

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**Evaluación de la calidad del agua subterránea
que surte al Municipio de Fraijanes**

**Trabajo de graduación presentado por
José Rodolfo Balcárcel Valenzuela
para optar al grado académico de
Master en Ciencias Ambientales**

Guatemala

2002

**Evaluación de la calidad del agua subterránea
que surte al Municipio de Fraijanes**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**Evaluación de la calidad del agua subterránea
que surte al Municipio de Fraijanes**

**Trabajo de graduación presentado por
José Rodolfo Balcárcel Valenzuela
para optar al grado académico de
Master en Ciencias Ambientales**

Guatemala

2002

Vo. Bo.:

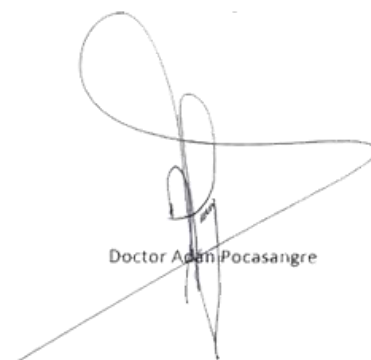


Doctor Adam Pocasangre

Tribunal Examinador:



Doctora Margaret Dix



Doctor Adam Pocasangre



Ingeniero Juan Manuel López

Fecha de aprobación: Guatemala, 13 de noviembre de 2002

PREFACIO

Debido a que el agua freática o subterránea no es visible, hay poca conciencia de ella, sin embargo esta es nuestra reserva de agua bebible para cuando se agoten las posibilidades de consumir las aguas superficiales. Cuando el agua subterránea llega a contaminarse puede necesitar cientos de miles de años para librarse de los desechos degradables (Miller, 1994), por lo que hay que protegerla para nuestro futuro y el de nuestros hijos.

Agradezco al Departamento de Agua de la Municipalidad de Fraijanes por su colaboración al permitirme recolectar las muestras, brindándome toda la información que les fue posible. Aprovecho para dar gracias a todas las personas que me han apoyado de una u otra forma a lo largo de toda mi Maestría, en especial a mis asesores: Dra. Margaret Dix, Dr. Adán Pocasangre y Msc. Juan Manuel López, por el tiempo, conocimientos y dedicación que brindaron para que fuera posible esta tesis.

Confío en que las conclusiones y recomendaciones formuladas, contribuyan a fortalecer el propósito de proteger y conservar las fuentes subterráneas de agua dulce de Guatemala, especialmente las de Fraijanes.

CONTENIDO

| | Página |
|------------------------|---------------|
| PREFACIO..... | vi |
| CONTENIDO..... | vii |
| LISTA DE CUADROS..... | viii |
| LISTA DE GRÁFICOS..... | ix |
| RESUMEN..... | x |

Capítulos

| | | |
|------------|--|-----------|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | A. Abastecimiento de agua potable en Guatemala..... | 1 |
| | B. Abastecimiento de agua potable en Fraijanes..... | 4 |
| | C. Planteamiento del problema..... | 6 |
| | D. Hipótesis..... | 6 |
| | E. Objetivos..... | 6 |
| | F. Marco teórico..... | 7 |
| II. | METODOLOGÍA..... | 11 |
| | A. Primera fase - ubicación de pozos e información..... | 11 |
| | B. Segunda fase - captación de muestras..... | 11 |
| | C. Tercer fase - análisis microbiológico..... | 11 |
| | D. Cuarta fase - análisis de resultados..... | 12 |
| | E. Quinta fase - localización de pozos en mapa..... | 12 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| III. | RESULTADOS..... | 13 |
| | A. Resultados de análisis microbiológico..... | 13 |
| | B. Descripción de las características de los pozos del Municipio de Fraijanes..... | 13 |
| IV. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 33 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 35 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 37 |
| VII. | LITERATURA CITADA..... | 39 |

LISTA DE CUADROS

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE DE LOS DE POZOS DEL MUNICIPIO DE FRAIJANES..... | 14 |
| 2. | RESUMEN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS POZOS DEL MUNICIPIO DE FRAIJANES..... | 32 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| 1. | COBERTURA DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN TOTAL EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA..... | 2 |
| 2. | COBERTURA DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN URBANA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA..... | 2 |
| 3. | COBERTURA DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN RURAL EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA..... | 3 |
| 4. | MAPA DE LOCALIZACIÓN DE POZOS MUNICIPALES DE FRAIJANES..... | 20 |
| 5. | PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN DE POZOS MUNICIPALES DE FRAIJANES..... | 21 |
| 6. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 3..... | 22 |
| 7. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 4..... | 23 |
| 8. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 5..... | 24 |
| 9. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 6..... | 25 |
| 10. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 8..... | 26 |
| 11. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 9..... | 27 |
| 12. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 10..... | 28 |
| 13. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 11..... | 29 |
| 14. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 13..... | 30 |
| 15. | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y PROFUNDIDAD POZO 14..... | 31 |

RESUMEN

Se investigó la ubicación, el entorno, el área de influencia y las características de profundidad de perforación, caudal e información litológica de los pozos municipales que se encuentran actualmente habilitados, para el abastecimiento de agua subterránea para consumo humano, en el Municipio de Fraijanes, Departamento de Guatemala.

Durante la investigación de campo, se capturaron muestras de agua directamente de las fuentes subterráneas, sin ningún tipo de tratamiento previo, posteriormente se les realizaron pruebas microbiológicas para la determinación de su calidad.

Los resultados de calidad de agua subterránea se analizaron con respecto a la ubicación y uso del suelo circundante de cada pozo, así como también se creó un mapa de localización de pozos dentro de los límites municipales de Fraijanes, indicando los pozos con presencia de indicadores de contaminación. Se concluyó, que son 14 pozos municipales los que posee Fraijanes, de estos, 12 se encuentran actualmente habilitados, y que el 25% de las muestras captadas de los pozos que abastecen actualmente de agua subterránea al Municipio no cumplen con las normas microbiológicas de COGUANOR, NGO-29001:99 para agua potable. El análisis de los datos de caudal, profundidad de perforación y descripción litológica demostró que los pozos con indicadores de contaminación poseen características similares de este tipo con los que presentan buena calidad de agua. Finalmente se concluyó que hay cuatro fuentes de agua subterránea en Fraijanes que poseen buena calidad microbiológica y alto riesgo de contaminación.

También se presentan recomendaciones para la conservación de estas fuentes de agua subterránea, como: recolección y tratamiento de todas las aguas residuales, manejo de las cuencas colectoras y del uso del suelo, controlar el escurrimiento e infiltración de desechos fecales proveniente de ganado, implementar una estrategia de educación ambiental acerca del tema y crear un sistema integral de manejo de desechos sólidos.

I. INTRODUCCIÓN

A. Abastecimiento de agua potable en Guatemala

En Guatemala existe agua suficiente para satisfacer las necesidades básicas del país, sin embargo, su distribución geográfica no es uniforme y presenta crisis de demanda, mal uso, contaminación y conflictos (OPS-OMS, 2001), lo cual tiende a causar deterioro en su calidad y cantidad disponible, comprometiendo la vida de las futuras generaciones.

Guatemala posee tres vertientes de aguas superficiales definidas por el sistema orográfico, estas son: 1) Océano Pacífico 2) Mar de las Antillas 3) Golfo de México (INSIVUMEH, 2001).

Con respecto a las aguas subterráneas, desde el punto de vista hidrogeológico el país se divide en cuatro regiones: 1) Llanuras aluviales de la costa del Pacífico 2) Altiplano volcánico 3) Tierras altas cristalinas 4) Región sedimentaria septentrional (INSIVUMEH *et. al*, 1978). Con base en estudios realizados sobre agua subterránea en el Valle de Guatemala (INSIVUMEH, 1973), en Sacatepéquez (INSIVUMEH, 1994), y en Flores, Petén (INSIVUMEH, 1985), se puede concluir que la República de Guatemala cuenta con recursos hídricos subterráneos importantes, aprovechados aún en mínima parte, a excepción del Valle de Guatemala, considerada ya como área crítica y sobre explotada (Cooperación del Gobierno de Francia *et. al*, 1999). En el año 2000, la cobertura de servicio de conexión de agua potable en la República de Guatemala era la siguiente: de la población total 61.71% (Figura 1), de la población urbana 87.34% (Figura 2) y de la población rural 47.91% (Figura 3) (OPS-OMS, 2001).

