 16SF, 22SF y 23SF. El más alto con 1.73mg L^{-1} es el 16SF (Figura 3).

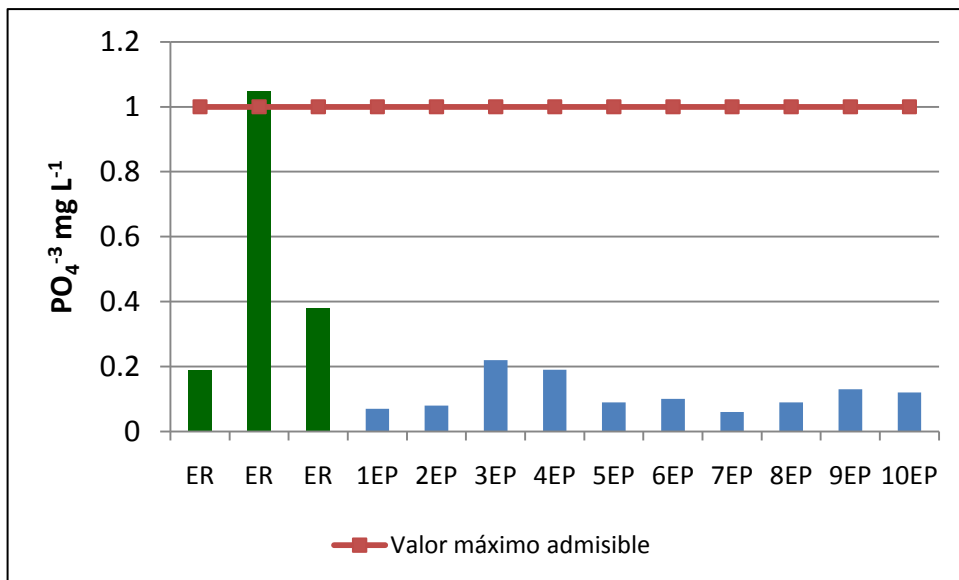


Figura 4. Concentración de ortofosfatos (PO_4^{3-} ml L^{-1}) en 13 pozos de la zona de El Pedregal.

La zona de El Pedregal tuvo valores muy bajos de ortofosfatos. Estos valores no superaron los 0.2 mg L^{-1} , excepto en el caso del pozo 3EP (Figura 4). Por otro lado en el 1R, ubicado en El Rincón el valor de mg L^{-1} si superó la norma de la EPA con 1.5 mg L^{-1} .

El promedio de nitritos fue de 0.022 para ambas zonas de estudio. Solo el pozo 2EP en El Pedregal superó la norma de 0.1 mg L^{-1} con una concentración de 0.13 mg L^{-1} . Mientras el menor valor que se obtuvo en los resultados fue de 0.002 mg L^{-1} de $\text{NO}_2\text{-N}$ del pozo 2SF, en San Francisco, este valor es el límite de análisis para el colorímetro utilizado. Casi todos los pozos han estado bajo la norma, dado que en general los resultados obtenidos fueron valores bajos. Tanto para San Francisco como para El Pedregal se determinaron también valores bajos de amonio. Los pozos de El Pedregal tuvieron un promedio de amonio de 0.035 mg L^{-1} y 0.034 mg L^{-1} para San Francisco.

Para el abastecimiento de agua no entubada se establece un valor máximo admisible de bacterias termotolerantes 0 a 100 ml^{-1} , expresadas en UFC (Unidades Formadoras de Colonias). Cuando se analizan 100ml de agua por pozo se estima que debido a la presencia de altas cantidades de coliformes en 1ml, la totalidad de los pozos estaría fuera de la norma. Para San Francisco el promedio de bacterias termotolerantes fue 500 UFC 100ml^{-1} , valor cuatro veces más alto que el de la zona de El Pedregal ($100 \text{ UFC } 100\text{ml}^{-1}$).

La mayor parte de los pozos en San Francisco sobrepasa los valores recomendados según la norma técnica. Solo en algunos pozos (1SF, 2SF, 7SF, 12SF, 18SF, 21SF, 27SF, 29SF Y 31SF) no se detectaron unidades formadoras de colonias. Por otro lado se llegaron a obtener conteos de hasta $6,300 \text{ UFC } 100 \text{ ml}^{-1}$ en el pozo 9SF (Figura 5).

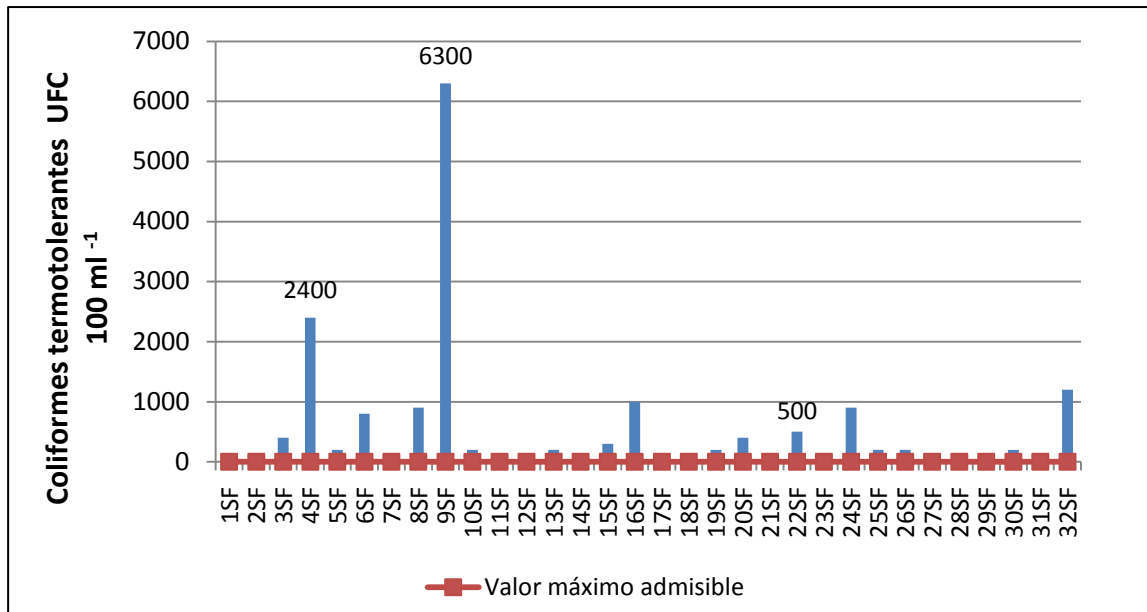


Figura 5. Conteos de coliformes termotolerantes en 32 pozos de la zona de San Francisco.

En El Pedregal la mayoría de pozos no presentaron UFC (Figura 6). Sin embargo hubo tres pozos que no cumplieron la norma (1R, 4EP y 3R), este ultimo alcanzó un valor de 1200 UFC 100 ml⁻¹.

