

Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguate, Honduras

Rodney Henry Lagos Macias

ZAMORANO

Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente

Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE

Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguaré, Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por

Rodney Henry Lagos Macias

Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Rodney Henry Lagos Macias

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2002.

Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguary, Honduras

Presentado por

Rodney Henry Lagos Macias

Aprobada:

Luis Alberto Caballero, M.Sc.
Asesor Principal

Peter Doyle, M.Sc.
Coordinador Carrera Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente.

Rony Elmer Estrada, Ing. Agr.
Asesor

Antonio Flores, Ph D.
Decano

George Pilz, Ph D.
Coordinador PIA

Mario Contreras, Ph D.
Director General

RESUMEN

Lagos, Rodney 2002. Línea base de la calidad del agua subterránea en el valle del Yeguaré, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 50 p.

La calidad de las aguas subterráneas en el valle del Yeguaré es desconocida, así como las amenazas potenciales de contaminación. El presente estudio estableció una línea base sobre estos dos factores. Se realizó un inventario de pozos por medio de un levantamiento de campo utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS). Mediante dicho procedimiento se determinó que actualmente existen un total de 100 pozos, de los cuales 35 son perforados (profundos) y 65 son de tipo artesanal (superficiales). Se creó una base de datos georeferenciada con información sobre propietarios, ubicación, tipo, uso, profundidad, estado actual de los pozos. También se efectuó un análisis básico de calidad que incluyó las temperaturas del agua y del ambiente, concentración de nitratos, turbidez, pH, coliformes totales y fecales. El nivel promedio de profundidad para los pozos artesanales fue 3.23 metros, no pudiendo medir la profundidad para los pozos perforados debido a la inaccesibilidad por estar sellados. La temperatura del agua en los pozos tuvo poca variación siendo en promedio 22 °C para ambos tipos de pozo. En cuanto a la calidad del agua se encontró que el 41 % de los pozos perforados y el 91% de los pozos artesanales presentan valores por encima de la norma técnica para coliformes totales. Así mismo se encontró que el 10% los pozos perforados y el 26% de los artesanales están contaminados con coliformes fecales lo que hace que el agua de estos pozos no sea apta para el consumo humano sin previo tratamiento. Con el mapeo de las amenazas potenciales de contaminación al acuífero se identificó las aguas servidas de zonas residenciales, las actividades agroindustriales, los botaderos de basura, los rellenos sanitarios y los posibles accidentes ambientales por derrames de combustibles y sustancias tóxicas usadas en la agricultura. En conclusión el uso de aguas subterráneas en el valle del Yeguaré aumentó en los últimos siete años, debido al crecimiento poblacional y las dificultades en acceder a agua superficial, principalmente en el invierno. La calidad del agua en algunos de los pozos no cumple con los estándares mínimos aceptables para consumo humano, creando sospechas del posible impacto de la contaminación asociada al desecho de aguas residuales en los hogares.

Palabras claves: acuíferos, aguas subterráneas, contaminantes, recursos hídricos.

NOTA DE PRENSA

¿EXISTIRA AGUA SUBTERRANEA DE BUENA CALIDAD EN EL VALLE DEL YEGUARE?

El último estudio realizado revela que existen un total de cien pozos en el valle del Yeguaré, de los cuales 65 son artesanales (malacate) y 35 son perforados. Este análisis fue realizado por la Escuela Agrícola Panamericana en el periodo de julio a octubre del 2002.

El propósito principal del estudio fue generar información básica sobre el estado actual de las aguas subterráneas, su calidad y las amenazas potenciales de contaminación. Con lo anterior se espera concientizar a los pobladores de la región para promover la protección y uso sostenible del acuífero.

Como producto del estudio se realizó un inventario de los pozos, creándose una base de datos georeferenciada con información sobre propietarios, ubicación, tipo, uso, profundidad, estado actual de los pozos. También se efectuó un análisis básico de calidad que incluyó parámetros como ser: la temperatura del agua y del ambiente, la concentración de nitratos, la turbidez, el pH, la cantidad de unidades formadoras de colonias de coliformes totales y fecales.

Mediante el análisis de las mediciones de campo se determinó que la profundidad promedio de los pozos artesanales fue 3.23 metros, no pudiendo medir para los pozos perforados debido a la inaccesibilidad por estar sellados. La temperatura del agua en los pozos tuvo poca variación siendo en promedio 22 °C. Se encontró que el 41 % de los pozos perforados y el 91% de los artesanales presentan valores por encima de la norma técnica para coliformes totales. Adicionalmente el 10% de los pozos perforados y el 26% de los artesanales están contaminados con coliformes fecales lo que hace que el agua de estos pozos no sea apta para el consumo humano, sin previo tratamiento de clorificación.

Las amenazas potenciales de contaminación al acuífero son principalmente las aguas servidas de zonas residenciales y en cierto grado las actividades agroindustriales, los botaderos de basura, los rellenos sanitarios y algunas sustancias tóxicas usadas en la agricultura, talleres mecánicos y gasolineras.

El uso de aguas subterráneas en el valle del Yeguaré aumentó en los últimos siete años, debido al crecimiento poblacional y las dificultades en acceder a fuentes confiables de agua superficial, especialmente en periodos de sequía, cada vez mas común en las zonas secas.

La calidad del agua en la mayoría de los pozos no cumple con los estándares mínimos aceptables para coliformes totales y en algunos de ellos para coliformes fecales,

lo que demuestra la posible contaminación asociada al desecho de aguas residuales en los hogares.

Lic. Sobeyda Alvarez

DEDICATORIA

A mis padres por apoyarme siempre.

Al amor de mi vida mi esposa Maria Del Carmen y mis hijos Héctor Benjamín, Sofía Alessandra y Carlos Andrés por ser la fuente de mi inspiración.

A mis hermanos: Héctor Martín, Nora Ivette, Giselle Idalia, Delia Maria, por los momentos y todas las vivencias que pasamos juntos, crecer con ustedes fue una experiencia incomparable.

A mi abuelita Delia por ayudarme a estudiar en Zamorano.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro amoroso Dios Jehová, por permitirme culminar una meta en mi vida.

A mi esposa Maria Del Carmen y mis hijos Héctor, Sofía y Andrés, gracias por todo su amor ustedes son lo mejor que me pudo pasar en la vida.

A mí querida familia por motivarme siempre a salir adelante y muy especialmente a mis padres por que sin ellos esto no podría ser realidad.

A mis asesores por su apoyo brindado.

Al equipo del proyecto PROMESA por su apoyo incondicional.

Al equipo de la carrera CDSEA sin su apoyo esto no seria realidad.

A Udenes, Liliam, Rolando y todos los buenos amigos del dormitorio san martín por su excelente apoyo.

A mis colegas PIA y muy especialmente a los colegas de la AMERICA 95 Allan Rittenhouse, Donaldo González, Osman Romero por hacer gratos los momentos durante nuestro cuarto año.

A Héctor Cuestas, Carlos Ardon, Rony Estrada, Pablo Flores, Reynieri Ortiz, Manuel Padilla y Néstor Meneses, por su apoyo, comentarios y criticas constructivas.

A doña Leticia Moncada “la tía ticha” y su familia, gracias por ser mi familia durante mi estadía en Zamorano.

A usted que se enorgullece del logro alcanzado.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a la decanatura académica de la Escuela Agrícola Panamericana, por el apoyo brindado con el cual pude culminar mis estudios de Ingeniero Agrónomo.

A la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente por permitirme formar parte de un excelente equipo de trabajo.

CONTENIDO

Portada.....	i
Portadilla.....	ii
Autoría.....	iii
Página de firmas.....	iv
Resumen.....	v
Nota de prensa.....	vi
Dedicatoria.....	viii
Agradecimientos.....	ix
Agradecimientos a patrocinadores.....	x
Contenido.....	xi
Índice de cuadros.....	xiii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de Anexos.....	xv
 1. INTRODUCCIÓN.....	 1
1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	 4
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	4
2.2 DEFINICIONES.....	5
2.2.1 Acuífero.....	5
2.2.2 Formación del acuífero.....	5
2.2.3 Tipos de Acuífero.....	5
2.2.4 Tipos de pozos.....	6
2.2.5 Nivel de profundidad de un pozo.....	6
2.3 ASPECTOS RELACIONADOS A LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA.....	6
2.3.1 Fuentes de contaminación.....	7
2.3.1.1 Contaminación puntual.....	7
2.3.1.2 Contaminación no puntual.....	7
2.3.2 Tipos de contaminación.....	7
2.3.2.1 Contaminación química.....	7
2.3.2.2 Contaminación física.....	8
2.3.2.3 Contaminación biológica.....	9
2.4 AMENAZAS POTENCIALES DE CONTAMINACION.....	10
2.4.1 Clasificación de las actividades contaminantes.....	10

2.4.1.1 Saneamiento sin alcantarillado.....	11
2.4.1.2 Otras actividades urbanas e industriales.....	11
2.4.1.3 Accidentes ambientales.....	12
2.4.1.4 Practicas agrícolas de cultivo.....	13
2.5 IMPLEMENTACION DE PLANES DE MANEJO.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	15
3.2 OBTENCION DE LA INFORMACION TOPOGRAFICA DEL VALLE.....	15
3.3 ELABORACION DE FICHAS PARA INVENTARIO.....	15
3.4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION DE CAMPO.....	16
3.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.....	16
3.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	16
3.6.1 Muestreo.....	16
3.7 MEDICIÓN DE VARIABLES.....	16
3.7.1 Profundidad del agua.....	16
3.7.2 Temperatura.....	17
3.7.3 pH.....	17
3.7.4 Turbidez.....	17
3.7.5 Coliformes totales y fecales.....	17
3.7.6. Nitratos.....	18
3.8 IDENTIFICACION DE FUENTES DE CONTAMIAACION.....	18
3.9 ANALISIS ESTADISTICO.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1 INVENTARIOS DE POZOS.....	19
4.2 PROFUNDIDAD DE LOS POZOS.....	19
4.3 CALIDAD DEL AGUA.....	19
4.3.1 Temperatura.....	19
4.3.2 Turbidez.....	21
4.3.3 pH.....	21
4.3.4 Nitratos.....	21
4.3.5 Coliformes totales.....	22
4.3.6 Coliformes fecales.....	24
4.4 AMENAZAS DE CONTAMINACION.....	28
4.4.1 Contaminación causada por zonas residenciales.....	28
4.4.2 Principales actividades de contaminación.....	28
4.4.3 Contaminación causada por basurales y rellenos sanitarios.....	30
4.4.4 Contaminación por accidentes ambientales.....	30
5. CONCLUSIONES.....	31
6. RECOMENDACIONES.....	32
7. BIBLIOGRAFÍA.....	33
8. ANEXOS.....	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | Procedimiento “TTEST” para determinación de igualdad de varianzas. | 25 |
|----|--|----|

INDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Distribución de pozos en el valle del Yeguaré.....	20
2.	Frecuencias de pozos artesanales y perforados contaminados con coliformes totales.....	23
3.	Unidades formadoras de colonias de coliformes totales encontradas durante el periodo de lluvias en los pozos perforados estudiados.....	22
4.	Unidades formadoras de colonias de coliformes totales encontradas durante el periodo de lluvias en los pozos artesanales estudiados.....	24
5.	Unidades formadoras de colonias de coliformes totales encontradas durante el periodo de lluvias en los pozos artesanales estudiados.....	24
6.	Unidades formadoras de colonias de coliformes fecales encontradas durante el periodo de lluvias en los pozos perforados estudiados.....	25
7.	Frecuencias de pozos artesanales y perforados contaminados con coliformes totales.....	27
8.	Amenazas potenciales de contaminación al acuífero del valle del Yeguaré.....	29

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Distribución mundial del recurso hídrico.....	36
2.	Esquema conceptual de del riesgo de contaminación de agua subterránea.....	37
3.	Inventario de pozos del Valle del Yeguaré.....	38
4.	Resultados de análisis de agua proveniente de los pozos perforados.....	44
5.	Resultados de análisis de agua proveniente de los pozos artesanales.....	45
6.	Resultados del análisis bacteriológico de las muestras de agua.....	46
7.	Medidas estadísticas de los parámetros estudiados.....	47
8.	Mapa de uso del suelo del valle del Yeguaré.....	48

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos renovables mas importantes en nuestro planeta, la cual forma parte de nuestra 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.

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 espectacular 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, 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 5 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.

En vista de la importancia de estas fuentes de agua, se podría esperar una mayor atención a la protección y manejo de estos acuíferos a fin de prevenir el deterioro de su calidad. Sin embargo, por falta de conocimiento de los recursos, falta de tecnología y de políticas hídricas, no se les ha dado la importancia debida. 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. Pese a lo anterior, el asunto es de mucha importancia por el impacto que puede ocasionar en los abastecimientos de agua potable y por el costo excesivo o lo impractico que resultaría la rehabilitación de acuíferos.

1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

En el valle del Yeguary, Honduras, las fuentes de agua para uso domestico tradicionalmente han sido las aguas superficiales, sin embargo en los últimos años la perforación de pozos a tomado auge debido al acelerado crecimiento de la población y dificultades en acceder a fuentes confiables de agua superficial. El problema radica en que la calidad de dichas aguas es desconocida así como las posibles amenazas de contaminación. Por lo anterior, la falta de investigaciones para conocer el potencial del acuífero y la falta de registros de pozos permite que bs usuarios no se percaten de las posibles consecuencias de la sobre extracción y contaminación del acuífero. Como es de esperarse, la ocupación urbana trae consigo producción de desechos líquidos y sólidos los cuales al no ser desechados apropiadamente representan una amenaza para la salud humana y el ecosistema.

1.2 ANTECEDENTES

En el valle del Yeguary hasta la fecha no se han realizado estudios sistemáticos sobre aguas subterráneas. En 1995 se hizo un intento de monitorear 10 pozos como parte de una tesis de doctorado sobre el balance de aguas. En dicho estudio se hicieron mediciones discontinuadas durante los años 1995 a 1998. A pesar de no haber concretado los resultados de esa investigación, al menos se sabe que la cantidad de pozos era mucho menor. Es por ello que existe un especial interés por parte de la Escuela Agrícola Panamericana, en conocer el potencial de las aguas subterráneas para suplir sus demandas de agua para consumo, riego e industrialización, dado la crecimiento acelerado de la población.