Figura 1.
Cobertura de agua potable de la población total en la
República de Guatemala (Año 2000)

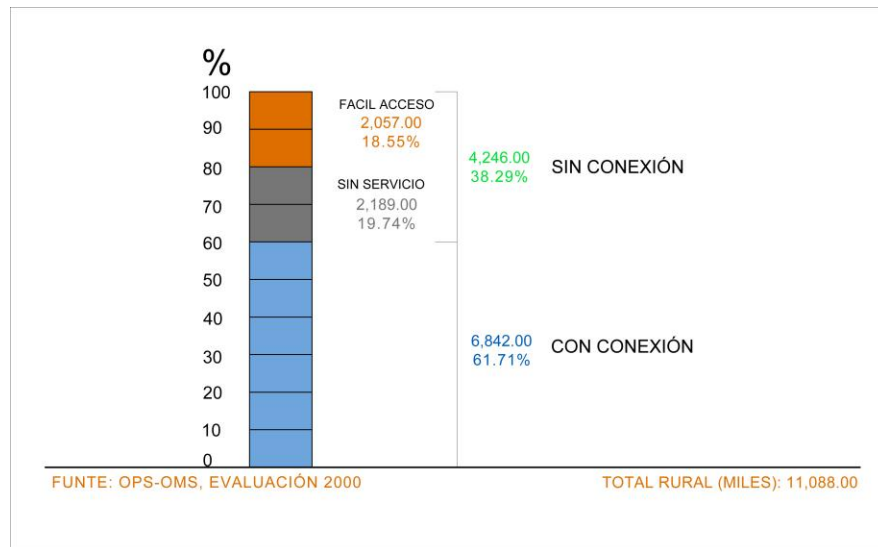


Figura 2.
Cobertura de agua potable de la población urbana en la
República de Guatemala (Año 2000)

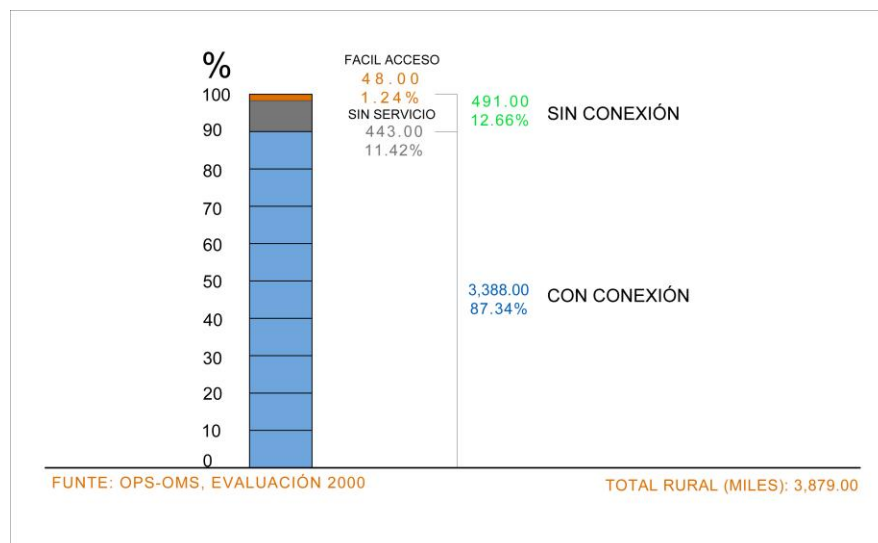
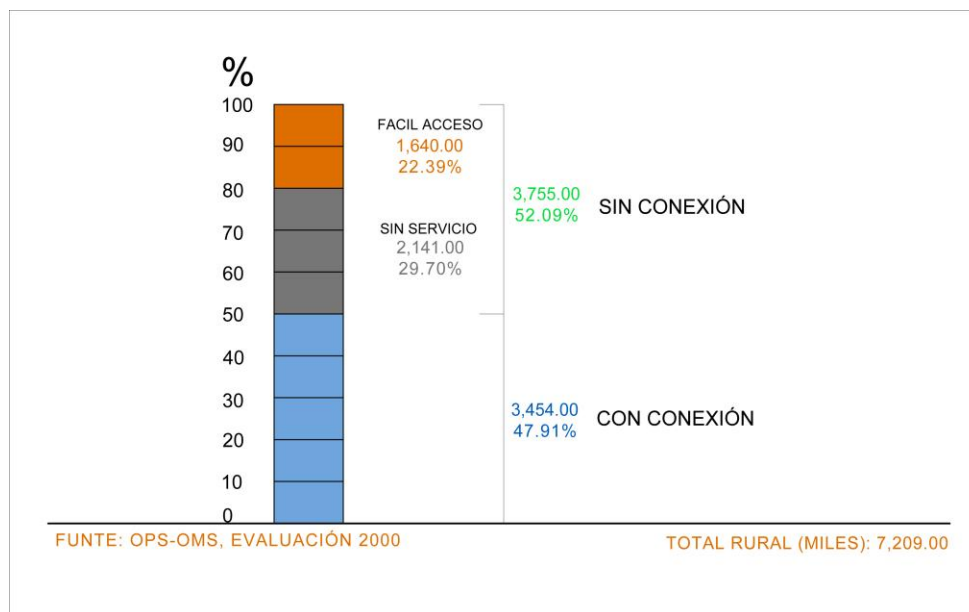


Figura 3.
Cobertura de Agua Potable de la Población Rural en la
República de Guatemala (Año 2000)



La Ciudad de Guatemala basa su sistema de producción de agua potable en fuentes de agua superficial y fuentes de agua subterránea (pozos). Los datos de producción de agua de EMPAGUA al mes de enero 2002 indican que la producción de agua potable durante el año 2001 fue en un 48% de agua proviene de fuentes superficiales (59,744,379 m³) y un 52% de pozos (61,276,409 m³)(EMPAGUA, 2002) . El déficit a corto plazo se estima completarlo con la perforación de más pozos y a mediano y largo plazo con la introducción de fuentes superficiales y subterráneas fuera de los límites de la ciudad (Cooperación del Gobierno de Francia *et. al*, 1999), considerándose proyectos costosos ya que las líneas de conducción son muy largas.

El agua es un recurso determinante del desarrollo en Guatemala. Actualmente, los distintos subsectores de uso del agua presentan una problemática específica en cuanto a su aprovechamiento y conservación. Los patrones de contaminación están asociados al crecimiento urbano, industrial y agrícola. La mayor contaminación se presenta en los cuerpos receptores de efluentes municipales y agro-industriales, los cuales contaminan los acuíferos superficiales y subterráneos (Foster *et. al*,1987), causando el deterioro de la salud de la población. El servicio de disposición de excretas es en general deficiente, la cobertura de saneamiento para la disposición de estas es del 42.15% en la República de Guatemala, la falta de cobertura de saneamiento para la adecuada disposición de excretas en la República de Guatemala es una de las causas por las cuales la calidad del agua potable que logra llegar a los hogares, en un alto porcentaje no cumple con las normas de calidad necesarias para el consumo humano (OPS-OMS, 2001).

En el estudio de aguas subterráneas en Guatemala, proyecto realizado en forma conjunta por el INSIVUMEH - IGN – ONU (INSIVUMEH *et. al*, 1978), dice:

«...a efecto de tener un control adecuado sobre el régimen natural de las aguas, de la explotación y poder formular previsiones sobre condiciones extremas con la debida antelación, se recomienda practicar observaciones y controles hidrológicos e hidrogeológicos sistemáticos.»

B. Abastecimiento de agua potable en Fraijanes

Fraijanes posee un área de 96 km² y es uno de los más importantes municipios del departamento de Guatemala por sus extensas áreas para recarga hídrica y por su situación altitudinal arriba de los 1,600 metros SNM, superior a la Ciudad de Guatemala. Geográficamente colinda con el municipio de Guatemala y además hidrogeológicamente se encuentra ubicado junto a la divisoria de agua subterránea de la cuenca del Valle de Guatemala, teniendo incidencia sobre el flujo subterráneo que se dirige hacia la parte baja de esta cuenca (INSIVUMEH *et. al*, 1978a). La expansión del área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala es constante y según la ley de regionalización, Fraijanes pertenece a la región metropolitana (Guatemala, 1986). Fraijanes resulta ser una fuente de agua subterránea potencial no solo para sus habitantes, sino también para el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala, por lo que resulta de importancia conocer la calidad de esta fuente. El departamento de Agua Potable de la Municipalidad de Fraijanes reporta que para febrero 2002 el 94% del agua que utilizan los habitantes del municipio, proviene de fuentes subterráneas (Municipalidad de Fraijanes, 2002).

En el caso específico de Fraijanes, según resultados de análisis de 14 muestras de agua, provenientes de pozos, captadas en diferentes lugares del municipio, por el Instituto de Fomento Municipal, en junio 2001, la condición del agua en comparación con la Norma Guatemalteca Obligatoria, COGUANOR NGO-29001:99, cumple con los valores de dicha norma en el 57% de las muestras captadas. El 43% de las muestras no cumplen con los valores permisibles, debido a que hay fuentes que reportan presencia de Coliformes Totales, otras reportan Coliformes Totales y Fecales, y en otro caso valor elevado de nitritos (INFOM, 2001).

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social por medio de su Centro de Salud en Fraijanes captó tres muestras de agua en el casco urbano del Municipio, en agosto 2001. El resultado del análisis indicó que dos de las muestras no son aceptables, por poseer valores mayores a los recomendados de Coliformes Fecales (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2001), por lo cual el consumo de esta agua constituye un alto riesgo para la salud de la población.

C. Planteamiento del problema

El municipio de Fraijanes es uno de los más importantes municipios del departamento de Guatemala por sus extensas áreas para recarga hídrica. Sin embargo, actualmente existen patrones de contaminación en el agua que consumen los habitantes del municipio, estos están asociados al mal manejo de las aguas residuales municipales en general; y debido a que la gran mayoría del agua que consumen sus habitantes proviene de pozos, es importante conocer la calidad de sus fuentes, para saber si el agua subterránea que se extrae de pozos se encuentra ya contaminada, o si se contamina en su distribución.

D. Hipótesis

“Las fuentes de agua subterránea del Municipio de Fraijanes, están contaminadas con aguas residuales”.

E. Objetivos

1. Realizar un análisis de calidad a las fuentes de agua subterránea del Municipio de Fraijanes para determinar si existe algún indicador de contaminación.

2. Crear un mapa de localización de todos los pozos del Municipio de Fraijanes, así mismo recopilar o generar la información específica de cada uno.

3. Presentar, según las conclusiones de la investigación, recomendaciones para proteger las fuentes de agua subterránea del Municipio de Fraijanes, con el fin de asegurar su óptima calidad y disponibilidad para el consumo humano, presente y futuro.