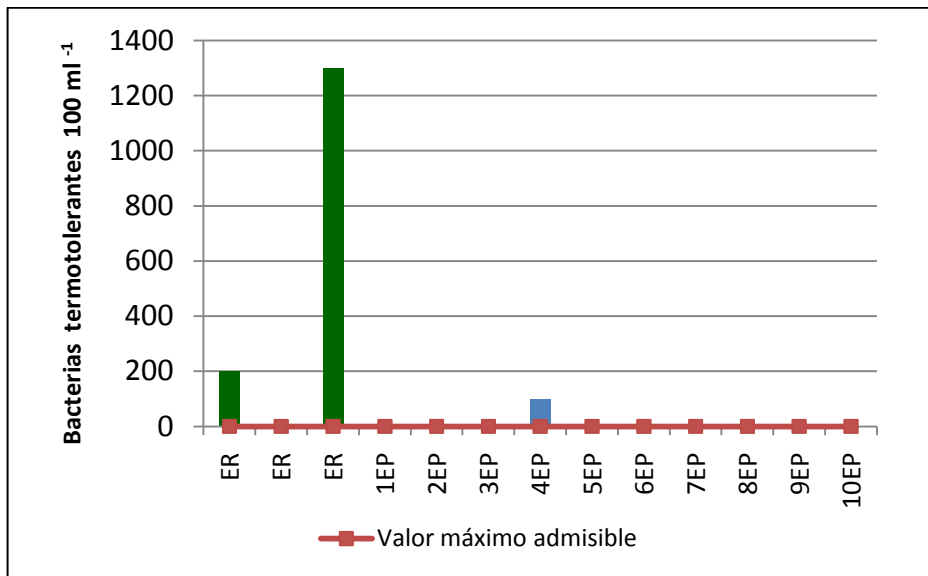


Figura 6. Conteo de coliformes termotolerantes en 13 pozos de la zona de El Pedregal.

Las autoridades hondureñas establecen 10 UFC 100 ml⁻¹ como valor máximo admisible para coliformes totales en las fuentes de abastecimiento de agua no entubada. Treinta y tres de los 45 pozos examinados sobrepasaron este valor establecido (Figura 7). Los pozos

en San Francisco tuvieron un promedio de coliformes totales de 3,500 UFC 100 ml⁻¹, en cambio que la zona de El Pedregal presentó un promedio más bajo (2,000 UFC 100 ml⁻¹).

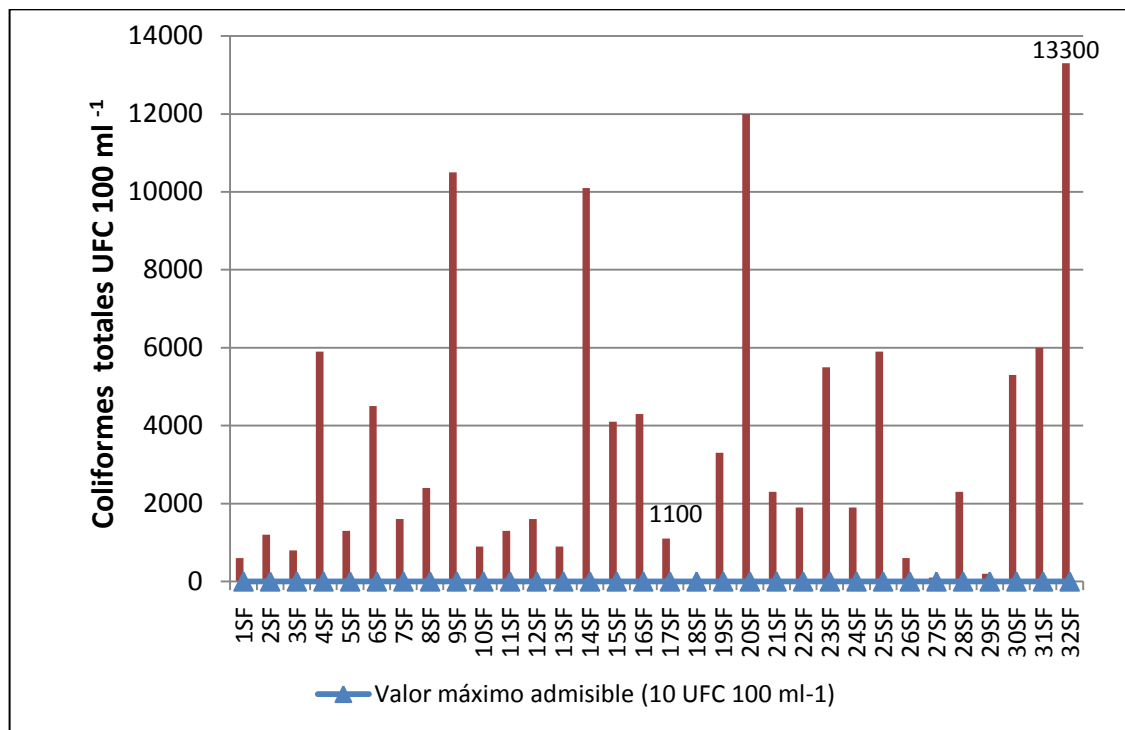


Figura 7. Conteo de coliformes totales en 32 pozos de la zona de San Francisco.

La mayoría de los pozos de SF están por encima del valor máximo permisible de coliformes totales (Figura 7). Donde 24 pozos exceden las 10 UFC 100ml⁻¹, 32SF y 20SF con 13,300 y 12,000 UFC ml⁻¹ respectivamente son los valores más altos. Solamente en un pozo, el 18SF, no se identificaron coliformes (Figura 7).

En la zona de El Pedregal (Figura 8) el pozo 2R registra el conteo más alto con 6,000 UFC 100 ml⁻¹. En esta zona, 8 de 13 pozos analizados poseen coliformes totales sobre la norma (Figura 8).