1.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Se desconoce en primer lugar la cantidad de hogares que se abastecen de agua de pozos y no se tienen datos confiables de la cantidad y calidad del agua que se extrae de los mismos. A través de esta investigación se obtendrá un inventario de los pozos perforados hasta la fecha en el valle, así como características básicas de calidad como ser: profundidad, temperatura, turbidez, pH, nitratos y número de colonias de coliformes totales y fecales. El inventario junto a la medición de estos parámetros y la ubicación de las posibles amenazas de contaminación servirá como una línea base para el monitoreo y evaluación futura.

Se espera que este estudio sirva como un instrumento para concientizar a la población del valle en la necesidad de desarrollar un plan de uso y protección de las aguas subterráneas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Generar información básica sobre el estado actual de las aguas subterráneas en el valle del Yeguaré.

1.4.2 Específicos:

- Realizar un inventario de los pozos ubicados en el valle del Yeguaré, que permita crear una base de datos para determinar las características de los pozos en la zona (nombre del propietario, ubicación, tipo de pozo, uso, profundidad del agua, nivel del agua, estado actual, tipo de bomba).
- Evaluar mediante parámetros físicos, biológicos y químicos, la calidad del agua subterránea.
- Realizar un mapeo o identificación de puntos de amenazas de contaminación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GENERALES

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 esta cubierta con agua y 70% del cuerpo humano esta compuesto por agua. Cada persona adulta requiere por lo menos 3 litros de agua fresca para mantener procesos metabólicos y una vida saludable (Solley y Pierce, 1993).

Un noventa y siete por ciento del agua en la tierra esta en los océanos. Se estima que alrededor de 37, 756,250 km³ de agua existen en la superficie terrestre y en la atmósfera, 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). Lo anterior significa que del total de agua dulce disponible en el mundo un 98% es agua subterránea (ver anexo 1).

Por otra parte en el mundo entero la explotación y el uso del agua subterránea es de aproximadamente 600 a 700 billones de m³/año (Margat, 1990). Con la constante presión de la población, lo más probable es que esta demanda incrementará en el futuro.

Según Theis (1940) citado por Kasenow (2002) toda el agua subterránea de importancia económica esta en proceso de movimiento a través de estratos porosos desde un lugar de recarga hasta un lugar de extracción.

Las aguas subterráneas son parte del ciclo hidrológico, que comprende el movimiento continuo del agua entre la tierra y la atmósfera por medio de la evaporación y la precipitación. El agua que cae sobre la superficie de la tierra puede tomar tres rutas principales, parte del agua en la atmósfera cae por la precipitación de lluvia y nieve y se incorpora a quebradas, ríos, lagos y océanos, la otra parte es absorbida por la vegetación, la cual transpira el agua hacia la atmósfera de nuevo. Parte de la precipitación se infiltra y percola llegando a formar parte del nivel freático. La distancia que atraviesa el agua a través de los espacios porosos del suelo y las rocas se llama la zona no saturada. El nivel freático llamado también tabla de agua se encuentra en la parte superior de la zona saturada, es decir en el área donde todos los espacios entre las rocas y la tierra están llenos de agua. Las aguas de la zona saturada son las aguas subterráneas no confinadas (Kasenow, 2002).

2.2 DEFINICIONES

Para entender mejor la ocurrencia del agua subterránea así como la problemática de su calidad y ser más efectivo en su manejo es necesario conocer ciertos conceptos técnicos.

2.2.1 Acuífero

Se denomina así a toda la formación geológica existente en la corteza terrestre, que posea agua entre sus poros y permita que la misma sea extraída mediante la perforación de pozos. Hay que mencionar que existen formaciones geológicas que poseen agua entre sus poros pero que no permiten su extracción, debido a que los poros son muy pequeños, como las arcillas, por lo que se les denomina formaciones impermeables. Una definición más técnica es como la describe Moore *et al.* (1995): Un acuífero es una formación geológica, grupo de formaciones o parte de una formación que contiene suficiente material permeable saturado para suplir cantidades significantes de agua a pozos y manantiales. Esta definición toma en cuenta el uso consuntivo y la importancia económica al mencionar las palabras “cantidades significantes de agua a pozos”. Al referirnos a uso consuntivo estamos hablando de que el agua subterránea no es salina; que es potable o que puede ser utilizada para propósitos agrícolas.

2.2.2 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 arsénicos) 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).

2.2.3 Tipos de acuífero

Existen diferentes tipos de acuíferos en la naturaleza dentro de ellos tenemos: el acuífero no confinado, el acuífero confinado y el acuífero perched (Kasenow, 2002). El acuífero no confinado o tabla de agua es un acuífero que solo tiene una capa impermeable que esta situada al fondo del acuífero. El espesor del acuífero puede variar en tamaño desde pocos metros hasta decenas de metros, dependiendo generalmente de la geología de la región. El acuífero confinado es aquel que esta limitado en la parte superior como en la parte inferior por grandes capas impermeables. Otro tipo de acuífero es el llamado perched el cual esta formado arriba de la tabla de agua principal debido a la existencia de una capa poco permeable que reduce la infiltración del agua hacia niveles mas bajos dando lugar a otro nivel freático que en muchos casos da lugar a la formación de los manantiales. En una determinada región, generalmente pueden existir ambos tipos de acuífero y cuando se realiza una perforación se van encontrando capas con diversos contenidos de agua.

2.2.4 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.

2.2.5 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.

2.3 ASPECTOS RELACIONADOS A LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

En casi todas las regiones de Honduras se usan las corrientes de agua superficial y otros cuerpos de agua para tirar desperdicios 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 domestico (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) dice 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 al agua.

En general decimos que el agua subterránea esta contaminada cuando se comprueba la presencia de organismos patógenos o sustancias químicas capaces de producir trastornos de diversa índole, convirtiéndola en un agua peligrosa y por lo tanto impropia para el consumo humano o uso domestico.

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 si OPS (1987). Dentro de esas características podemos 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.

2.3.1 Fuentes de Contaminación¹

Las fuentes de contaminación se clasifican en puntuales y no puntuales de acuerdo con el origen y la concentración.

2.3.1.1 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.

2.3.1.2 Contaminación no puntual

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 eses de ganado en pasturas entre otras.

2.3.2 Tipos de contaminación

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

2.3.2.1 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.

¹ Caballero, L. 2002, Apuntes de la clase de Manejo de Cuencas. Escuela Agrícola Panamericana.

Es necesario efectuar un examen químico para la determinación de sustancias solubles que puedan ser tóxicas; los tipos de sustancias analizadas están directamente relacionadas con la salud.

Las pruebas químicas del agua nos permiten conocer la calidad y la cantidad de sales disueltas, que en ningún caso deben ser excesivas y no deben causar trastornos a la salud. La acción de los diversos elementos químicos presentes en el agua depende de la concentración de los mismos, por lo que no conviene que pasen de los valores permisibles.

El nitrógeno es un elemento muy abundante en la atmósfera y en la biosfera. Se manifiesta tanto en forma orgánica como inorgánica, con gran movilidad de algunos compuestos, con facilidad para formarlos y de características muy diversas como el nitrógeno al estado de gas (N_2), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), amonio (NH_4), amoníaco (NH_3), y otros iones complejos procedentes de vertidos industriales. Por su incidencia en la contaminación de los acuíferos, el nitrato es la forma que más preocupa, ya que se mueve libremente a través del acuífero (CEPIS, 2002).

El incremento de esos compuestos en el agua generalmente se debe al impacto de las actividades antropogénicas. El ion nitrato es indicador de contaminación por material fecal, aguas residuales y por actividades agrícolas (fertilizantes). La presencia de nitratos en el agua para consumo humano ha recibido una gran atención en los últimos años por sus implicaciones en la salud pública. Concentraciones mayores a 44 mg/l de nitrato pueden causar metahemoglobinemia llamada también la enfermedad de los bebés azules mayormente en la población infantil y es causada por el exceso de nitratos en el agua debido a la contaminación de la misma por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados.¹

2.3.2.2 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.

Mediante un examen 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 las sales. La temperatura también aumenta la velocidad de las reacciones metabólicas y de cierta forma acelera la putrefacción de compuestos orgánicos (OPS, 1995).

Según Rheinheiner (1987) las manifestaciones de vida de todos los microorganismos están supeditadas a la temperatura. Algunos microorganismos no pueden desarrollarse sino dentro de un margen de temperatura que oscila entre los 10- 100 °C influenciando mayormente la tasa de crecimiento y las necesidades nutritivas.

¹ Bustamante, M. 2002, Apuntes de la clase de manejo de agroquímicos, Escuela Agrícola Panamericana.

La turbidez es el efecto óptico que ocurre cuando se refleja la luz en materiales como ser arcilla, arena, materia orgánica, plancton y microorganismos o sustancias que están disueltas o suspendidos en un fluido y ayuda a determinar el grado de nubosidad de ese fluido.

La turbidez es causada por materias en suspensión (arcilla, sílice o materia orgánica) finamente divididas. La turbidez puede medirse en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y para efectos de consumo humano se recomienda que el agua no exceda el valor de 5 UNT aunque el óptimo debe ser valores menores de 1 UNT (OMS/OPS 1995).

El pH define la concentración de iones de hidrogeno en el agua, su medición indica si las fuentes están contaminadas con la presencia de metales pesados, ya que a medida que el pH baja la movilidad de los metales aumenta en forma natural. El pH del agua esta estrechamente relacionado con las características del suelo de cada lugar

La exigencia de buenas cualidades físicas se refiere mayormente a aspectos estéticos y sicológicos, sin embargo, puede estar asociada a la presencia de otro tipo de minerales en exceso como el caso del manganeso, hierro y cobre.

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

La realización de pruebas bacteriológicas nos da una indicación de 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.

La calidad bacteriológica del agua es determinada mayormente por las condiciones del ambiente y el vertido de aguas contaminadas que modifican la cantidad y variedad de microorganismos presentes en el agua. Entre los organismos más importantes están bacterias, hongos, organismos de vida libre, virus, protozoos intestinales y helmintos. Todos ellos con características muy singulares de cada grupo. Para detectar la presencia de estos organismos se usan organismos indicadores. Según Centro de estudios y control de contaminantes de Honduras (1989), los organismos coliformes totales y fecales son los indicadores con los que mas comúnmente se mide la calidad bacteriológica del agua.

Los organismos coliformes totales se definen como bacterias Gramnegativas que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 a 37 °C con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas, son citocromo oxidasa negativas y no esporulados.

Las bacterias Coliformes fecales (coliformes termo resistentes) son un subgrupo de bacterias coliformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura, 44-44.5°C y producen indol a partir del triptofano; los organismos que poseen estas propiedades son considerados como presuntos *escherichia coli* CESCO (1989).

2.4 AMENAZAS POTENCIALES DE CONTAMINACION

La definición del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas según Foster (1987) es concebirlo como la interacción entre: (a) La carga contaminante que es, será, o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de actividad humana (b) La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, debido a las características naturales de los substratos que se separan de la superficie, esto quiere decir que la interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero determina el riesgo de que la contaminación penetre al acuífero (ver anexo 2).

Los perfiles del suelo atenúan activamente un gran número, pero no todos los contaminantes del agua. Durante muchos años, han sido considerados como un sistema potencialmente efectivo para la disposición segura de excrementos humanos y efluentes domésticos (Idelovitch & Michail, 1984).

Según Foster (1987) la actividad humana en la superficie de la tierra modifica los mecanismos de recarga del acuífero e introduce nuevos, cambiando la tasa, frecuencia y calidad de la recarga del agua subterránea. Esto es especialmente significativo en climas áridos, pero también ocurre en regiones húmedas. El entendimiento de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios son importantes para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

El flujo del agua y el transporte de contaminantes desde la superficie del suelo al nivel freático tienden a ser procesos lentos en muchos acuíferos. Esto significa que puede tomar muchos años, aún décadas, antes que se detecten los efectos de la contaminación o un episodio de contaminación

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas de los pozos se relaciona principalmente a los acuíferos no confinados, especialmente donde su nivel freático es poco profundo. Los abastecimientos de agua potable bombeados de acuíferos más profundos y más altamente confinados, serán afectados por los contaminantes más persistentes a muy largo plazo. Otros aspectos que influyen son el mal sellado de los pozos perforados y el mal manejo del área aledaña al pozo, ya que este abre el camino para el transporte rápido de contaminantes si no es propiamente sellado y protegido.

2.4.1 Clasificación de las Actividades Contaminantes

Es muy importante la división entre la contaminación por fuentes puntuales (que son fáciles de identificar) y por fuentes difusas. Así también, es importante la subdivisión entre las actividades en las que la generación de la carga contaminante al subsuelo es parte integral de su diseño, y de aquellas en las que el componente es incidental o accidental, especialmente considerando lo que implica para la prevención y control de contaminación. Se le debe dar mucho más consideración a la carga contaminante al subsuelo generada por actividades humanas en la superficie. Aunque hay un amplio rango de actividades humanas que generan cierta carga contaminante, a menudo se encuentra que sólo unas pocas son responsables por el máximo riesgo de contaminación de aguas subterráneas en un área dada. Dentro de estos tenemos el saneamiento sin alcantarillado y

tratamiento de las aguas servidas las actividades urbanas e industriales, los accidentes ambientales y las practicas agropecuarias.

2.4.1.1 Saneamiento sin alcantarillado: Este tipo de saneamiento puede brindar niveles adecuados de servicio para la disposición de excretas en comunidades, pueblos pequeños, a incluso en grandes áreas urbanas, a un costo mucho mas bajo que el de los sistemas de alcantarillado. Se pueden usar varios tipos de instalaciones, incluyendo tanques sépticos, fosas sépticas y letrinas secas o con descarga manual. En algunas zonas donde no se dispone de saneamiento, es probable que se continúen produciendo grandes aumentos en la disposición de excretas al suelo.