F. Marco teórico

1. Vulnerabilidad del agua subterránea ante la contaminación.

Algunas bacterias y la mayoría de los contaminantes sólidos en suspensión son removidos o eliminados cuando el agua superficial contaminada se infiltra a través del suelo en los acuíferos, aunque el suelo es la principal barrera de protección de la calidad del agua subterránea, no todos los acuíferos están protegidos por una barrera edafológica de características apropiadas para retener eficazmente los contaminantes microbianos (ILSI, 1996). Sin embargo este proceso, puede ser también, sobrecargado por grandes volúmenes de desechos y su efectividad puede variar. Ningún suelo puede detener la infiltración de virus y muchas sustancias químicas orgánicas. Cuando el agua subterránea llega a contaminarse, no puede depurarse por sí misma, como el agua superficial tiende a hacerlo. Debido a que los flujos del agua subterránea son lentos y no turbulentos, los contaminantes no se diluyen y dispersan efectivamente. También hay poca descomposición por bacterias aeróbicas, porque el agua subterránea está privada del suministro de oxígeno de la atmósfera, y tiene poblaciones bastante pequeñas de bacterias aeróbicas y anaeróbicas degradadoras (Miller, 1994). La baja temperatura del agua subterránea también hace más lentas las reacciones de descomposición. Esto

significa que se pueden necesitar cientos de miles de años para que el agua subterránea contaminada se libere de sí misma de los desechos degradables.

2. Procedencia de los agentes patógenos transmitidos por el

agua. El impacto más grande de la contaminación del agua, sobre la salud de los humanos, se da a través del agua de consumo, cuya fuente puede ser degradada por contaminación puntual y no puntual (Miller, 1994) incluyendo las aguas residuales municipales, la escorrentía pluvial, el agua de retorno del riego agrícola, la infiltración en zonas ganaderas, la lixiviación en botaderos de residuos sólidos municipales o por desperdicios de procesos industriales. Además, diversos desechos fecales de todos los animales de sangre caliente, como seres humanos, animales domésticos, ganado y fauna silvestre, llegan al agua y el suelo tanto directa como indirectamente por infiltración de efluentes de aguas residuales mal tratadas o sin ningún tipo de tratamiento.

El grado y la frecuencia de la exposición a agentes patógenos se ven exacerbados por la expansión de la población humana. El hacinamiento en las áreas urbanas, sumado al desarrollo no reglamentado de las comunidades, ejerce una presión excesiva sobre las barreras infraestructurales de saneamiento, como el abastecimiento y distribución de agua, recolección y tratamiento de aguas residuales y la disposición de residuos sólidos. Se agrega a estos problemas la movilidad de las personas a escala internacional, y resulta evidente que las enfermedades pueden alcanzar rápidamente proporciones epidémicas en sitios muy alejados los unos de los otros (ILSI *et. al*, 1996). La reciente epidemia de cólera en Suramérica y Centroamérica ilustra este problema de salud pública y el rol que desempeña un agua de calidad deficiente en la transmisión de esta enfermedad en una comunidad.

3. Contaminantes químicos y biológicos del agua. El agua contiene una gran cantidad de contaminantes químicos y biológicos que deben ser removidos de forma eficiente para producir agua segura y con características organolépticas aceptables por el consumidor. Los contaminantes químicos incluyen nitratos, metales pesados y pesticidas entre otros. De igual manera el agua debe encontrarse libre de microorganismos patógenos, además de no presentar turbidez, olor, color y sabor (Csuros y Csuros,1999).

Los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, son:

- a. **Bacterias:** *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Yersinia*, *Campilobacter jejuni*, entre otras.
- b. **Parásitos:** *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolítica* y Helmintos.
- c. **Virus:** Hepatitis, virus entéricos y rotavirus.

Estos patógenos son causa de enfermedades para el ser humano y los síntomas, dependiendo del microorganismo infeccioso, pueden ser: gastroenteritis con diarrea y vómitos, escalofríos, fiebre, disentería y en algunos casos puede sobrevenir la muerte.

4. Microorganismos indicadores de contaminación. Puesto que la detección de microorganismos patógenos es difícil, tediosa y costosa, los análisis microbiológicos de rutina que generalmente se realizan consisten en detectar microorganismos conocidos como indicadores. Estos microorganismos presentan características que los hacen útiles, pues se relacionan de forma directa con los patógenos presentes en el agua. Los criterios para que un microorganismo sea considerado indicador son los siguientes:

- a. Debe ser parte de la microflora del intestino del hombre o animales de sangre caliente.
- b. Debe encontrarse presente cuando los patógenos se encuentran presentes y ausente si la muestra no está contaminada.
- c. Debe estar presente en números mayores que los patógenos
- d. Su sobrevivencia y resistencia en el agua deben ser similares a la de los patógenos.
- e. No debe multiplicarse en el medio ambiente.
- f. Su detección debe ser fácil, rápida y económica.
- g. Un indicador no debe ser patógeno.

Los indicadores más comúnmente utilizados en agua, porque cumplen con la mayoría de los criterios, son las bacterias del grupo coliforme. Estas bacterias se caracterizan por ser bacilos que no forman esporas, fermentan la lactosa y son Gram negativo. Incluyen diversos géneros como *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. De estas, únicamente la especie *Escherichia coli* se encuentra estrictamente ligada al tracto digestivo y detectar su presencia revela contaminación de origen fecal. Existen muchos otros organismos indicadores, como *Streptococcus faecalis*, *Lostridium perfringens* y algunos indicadores de más reciente utilización como los virus conocidos como bacteriófagos (Bitton, 1994). En Guatemala únicamente se utilizan como microorganismos indicadores de rutina, las bacterias coliformes y a la *Escherichia coli* como indicador de contaminación microbiológica y fecal (Comisión Guatemalteca de Normas. 1999).

II. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en cinco fases.

A. La primera fase, consistió en ubicar los pozos municipales habilitados dentro del área geográfica correspondiente al Municipio de Fraijanes, reuniendo toda la información disponible relacionada con estos, como la descripción de su entorno, área de influencia, profundidad de perforación, caudal promedio e información litológica.

B. La segunda fase correspondió a la captación de las muestras de agua, directamente de las fuentes de agua subterránea, tomándolas antes de cualquier tipo de tratamiento de potabilización. Se captaron 12 muestras individuales de igual número de pozos el 9 y 10 de octubre de 2002. Se utilizaron recipientes estériles, de boca ancha y de cierre hermético sin aplicación de neutralizador de cloro ya que las muestras se tomaron directamente de la fuente. Se identificó cada recipiente, luego se tomó un volumen de 500ml por muestra, posteriormente se transportaron a 4°C y se analizaron entre 6 y 12 horas después. En este trabajo de campo se visitaron todos los pozos que surten de agua al Municipio.

C. Posteriormente en la tercer fase, a cada muestra se le realizó un análisis microbiológico en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Valle de Guatemala para determinar la presencia de indicadores de contaminación de agua. Se utilizó el método del sustrato definido, Colilert®, este método detecta la presencia de coliformes totales y *E. coli* en el agua, simplemente observando el cambio de color (de incoloro a amarillo) en el caso de las coliformes totales, y observando la fluorescencia (utilizando luz ultravioleta) para *E. coli*. Esta prueba usa indicadores específicos, el orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosido (ONPG) y 4-metil-umbeliferil- β -D-glucurónido (MUG). Una muestra de agua se incubó con el

reactivo de Colilert® por 24 horas. Si está presente un coliforme, el nutriente indicador es hidrolizado por la enzima β -galactosidasa del organismo, liberando la porción indicadora, orto-nitrofenil, del ONPG. El indicador libre manifiesta un color amarillo a la solución. *Escherichia coli* posee una enzima adicional, la glucoronidasa, que hidroliza el segundo nutriente indicador, MUG. Como resultado de esta hidrólisis el MUG se divide en el glucurónido, el cual es metabolizado, y en la metilumbeliferona, que fluoresce bajo luz ultravioleta. Estas pruebas llevan a cabo dos pruebas microbiológicas separadas y específicas simultáneamente para la misma muestra.

D. En la cuarta fase se analizaron los resultados para determinar las posibles causas de contaminación de las fuentes donde se detectaron indicadores de esta, cotejando los resultados con las características de uso de suelo y otros elementos dentro del radio de influencia de cada pozo.

E. Finalmente en la quinta fase, utilizando un medio de información geográfica se ubicaron los pozos dentro de los límites del Municipio, con los cuadrantes de coordenadas UTM, indicando el área de influencia de cada uno, así como sus características propias y la calidad actual de su agua.

III. RESULTADOS

A. Resultados del análisis microbiológico

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 1, indican que el 25% de las muestras captadas de los pozos que abastecen de agua subterránea al Municipio de Fraijanes no cumplen con las normas microbiológicas de COGUANOR, NGO-29001:99 para agua potable; el agua analizada de los pozos 6,8 y 9 superan lo recomendado por la norma, el agua debe tener menos de 2 UFC/100 ml de coliformes totales, y no debe tener *E. coli*. (Comisión Guatemalteca de Normas, 1999). Sin embargo el resto de pozos no muestra contaminación bacteriológica y son adecuados para considerar el agua potable, desde el punto de vista microbiológico. Con relación a la turbidez, todas las muestras tuvieron lecturas menores a las 15 NTU que es el límite recomendado para el agua potable.