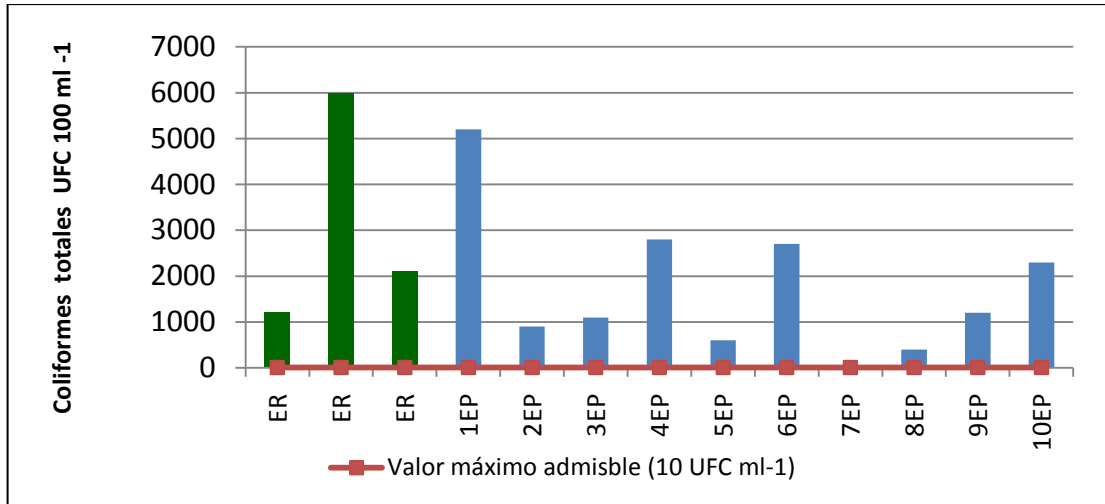


Figura 8. Conteo de coliformes totales en 13 pozos de la zona de El Pedregal.

4.4 DETERMINACIÓN DEL INDICE

Debido al número de variables presentes en este estudio se aplicó el análisis factorial como una medida de adecuación que permitió, con base en las variables estudiadas, calcular el índice de calidad de agua de los pozos y estimar las correlaciones existentes entre los indicadores.

En total siete variables fueron elegidas para realizar estas correlaciones. Se seleccionaron variables que fueran representativas y que tuvieran una correlación entre ellas, las mismas dieron una noción sobre la calidad de agua en los pozos de las comunidades analizadas. Estas variables fueron conductividad, turbidez, coliformes termotolerantes y totales, además de tres tipos de nutrientes (Cuadro 4).

Cuadro 3. Comunalidades

	Inicial	Extracción
Conductividad $\mu\text{s cm}^{-1}$	1.000	0.30
Turbidez NTU	1.000	0.21
Ortofosfatos mg L^{-1}	1.000	0.15
Coliformes termotolerantes	1.000	0.39
Coliformes totales	1.000	0.56
Amonio mg L^{-1}	1.000	0.20
Nitratos mg L^{-1}	1.000	0.05

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

La comunalidad de una variable se define como la proporción de su propia varianza. Los valores iniciales (1.00) representan las comunalidades asignadas al inicio de las variables.

Los otros valores son las comunalidades producto de la solución factorial. Al analizar las comunalidades de la extracción se observa que el nitrato es la variable menos explicada en este modelo, ya que solo se reproduce 4.9% de la variabilidad original, a diferencia de los coliformes totales cuya varianza es explicada en un 56.0% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	1.85	26.44	26.44
2	1.41	20.16	46.60
3	1.13	16.07	62.66
4	1.00	14.22	76.89
5	0.71	10.17	87.06
6	0.51	7.22	94.27
7	0.40	5.73	100.00
Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción	1.85	26.44	26.44

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Los autovalores muestran la cantidad de varianza total explicada por cada factor. En la varianza total explicada se observó que de las siete variables incluidas, solo cuatro de los autovalores contienen información sustancial sobre la varianza común disponible. Los demás autovalores resultaron ser menor a 1. Sin embargo con cuatro factores es posible explicar en 76.9% de la varianza total de la matriz de correlaciones. Después de la extracción, los valores pertenecientes a la matriz de correlaciones reducidas llegan a 26, 4% de la varianza total. Asimismo se realizó una matriz de componentes, en la cual se utilizó el método de componentes principales. Aquí se presentan las variables originales también llamadas saturaciones y cada uno de los factores.

Según los resultados obtenidos, el pozo con el indicador más bajo recibió una calificación de -1.98 (1SF), mientras que el pozo con la mejor calidad de agua recibió una calificación de 3.10 (9SF). Por otro lado aproximadamente 68.42% de los pozos se encuentran entre los rangos -1 y 1.

Para medir si las operaciones realizadas son adecuadas el programa estima una calificación del modelo, la cual indica que mientras más alta es la calificación más fuerte es el modelo.¹ Según la teoría de este modelo una calificación por encima de 50 es suficiente. La calificación del modelo para este caso fue de 50.1% un resultado aceptable.

¹ La calificación del modelo se llama la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin.

Las variables incluidas para medir la calidad del agua son adecuadas y con ellas se pueden explicar los índices de calidad de los pozos para el 72% de los casos incluidos.

Los resultados obtenidos por medio del análisis factorial permitieron la creación de dos mapas (Figura 9 y 10). Estos mapas muestran la ubicación geográfica de los pozos a los que se le realizaron todos los análisis de calidad de agua. Para elaborar estos mapas se han eliminado aquellos pozos que se consideraron como valores atípicos. El primer mapa muestra los pozos de El Pedregal (Figura 9), el otro mapa pertenece a San Francisco (Figura 10). En ambos se categorizó los pozos dependiendo de las características y la mezcla de variables en cada uno de ellos. Las categorías son tres: calidad alta, calidad media y calidad baja, representadas por una estrella, un diamante y un triángulo respectivamente.