Según el CEPIS (2002), es importante reconocer que existen diferencias significativas entre los tanques sépticos y las otras unidades más económicas de disposición de excretas in-situ:

- (a) Los campos y zanjas de infiltración de los tanques sépticos se descargan a niveles significativamente más altos en el perfil del suelo que las letrinas, donde las condiciones son más favorables para la eliminación de agentes patógenos.
- (b) La descarga hidráulica de los tanques sépticos normalmente está diseñada para que no exceda de 30 mm/d, mientras que en algunas otras unidades se puede alcanzar 100 mm/d.
- (c) Los tanques sépticos están revestidos en su interior y su efluente sólido, de alto contenido de nitrógeno, es evacuado periódicamente, mientras que en otras unidades, aunque no es recomendable, este suele permanece en el suelo.

Bajo algunas condiciones hidrogeológicas, ciertas unidades de saneamiento in-situ presentan el riesgo de una migración directa de bacterias y virus patógenos hacia acuíferos subyacentes y fuentes vecinas de aguas subterráneas. La contaminación de los suministros de aguas subterráneas debido a un saneamiento sin alcantarillado ha constituido una de las causas comprobadas de transmisión de agentes patógenos en numerosos brotes de epidemias. Con frecuencia, éste es el resultado de la falta de espacio en los asentamientos densamente poblados, pero también puede ocurrir en urbanizaciones más prósperas y mejor organizadas que emplean un saneamiento in-situ y que construyen pozos excavados o tubulares particulares para reemplazar, o aumentar, las fuentes comunales de agua.

2.4.1.2 Otras actividades urbanas e industriales en muchos países aún continúan sin alcantarillado extensos sectores de áreas urbanas y marginales. Un creciente número de industrias y actividades (tales como textilerías, talleres de metales y de vehículos, imprentas, curtiembres, estaciones de combustible, etc.) con frecuencia tienden a localizarse en forma dispersa en estas áreas. La mayoría de estas industrias genera efluentes líquidos, tales como aceites y solventes. Ante la falta de control, estos efluentes son descargados directamente al suelo, debido al costo prohibitivo de alternativas tales como tratamiento o almacenamiento y transporte hasta lugares seguros de disposición. Con la creciente variedad y complejidad de productos químicos sintéticos que se usan en muchas empresas, algunos compuestos podrían representar una seria amenaza a la calidad

de las aguas subterráneas a mediano y largo plazo por ejemplo los hidrocarburos halogenados, algunos de los cuales, a pesar de su volatilidad, son solubles y móviles en los sistemas de aguas subterráneas.

Las plantas industriales más grandes, que utilizan considerables volúmenes de agua para sus procesos también dispondrán frecuentemente de lagunas para el tratamiento o la concentración de efluentes líquidos. Tales instalaciones, así como los tanques de almacenamiento subterráneos y las líneas de alcantarillado industrial, son teóricamente seguras, pero en la práctica frecuentemente tienen fugas y pueden representar una amenaza a la calidad de las aguas subterráneas. (CEPIS, 2002)

Según Llamas y Custodio (1998) en aquellas áreas urbanas que cuentan con grandes sistemas de alcantarillado, un método económico para el tratamiento de las aguas servidas, en caso de que se considere o se practique alguno, es su estabilización mediante retención en lagunas de oxidación antes de descargar a los ríos, al terreno o antes de reusarlas para riego. Con frecuencia tales lagunas no están revestidas y pueden tener pérdidas por infiltración, sobre todo después de la construcción inicial o de la limpieza subsiguiente. De ser así, ellas pueden tener un impacto considerable sobre la calidad de las aguas subterráneas locales, especialmente con relación a compuestos nitrogenados y orgánicos.

En muchos países en desarrollo los efluentes son descargados directamente a corrientes de agua superficial sin tratamiento previo y, en la temporada de sequía, con poca o ninguna dilución, especialmente en regiones áridas estas corrientes serán, comúnmente, influentes en relación a los acuíferos poco profundos y, como tales, constituyen indirectamente una seria amenaza de contaminación de las aguas subterráneas (Foster, 1987)

El riesgo más serio está asociado con botaderos de basura no controlados en donde los desechos industriales peligrosos, que incluyen depósitos de pesticidas líquidos o sólidos, se desechan en lugares inadecuados. En muchos casos no se lleva un registro del tipo y de la cantidad de los desechos depositados en un lugar determinado y los basurales y rellenos sanitarios abandonados pueden representar, por décadas, un peligro potencial para el agua subterránea (Warren; Hammer 1993).

2.4.1.3 Accidentes ambientales

Así como se conocen las fuentes más obvias de contaminación, se sabe que pueden ocurrir muchos de los llamados "accidentes ambientales" que pueden resultar en una carga contaminante discontinua al subsuelo de derivados del petróleo y/o sustancias químicas peligrosas. Tales accidentes ambientales incluyen incidentes durante su transporte, fugas debido a fallas operacionales o corrosión de las tuberías y de los tanques, etc. Dependiendo de las condiciones hidrogeológicas locales, tales derrames pueden causar un riesgo serio de contaminación de las aguas subterráneas.

2.4.1.4 Prácticas agrícolas de cultivo

El incremento de las concentraciones de nitratos y de compuestos orgánicos en las aguas subterráneas, son posibles consecuencias de las excesivas aplicaciones de efluentes y desperdicios animales sobre las tierras cultivadas.

Actualmente se está expandiendo en forma rápida el uso de fertilizantes inorgánicos en todas las naciones como un esfuerzo para incrementar la producción agrícola. En consecuencia, numerosos suelos cultivados cambiarán de ser casi invariablemente deficientes en nutrientes (excepto donde la ausencia de humedad limita el crecimiento de plantas), a tener un exceso intermitente de nutrientes.

En lugares donde la mayor parte de la demanda de agua para los cultivos proviene de irrigación, existe la posibilidad de controlar el drenaje y la infiltración en los suelos y las pérdidas de nutrientes por lixiviación hacia aguas subterráneas. Sin embargo, este hecho necesita de un entendimiento detallado de los regímenes de agua-suelo, de la selección específica de sembríos y de un manejo y tecnología de irrigación avanzadas, lo que tomará muchos años para poder practicarse a nivel de campo. Mientras tanto, existe el riesgo de una importante lixiviación de nutrientes especialmente de los suelos más delgados, de textura más gruesa, y más permeables que se encuentran bajo un régimen de cultivo con irrigación. En lugares en que el agua residual es la fuente principal de irrigación, esta práctica puede causar un aumento de la salinidad de las aguas subterráneas, y de las concentraciones de nitrato.

2.5 IMPLEMENTACION DE PLANES DE MANEJO¹

En un lugar que no fuese habitado por el hombre la degradación de sus recursos hídricos no se daría. El agua lluvia seguiría infiltrándose sin llevar consigo contaminante alguno y las zonas naturales de descarga seguirían liberando cantidades apreciables de agua dulce subterránea en un ciclo equilibrado y dinámico. No obstante con la aparición del hombre sedentario y su capacidad de modificar o incluso alterar totalmente el medio ambiente se originan comunidades, pueblos y ciudades y la generación de altos volúmenes de desechos lo que conduce a la necesidad de planificar el aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de evitar su deterioro y extinción de especies en las áreas extremas.

Un plan de manejo es aquel que de manera detallada establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos e impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad; incluye también los planes de seguimiento, evaluación monitoreo y contingencia. Los planes de manejo no son obligación exclusiva de nuevos proyectos o actividades. Cualquier acción que el hombre haya establecido y que pueda estar generando algún tipo de afectación en los recursos naturales como el agua subterránea

¹ Adaptado del Plan de manejo de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés 1999.

podrá ser requerida por la autoridad ambiental para tomar medidas de mitigación necesarias. Coralina (1999)

Existen aspectos relevantes en los que se debe trabajar para mitigar la contaminación del agua subterránea, el principal es la educación, la falta de esta ha originado la inconciencia en lo referente al uso de recursos naturales en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Según el grupo Coralina (1999) un plan de manejo de aguas subterráneas debe estar conformado por cinco programas:

- Programa de procedimientos (PP) constituido por actividades relacionadas con trámites legales sobre el uso del recurso hídrico: expedición de permisos para perforar pozos domésticos, expedición de permisos de vertimientos, evaluación de estudios de impacto ambiental.
- Programa de control (PSC) esta compuesto por todas las actividades rutinarias de vigilancia es decir seguimiento a perforación de pozos domésticos, permisos de vertimientos, campañas de muestreo de las aguas subterráneas programadas para detectar cualquier cambio en la calidad de las mismas.
- Programa de educación ambiental (PEA) Es el compendio de actividades encaminadas a una cambio positivo en las comunidades respecto a la forma como ellas perciben su entorno ambiental, especialmente el recurso hídrico subterráneo. Además se incluyen las estrategias de divulgación y sondeos para evaluar el impacto en las comunidades.
- Programa de participación comunitaria (PPC) Fortalecimientos de las comunidades en la búsqueda de soluciones respecto al problema hídrico, en el se incluyen los procesos de consulta pública y la concertación con la comunidad.
- Programa de investigación (PI) Todas las actividades encaminadas a la obtención de información para ser utilizada como materia prima en los otros programas hacen parte de este programa de investigación. Ejemplos: ensayos de campo como pruebas de bombeo, dilución de sales e interconexión de pozos.

Estos programas se complementan entre si pero esto no quiere decir que necesariamente todos deban estar presentes en cada instrumento de planificación.

Para la implementación de cualquier plan de manejo las personas deben estar preparadas para enfrentar retos ya que el enfoque de las políticas a implementar puede diferir entre las instituciones e individuos y los objetivos del estado no siempre coinciden con los de las comunidades involucradas.

Una limitante para la elaboración e implementación de planes de manejo es la falta de financiamiento para las actividades que se desean implementar (Tripp *et al.*, 1994).

De acuerdo con la el Proyecto USAID (2002) se debe tomar en cuenta que cada plan de manejo es diferente, por lo tanto dependerá de los objetivos que se plantean y desean alcanzar.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el valle del Yeguaré ubicado en el municipio de San Antonio de Oriente Departamento de Francisco Morazán, a 30 Km de la ciudad de Tegucigalpa, en el sector sur oriental del país. Una pequeña parte del valle, al sur, se halla dentro del Departamento de El Paraíso. Limita al norte con el municipio de San Antonio de Oriente; al sur, con los municipios de Maraita y de Güinope; al este, con el municipio de Yuscarán; y al oeste, con el municipio de Tatumbla.

El valle del Yeguaré tiene una topografía plana con una pendiente ligera del dos por ciento. La elevación promedio del valle es de 774 m.s.n.m. La zona central donde se encuentra la Escuela Agrícola Panamericana se encuentra a una altitud de 800 m.s.n.m. La temperatura promedio anual del valle del Yeguaré es de 24 °C Las temperaturas mas altas se registran el mes de mayo con un promedio de 27 °C y las más bajas en enero con un promedio de 22 °C. Los registros de precipitación anual en el valle dan un promedio de 1,110 mm, con una temporada lluviosa de junio a octubre y la temporada seca de enero a abril. El río Yeguaré es el principal drenaje del valle. Entre sus afluentes se encuentran: La quebrada el gallo, Las cuevitas, La pita, La chorrera y Santa Inés

3.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA DEL VALLE

En la base de datos de la unidad SIG se obtuvieron los archivos digitalizados conteniendo la información general del valle como ser los mapas de elevaciones o curvas a nivel, mapas vectoriales de ríos, aldeas y vías de comunicación del valle del Yeguaré. Estos archivos fueron visualizados en el programa Arc View® en donde fueron traspuestos y almacenados en un solo archivo.

3.3 ELABORACIÓN DE FICHAS PARA INVENTARIO

Antes de proceder a la obtención de la información de campo se elaboró una ficha para la creación de la base de datos (ver anexo 3) que incluye nombre del propietario, tipo de pozo, dato de profundidad del pozo al momento de la perforación, ubicación, estado actual (activo/inactivo). Así mismo, se elaboró otra ficha para la obtención de los resultados de las mediciones de profundidad del agua, temperaturas, pH, turbidez, nitratos, Coliformes fecales y totales, las cuales fueron llenadas durante los muestreos en las visitas de campo y en el laboratorio.

3.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Para la ubicación de los pozos se contactaron informantes claves residentes de la zona. Seguidamente se realizaron visitas domiciliarias para informar a los dueños de pozos de los objetivos y de la importancia del estudio. Luego se procedió con la georeferenciación de los pozos utilizando el Sistema de Posicionamiento Global de la carrera de DSEA y se inició con el proceso para completar la base de datos básicos para cada pozo.

3.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

La información obtenida en el campo con el GPS fue descargada y corregida en la unidad SIG de la CDSEA, mediante el uso del Path Finder Office. Con el que se disminuye el error que tiene incluido el sistema por cuestiones de seguridad. Seguidamente los archivos corregidos fueron exportados a formatos compatibles con ArcView creando el archivo que contenía la ubicación de los pozos, la base digital y los mapas temáticos.

3.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

Debido a que el estudio comprende el inventario de pozos y la línea base de la calidad de las aguas subterráneas del valle, se determinó que todos los pozos identificados serían muestreados sin repeticiones en el tiempo debido al alto costo de los análisis en laboratorio.

3.6.1 Muestreo

Para facilitar el muestreo y los análisis durante el mismo se zonificó el valle. A cada pozo visitado se le llenó la ficha de registro y se colectaron muestras de agua para el análisis de las variables. Las muestras se colectaron en bolsas estériles de 4 onzas de la marca Whirl-Pak® PK. Las muestras de los pozos artesanales fueron colectadas en las mismas bolsas pero con la ayuda de una vara colectora de muestras marca Swing Sampler, modelo B01310WA. Mientras que las de los pozos perforados se tomaron directamente de la llave antes de entrar al tanque, asegurando de que el agua no fuera tratada con cloro. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio en hieleras para mantenerlas a la temperatura recomendada, posteriormente fueron evaluadas en el laboratorio de aguas de la CDSEA. Los resultados analíticos se procesaron en una base de datos (ver anexos 4 y 5).