B. Descripción de las características de los pozos del Municipio de Fraijanes

A continuación se enumeran los catorce pozos de agua del Municipio de Fraijanes y se detalla toda la información disponible relacionada con estos, como su localización y calidad (Figura 4), características de su entorno, caudal promedio, las áreas o poblados abastecidos por cada uno de ellos, profundidad de perforación (Figura 5) y descripción litológica (Figuras 6-15). El número y nombre de cada pozo es el mismo al de la lista oficial del Departamento de Agua de la Municipalidad de Fraijanes 2002, así como los poblados y número de servicios de agua conectados a cada red. Esta información se encuentra resumida en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Resultados de análisis de muestras de pozos del Municipio de Fraijanes, Departamento de Guatemala (oct. 2002)

| Pozo | Nombre | Turbidez (NTU) | Coliformes totales | | Escherichia coli |
|------|-----------------------|----------------|--------------------|---|------------------|
| | | (NTU) | NMP | / | 100 ml |
| 1 | Las Brisas | 0.7 | <1 | | <1 |
| 2 | Edificio Municipal | 0.68 | 1 | | <1 |
| 3 | Vila Verde | 0.46 | <1 | | <1 |
| 4 | El Cerrito | n/d | n/d | | n/d |
| 5 | Rabanales | 1.23 | <1 | | <1 |
| 6 | El Canchón | 1.08 | 111 | ○ | <1 |
| 7 | El Chocolate | 1.73 | <1 | | <1 |
| 8 | Las Crucitas | 1.91 | 160 | ○ | 1 |
| 9 | El Tempisque | 1.29 | 730 | ○ | <1 |
| 10 | Lo de Diéguez | 2.81 | <1 | | <1 |
| 11 | Joya Verde | 6.07 | <1 | | <1 |
| 12 | El Ensueño | n/d | n/d | | n/d |
| 13 | Los Altos | 3.68 | 3 | | <1 |
| 14 | Planta de Tratamiento | 0.25 | 1 | | <1 |

El método utilizado para el análisis de bacterias: número mas probable modificado Colliert Quant Tray. Análisis realizado en el Laboratorio de Análisis Bacteriológico de Agua MERTU-G/CDC – UVG.

El agua debe tener < de 2 UFC/100 ml de coliformes totales, y no debe tener *E. coli*. (Comisión Guatemalteca de Normas, 1999).
 ○ SIMBOLIZA QUE NO CUMPLE CON LA NORMA, POR LO TANTO NO ES POTABLE.

1. POZO - Las Brisas. Se encuentra ubicado en un área donde el uso del suelo es mixto, frente al pozo hay un cementerio y la granja penal Pavón, colinda con granjas y viviendas aisladas. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: El Recuerdo, San Andrés Buena Vista y Pavón, teniendo 115 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 150 galones por minuto. La profundidad de perforación y la información litológica de este pozo no se encuentran disponibles.

2. POZO - Edificio Municipal. Este se ubica detrás del edificio municipal, en el casco urbano de Fraijanes, colinda con el Centro de Salud y con un barranco. A cincuenta metros de distancia se encuentra un botadero de residuos sólidos de la municipalidad. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: Fraijanes, Puerta del Señor, Colonia San Antonio y Colombia, teniendo 1,783 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 50 galones por minuto. La profundidad de perforación y la información litológica de este pozo no se encuentran disponibles.

3. POZO - Vila Verde. Está ubicado frente a la carretera que lleva al casco urbano de Fraijanes, en el km. 20.5 colindante con el Condominio Vila Verde 1. Se encuentra en un área donde el uso del suelo es completamente residencial. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: Fraijanes, Puerta del Señor, Colonia San Antonio y Colombia, teniendo 1,783 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 150 galones por minuto. La profundidad de perforación del

pozo Vila Verde es de 750 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 6.

4. POZO - El Cerrito. Está ubicado frente a la carretera que lleva al poblado El Cerrito, dentro del área urbana. Actualmente se encuentra inhabilitado. La profundidad de perforación del pozo El Cerrito es de 320 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 7.

5. POZO - Rabanales. Se encuentra en el límite municipal de Fraijanes con Villa Canales en el Km. 29 carretera a El Salvador. Colinda con viviendas rurales y enfrente existen extensas áreas baldías. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: Rabanales y Monte Bello, teniendo 98 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 60 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Rabanales es de 420 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 8.

6. POZO - Canchón. Está ubicado en el cruce de la carretera a El Salvador al casco urbano de Fraijanes. Colinda con una escuela municipal y aledaños se encuentran potreros y pastizales para ganado bovino. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: Fraijanes, Puerta del Señor, Colonia San Antonio y Colombia, teniendo 1,783 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 160 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Canción es de 450 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 9. El análisis mostró que este pozo posee indicadores de contaminación, coliformes totales, en altos niveles, considerándose como agua contaminada (Cuadro 1).

7. POZO - El Chocolate. Se encuentra en la cima de una montaña, la cual es tributaria de la microcuenca del Río Chocolate. Colinda con viviendas rurales esparcidas, áreas de cultivo de café y bosque. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio al poblado El Chocolate, teniendo 53 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 80 galones por minuto. La profundidad de perforación y la información litológica de este pozo no se encuentran disponibles.

8. POZO - Las Crucitas. Está ubicado dentro el Caserío Las Crucitas, colinda con vivienda rural, criaderos de ganado porcino y pastizales de ganado bovino. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio al poblado Las Crucitas, teniendo 81 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 60 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Las Crucitas es de 500 pies y la información litológica de este se detalla en la figura 10. El análisis mostró que este pozo posee indicadores de contaminación, coliformes totales y *Escherichia coli*, en altos niveles, considerándose como agua contaminada (Cuadro 1).

9. POZO - El Tempisque. Este se encuentra dentro del casco urbano de Fraijanes, colinda con cultivos de café y vivienda urbana. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados: Fraijanes, Puerta del Señor, Colonia San Antonio y Colombia, teniendo 1,783 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 50 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo El Tempisque es de 560 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 11. El

análisis mostró que este pozo posee indicadores de contaminación, coliformes totales, en altos niveles, considerándose como agua contaminada (Cuadro 1).

10. POZO - Lo de Diéguez. Se encuentra en el límite del poblado Lo de Diéguez, el uso del suelo es habitacional. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio al poblado Lo de Diéguez, teniendo 341 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 200 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Lo de Diéguez es de 720 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 12.

11. POZO - Joya Verde. Se ubica dentro de las Granjas Buenos Aires, es un área habitacional, frente a la carretera que lleva al Caserío Joya Verde. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio al poblado Joya Verde, teniendo 38 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 150 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Joya Verde es de 500 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 13.

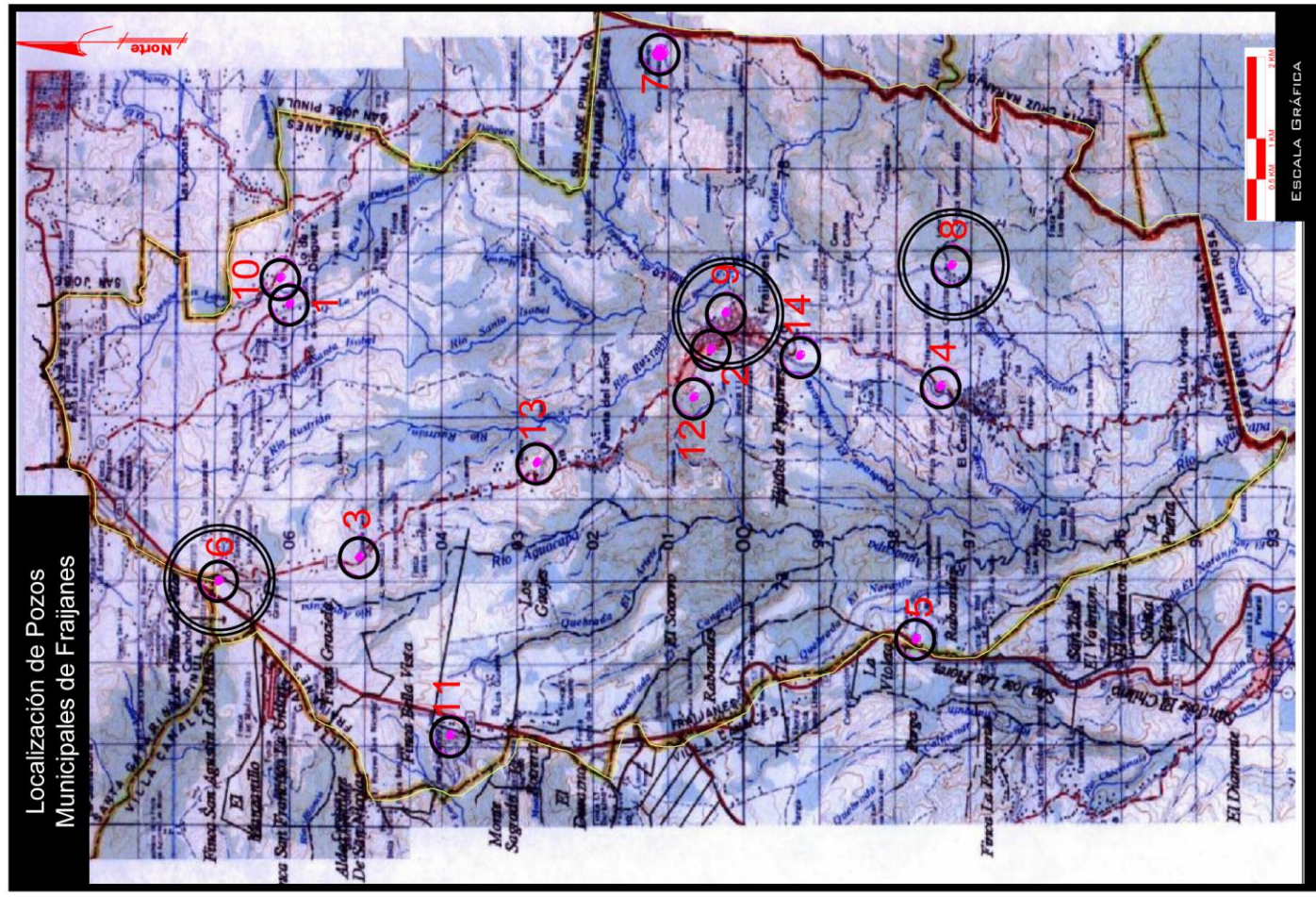
12. POZO - El Ensueño. Este está ubicado junto al nuevo Hospital Municipal de Fraijanes, enfrente se está construyendo el nuevo edificio del Organismo Judicial. Actualmente el pozo esta inhabilitado. El caudal promedio de este pozo es de 150 galones por minuto. La profundidad de perforación y la información litológica de este pozo no se encuentran disponibles.