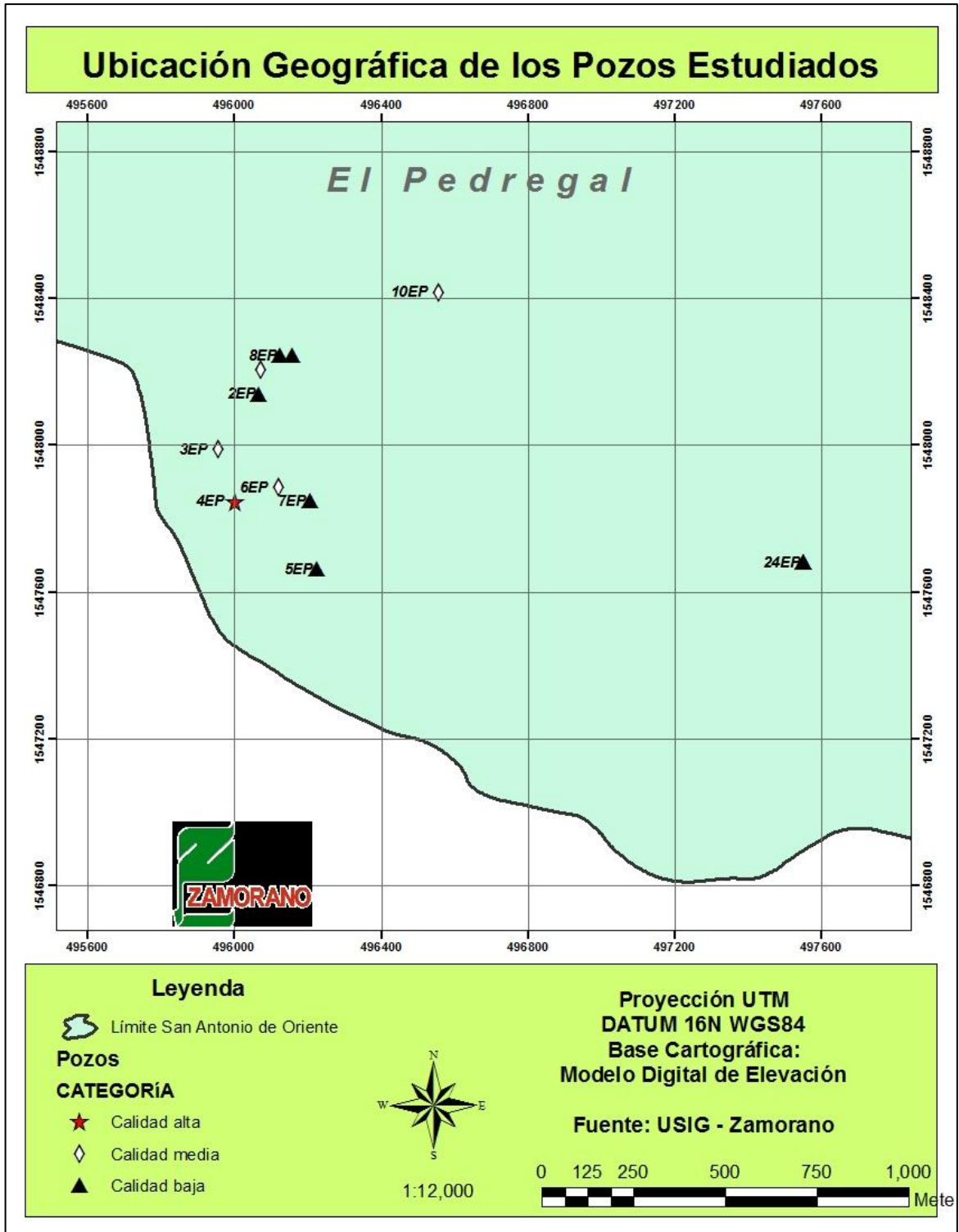


Figura 9. Categorización de la calidad de agua en pozos analizados de la zona de El Pedregal.

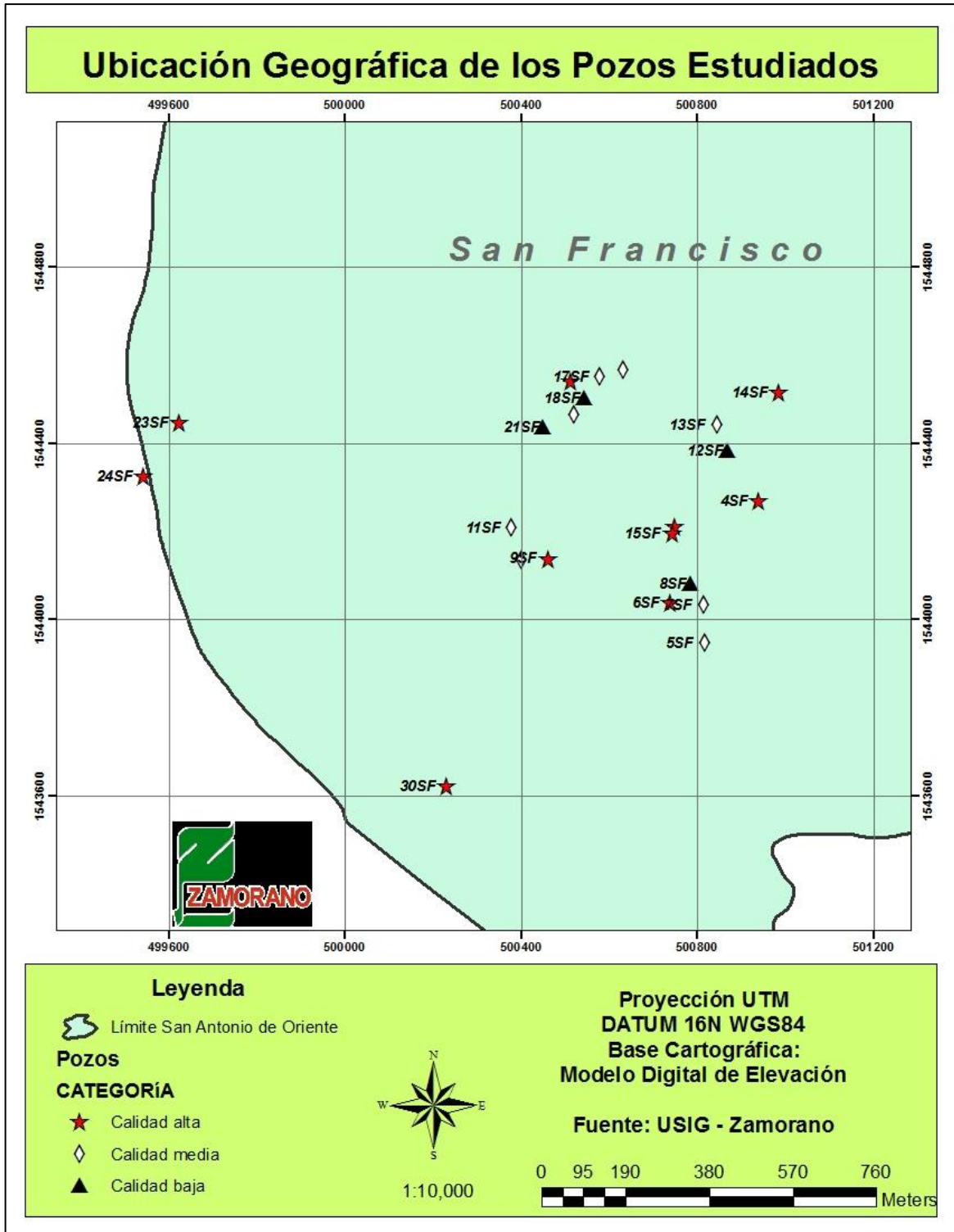


Figura 10. Categorización de la calidad de agua en pozos analizados de la zona de San Francisco.

Los resultados obtenidos por medio del índice de Kayser-Meyer-Olkin permitieron la creación de dos mapas (Figura 9 y 10). Estos mapas muestran la ubicación geográfica de

los pozos a los que se le realizaron todos los análisis de calidad de agua. Para elaborar estos mapas se han eliminado aquellos pozos que se consideraron como valores atípicos y cinco pozos cuyas coordenadas no fueron tomadas (1SF, 3SF, 1ER, 2SF y 3ER).