3.7 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES

3.7.1 Profundidad del agua

La medición del nivel del agua se realizó en todos los pozos accesibles ya que algunos pozos de tipo perforado estaban sellados. Se utilizó una sonda de interfase marca Solinst, que permite mediciones precisas de nivel en pozos y tanques, colocando la cinta dentro

del pozo y dejándola deslizar hasta conseguir un beeper del aparato el cual indica que la sonda ha entrado en contacto con el agua, registrando el nivel de profundidad estático del pozo en la ficha.

3.7.2 Temperatura

La medición de temperaturas del agua y ambiente se llevo a cabo en el campo y se uso un termómetro portátil marca YSI, colocando el aparato dentro del agua o al aire libre respectivamente, por espacio de tres minutos, hasta que la temperatura se mantenía estable y apuntando el valor correspondiente de temperatura en la ficha de resultados.

3.7.3 pH

La medición del pH del agua fue efectuada en el laboratorio de aguas empleando el medidor de pH automático marca WTW, modelo pH 525, colocando el diodo dentro de la muestra de agua por espacio de 3 minutos hasta que se estabilizara la lectura y registrando los datos en la ficha.

3.7.4 Turbidez

La medición de la turbidez se efectuó con el turbidímetro marca ORBECO-HELLIGE modelo 966. Las muestras colectadas fueron colocadas dentro de los frascos contenedores debidamente limpios por dentro y por fuera para ser leídos los resultados de turbidez siguiendo el procedimiento recomendado en el manual del aparato.

3.7.5 Coliformes totales y fecales

Para la determinación de presencia de coliformes totales y coliformes fecales se emplearon las placas 3M™ Petrifilm™, las cuales fueron inoculadas siguiendo los procedimientos estándar como se ilustra en las figuras que aparecen en el anexo 6. La incubación de las placas Petrifilm se llevo a cabo mediante el método del Nordic Committee on Food Analysis NMKL (147, 1993), incubando las placas EC para coliformes durante 24 horas $\pm$ 2 horas a 37 °C e incubando las placas EC para *E. coli* durante 48 horas $\pm$ 2 horas a 37 °C, en un horno automático marca REVCO.

El recuento de las placas se hizo en una fuente de luz amplificada, sin contar las colonias desarrolladas sobre la zona blanca ya que no están bajo la influencia selectiva del medio. Las colonias de *E. coli* son de color azul a rojo-azul y asociadas íntimamente a gas atrapado. Las colonias de coliformes totales son de color rojo y asociadas íntimamente a gas atrapado. De acuerdo con el método NMKL se enumeraron las colonias azul a rojo-azul independientemente de que estaban asociadas a gas atrapado, del tamaño o de la intensidad de color como *E. coli* confirmados. Las demás colonias fueron rojas asociadas y no asociadas a burbujas de gas. Las colonias no asociadas a gas se contaron como coliformes totales. El recuento de coliformes totales incluyo las colonias rojas y azules asociadas y no asociadas a gas a las 24 horas de incubación y se reincubaron las placas por un periodo adicional de 24 horas para detectar cualquier crecimiento adicional de *E. coli*.

3.7.6 Nitratos

Para la determinación de nitratos en el agua se utilizó el kit portátil para medición de nitrato marca LaMotte modelo PLN, para lo cual se tomaron muestras en el sitio donde se encontraban los pozos y se siguió el procedimiento recomendado en dicho kit. Después se insertó el tubo de prueba en un comparador graduado en un rango de 0.25 a 10 ppm comparando el color de la muestra con el color estándar, para luego registrar como ppm de nitrato.

3.8 IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Para la identificación de las fuentes potenciales de contaminación de las aguas subterráneas se realizaron recorridos por el área. También se basó en el conocimiento de la zona por parte de los dueños de pozos y los investigadores. Con la ayuda del GPS se georeferenciaron algunas fuentes de contaminación en el campo mientras que otras se sacaron mediante digitalización en la pantalla de la computadora a partir de fotografías escaneadas y georeferenciadas. Los puntos donde están ubicadas tales amenazas fueron exportados a un nuevo archivo en el programa Arc View en donde se desarrolló el mapa de amenazas de contaminación.

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó para comparar los pozos perforados con los pozos artesanales, siendo las repeticiones los mismos pozos. Para la determinación de las medidas estadísticas generales se usó el procedimiento para estadística descriptiva del paquete de análisis estadístico (SAS., 1999). Para encontrar las diferencias mínimas significativas se utilizó la prueba “PROC T TEST” (SAS., 1999).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 INVENTARIO DE POZOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en el valle del Yeguaré existen un total de 100 pozos de los cuales 35 son de tipo perforado y 65 de tipo artesanal (Figura 1).

Aunque no existen datos confiables sobre la cantidad de pozos registrados en el año 1995 se estimaron que existían alrededor de 15 pozos, de los cuales 10 fueron parte de un monitoreo realizado por la EAP. Basado en lo anterior se puede inferir que en los últimos 7 años cerca de 85 nuevos pozos han sido perforados producto del crecimiento poblacional en el valle.

4.2 PROFUNDIDAD DE LOS POZOS

Esta variable nos ayuda a entender el tipo de acuífero que se está investigando, los datos obtenidos a través de las mediciones nos indican que la profundidad promedio del nivel freático (pozos artesanales) es de 10.6 pies o sea alrededor de 3 metros. La profundidad de los pozos perforados fue imposible de medir debido al sellamiento de los mismos, sin embargo se midieron 3 de ellos obteniendo datos variables lo que dificulta el entendimiento del tipo de acuífero del que se está hablando.

4.3 CALIDAD DEL AGUA

Aun cuando 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 valle del Yeguaré la anterior aseveración no es del todo aplicable. El estudio de calidad refleja que las aguas presentan algunos problemas de calidad que pueden afectar la salud humana.

A continuación se presentan los resultados obtenidos y una breve discusión por cada parámetro estudiado.

4.3.1 Temperatura

Durante el periodo lluvioso la temperatura promedio del agua fue de 21.49°C para pozos artesanales y de 22 °C para pozos perforados lo que demuestra que no sufren cambios abruptos en sus temperaturas. Los valores máximos y mínimos de temperatura registrados

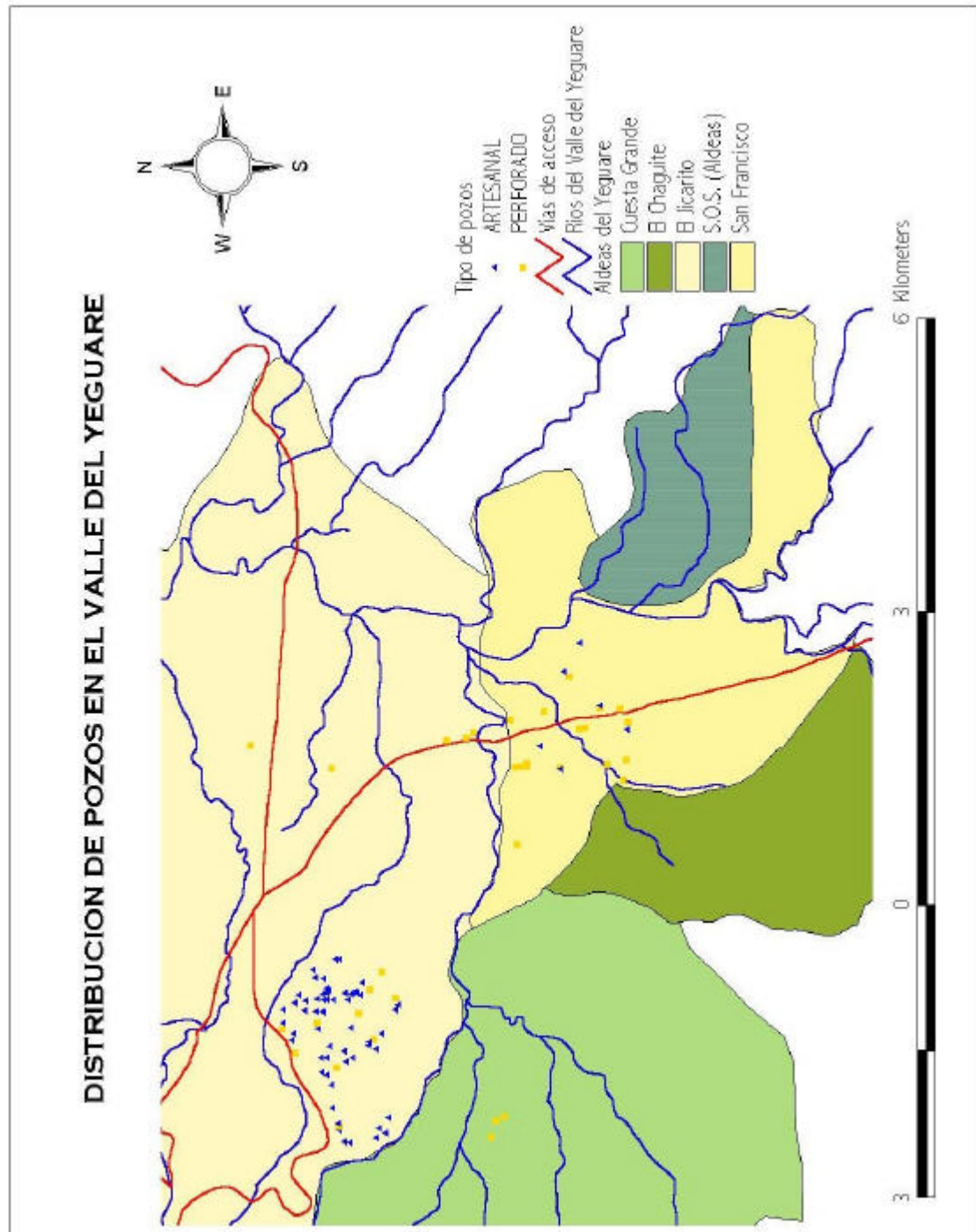


Figura 1. Distribución de pozos en el valle del Yeguaré.

para pozos perforados fue de 24.6 y 19.8°C y para pozos artesanales fue de 26 y 19.3°C respectivamente, esto indica que la temperatura de los pozos artesanales fue mayor que la de los pozos perforados debido quizás a que los pozos artesanales están más expuestos a la influencia de la temperatura ambiental (ver anexos 4 y 5).

Las mediciones de temperatura del agua y del ambiente fueron efectuadas durante el transcurso del día, la presencia de árboles y pequeños arbustos permitió que la temperatura entre un pozo y otro variara ligeramente debido a los cambios de temperatura experimentados a lo largo del día.

Según Mayorga (1989) el valor estándar de la temperatura del agua para consumo humano en Honduras es de 18°C a 30°C por lo tanto el agua de los pozos cumple con esta norma.

4.3.2 Turbidez

Este parámetro no es comúnmente estudiado en aguas subterráneas ya que las mismas no están expuestas al impacto de la erosión y otro tipo de contaminantes sólidos que pueden generar turbiedad. En este caso se decidió estudiar la turbiedad dado que existen una cantidad de pozos artesanales expuestos al ambiente.

El valor de la turbidez resulto ser diferente en todos los sitios de muestreo, para los pozos artesanales el promedio fue de 19.64 UNT y para los pozos perforados fue de 8.03. Las diferencias claramente reflejan la mayor exposición que tienen los pozos artesanales a los impactos de escorrentía o flujos superficiales.

Se puede concluir que de los 89 pozos estudiados 87 no cumplen con la norma técnica, la cual según la EPA (1986) el agua potable no debe exceder a 1 unidad nefelométrica de turbidez (UNT). (Ver anexo 3)

4.3.3 pH

Los resultados del estudio indican que los pozos perforados tienen un pH promedio de 5.5 mientras que los pozos artesanales en promedio tienen pH de 5.2, lo que indica que las aguas son ligeramente ácidas por debajo del valor recomendado por la norma técnica el cual es de 6.5 a 8.5 (OMS, 1993). Se presume que la acidez del agua es producto de la presencia de iones de hierro dada la geología de la zona.

Los efectos del pH se pueden observar en la corrosión de tuberías y en algunos casos esto influyó la turbidez del agua.

4.3.4 Nitratos

El estudio encontró una concentración de nitratos de menos de 0.25 ppm en todos los pozos, lo cual es menor según la norma técnica sugerida por CEPIS (2002) que es 50 ppm. Dicho resultado puede atribuirse a un origen natural, principalmente por mineralización de la materia orgánica en el suelo.

Este parámetro es importante monitorearlo a futuro ya que se presume que los tanques sépticos podrán influenciar las concentraciones de nitrato en el agua. Así mismo en el valle se lleva a cabo actividades agrícolas y ganaderas con uso de fertilizantes químicos y orgánicos los cuales podrían afectar dichas concentraciones.

Adriano et al. (1972, en CAST, 1985) estimaron que se requiere de 10 a 50 años para que la práctica de fertilización afecte la concentración del agua subterránea. Prat (1978, en CAST 1985), halló que la concentración de nitrato en el agua subterránea bajo áreas de cultivo irrigadas es de 25 a 30 ppm, sólo cuando las cantidades aplicadas exceden los valores considerados como eficientes.

4.3.5 Coliformes totales

Este parámetro indica la contaminación causada por heces de humanos, animales, vegetación y suelo.

De un total de 65 pozos artesanales inventariados se muestrearon 60 ya que 5 de ellos estaban abandonados e inactivos. El 91 % de los pozos artesanales presentaron contaminación por coliformes totales. Por otro lado de los 35 pozos perforados, solamente 30 pudieron ser muestreados debido a que los demás estaban sellados e inactivos. El 41% de los pozos perforados presentó contaminación por coliformes totales, esto refleja que la contaminación bacteriológica no está llegando a las profundidades de las cuales se extrae el agua. La figura 2 muestra las frecuencias de UFC/Campo de coliformes totales determinadas en los pozos artesanales y perforados.