13. POZO - Los Altos. Se encuentra rodeado de pastizales para ganado vacuno, a 100 metros se encuentra una granja avícola. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio a los siguientes poblados:


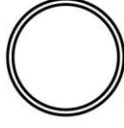
Fraijanes, Puerta del Señor, Colonia San Antonio y Colombia, teniendo 1,783 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 120 galones por minuto. La profundidad de perforación y la información litológica de este pozo es de 600 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 14.









14. POZO - Planta de Tratamiento. Este se ubica dentro del terreno municipal en el que se encuentra la planta de tratamiento de aguas negras que sirve a los efluentes de los drenajes del casco urbano de Fraijanes. Este pozo se conecta a la red de agua potable que brinda servicio al poblado El Cerrito, teniendo 504 servicios de agua conectados. El caudal promedio de este pozo es de 150 galones por minuto. La profundidad de perforación del pozo Planta de Tratamiento es de 600 pies y la información litológica de este se detalla en la Figura 15.

Figura 4. Mapa de localización de pozos municipales de Fraijanes



Simbología

-  Localización de pozo
-  Pozo con presencia de indicadores de contaminación

| | | | |
|---|--------------------|---|-----------------------|
| 1 | Las Brisas |  | Las Crucitas |
| 2 | Edificio Municipal |  | El Tempisque |
| 3 | Vila Verde |  | Lo de Diéguez |
| 4 | El Cerrito |  | Joya Verde |
| 5 | Rabanales |  | El Ensueño |
|  | El Cañchón |  | Los Altos |
| 7 | El Chocolate |  | Planta de Tratamiento |

La numeración corresponde al registro de número y nombre de los pozos del Departamento de Agua de Fraijanes.p
Elaboración propia

Figura 5. Profundidad de perforación de pozos municipales de Fraijanes (oct. 2002)

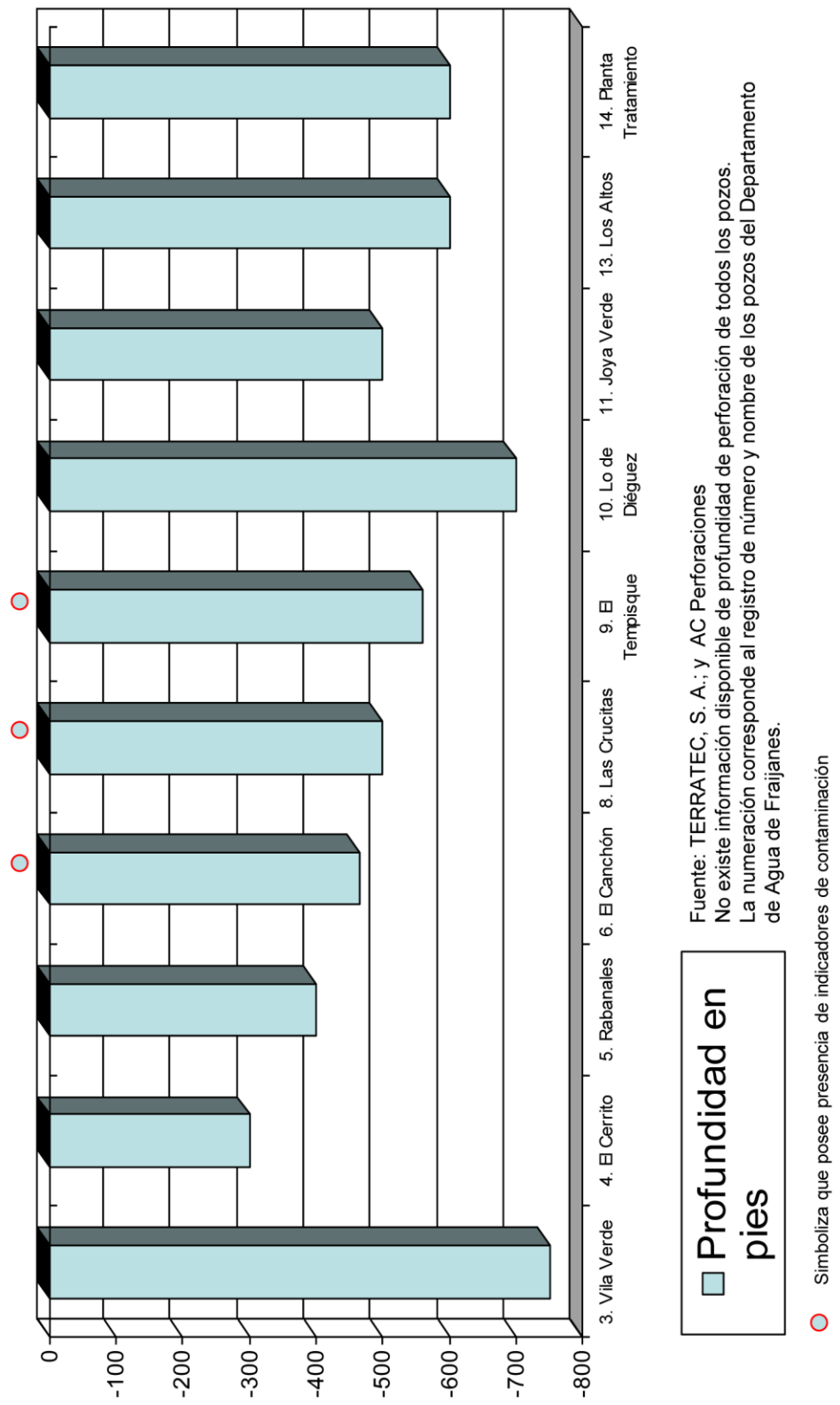
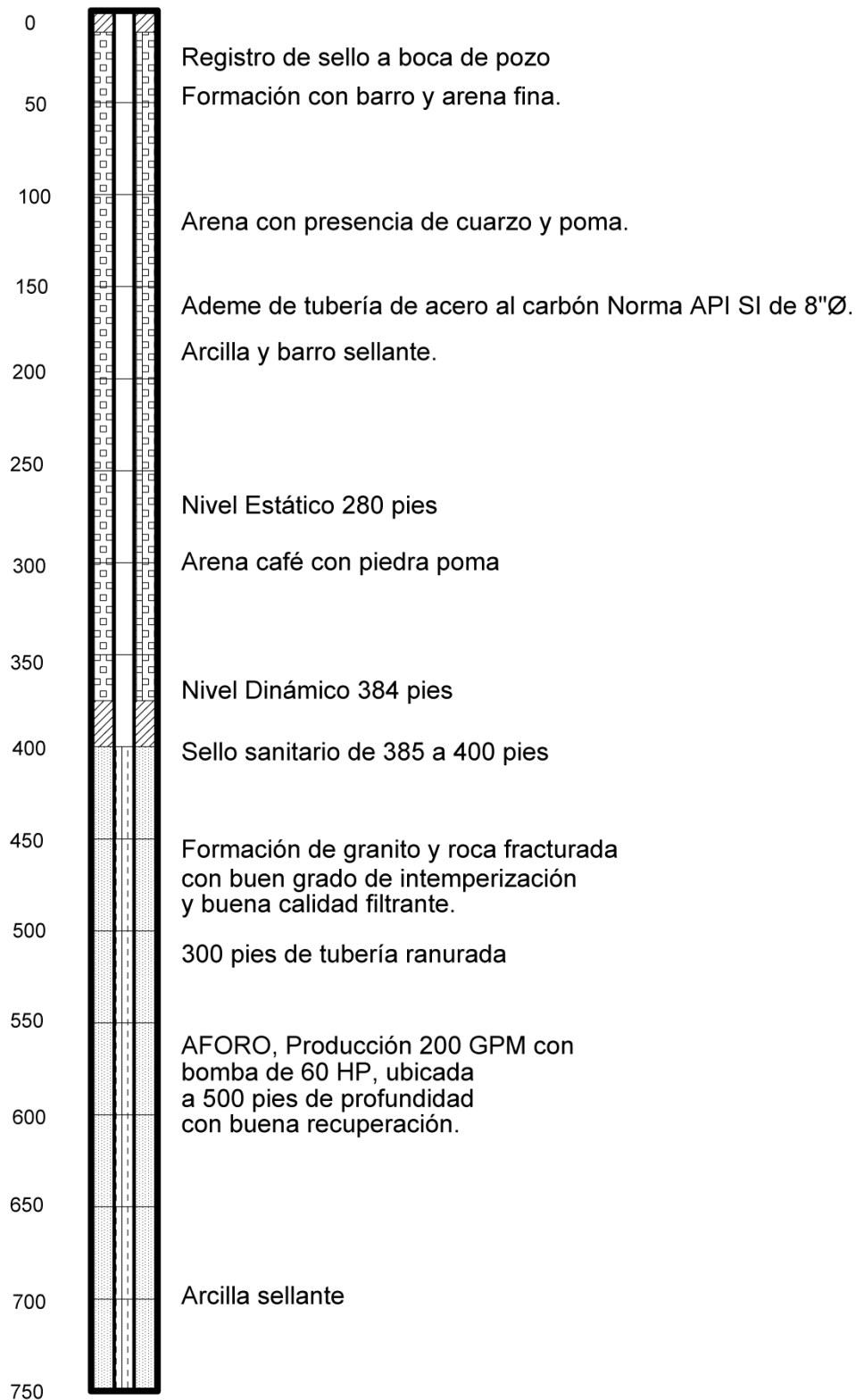


FIGURA 6. POZO 3 - VILA VERDE,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES



FUENTE: TERRATEC, S.A.