El primer mapa muestra los pozos de El Pedregal (Figura 9), el otro mapa pertenece a San Francisco (Figura 10). En ambos se categorizó los pozos dependiendo de las características y la mezcla de variables en cada uno de ellos. De 13 pozos incluidos en El Pedregal solo uno (4EP) mostró una alta calidad de agua, 5 (10EP, 3EP, 1EP, 1ER y 6EP) calidad media y 7 (2EP, 5EP, 9EP, 3ER, 8EP, 7EP y 24EP) calidad alta. En el caso de San Francisco la ocurrencia fue mayor, de 22 pozos 10 (9SF, 16SF, 15SF, 20SF, 4SF, 24SF, 14SF, 23SF, 6SF y 30SF) tuvieron una calidad de agua alta, ocho (11SF, 5SF, 22SF, 19SF, 13SF, 7SF, 17SF y 10SF) una calidad media y 4 (8SF, 21SF, 18SF y 12SF) tuvieron una calidad baja.

5. DISCUSIÓN

Una serie de parámetros estudiados sobrepasaron las normas establecidas en Honduras. Este es el caso de cuatro pozos cuyos valores de conductividad se elevan por encima de $400 \mu\text{s cm}^{-1}$, el 15SF con $650 \mu\text{s cm}^{-1}$, 24SF ($546 \mu\text{s cm}^{-1}$), 3SF ($420 \mu\text{s cm}^{-1}$) Y 16SF ($418 \mu\text{s cm}^{-1}$). Los análisis de turbidez muestran que de los cuarenta y ocho pozos analizados nueve no presentaron más del valor recomendado (1 UNT). Sin embargo veinticuatro sobrepasan el valor admisible de 5 UNT de turbidez.

La situación es más grave con los nutrientes. Al analizar los nitratos se obtuvieron valores como el del pozo 15SF, que presenta 23 mg L^{-1} , excediendo en un 210% el valor admisible establecido, un caso aun más crítico es el pozo 7EP en la comunidad de El Pedregal que alcanza los 29 mg L^{-1} . En lo que a nitratos se refiere los pozos evaluados en la comunidad de El Pedregal presentan concentraciones muy dispares, lo que indica posibles fuentes de contaminación puntual.

El análisis de amonio en los pozos mostró valores bajos. Ninguno de los valores sobrepasa el máximo admisible que es 0.5 mg L^{-1} , aunque los pozos 22SF (0.07 mg L^{-1}), 12SF (0.1 mg L^{-1}), 27SF (0.13 mg L^{-1}), 7EP (0.15 mg L^{-1}), 8SF (0.16 mg L^{-1}) y 2R (0.18 mg L^{-1}) si sobrepasan el valor recomendado por la Secretaria de Salud hondureña de 0.05 mg L^{-1} .

Por otro lado cuando se analiza las concentraciones de fosforo en los pozos de San Francisco (Figura 3) se observa que seis pozos están sobre la norma de la EPA de 1 mg L^{-1} . Probablemente la contaminación por ortofosfatos se origina de los pozos sépticos. Asimismo con las concentraciones de nitritos dos pozos estuvieron por encima de la norma (0.1 mg L^{-1}), el pozo 2EP con 0.13 mg L^{-1} y el 15SF con 0.104 mg L^{-1} .

La mayoría de los pozos de estas comunidades contienen indicadores de contaminación fecal. Los resultados muestran que de los 32 pozos que han sido analizados en la zona de San Francisco 23 de estos presentan coliformes termotolerantes, mientras que tres pozos de los trece analizados en la zona de El Pedregal sobrepasan la norma hondureña de 0 UFC 100ml^{-1} . La producción ganadera y la utilización de fertilizantes podrían ser las principales fuentes contaminantes.

La presencia de contaminantes se hace evidente en las diferencias en calidad de agua entre las comunidades de El Pedregal y San Francisco. Ambas localidades tienen problemas de contaminación en sus pozos. La determinación del índice mostró que El Pedregal es donde se presentó el mayor número de pozos con calidad de agua baja, solo un pozo fue

de calidad alta (Figura 9). En cambio San Francisco la mayoría de pozos tiene una calidad alta y media.

Por otro lado la cantidad de pozos para la obtención de agua en el Valle del Yeguaré ha aumentado desde el 2002, ya que se contabilizan 41 adicionales al último inventario. Sin embargo se estima que aun existe un número mayor de los mismos en las localidades donde se realizaron las investigaciones. Todos estos nuevos pozos probablemente sean el resultado del aumento poblacional en el área, de la presión existente sobre las fuentes superficiales y la mejora paulatina del nivel de vida de las familias de la zona, lo que les permite invertir en nuevas excavaciones e infraestructura para los pozos.

En el presente trabajo se analizaron dos grupos de pozos, el de El Pedregal y el de San Francisco. Si bien estos dos grupos están relativamente cerca el uno del otro, existen diferencias muy importantes, especialmente desde el punto de vista social y económico. Por un lado la comunidad de San Francisco es principalmente residencial y con una tradición ganadera y agrícola. El Pedregal por su parte, más cerca de la EAP, es también un área residencial. Esta comunidad se podría describir como una especie de poblado recreacional, por el número considerable de personas que poseen casas, haciendas y propiedades, pero que solo las utilizan como centro de recreación los fines de semana.

Como se ha descrito al principio del documento el agua subterránea, como cualquier otro sistema natural, está conformada por una miríada de procesos que permiten el almacenamiento del agua. Estos procesos en las comunidades de San Francisco y El pedregal se han visto afectados por las actividades humanas.

La zona de San Francisco presenta connotaciones interesantes desde el punto de vista hidrológico, ya que la comunidad se ha dedicado por largo tiempo a la cría de ganado vacuno y a las actividades agrícolas. Los fertilizantes utilizados para mejorar la cosecha, en el maíz entre otros, agregan más nutrientes al suelo cada año, al igual que el estiércol que proviene del ganado. En este contexto en particular, esta condición agropecuaria que sostiene a la población se torna un problema de grandes magnitudes desde un sentido estrictamente hídrico y en particular de calidad del recurso.

El nivel freático en San Francisco se encuentra a muy pocos metros de la superficie del suelo, lo que permite a los habitantes abastecerse de agua, prácticamente sin problemas. Sin embargo, las actividades cotidianas como la disposición de aguas residuales, constituyen una fuente de contaminación fecal hacia fuentes subterráneas de agua. Según Pang *et al.* (2003) los tanques sépticos contienen frecuentemente efluentes con varios tipos patógenos. En San Francisco, no solo los contaminantes de la fosa séptica se infiltran fácilmente al suelo y contaminan el agua, sino que de acuerdo con Harter *et al.* (2001) la primera fuente potencial de contaminación de un acuífero subterráneo en un área con ganado vacuno es el estiércol. Debido a ello una de las principales actividades de sustento económico de la zona, la ganadería, podría estar socavando la seguridad y salud de los ciudadanos como principal fuente no puntual de contaminación.