Los resultados nos conducen a pensar que las fuentes de contaminación son los sistemas de saneamiento domiciliarios, los que abundan en el valle y prácticamente coexisten a la misma profundidad con los pozos de extracción de agua de cada casa. La pendiente de flujo contribuye al movimiento de esos compuestos orgánicos hacia las partes más bajas.

La figura 3 muestra las concentraciones de coliformes totales encontradas en los pozos perforados durante el estudio.

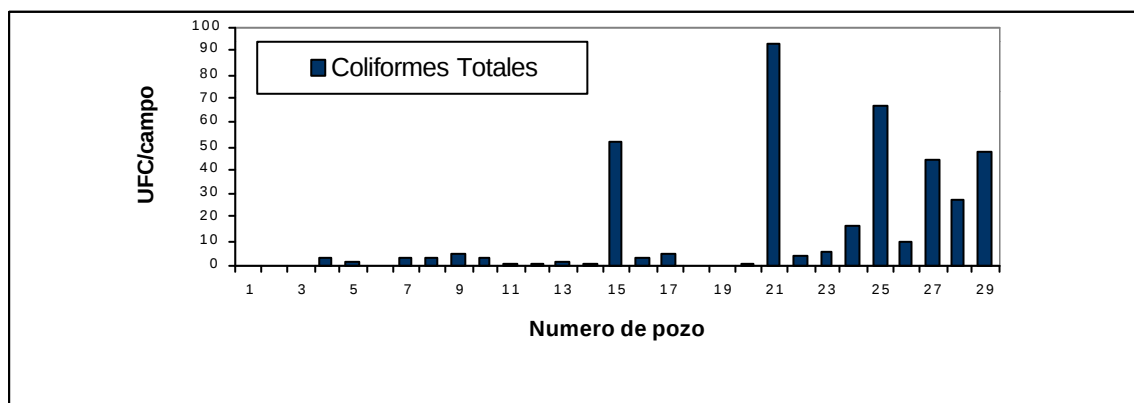


Figura 3. Unidades formadoras de colonias de coliformes totales encontradas durante el periodo lluvioso en pozos perforados.

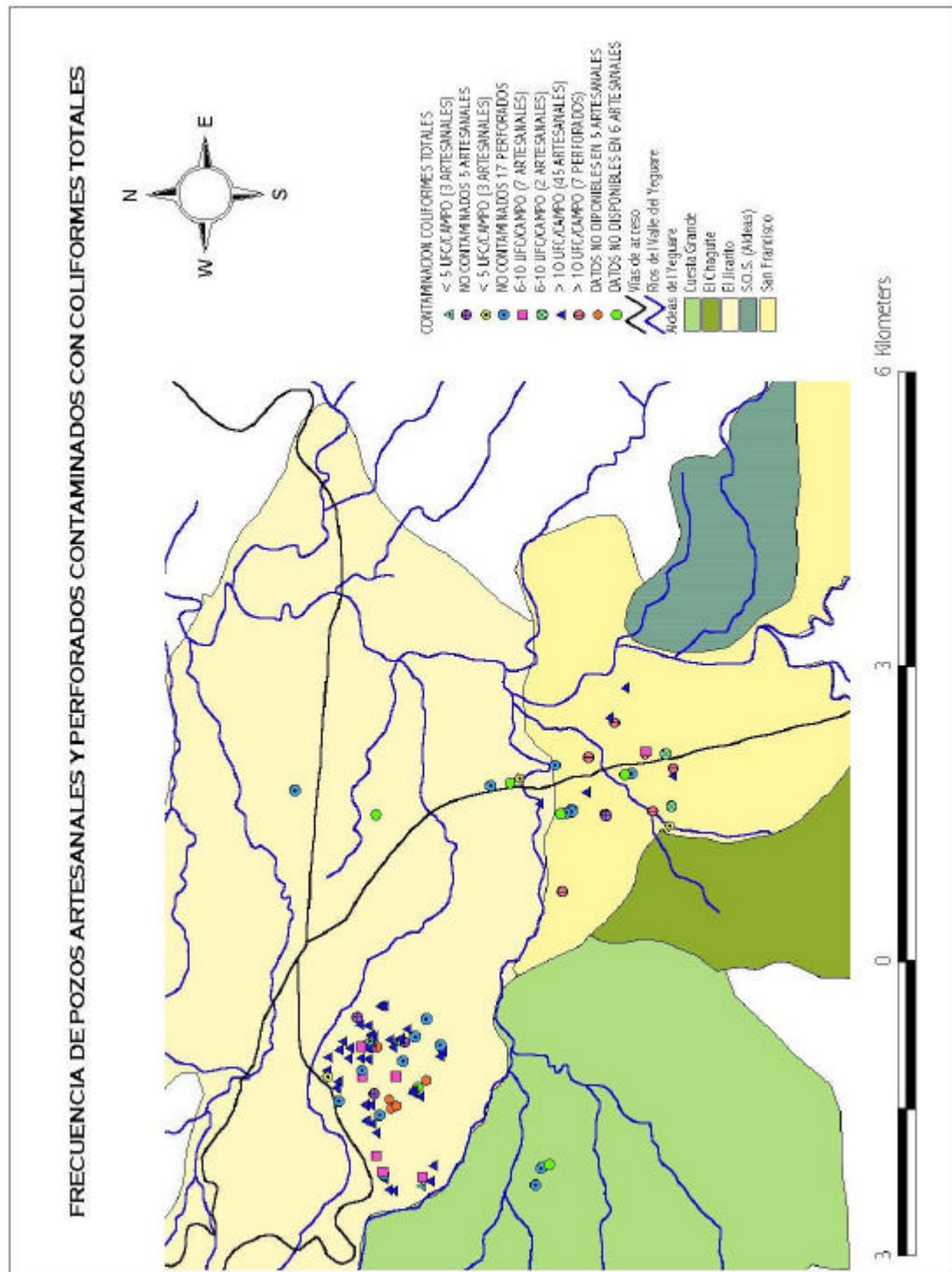


Figura 2. Frecuencia de pozos artesanales y perforados contaminados con coliformes totales.

El promedio de unidades formadoras de colonias de coliformes totales para el total de pozos perforados fue aproximadamente de 13 UFC/ campo y de 28 para los artesanales. Tales valores no son permisibles para el agua potable según la norma técnica de la CEPIS (2002) de 3 UFC/campo.

La figura 4 muestra las concentraciones de coliformes totales encontradas en los pozos artesanales durante el estudio.

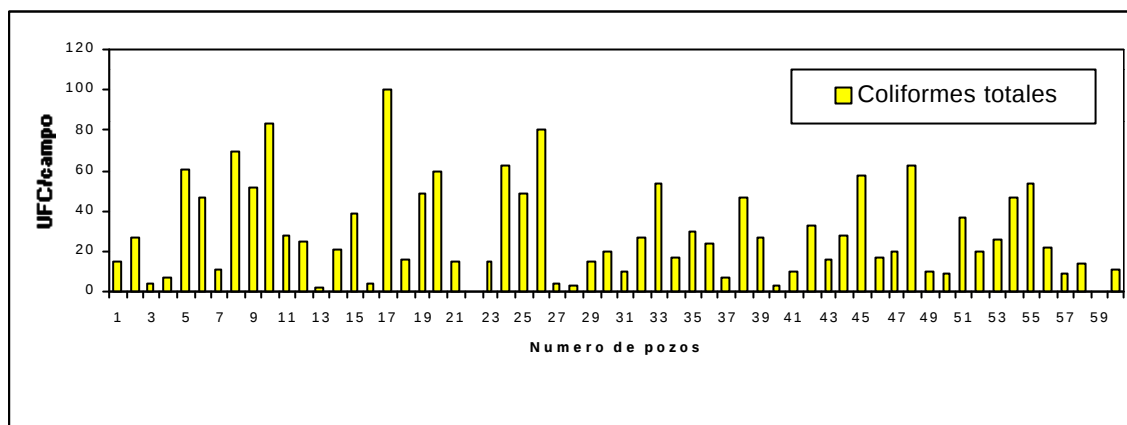


Figura 4. Unidades formadoras de colonias de coliformes totales durante el periodo lluvioso en pozos artesanales.

4.3.6 Coliformes fecales

Este análisis indica la contaminación causada por heces de animales o humanos siendo mas común encontrar la presencia de *E.coli* por su origen fecal.

La figura 5 muestra la concentración de coliformes fecales encontrada en pozos artesanales durante el estudio.

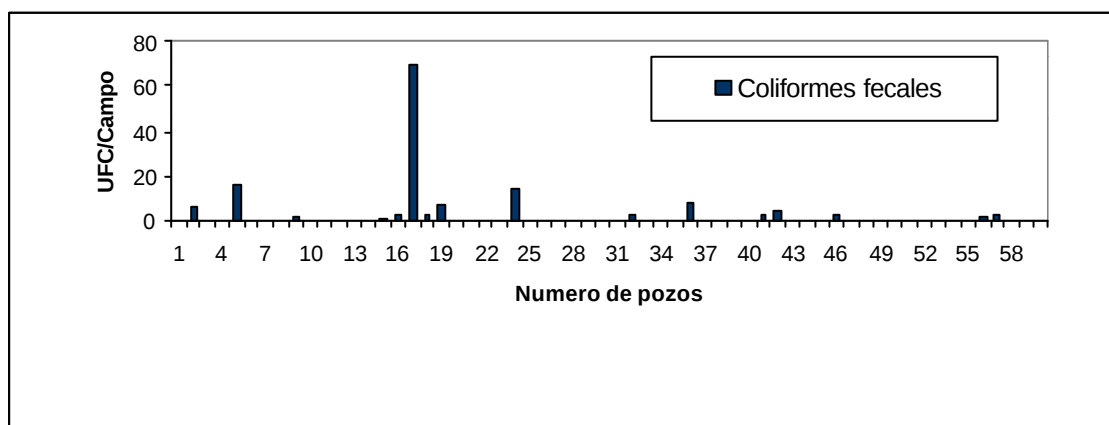


Figura 5. Unidades formadoras de colonias de coliformes fecales durante el periodo lluvioso en pozos artesanales.

Al igual que para el análisis de coliformes totales se trabajo con la misma cantidad de pozos para analizar este parámetro. El 26.7 % de los pozos artesanales presentaron contaminación por coliformes fecales, mientras que en los pozos perforados fue de 13.79%. equivalente a 4 de los 29 pozos muestreados como se nota en la figura 6.

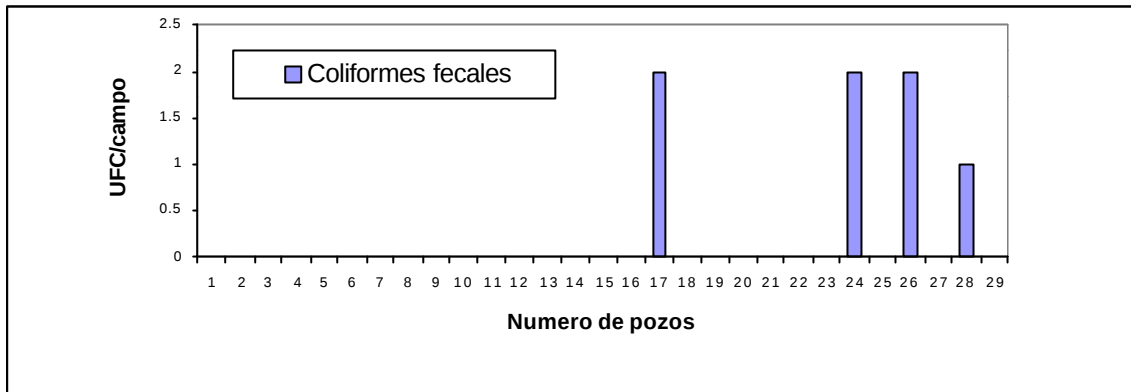


Figura 6. Unidades formadoras de colonias de coliformes fecales durante el periodo lluvioso en pozos perforados

El numero promedio de unidades formadoras de colonias de coliformes fecales para el total de pozos artesanales muestreados fue de 2.48 UFC/ campo, mientras que para los pozos perforados fue de 0.24. La presencia de coliformes fecales no es permisible para el agua potable según el CEPIS (2002), el cual deberá ser de 0 UFC/campo.

Como se muestra en el cuadro 1 existieron diferencias significativas entre los pozos perforados y los artesanales en cuanto a los parámetros turbidez y coliformes fecales lo que implica que probablemente la mayor contaminación de los pozos de tipo artesanal puede ser debida a infiltraciones de aguas residuales y superficiales por estar estos mas expuestos al ambiente.

Cuadro 1. Procedimiento “TTEST” para determinación de igualdad de varianzas.

PARAMETROS	GL	GL	VALOR F	P > F
TEMPERATURA DEL AGUA	59	28	1.56	0.1969
TEMPERATURA DEL AMBIENTE	59	28	1.05	0.9189
PH DEL AGUA	59	28	1.33	0.4153
TURBIDEZ	59	28	3.57	0.0005
COLIFORMES TOTALES	59	28	1.03	0.8881
COLIFORMES FECALES	59	28	219.83	<.0001

El hecho que en general el agua extraída de los pozos no sea ingerida por las personas, probablemente disminuye el riesgo de epidemias entre la población, no obstante los niveles de contaminación encontrados representan una seria amenaza para la salud pública.

Dentro del estudio se encontró que la zona del pedregal están ubicados la mayor parte de pozos artesanales los que resultaron estar mas contaminados, dicha zona es de especial importancia ya que no cuenta con sistema de alcantarillado y se encuentra ubicada en la parte este del valle al pie del cerro Uyuca, principal zona de recarga del acuífero. La figura 7 muestra las frecuencias de UFC/Campo de coliformes fecales para pozos artesanales y perforados.