FIGURA 7. POZO 4 - EL CERRITO,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES

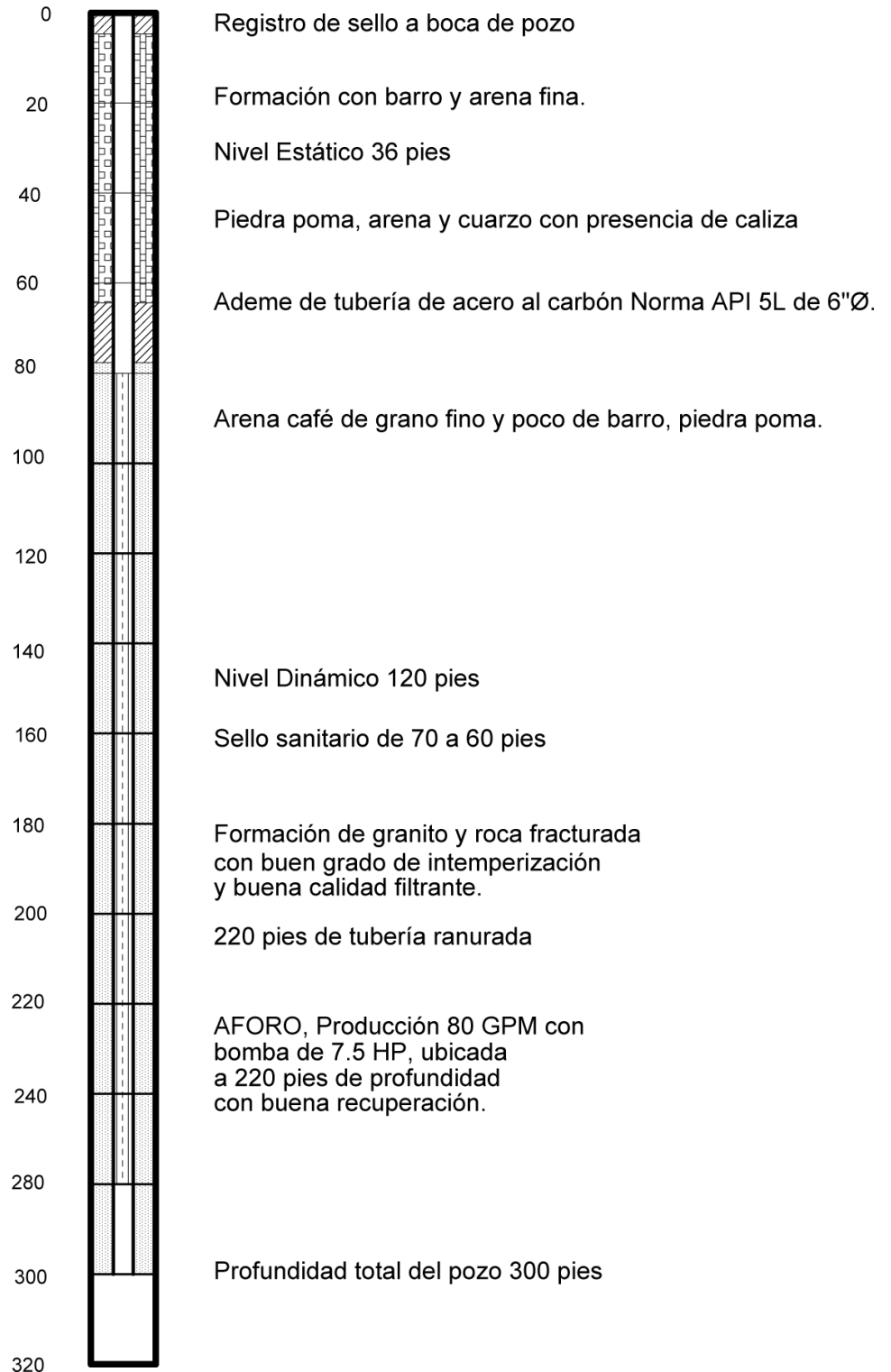


FIGURA 8. POZO 5 - CONCEPCIÓN RABANALES,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES

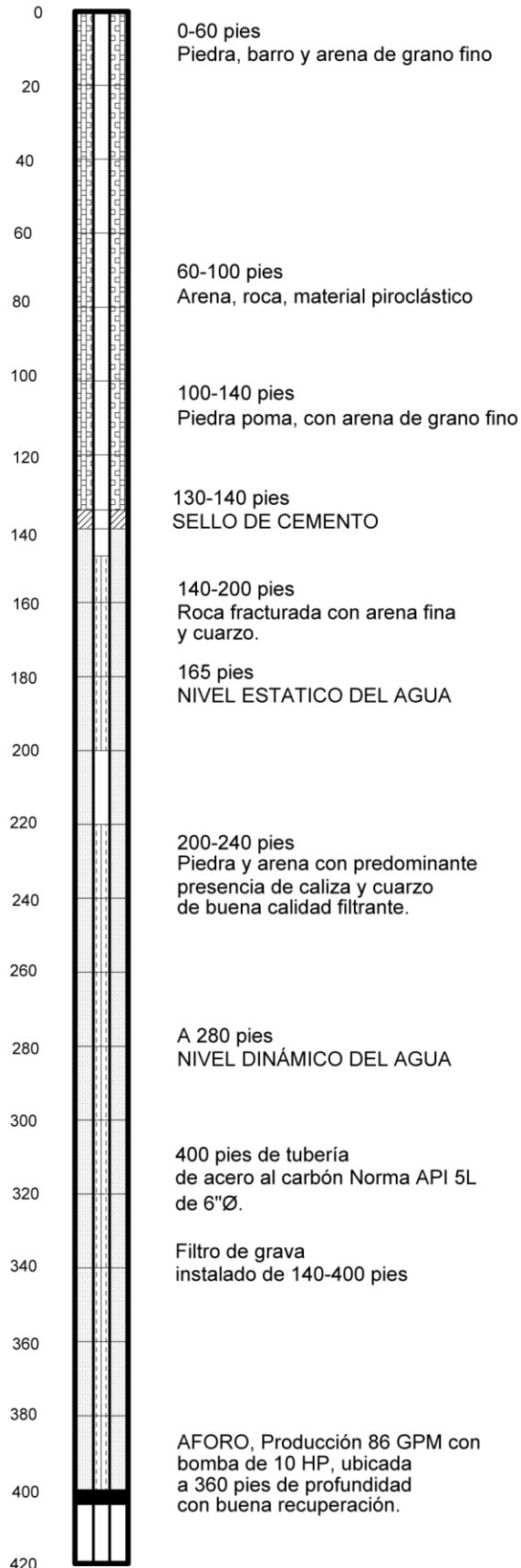


FIGURA 9. POZO 6 - EL CANCHÓN,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES

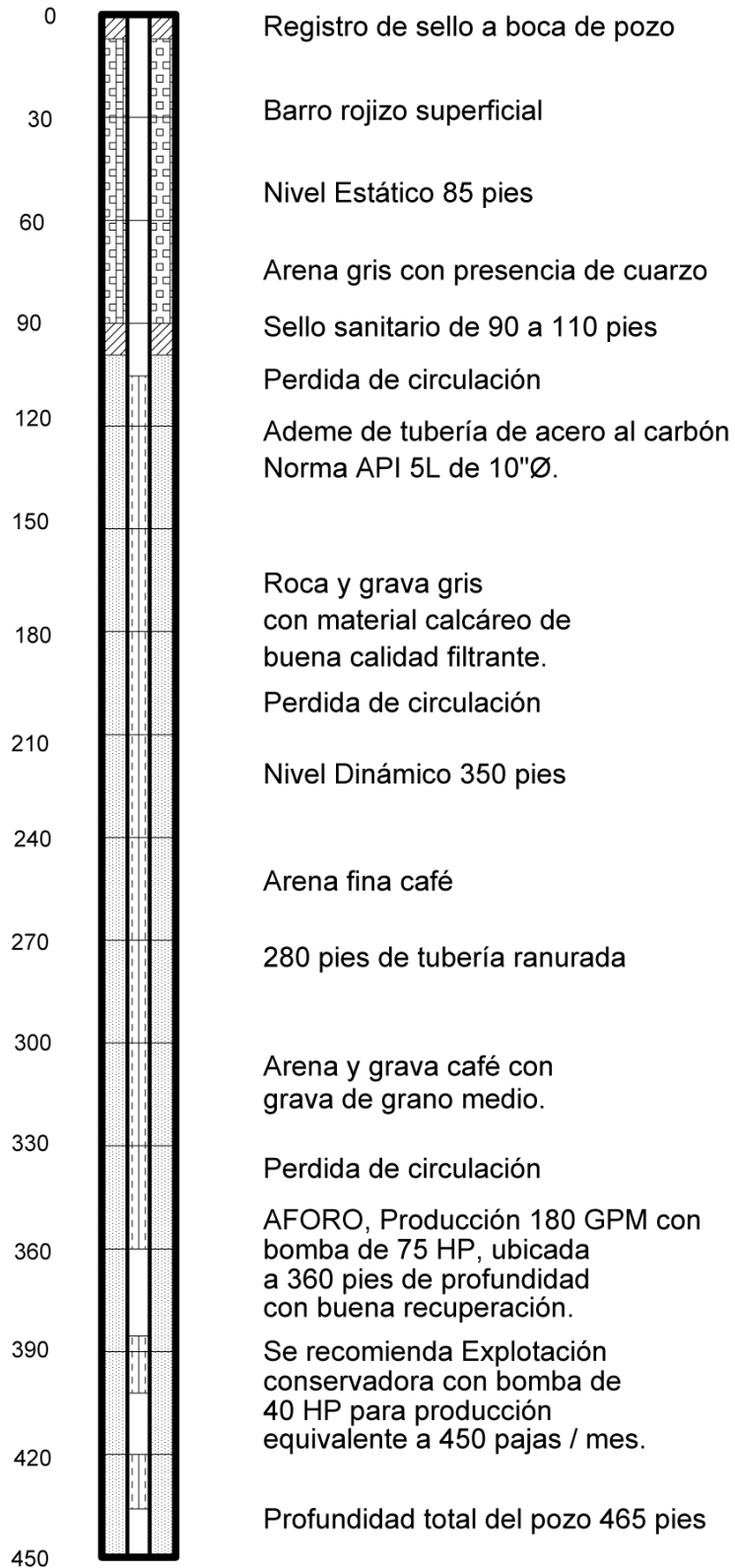


FIGURA 10. POZO 8 - LAS CRUCITAS,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