De los pozos analizados en El Pedregal mayoría de los pozos tienen la estructura adecuada para mantenerse libre de contaminantes. Si se analiza el panorama planteado y

la experiencia ganada en esta investigación, se podría llegar a la conclusión de que la contaminación en los pozos de la zona de El Pedregal debería ser casi nula. Esto último tiene algo de cierto cuando se ven los resultados de las bacterias termotolerantes para El Pedregal, donde la presencia de estas bacterias es muy baja. Lo anterior posiblemente se explica porque los pozos están muy bien protegidos e inclusive hasta sellados. Sin embargo como se ha observado el pozo con mayor cantidad de nitratos esta en El Pedregal. Estos valores altos en esta última zona podrían deberse al arrastre de nutrientes por escorrentía subsuperficial que junto con las condiciones del suelo permiten la infiltración y posterior percolación de los contaminantes provenientes de algunas de las zonas dentro de la comunidad dedicadas a la cría de ganado y de los mismos pozos sépticos de las viviendas.

A la susodicha problemática se le suma la contaminación por el uso de fertilizantes en actividades agrícolas. De acuerdo a Ibendahl *et al.* (2007) la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizante por el sector agrícola ha sido identificada como un contribuyente importante a la concentración elevada de nitratos en el agua subterránea, lo que podría ser una fuente de contaminación para los acuíferos de las comunidades.

El nivel económico del (la) dueño(a) del pozo influye en la calidad del agua que finalmente se extrae del mismo, ya que para equipar un pozo con todos los dispositivos de higiene se requiere una mayor inversión. La situación se torna compleja para los pobladores de las comunidades con menores ingresos (San Francisco), donde de acuerdo a conversaciones sostenidas durante la investigación, se hace evidente el hábito de las familias en estas comunidades de no aplicar tratamiento al agua antes de tomarla y por lo tanto se encuentran expuestos a serios problemas de salud.

6. CONCLUSIONES

- Este estudio ha mostrado la presencia de elevadas concentraciones de nutrientes (nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos) en los pozos de agua de las comunidades de El Rincón, San Francisco, El Pedregal y Jicarán. Debido a las concentraciones encontradas, el consumo del agua de estas fuentes constituye un riesgo a la salud humana en algunos de los pozos evaluados.
- Las fuentes de nutrientes identificadas en las tres comunidades son diversas e incluyen tanto fuentes puntuales como no puntuales; las principales son la ganadería, la aplicación de fertilizantes para fines agrícolas y la inadecuada disposición de excretas en las cercanías de los pozos de las comunidades estudiadas.
- La mayoría de los pozos de estas comunidades están contaminados con coliformes termotolerantes. De los 32 pozos analizados en la zona de San Francisco 23 presentan este tipo de coliformes. En la zona de El Pedregal 3 pozos de los trece analizados sobrepasan la norma hondureña de 0 UFC 100ml⁻¹. se estima que esta contaminación es producto del estiércol de ganado y la cercanía de los pozos de agua a las fosas sépticas.
- La profundidad promedio del nivel freático en las dos zonas (San Francisco y El Pedregal) es de 2.3 y 3.24 metros respectivamente. Se encontraron pozos con un nivel freático profundo (16.3 metros en El Pedregal) y otros muy superficiales (0.4 metros en San Francisco).
- Se han agregado 41 nuevos pozos al inventario realizado en el 2002. Esto eleva el número total a 141 pozos inventariados en cinco comunidades del Valle del Yeguaré. Se estima que el número de pozos construidos desde el 2002 es mayor al que se tiene registrado en este momento, debido al crecimiento poblacional y al agotamiento de fuentes superficiales.
- Los propietarios y propietarias de los pozos estudiados han expresado informalmente, en especial en la zona de San Francisco, la disconformidad en lo que a calidad de agua se refiere. En esta zona las características físicas como el color, olor y sabor han creado cierta desconfianza en la población, sin que esto signifique que algunos usuarios interrumpan el uso del agua para tomarla.

7. RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia utilizar la información registrada en este documento para realizar talleres y conferencias con los encargados de las juntas de agua, en las comunidades estudiadas, que permitan diseminar la información a las personas directamente afectadas por la presencia de nutrientes y bacterias en sus pozos de agua, en especial aquellas personas cuyos pozos no fueron analizados, para que estas reaccionen ante este hecho.
- La Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano debe incentivar el estudio y protección del agua subterránea de la zona. Por medio de la realización de tesis estudiantiles que permitan estimar los efectos que las actividades institucionales y las comunidades aledañas tienen sobre los acuíferos en el Valle del Yeguaré. Esto es muy importante, ya que en el futuro la institución planea hacer un mayor aprovechamiento de las fuentes de agua subterráneas.
- Las comunidades deben enfrentar y resolver el problema de contaminación de sus pozos de forma conjunta, ya que el agua subterránea es un bien común con una dinámica muy compleja. Si un usuario decide mejorar su sistema de manejo de aguas residuales, la calidad del agua en su pozo puede ser todavía afectada por la producción de ganado o fertilización de sus vecinos.
- Las comunidades deben incentivar la creación de organismos autosustentables, llámese asociación de productores y de vecinos, que promuevan sistemas de control de aplicación de fertilizantes en las plantaciones locales. Un plan de aplicación reduciría la acumulación de nutrientes en el subsuelo y bajaría sus costos, además de que propiciaría un aumento en la eficiencia del uso de suelo.
- Investigar si en las comunidades se presentan síntomas relacionados a los problemas que provoca la ingesta de concentraciones no recomendadas de nitratos y evaluar el posible impacto en la salud de los usuarios. Dichas investigaciones se podrían realizar por medio de encuestas a los habitantes, la identificación de causas de morbilidad relacionadas con el consumo de nitratos y la revisión del historial médico de los pobladores.
- Se recomienda a las comunidades de El Pedregal, San Francisco, Jicarán y El Rincón no utilizar el agua de los pozos para el consumo por lactantes, dadas las características de la calidad del agua mostradas en este estudio. Los adultos que continúen utilizando el agua de estas fuentes para consumo deben aplicar medidas de desinfección previas.

8. LITERATURA CITADA

APHA (American Public Health Association). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Eds. L. Clesceri; A. Greenberg; A. Eaton. United Book Press. Baltimore, Maryland, USA. 441 p.

Ballesteros, M. Reyes, V. & Astorga, Y. 2007. Groundwater in Central America: its importance, development and use, with particular reference to its role in irrigated Agriculture (Documento digital). Consultado el 19 de septiembre de 2009. Disponible en: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Ground_Water/protected/Giordano_1845931726-Chapter6.pdf. *Fuente original: Reynolds, J. (1992) Contaminación por nitratos en las aguas subterráneas de la Cuenca del Río Virilla. En: Primer Simposio Nacional sobre Plaguicidas: Problemática y Soluciones. San José, Costa Rica, octubre 1992.*

Baptista, C. 2002. II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental: contaminación de agua y suelos (en línea). Sao Paulo, UNESCO-UNICAMP. Consultado 28 de mayo de 2009. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/14contaminacion.pdf>

Brooks, K. Ffolliott P. Gregersen, H. & DeBano, L. 2003. Hydrology and the Management of watersheds. 3. ed. Ames, Iowa, EE. UU. Iowa State University Press. 574 p.