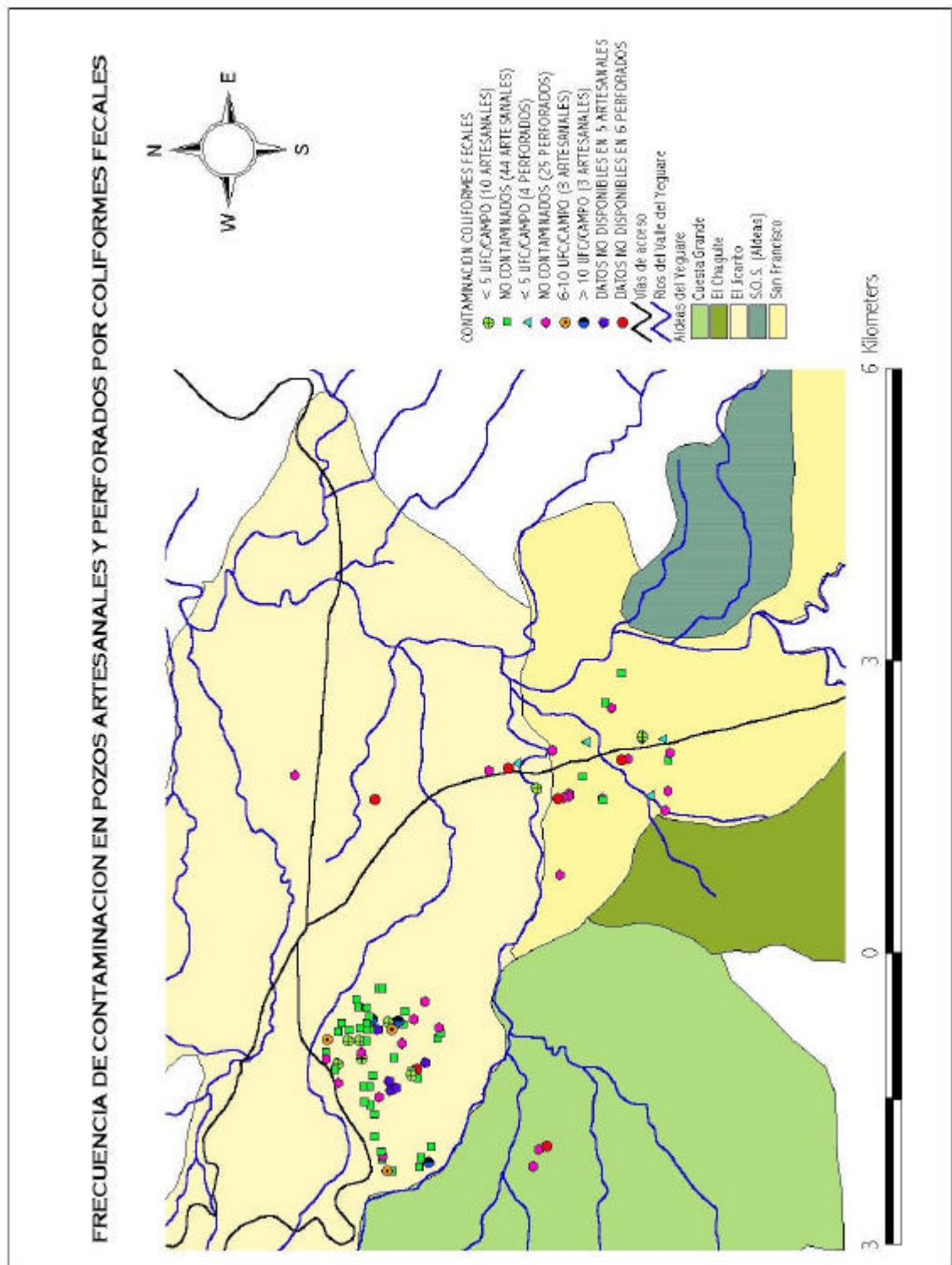


Figura 7. Frecuencia de pozos artesanales y perforados contaminados con coliformes fecales.

4.4 AMENAZAS DE CONTAMINACIÓN

4.4.1 Contaminación por zonas residenciales

En el valle se encontraron zonas residenciales principalmente las situadas en El pedregal, que no disponen de un sistema adecuado de saneamiento siendo el uso de letrinas y fosas sépticas el sistema mas común encontrado. Otro factor que es necesario resaltar es que estos sistemas son contruidos sin los requerimientos técnicos y en la mayoría de las veces 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 lo cual lo podemos asociar con los resultados obtenidos de los análisis bacteriológicos de las muestras de agua (ver anexo 6).

4.4.2 Principales actividades contaminantes

En el valle las principales actividades son la agricultura y la ganadería (ver anexo 7), las que conllevan a un incremento en el uso de fertilizantes inorgánicos, mayormente nitrogenados lo que representa un riesgo de una importante lixiviación de nutrientes especialmente en los suelos más delgados, de textura más gruesa, y más permeables que se encuentran bajo un régimen de cultivo con irrigación.

Por otro lado se encontró en menor escala la actividad agroindustrial que genera efluentes que por lo general son descargados directamente al suelo y en raras ocasiones a lagunas de oxidación las que a menudo no están revestidas y pueden tener altas tasas de pérdidas por infiltración, lo que puede afectar la calidad de las aguas subterráneas locales a futuro, especialmente con relación a compuestos nitrogenados y orgánicos. Otra posible amenaza de contaminación de las fuentes de agua subterránea relacionada a las actividades agroindustriales es que los efluentes provenientes de estas, en ocasiones son descargados directamente a corrientes de agua superficial sin tratamiento previo lo que presenta mayor peligro en la temporada de sequía, cuando existe poca o ninguna dilución. Especialmente en regiones áridas estas corrientes serán, comúnmente, influentes en relación a los acuíferos poco profundos y como tales, constituyen indirectamente una seria amenaza de contaminación de las aguas subterráneas.

La presencia de 3 gasolineras en el valle (2 privadas propiedad de la EAP y una particular) como se muestra en la figura 8, con depósitos para el almacenamiento de combustibles hace pensar que son depósitos seguros, pero en la practica no existe un control que permita determinar si tienen fugas lo que las convierte en amenazas latentes de contaminación.

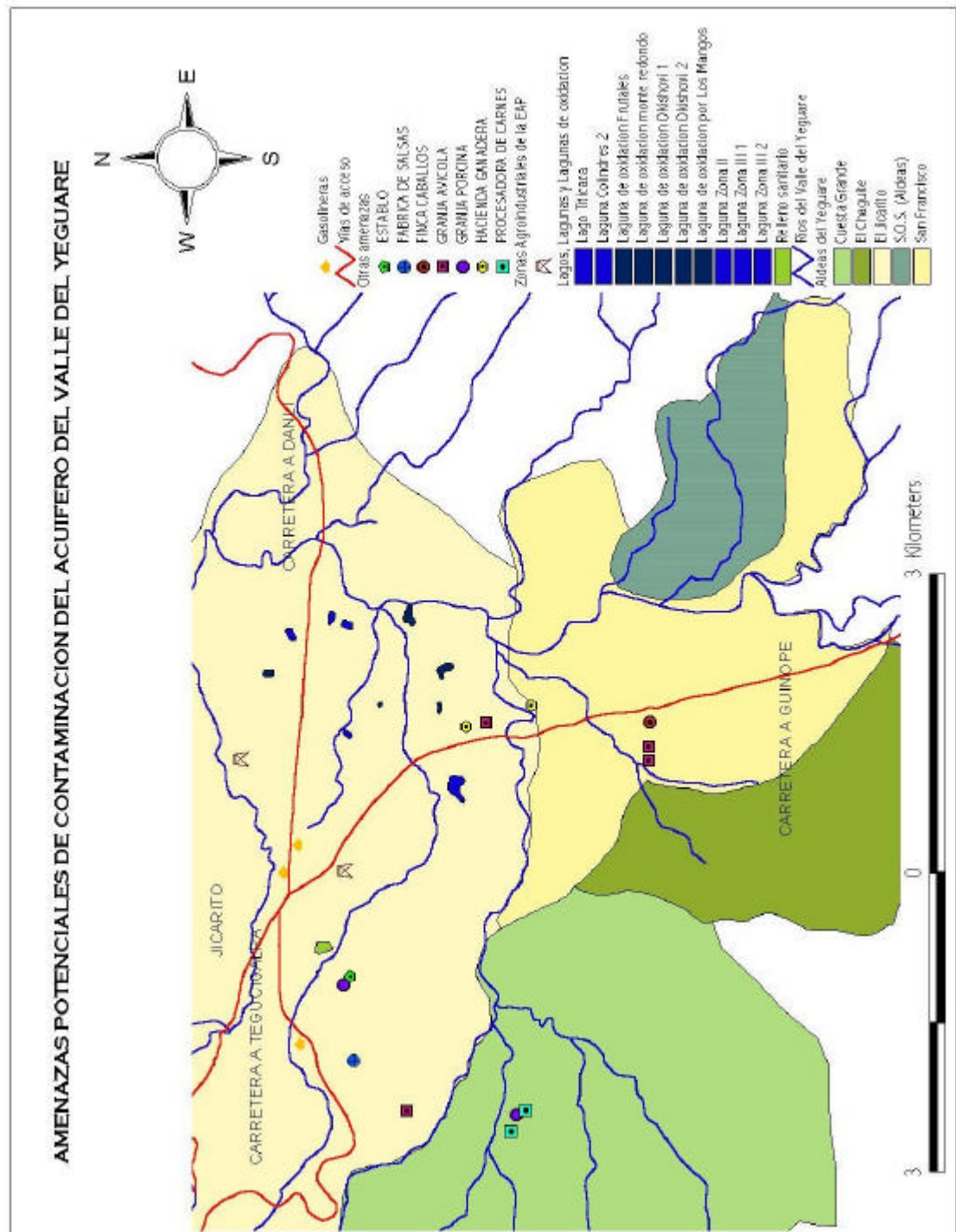


Figura 8. Amenazas potenciales de contaminación del acuífero del valle del Yeguaré.

4.4.3 Contaminación por basurales y rellenos sanitarios

Otro riesgo potencial está asociado al manejo de los desechos sólidos que en algunos casos son botaderos de basura sin ningún diseño ni control. A la fecha no se tiene un registro de la naturaleza y de la cantidad de los desechos volcados en un lugar determinado y estos al ser abandonados con el tiempo pueden representar, un peligro potencial para el agua subterránea. Como se mostró en la figura 4, el único relleno sanitario ubicado en el valle, aunque los desechos depositados son manejados adecuadamente, su amenaza potencial es la ubicación cercana a una fuente superficial de agua.

4.4.4 Contaminación por accidentes ambientales

Aunque no existen registros que comprueben su existencia se sabe que pueden ocurrir muchos de los llamados "accidentes ambientales" que pueden resultar en una carga contaminante discontinua al subsuelo, estos pueden provenir de derivados del petróleo y/o sustancias químicas peligrosas. Tales accidentes ambientales incluyen incidentes durante su transporte, fugas debido a fallas operacionales o corrosión de las tuberías y de los tanques, etc. Dependiendo de las condiciones hidrogeológicas locales, tales derrames pueden causar un riesgo serio de contaminación de las aguas subterráneas.

5. CONCLUSIONES

- La falta de un sistema público de suministro de agua para las comunidades del valle ha hecho que la población opte por la opción de perforar pozos, a pesar de los elevados costos para perforación y operación.
- La perforación de pozos sin control ni registro incrementa la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación ya que tal operación abre el camino para la movilización rápida de microorganismos y otro tipo de contaminantes.
- Por cada pozo perforado existen dos artesanales lo que indica una mayor amenaza de contaminación ya que estos están más expuestos al ambiente.
- La ausencia de un sistema de colección y tratamiento de aguas negras en la mayoría de comunidades promueve la contaminación del acuífero ya que la forma más común de evacuar dichas aguas son las fosas sépticas.
- La alta cantidad de pozos perforados en los últimos siete años pone en evidencia el riesgo de sobreexplotación al que están siendo sometidas las aguas subterráneas en el valle, lo que aunado a la falta de controles en la perforación de pozos tendrá un efecto en la estabilidad del acuífero.

6. RECOMENDACIONES

- Proteger los pozos artesanales, ademándolos por lo menos tres metros de profundidad para reducir las infiltraciones de aguas vertidas, colocándoles un anillo de protección alrededor para evitar el flujo de escorrentía superficial.
- Sociabilizar los resultados de este estudio con los beneficiarios del recurso hídrico y las autoridades locales a fin de crear mayor conciencia de amenazas potenciales de contaminación a las que esta siendo sometido el acuífero.
- Establecer una red de monitoreo de pozos artesanales y perforados sobre la cantidad y calidad del agua subterránea para identificar los cambios ocurridos a través del tiempo y tomar las medidas de mitigación necesarias.
- Se recomienda a las autoridades en general encargadas de velar por la protección y uso eficiente del recurso crear registros de los nuevos pozos perforados en el valle asegurándose que cumplan con las normas básicas de manejo.
- Se recomienda el diseño y ejecución de un plan participativo para la protección de las aguas subterráneas del valle del Yeguaré.

7. BIBLIOGRAFÍA

BARREL, R.A.E., M.G.M., ROWLAND, 1979. The relationship between rainfall and well water pollution in a West African (Gambian) village. *Journal of hygiene*. 83 p.

BUSTAMANTE, M 2002, Apuntes de la clase de manejo de agroquímicos, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.

CABALLERO, L. 2002. Apuntes de clase de Manejo de Cuencas. Las aguas subterráneas. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.

CAST, 1985. Council for Agricultural Science and Technology. Report No. 103. 61 p.

CEPIS 2002. (a) Guías OMS para la calidad del agua de bebida. (En línea) disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Consultado el 17 de sep. de 2002

CEPIS, 2002. (b) Contaminación de las aguas subterráneas. (En línea) disponible en <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind46/contami/contami.html> consultado el 21 de sep. de 2002.

CESCCO, 1989. Calidad de agua. Centro de estudios y control de contaminantes, Honduras. Boletín No.3. 28 p.