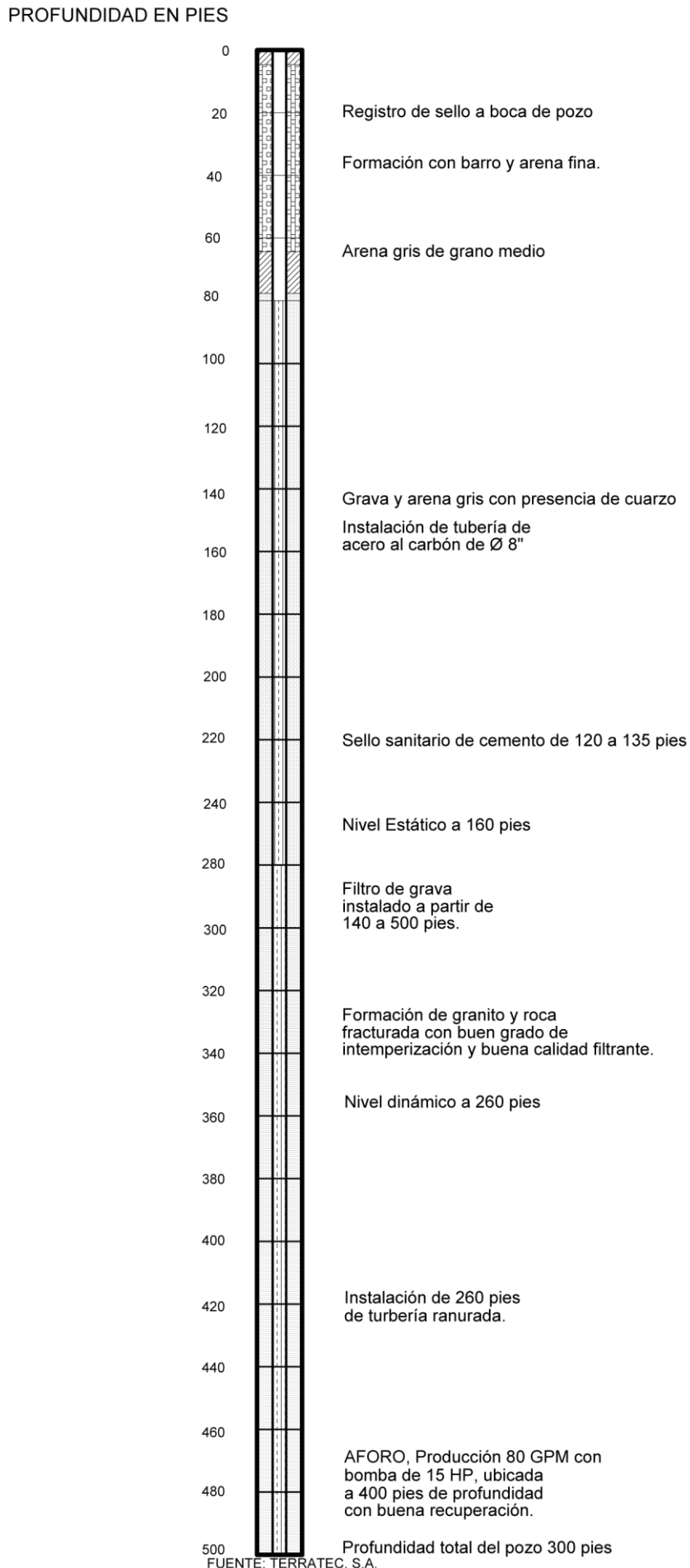
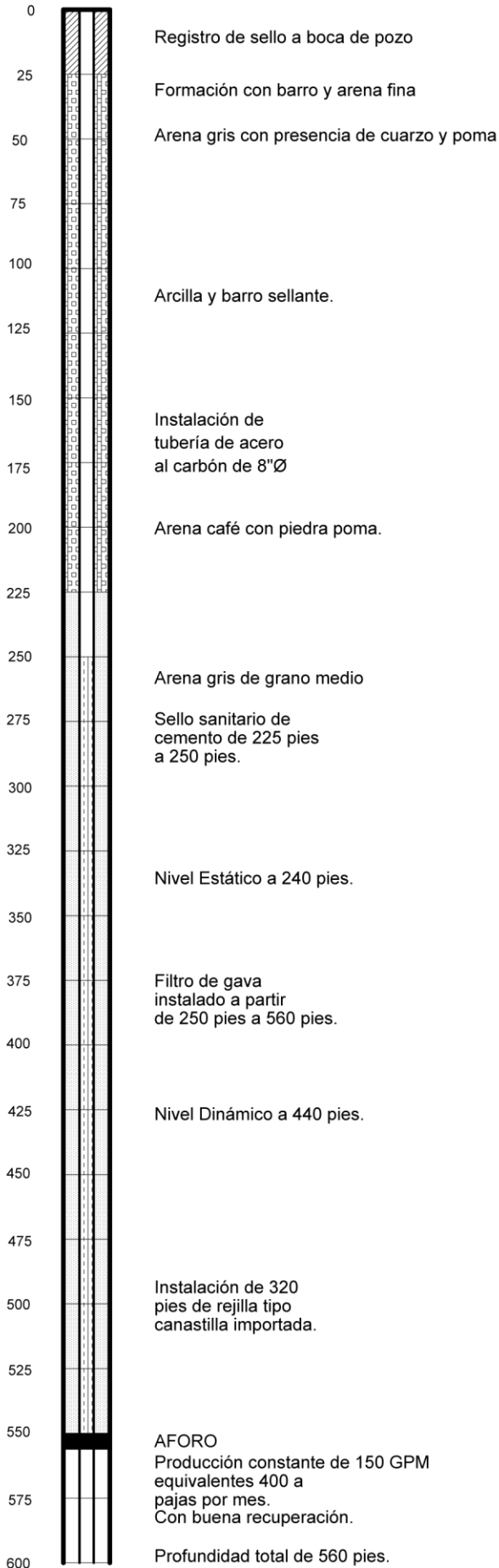


FIGURA 11. POZO 9 - EL TEMPISQUE,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

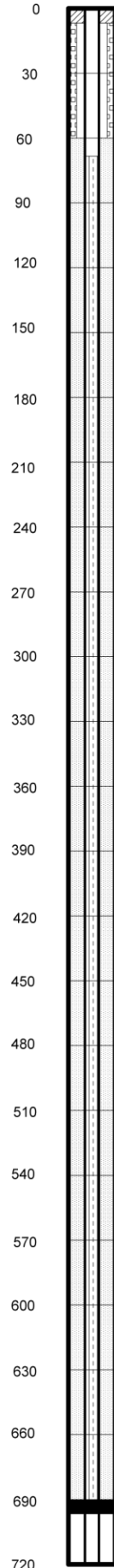
PROFUNDIDAD EN PIES



FUENTE: TERRATEC, S.A.

FIGURA 12. POZO 10 - LO DE DIÉGUEZ
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES



Registro de sello a boca de pozo

Colocación de 60
pies de tubería
de revestimiento
de 12" Ø.

Arena gris con presencia de cuarzo y pomez.

Sello sanitario de 60 a 90 pies

Roca fracturada con
alto grado de
oxidación y buena
calidad filtrante.

Instalación de tubería
de acero al carbón
Norma API 5L de 10"Ø.

Nivel Estático a 220 pies

Filtro de grava
instalado a partir
de 90 pies a 690 pies

Nivel Estático a 250 pies

Formación homogénea
de arena de color café
con grava.

Instalación de 380
pies de rejilla.

AFORO, Producción constante de 180 GPM
con bomba de 25 HP, con
buena recuperación.

Se recomienda Explotación
del pozo con bomba de
40 HP para producción
de 300 GPM.