Carolina Biological Supply Company. 2000. 3M Petrifilm *E. coli*/coliform count plates: instruction manual. Consultado el 22 de octubre de 2009. Disponible en: http://www.carolina.com/text/teacherresources/instructions/chemistry/3M_Petrefilm_Ecoli.pdf

David, M. & Gentry, L. 2000. Anthropogenic inputs of nitrogen and phosphorus and riverine export for Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*. 29:494-508.

EPA (Environmental protection agency). 2006. Conductivity: what is conductivity and why is important? (Online). Consultado el 26 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.epa.gov/volunteer/stream/vms59.html>

EPA (Environmental protection agency). 2007. Acid rain: what is pH? Consultado el 15 de octubre de 2009. Disponible en: <http://www.epa.gov/acidrain/measure/ph.html>

Ersoy, A. Ersoy, H. Gültekin, F. 2006. Nitrate, nitrite and ammonia contamination in ground water: A case study from Gümüşhacıköy Plain, Turkey. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 4(1):107-118.

ESA (Sociedad Norteamericana de Ecología). 1998. Tópicos en ecología. Contaminación no puntual de aguas superficiales con fósforo y nitrógeno (online). Consultada el 18 de septiembre de 2009. Disponible en:

http://www.esa.org/science_resources/issues/FileSpanish/issue3.pdf

Hach Company. 1999. DR/820, DR850, and DR/890: Portable Datalogging Colorimeter Instrument Manual. Loveland. Colorado. USA. 607 p.

Harter, T. et al. 2001. Shallow groundwater quality on dairy farms with irrigated forage crops. *Journal of Contaminant Hydrology*. 55(3-4):287-315.

Ibendahl, G. & Fleming R. 2007. Controlling aquifer nitrogen levels when fertilizing crops: a study of groundwater contamination and denitrification. *Ecological Modelling*. 205(3-4):507-514.

Lagos, R. 2002. Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguaré, Honduras. Consultado el 17 de octubre de 2009.

Losilla, M. et al. 2001. Los acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, C. R. 205 p.

Newman J. 1994. Surface water quality monitoring, classification, biological assessment and standards. *Water Science and Technology*. 30(10):1-10.

OMS (Organización mundial de la salud). 2007. Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk management (online). Consultado el 15 de septiembre de 2009. Disponible en:

http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241546768_eng.pdf

OMS (Organización mundial de la salud). 2009. Glosario: ¿Cómo reducir el impacto de los desastres en los sistemas de agua y saneamiento rural? Consultado el 14 de septiembre de 2009. Disponible en:

www.paho.org/SpanishDDPEDImpactoDesastresAguaRural_glbl.pdf

OPS (Organización mundial de la salud). 1988. Agua y salud humana. México D. F. México. Limusa. 231 p.

OPS (Organización panamericana de la salud). 2007. Salud en las Américas: Honduras (online). Consultado el 15 de septiembre de 2009. Disponible en:

<http://www.paho.org/HIA/archivosvol2/paisesesp/Honduras%20Spanish.pdf>

OPS-OMS (Organización panamericana de la salud). 2003. Análisis Sectorial de Agua Potable en Honduras (online). Consultado el 26 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaas/fulltext/honduras/parte1.pdf>

Pang, L. et al. 2003. Estimation of septic tank setback distances based on transport of *E. coli* and FRNA phages. *Environment International*. 29(7):907-921.

Secretaría de Salud Honduras.1995. Norma técnica nacional para la calidad del agua potable. Consultado el 03 de octubre de 2009. Disponible en:

<http://www.ersaps.gob.hn/NR/rdonlyres/9D578951-ECC7-4FFD-B4C6-F58A232750C9/816/NormaTecnicaNacionalparalaCalidaddelAguaPotable.pdf>

SEMARENA (Secretaría de estado de medioambiente y recursos naturales). 2001. Normas de calidad de agua y control de descargas. Consultado el 29 de septiembre de 2009. Disponible en:

<http://rsta.pucmm.edu.do/biblioteca/bvds/pdfs/Normas%20Ambientales.pdf>

Zhiyu, L. *et al.* 2005. Flood forecasting using a fully distributed model: application of the TOPKAPI model to the Upper Xixian Catchment. *HESS*.9(4):279-466.

9. ANEXO

Anexo 1. Datos de de localización física y geográfica de los pozos

Localización	Comunidad	Coordenadas (16 P) UTM		Propietario
		X	Y	
1R	El Rincón	0	0	Digna Barahona
2R	El Rincón	0	0	Gustavo A. Vasquez
3R	El Rincón	0	0	Maria A. Martínez
1SF	San Francisco (Jicarán)	0	0	María E. Ortega/Luis Pinales
2SF	San Francisco	0	0	José Lagos
3SF	San Francisco	0	0	José Lagos
4SF	San Francisco	500941	1544270	Pedro Avila
5SF	San Francisco	500817	1543946	Claudia Lagos
6SF	San Francisco	500740	1544037	Digna María Trujillo
7SF	San Francisco	500815	1544033	Digna María Trujillo
8SF	San Francisco	500784	1544082	Miguel Angel Saucedo
9SF	San Francisco	500461	1544138	Miguel Carcamo
10SF	San Francisco	500401	1544136	Jorge Oseguera
11SF	San Francisco	500378	1544209	Adriana Castejo
12SF	San Francisco	500868	1544384	Marvin Gutierrez
13SF	San Francisco	500845	1544441	Pedro Antonio Santa María
14SF	San Francisco	500986	1544515	Enrique Alvarenga Ortega
15SF	San Francisco	500743	1544195	Oscar Fonseca
16SF	San Francisco	500750	1544212	Porphyries Martínez
17SF	San Francisco	500580	1544552	AGAZA
18SF	San Francisco	500543	1544503	Rene Vasquez
19SF	San Francisco	500521	1544464	Luis Barnica
20SF	San Francisco	500514	1544540	Transito Lagos
21SF	San Francisco	500450	1544437	Elvia Gomez
22SF	San Francisco	500632	1544566	Douglas Fonseca
23SF	San Francisco	499625	1544446	Lucas Aguilera
24SF	San Francisco	499543	1544324	Pedro Aguilera (ACAN)