CORALINA, 1999. Plan de manejo de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés 2000- 2009. Colombia. 120 p.

CUBILLOS, Z. 1988. Calidad de agua y control de la polución. CIDIAT. Mérida, Venezuela. Serie: Ambiente y Recursos Naturales. p 3-7

EPA (U.S. Environmental Protección Agency), 2002. Estándares del reglamento nacional primario de agua potable. (En línea) disponible en <http://www.epa.gov/safe-water/agua/estandares.html>, consultado el 23 de sep. de 2002.

EPA, 1986. Quality criteria for water: 1986. U.S. Environmental Protection Agency, off. Water regulations and standards. Washington D.C., EE, UU. p 23-29

FÁBREGAS, J. (1998). Explotación y control de aguas subterráneas urbanas en el municipio de Murcia. Jornada técnica aguas subterráneas. 24 p.

FOSTER, S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Noordwijk, The Netherlands.

IDELOVITCH, E. & MICHAIL, M. 1984. Soil-aquifer treatment - a new approach to an old method of wastewater reuse. p 31-37

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

KASENOW, M., 2002. Applied Ground-Water Hydrology and Well Hydraulics. Water Resources Publications. Second edition. 835 p.

LLAMAS, R.; CUSTODIO E. Agua y Desarrollo, 1998. Madrid, España. (En línea) disponible en: <http://www.cidob.es/castellano/publicaciones/afer/45-46llamas.html> consultado el 20 ago. 2002.

MARSH, W. 1997. Landscape planning environmental applications. Third edition 434 p.

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

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

NACE, R.L. 1967. U.S. Geological Survey Circular 536.

OMS, 1993. Recommendation. Guidelines for drinking water. 2 ed. (Generva, Francia). P 8-19

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.

SAS, 1999. User guide: Statistics. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

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

TRIPP, R.; SAIN, G.; BRENNES, E R. 1994. Desafíos presentes y futuros del medio ambiente y la productividad en la agroempresa centroamericana. Ed. por INCAE. San José, C.R. s.n. 96 p.

UNIR, 1998. Proyecto UNIR Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.

USAID, 2000. Proyecto de rehabilitación de la cuenca alta del río Choluteca, Honduras Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.

WARREN, V.; HAMMER, M., (1993). Water supply and Pollution Control. Fifth edition 860 p.

WHO. 1982. Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution. World Health Organization Offset Publication 62: 113 pp.

8. ANEXOS

Anexo 1.

Distribución de los Recursos Hídricos

Fuente de agua	Volumen (km ³)	% del agua total
Océanos	1,320,000,000	97.3
Glaciares	29,200,000	2.14
Agua Subterránea	8,350,000	0.61
Lagos de agua fresca	125,000	0.009
Lagos de agua salada	104,000	0.008
Suelo	67,000	0.005
Atmósfera	13,000	0.001
Ríos (volumen promedio)	1,250	0.0001
Total (redondeado)	1,360,000,000	100

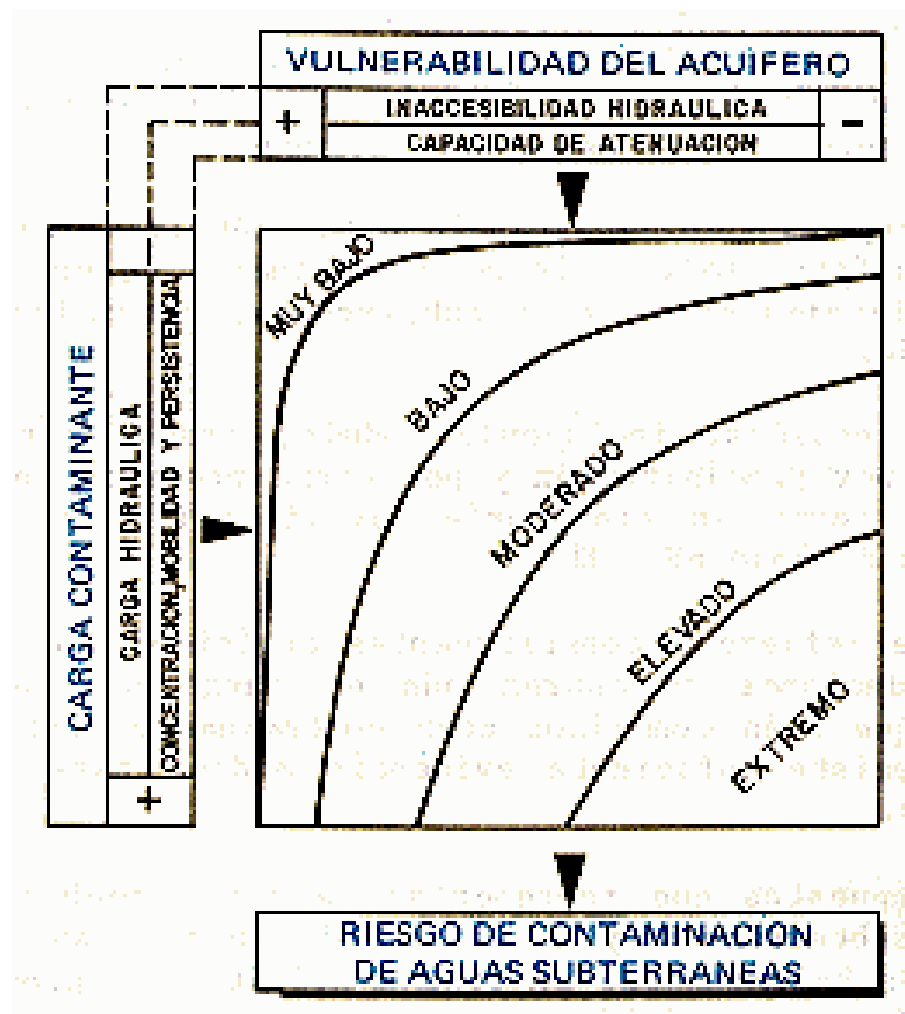
Fuente: Nace (1997). U.S. Geological Survey circular 536

Distribución del agua dulce

Fuente de agua	% del agua suplida a nivel mundial	% del agua dulce suplida a nivel mundial	% del agua dulce disponible
Océanos	97.3	0	0
Glaciares	2.14	77.3	0
Agua Subterránea	0.61	22.1	98
Lagos de agua fresca	0.009	0.33	<2
Suelo	0.005	0.18	0
Atmósfera	0.001	0.03	0
Ríos (volumen promedio)	0.0001	<0.004	<0.015

Fuente: Nace (1997). U.S. Geological Survey circular 536

Anexo 2. Esquema conceptual del riesgo de contaminación de aguas subterráneas



Modificada de Fóster, 1987

Anexo 3.**INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE**

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
1	ROSA LUISA GALO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	8	ACTIVO
2	HERNAN GALO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
3	GERMANOS	PERFORADO	EL PEDREGAL	INDUSTRIAL	NT	50	ACTIVO
4	GERMANOS	PERFORADO	EL PEDREGAL	INDUSTRIAL	ELECTRICA	60	ACTIVO
5	DELIKATESSEN	PERFORADO	EL PEDREGAL	INDUSTRIAL	ELECTRICA	50	ACTIVO
6	JOSEFINA GAMERO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	14	ACTIVO
7	EDILBERTO VILLALOBOS	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	15	ACTIVO
8	JUAN RODOLFO VASQUEZ	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	14	ACTIVO
9	GRANJA CADECA ZAMORANO	MALACATE	EL PEDREGAL	INDUSTRIAL	NT	10	ACTIVO
10	LEONARDO ESPINOZA PRIETO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SOLAR	ND	ACTIVO
11	CORALIA MONCADA	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	45	ACTIVO
12	CORALIA MONCADA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	INACTIVO
13	CORALIA MONCADA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	8	INACTIVO
14	AMADEO ACOSTA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	13	ACTIVO
15	OSCAR CAÑAS	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO Y DOMICILIARIO	NT	18	ACTIVO
16	JOSE CESAR BUSTILLO M.	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	20	INACTIVO
17	GUSTAVO OVIEDO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	15	INACTIVO

INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
18	GUSTAVO OVIEDO	PERFORADO	EL PEDREGAL	RIEGO Y DOMICILIARIO	ELECTRICA	30	ACTIVO
19	HUGO TROCHEZ	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	91	ACTIVO
20	GERARDO PELEN	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	30	ACTIVO
21	CARLOS GARCIA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	11.5	ACTIVO
22	VENTURA PAVON	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	NT	10	ACTIVO
23	ARMANDO MEJIA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	5	ACTIVO
24	ARMANDO MEJIA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	15	INACTIVO
25	LILI SANDOVAL	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	10	INACTIVO
26	CLAUDIO DIAZ	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
27	CLAUDIO DIAZ	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	NT	12	ACTIVO
28	ROBERTO FONSECA	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	ELECTRICA	6	ACTIVO
29	NICOLAS CRUZ TORRES	MALACATE	EL PEDREGAL	CONSUMO Y RIEGO	NT	7	ACTIVO
30	SAMUEL MATAMOROS	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	MANUAL	5.5	ACTIVO
31	PEDRO JOSE RIOS	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	8	ACTIVO
32	PEDRO JOSE RIOS	MALACATE	EL PEDREGAL	CERDOS	ELECTRICA	9	ACTIVO
33	PEDRO JOSE RIOS	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	ELECTRICA	11	ACTIVO
34	PEDRO JOSE RIOS	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO PASTO	ELECTRICA	11.5	ACTIVO

INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
35	GUSTAVO ALVAREZ	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	ND	ACTIVO
36	GUSTAVO ALVAREZ	MALACATE	EL PEDREGAL	EN CONSTRUCCION	NT	3	INACTIVO
37	BELINDA BORJAS	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	8	ACTIVO
38	BENJAMIN CRUZ TORRES	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	4	ACTIVO
39	GASPAR OBANDO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	5	ACTIVO
40	FRANCISCO ROBLES	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
41	CALIXTO CALLEJAS	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
42	SAUL CALLEJAS	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
43	GUILLERMO TORRES	MALACATE	EL PEDREGAL	EN CONSTRUCCION	NT	ND	INACTIVO
44	TEODORO ALBORNOCH	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	16	ACTIVO
45	ABARAHAN BENAVIDEZ	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
46	ALEXIS SALGADO	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
47	ALFREDO RUEDA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	15	INACTIVO
48	ALFREDO RUEDA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	15	INACTIVO
49	ALFREDO RUEDA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	NT	15	INACTIVO
50	JAIRO MURILLO	PERFORADO	EL PEDREGAL	INDUSTRIAL	ELECTRICA	90	ACTIVO
51	VIRGILIO AVILA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	7	ACTIVO

INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
52	VIRGILIO AVILA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	7	ACTIVO
53	CARLOS ENRIQUE ZUNIGA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	8	ACTIVO
54	PEDRO ANTONIO TROCHEZ	MALACATE	EL PEDREGAL	RIEGO	MANUAL	20	ACTIVO
55	GERARDO MURILLO	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	60	ACTIVO
56	AURELIO REVILLA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
57	AURELIO REVILLA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
58	AURELIO REVILLA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
59	DEPOSITO PEPSI	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	ND	INACTIVO
60	GUSTAVO ULLOA	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
61	MARIA S. VDA. DE MARADIAGA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	26	ACTIVO
62	VENTURA PAVON	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	20	ACTIVO
63	JUAN CARLOS ROSAS	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	100	ACTIVO
64	DILMA FLORES	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
65	JUAN RENE RIVERA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
66	JUAN RENE RIVERA	PERFORADO	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	33	ACTIVO
67	OSCAR RAFAEL OCHOA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	MANUAL	10	ACTIVO
68	AURELIO REVILLA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	12	ACTIVO

INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
69	AURELIO REVILLA	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	12	ACTIVO
70	RUDOLPH RENDELL	MALACATE	EL PEDREGAL	DOMICILIARIO	ELECTRICA	10	ACTIVO
71	FINCA MURRA	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	ELECTRICA	40	ACTIVO
72	FINCA MURRA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	40	ACTIVO
73	FINCA MURRA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	40	ACTIVO
74	FINCA MURRA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	40	ACTIVO
75	JAIME ROJAS FINCA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO Y DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	45	ACTIVO
76	JAIME ROJAS	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	MANUAL	7.5	ACTIVO
77	GUSTAVO VASQUEZ	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	30	ACTIVO
78	VICTOR MUÑOZ	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	77	ACTIVO
79	RONY SANCHEZ	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	60	ACTIVO
80	GILBERTO SANCHEZ	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	50	ACTIVO
81	ROBERTO GALLARDO	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO Y DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	50	ACTIVO
82	LUIS MEYER	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
83	ANTONIO MEMBREÑO	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO Y DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	45	ACTIVO
84	E.A.P. ZAMORANO	PERFORADO	MTE. RDO.	ESTUDIOS	NT	60	INACTIVO
85	E.A.P. ZAMORANO	PERFORADO	TER. AGRONOMIA	RIEGO	SELLADO	122	INACTIVO

INVENTARIO DE POZOS VALLE DEL YEGUARE

No.	PROPIETARIO	TIPO POZO	UBICACIÓN	USO	TIPO DE BOMBA	PROF MTS	SITUACION ACTUAL
86	PULPERIA CASA BLANCA	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO
87	RIXMAUI	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
88	RIXMAUI	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	NT	ND	INACTIVO
89	EDWIN GUEVARA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
90	EDWIN GUEVARA	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	ELECTRICA	15	ACTIVO
91	MARIANO JIMENEZ	PERFORADO	CASA BLANCA	INDUSTRIAL	NO TIENE	ND	INACTIVO
92	MARIANO JIMENEZ	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO Y DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
93	JAVIER OLAECHEA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO Y DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO SELLADO
94	MICHEL HASBUNN	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
95	MICHEL HASBUNN	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	MANUAL	ND	INACTIVO
96	JOVENES EN CAMINO	PERFORADO	SAN FRANCISCO	DOMICILIARIO	ELECTRICA	ND	ACTIVO
97	JAVIER JAAR	PERFORADO	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
98	ARMANDO BETANCOUR	MALACATE	CASA BLANCA	DOMICILIARIO	ELECTRICA	10	ACTIVO
99	JUAN FERRERA	PERFORADO	CASA BLANCA	RIEGO	SUMERGIBLE	ND	ACTIVO
100	ANTONIO MEMBREÑO	MALACATE	SAN FRANCISCO	DOMICILIARIO	MANUAL	12	ACTIVO

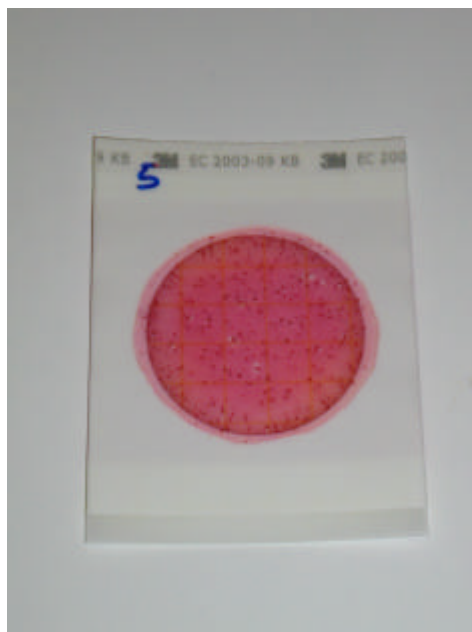
Anexo 4. Resultados de análisis de agua proveniente de pozos perforados.