Continuación

Localización	Ubicación física	Coordenadas (16 P) UTM		Propietario
		X	Y	
25SF	San Francisco (Guacimal)	500182	1543844	Gabriel Videa/Roberto Solórzano
26SF	San Francisco (Guacimal)	500152	1543838	Fredy Galo
27SF	San Francisco (Guacimal)	500211	1543794	Aristeo Sanchez
28SF	San Francisco	500225	1543797	Aristeo Sanchez
29SF	San Francisco	500102	1543935	Luis Rene Barahona
30SF	San Francisco	500231	1543621	Mauricio Barahona
31SF	San Francisco	500491	1543837	Pedro Pablo Sanchez
32SF	San Francisco	500594	1544110	José Guadalupe
1EP	El Pedregal	496073	15482004	Hernán Antonio Galo
2EP	El Pedregal	496067	1548139	Rosa Luisa Galo
3EP	El Pedregal	495958	1547987	Juan Medina
4EP	El Pedregal	496002	1547846	Griselda Avila
5EP	El Pedregal	496224	1547662	Margarita Hernandez
6EP	El Pedregal	496121	1547884	Josefina Gamero
7EP	El Pedregal	496206	1547847	Edelberto Villalobos
8EP	El Pedregal	496126	1548244	Antonio Velasquez
9EP	El Pedregal	496159	1548245	Antonio Velasquez
10EP	El Pedregal	496557	1548416	Ada Martínez
11EP	El Pedregal	497588	1548137	Armando Mejia
12EP	El Pedregal	497604	1548194	Claudio Diaz
13EP	El Pedregal	497618	1548089	Lili Sandoval (Claudio Diaz)
14EP	El Pedregal	497530	1548161	Claudio Diaz
15EP	El Pedregal	497522	1548598	Saul Callejas
16EP	El Pedregal	497101	1547951	Coralia Moncada
17EP	El Pedregal	497118	1547918	Coralia Moncada
18EP	El Pedregal	497065	1547962	Coralia Moncada
19EP	El Pedregal	497438	1547682	Wilmer Reyes
20EP	El Pedregal	497388	1548057	Hugo Trochez
21EP	El Pedregal	497317	1547959	Hugo Trochez
22EP	El Pedregal	497482	1547657	Oscar Cañas
23EP	El Pedregal	497613	1546838	José Bustillo
24EP	El Pedregal	497552	1547679	José Bustillo
25EP	El Pedregal	497551	1547293	Francisco Poza
26EP	El Pedregal	497551	1547293	Francisco Poza
27EP	El Pedregal	497424	1547358	Francisco Poza
28EP	El Pedregal	497253	1547421	Yolanda
29EP	El Pedregal	497430	1548828	Abrahán Benavides

Anexo 2. Ficha de datos utilizada en la recolección de datos de campo para pozos analizados

Ficha No. _____

Datos generales: pozos del Valle del Yeguaré

No. de pozo _____ **Ubicación Física** _____

Fecha de construcción _____

Coordenadas _____

Propietario _____

Uso _____ **Tipo de pozo** _____ **Tipo de bomba** _____

Profundidad del nivel freático _____

Fuente de contaminación:

Diámetro del pozo _____

Condiciones generales del pozo:

Análisis químico:

Hora	pH	Conductividad	Temperatura (°C)

Nitratos mg L ⁻¹	Nitritos mg L ⁻¹	Amonio mg L ⁻¹	Ortofosfatos mg L ⁻¹

Coliformes:

C	Ct	CT

C: Coliformes

Ct: Coliformes termotolerantes

CT: coliformes totales

Anexo 3. Concentraciones de nutrientes por pozo estudiado

Localización	Nitratos (NO ₃ - N mg L ⁻¹)	Nitritos (NO ₂ - N mg L ⁻¹)	Amonio (NH ₃ - N mg L ⁻¹)	Ortofosfatos (PO ₄ ⁻³ mg L ⁻¹)	Bacterias termotolerantes (UFC 1ml ⁻¹)	Coliformes totales (UFC 1ml ⁻¹)
1R	3.1	0.009	0.02	0.19	2	12
2R	3.5	0.024	0.18	1.05	0	60
3R	0.2	0.018	0.03	0.38	13	21
1SF	2.3	0.018	0.04	0.43	0	6
2SF	2.4	0	0.02	0.41	0	12
3SF	1.9	0.011	0.04	1.26	4	8
4SF	4	0.005	0.01	0.63	24	59
5SF	4.2	0.015	0.03	1.06	2	13
6SF	4.4	0.02	0.03	0.5	8	45
7SF	6.6	0.01	0.02	0.39	0	16
8SF	8.2	0.026	0.16	0.54	9	24
9SF	4.7	0.019	0.02	0.24	63	105
10SF	4.4	0.003	0.02	0.2	2	9
11SF	8	0.008	0.02	1.25	1	13
12SF	4.3	0.023	0.1	0.26	0	16
13SF	5.4	0.041	0.01	0.24	2	9
14SF	5.3	0.03	0.01	0.1	1	101
15SF	23	0.104	0.01	0.29	3	41
16SF	2.2	0.016	0	1.73	10	43
17SF	4.4	0.003	0.02	0.41	1	11
18SF	3.4	0.025	0.03	0.018	0	0
19SF	2	0.018	0.02	0.14	2	33
20SF	1.9	0.023	0.01	0.15	4	120
21SF	1.7	0.025	0.05	0.16	0	23
22SF	0.6	0.014	0.07	1.2	5	19
23SF	2.1	0.003	0.01	1.35	1	55

Localización	Nitratos (NO ₃ - N mg L ⁻¹)	Nitritos (NO ₂ - N mg L ⁻¹)	Amonio (NH ₃ - N mg L ⁻¹)	Ortofosfatos (PO ₄ ⁻³ mg L ⁻¹)	Bacterias termotolerantes (UFC 1ml ⁻¹)	Coliformes totales (UFC 1ml ⁻¹)
24SF	1.1	0.008	0	0.82	9	19
25SF	0.9	0.013	0.01	0.13	2	59
26SF	0.2	0.004	0.01	0.23	2	6
27SF	0.5	0.019	0.13	0.16	0	1
28SF	0.7	0.002	0.01	0.12	1	23
29SF	4.2	0.013	0.01	0.19	0	2
30SF	0.5	0.002	0.02	0.54	2	53
31SF	8.4	0.028	0.01	0.2	0	60
32SF	3.8	0.036	0.01	0.16	12	133
1EP	1	0.013	0	0.07	0	52
2EP	3.1	0.13	0.03	0.08	0	9
3EP	3.5	0.003	0	0.22	0	11
4EP	18.8	0.004	0	0.19	1	28
5EP	1.8	0.013	0	0.09	0	6
6EP	3.6	0.017	0.03	0.1	0	27
7EP	29.6	0.017	0.15	0.06	0	0
8EP	0.8	0.017	0.01	0.09	0	4
9EP	1.4	0.015	0	0.13	0	12
10EP	4	0	0	0.12	0	23