No.	USUARIO	P	T1	T2	PA	N	T
1	GERMANOS	n/d	22	25	5.39	<0.25	1.8
2	DELIKATESSEN	n/d	23	25.2	5.3	<0.25	1
3	JOSE CESAR BUSTILLO	n/d	24.6	26	5.2	<0.25	1.8
4	GUSTAVO OVIEDO (P)	n/d	24.3	26.5	5.39	<0.25	5.7
5	HUGO TROCHEZ	n/d	23.7	26.3	5	<0.25	4.9
6	GERARDO PELEN	n/d	23.4	26.7	5.5	<0.25	42.4
7	JAIRO MURILLO	n/d	23.2	24.8	4.87	<0.25	11
8	GERARDO MURILLO	n/d	20.4	23.2	4.8	<0.25	3.6
9	GUSTAVO ULLOA	n/d	20.7	22.6	3.97	<0.25	1.2
10	JUAN CARLOS ROSAS	n/d	19.8	21.3	6.14	<0.25	2.4
11	JUAN RENE RIVERA (P)	n/d	20.1	21.7	6.18	<0.25	3.6
12	MURRA	n/d	22.3	22.5	5.57	<0.25	18.1
13	MURRA	n/d	23.1	24.1	5.47	<0.25	10.8
14	MURRA	n/d	22.7	24.6	5.7	<0.25	1.1
15	JAIME ROJAS	n/d	22.3	23.9	5.96	<0.25	2.8
16	VICTOR MUÑOZ	n/d	23.1	25.2	5.38	<0.25	10.5
17	GILBERTO SANCHEZ	n/d	21.8	23.7	5.37	<0.25	2.2
18	ROBERTO GALLARDO	n/d	20.9	22.8	5.65	<0.25	2.5
19	EAP ZAMORANO	n/d	20.7	22.4	6	<0.25	1
20	RIXMAUI	n/d	20.7	22.6	5.68	<0.25	4
21	EDWIN GUEVARA	n/d	20.4	23.1	5.89	<0.25	9.1
22	MARIANO JIMENEZ	n/d	22.8	24.3	5.85	<0.25	3.8
23	MARIANO JIMENEZ	n/d	22.4	24.2	5.8	<0.25	4.6
24	JAVIER OLAECHEA	n/d	21.3	23.8	5.22	<0.25	6.9
25	MICHEL HASBUN	n/d	20.9	22.7	6.13	<0.25	2.8
26	JOVENES EN CAMINO	n/d	21.2	24.2	5.97	<0.25	5.3
27	JAVIER JAAR	n/d	21.4	23.5	5.82	<0.25	2.5
28	JUAN FERRERA	n/d	21.7	26.7	5.77	<0.25	1.1
29	ANTONIO MEMBREÑO	n/d	23.1	25.9	5.91	<0.25	64.3
	VALOR MINIMO		19.8	21.3	3.97		1
	VALOR MAXIMO		24.6	26.7	6.18		64.3
POZOS PERFORADOS QUE NO PUDIERON SER ESTUDIADOS							
	USUARIO	P	T1	T2	PA	N	T
	EAP ZAMORANO	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	RIXMAUI	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	RONY SANCHEZ	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	MURRA	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	CORALIA MONCADA 1	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	GERMANOS	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
P = Profundidad (pies)		N = Nitratos (ppm)					
T1 = Temperatura del agua (°C)		T = Turbidez (UNT)					
T2 = Temperatura ambiente (°C)		CT = Coliformes totales (UFC/Campo)					
PA = pH del agua		CF = Coliformes fecales (UFC/Campo)					

Anexo 5. Resultados de análisis de agua proveniente de pozos artesanales.

No.	USUARIO	P	T1	T2	PA	N	T	CT	CF
1	ROSA LUISA GALO	9.7	21	24.5	5.3	<0.25	27.9	15	0
2	HERNAN GALO	9.5	20	24	4.82	<0.25	4.1	27	6
3	JOSEFIAN GAMERO	10.6	22.5	24.9	4.81	<0.25	3.2	4	0
4	EDILBERTO VILLALOBOS	1	24.3	26	4.55	<0.25	2.9	7	0
5	JUAN RODOLFO VASQUEZ	9	25	26.5	4.9	<0.25	2.1	61	16
6	GRANJA CADECA ZAMORANO	9	25	26.5	4.14	<0.25	3	47	0
7	LEONARDO ESPINOZA PRIETO	9.9	24.5	27	5.21	<0.25	4.6	11	0
8	CORALIA MONCADA 2	12.85	26	27.5	4.84	<0.25	34.6	70	0
9	CORALIA MONCADA 3	9.9	24	27.6	4.72	<0.25	53.7	51	2
10	AMADEO ACOSTA	9.2	23.5	24.2	5.3	<0.25	163.1	84	0
11	OSCAR CAÑAS	10.2	24.2	26.3	5.13	<0.25	62.4	28	0
12	GUSTAVO OVIEDO	12.2	25.1	26.4	5.3	<0.25	3.6	25	0
13	CARLOS GARCIA	8.5	21.2	22.3	4.95	<0.25	17.3	2	0
14	VENTURA PAVON	9.9	21.7	24.1	4.98	<0.25	13.7	21	0
15	ARMANDO MEJIA	12.3	21.9	22.7	4.9	<0.25	10.3	39	1
16	ARMANDO MEJIA	9.1	21.4	22.6	5.35	<0.25	13.1	4	3
17	LILI SANDOVAL	9.7	20.9	22.8	6.74	<0.25	5.7	100	70
18	CLAUDIO DIAZ	10.5	20.4	22.1	4.8	<0.25	49	16	3
19	CLAUDIO DIAZ	11.7	21.3	22.7	5.4	<0.25	50	49	7
20	NICOLAS CRUZ TORREZ	9.9	21.1	22.4	4.63	<0.25	4.2	59	0
21	SAMUEL MATAMOROS	11.2	20.2	23.1	4.94	<0.25	3.9	15	0
22	PEDRO JOSE RIOS	12.1	20.3	23.7	4.5	<0.25	2.1	0	0
23	PEDRO JOSE RIOS	12.7	20.7	23.8	4.97	<0.25	3.7	15	0
24	PEDRO JOSE RIOS	11.8	20.1	23.4	5.25	<0.25	4.7	63	15
25	PEDRO JOSE RIOS	11.7	20.4	23.7	4.5	<0.25	1.4	49	0
26	GUSTAVO ALVAREZ	10.3	20.2	23.8	4.66	<0.25	25.8	80	0
27	GUSTAVO ALVAREZ	9.8	20.5	22.1	5.1	<0.25	36.3	4	0
28	BELINDA BORJAS	7.8	20	22.4	4.6	<0.25	5.2	3	0
29	BENJAMIN CRUZ TORREZ	8.2	20.1	22.7	4.79	<0.25	6.8	15	0
30	GASPAR OBANDO	8.9	20.4	23.1	4.77	<0.25	4	20	0
31	FRANCISCO ROBLES	6.3	25.2	26.7	4.81	<0.25	42.2	10	0
32	CALIXTO CALLEJAS	6.9	21.2	22.1	4.6	<0.25	66.2	27	3
33	SAUL CALLEJAS	7.8	20.3	23.1	4.81	<0.25	35.9	53	0
34	GUILLERMO TORREZ	8.7	21.7	24	5.52	<0.25	22.3	17	0
35	TEODORO ALBORNOS	9.2	20.4	23.1	4.33	<0.25	6.9	30	0
36	ABRAHAM BENAVIDEZ	9.6	20.7	22.2	5.8	<0.25	52.5	24	8
37	ALEXIS SALGADO	13	21.8	24.1	5.82	<0.25	2.1	7	0
38	VIRGILIO AVILA	12.7	22.3	23.7	4.78	<0.25	6.7	47	0
39	VIRGILIO AVILA	11.2	20.8	23.1	4.83	<0.25	8.1	27	0
40	CARLOS ENRIQUE ZUNIGA	10.6	20.1	22.7	5.46	<0.25	3	3	0
41	PEDRO ANTONIO TROCHEZ	13.1	21.3	23.1	5.46	<0.25	40.7	10	3
42	AURELIO REVILLA	12.3	20.3	24.3	5.29	<0.25	11.2	32	4
43	AURELIO REVILLA	10.7	20.8	24.1	5.43	<0.25	16.7	16	0
44	AURELIO REVILLA	10.6	21.2	24.6	5.24	<0.25	17.7	28	0
45	DEPOSITO PEPSI	11.1	20.5	23.5	5.33	<0.25	6.4	57	0
46	MARIA VDA DE MARADIAGA	15.4	21.4	23.3	6.02	<0.25	15.1	17	3
47	VENTURA PAVON	10.6	21.1	21.9	5.27	<0.25	8.2	20	0
48	DILMA FLORES	8.3	19.3	21.1	5.9	<0.25	39.6	63	0
49	JUAN RENE RIVERA	9.9	19.7	20.9	6.16	<0.25	31.6	10	0
50	OSCAR RAFAEL OCHOA	10.2	20.7	22.1	6	<0.25	8.3	9	0
51	CASA FAMILIA REVILLA	12.7	20.2	22.3	4.73	<0.25	10.4	37	0
52	CASA FAMILIA REVILLA	13.1	20.4	21.9	5.31	<0.25	20.5	20	0
53	RUDOLPH RENDELL	13.7	21.2	22.8	6.2	<0.25	20.5	26	0
54	LUIS MEYER	10.8	21.2	23.1	5.93	<0.25	26	47	0
55	ANTONIO MEMBREÑO	12.1	20.7	22.3	6	<0.25	9.7	53	0
56	PULPERIA CASA BLANCA	10.5	23.1	23.1	6.07	<0.25	3.8	22	2
57	EDWIN GUEVARA	12.4	20	22.9	5.95	<0.25	14.8	9	3
58	MICHEL HASBUN	15.3	20.7	23.2	5.88	<0.25	7	14	0
59	JAIME ROJAS	14.7	20.8	23.2	5.95	<0.25	2.1	0	0
60	ARMANDO BETANCOUR	13.6	22.3	24.2	5.65	<0.25	2.5	11	0
	VALOR MINIMO	1	19.3	20.9	4.14		1.4	0	0
	VALOR MAXIMO	15.4	26	27.6	6.74		163.1	100	70
POZOS ARTESANALES QUE NO PUDIERON SER ESTUDIADOS									
	USUARIO	P	T1	T2	PA	N	T	CT	CF
	ALFREDO RUEDA	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	ALFREDO RUEDA	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	ALFREDO RUEDA	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	REYNERIO ALVARADO	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
	ROBERTO FONSECA	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
P = Profundidad (pies)		N = Nitratos (ppm)							
T1 = Temperatura del agua (°C)		T = Turbidez (UNT)							
T2 = Temperatura ambiente (°C)		CT = Coliformes totales (UFC/Campo)							
PA = pH del agua		CF = Coliformes fecales (UFC/Campo)							

Anexo 6. Resultado del análisis bacteriológico de las muestras de agua



ANEXO 7. MEDIDAS ESTADISTICAS DE LOS PARAMETROS ESTUDIADOS

PARAMETRO	TIPO DE POZO	NUMERO DE OBSERVACIONES	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION	VARIANZA	ERROR ESTANDAR DE LA MEDIA
PROFUNDIDAD	PERFORADO	29	0	0	0	0	0
	ARTESANAL	60	10.6	2.32	21.92	5.4	0.3
TEMPERATURA DEL AGUA	PERFORADO	29	22	1.29	5.89	1.68	47.12
	ARTESANAL	60	21.5	1.62	7.55	2.63	0.21
TEMPERATURA DEL AMBIENTE	PERFORADO	29	24.1	1.52	6.3	2.3	0.28
	ARTESANAL	60	23.6	1.55	6.58	2.42	0.2
pH del agua	PERFORADO	29	5.55	0.48	8.64	0.23	0.09
	ARTESANAL	60	5.22	0.55	10.57	0.31	0.07
TURBIDEZ	PERFORADO	29	8.02	13.47	167.88	181.52	2.5
	ARTESANAL	60	19.7	25.47	129.37	648.62	3.29
COLIFORMES TOTALES	PERFORADO	29	13.8	23.73	172.05	563.16	4.4
	ARTESANAL	60	28.8	23.34	80.95	544.75	3.01
COLIFORMES FECAL	PERFORADO	29	0.24	0.63	263.3	0.404	0.12
	ARTESANAL	60	2.48	9.42	379.46	88.79	1.22

Anexo 8. Mapa de uso del suelo en el valle del Yeguaré.