FIGURA 13. POZO 11 - JOYA VERDE,
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

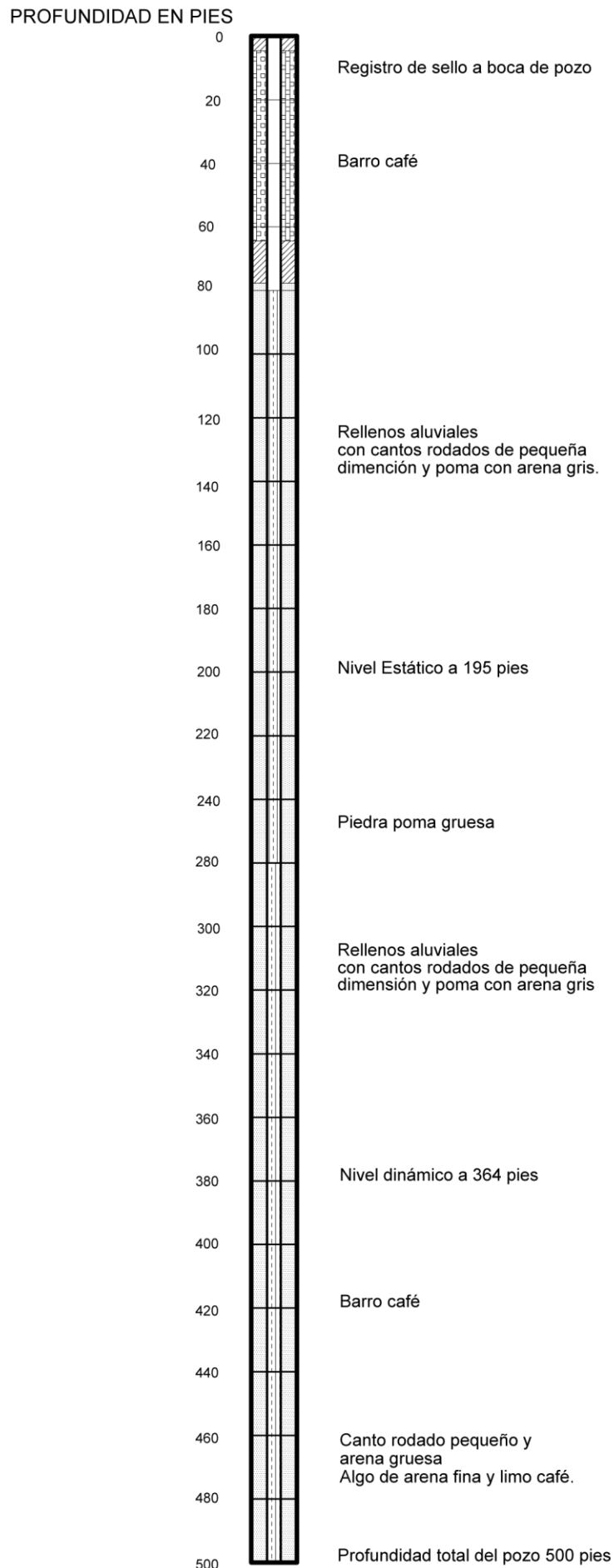
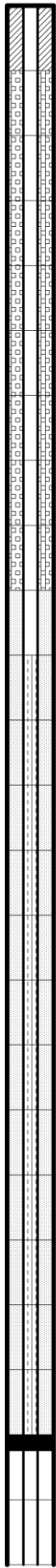


FIGURA 14. POZO 13 - LOS ALTOS
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD
Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES

0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
275
300
325
350
375
400
425
450
475
500
525
550
575
600



Registro de sello a boca de pozo

Formación con barro y arena fina

Arena con presencia de cuarzo y poma

Arcilla y barro

Instalación de tubería de acero al carbón de 8"Ø

Arena café con piedra poma.

Arena gris de grano medio

Sello sanitario de cemento de 200 pies a 220 pies.

Nivel Estático a 300 pies.

Filtro de gava instalado a partir de 250 pies a 600 pies.

Nivel Dinámico a 400 pies.

Formación de roca andesita fracturada con buen grado de intemperación y buena calidad filtrante

Instalación de 300 pies de rejilla tipo canastilla importada.

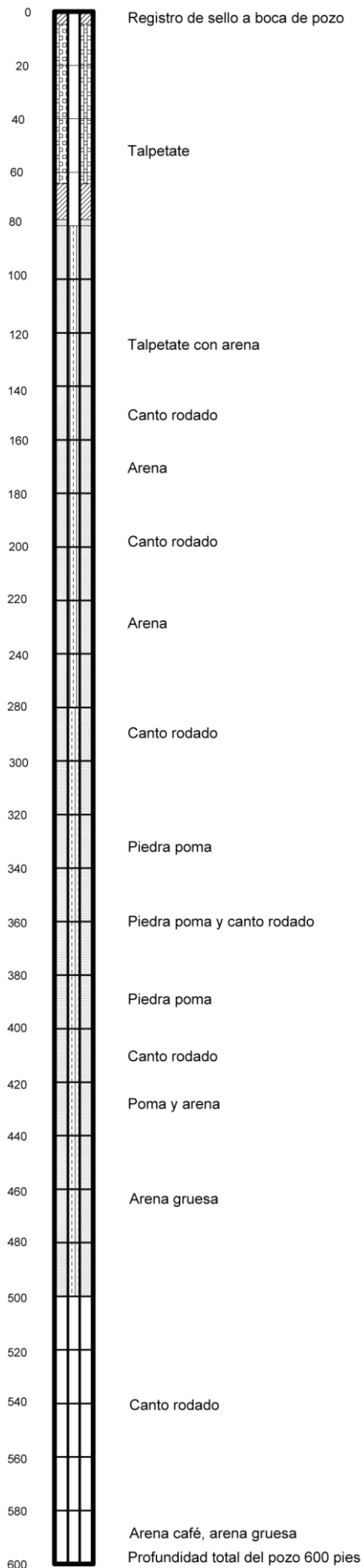
AFORO

Producción constante de 120 GPM se recomienda su explotación de 150 a 170 GPM, con bomba de 30 HP. equivalentes 500 a pajas por mes. Con buena recuperación.

Profundidad total de 600 pies.

FIGURA 15. POZO 14 - PLANTA DE TRATAMIENTO, DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA, PROFUNDIDAD Y OBSERVACIONES (OCT. 2002).

PROFUNDIDAD EN PIES



Cuadro 2. Resultados de la investigación de los pozos que surten de agua al Municipio de Fraijanes, Departamento de Guatemala (oct. 2002)

| Pozo | Nombre | Presencia de indicadores de contaminación | Caudal GPM | Profundidad en Pies | Información litológica de 20 a 50 pies | Características de su entorno |
|------|-----------------------|---|------------|---------------------|--|---|
| 1 | Las Brisas | - | 150 | n/d | n/d | Cementerio, granja penal, granjas |
| 2 | Edificio Municipal | - | 50 | n/d | n/d | Municipalidad, barranco, basurero |
| 3 | Vila Verde | - | 150 | 750 | Barro, arena fina | Área residencial |
| 4 | El Cerrito | n/d | n/d | 320 | Barro, arena fina | Área urbana |
| 5 | Rabanales | - | 60 | 420 | Piedra, barro, arena fina | Viviendas rurales |
| 6 | El Cancón | + | 160 | 450 | Barro rojizo | Escuela, potreros |
| 7 | El Chocolate | - | 80 | n/d | n/d | Viviendas rurales, cultivos, bosque |
| 8 | Las Crucitas | + | 60 | 500 | Barro, arena fina | Vivienda rural, ganado porcino, pastizales |
| 9 | El Tempisque | + | 50 | 600 | Barro, arena fina | Área urbana, cafetales |
| 10 | Lo de Diéguez | - | 200 | 720 | Barro, arena fina | Área urbana |
| 11 | Joya Verde | - | 150 | 500 | Barro café | Granjas |
| 12 | El Ensueño | n/d | 150 | n/d | n/d | Hospital, áreas verdes |
| 13 | Los Altos | - | 120 | 600 | Barro, arena fina | Pastizales, granja avícola |
| 14 | Planta de Tratamiento | - | 150 | 600 | Talpetate | Planta de tratamiento de aguas negras muni. |

Análisis de presencia de indicadores de contaminación realizado en el Laboratorio de Análisis Bacteriológico de Agua MERTU-G/CDC – UVG. + Simboliza presencia positiva. El caudal expresado en galones por minuto según el Departamento de Agua de la Municipalidad de Fraijanes. La profundidad e información litológica según TERRATEC, S. A. y AC Perforaciones.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Detectar contaminación microbiológica en el agua es común en fuentes de agua que no se encuentran protegidas del contacto de animales y seres humanos (ILSI *et. al*, 1996). En el análisis se observó que los recuentos bacterianos de las muestras de tres fuentes de agua subterránea de Fraijanes sobrepasan los límites permisibles de contaminación de agua. Las muestras captadas de las otras nueve fuentes de agua indicaron que estas poseen buena calidad microbiológica.

El agua analizada del pozo 6 - El Canchón, presentó 111 UFC/100 ml de Coliformes Totales, por lo cual no cumple con la norma microbiológica de COGUANOR, NGO-29001:99 para agua potable ya que esta debe tener < de 2 UFC/100 ml de coliformes totales (Comisión Guatemalteca de Normas, 1999). Este pozo colinda con una escuela que no posee sistema de alcantarillado municipal y a pocos metros se encuentran potreros y pastizales para ganado bovino y equino, los cuales podrían ser los causantes de la contaminación de este pozo (ILSI *et. al*, 1996).

Según el análisis, el pozo 8 - Las Crucitas, no cumple con las normas microbiológicas de COGUANOR, NGO-29001:99 para agua potable, ya que este pozo presentó 160 UFC/100 ml, como también indicador de Coliformes Fecales *E. coli* cuando según la norma no debe tener (Comisión Guatemalteca de Normas, 1999). Este pozo colinda con vivienda rural, criaderos de ganado porcino a tres metros de distancia y pastizales de ganado bovino, lo cual puede ser la causa por la cual este pozo presenta indicadores de contaminación ya que

puede existir infiltración lateral hacia él, la cual se genera por la escorrentía que arrastra las heces de cerdos y vacas (ILSI *et. al*, 1996). De todas las muestras analizadas solamente este pozo presentó Coliformes Fecales.

La muestra analizada del pozo 9 – El Tempisque, presentó 730 UFC/100 ml de Coliformes Totales, por lo que no cumple con las norma microbiológica de COGUANOR, NGO-29001:99 para agua potable, (Comisión Guatemalteca de Normas, 1999). Se encuentra dentro del casco urbano de Fraijanes, colinda con vivienda urbana y cultivos de café. Este pozo fue el que presentó mayor cantidad de Coliformes Totales en su muestra, por esto, podría estarse dando un mal manejo de las aguas residuales domiciliarias en sus colindancias.

El 90% de la totalidad de los pozos municipales de Fraijanes posee entre los 20 y 50 pies de profundidad, una formación de barro y arena fina, por lo que las cualidades litológicas a esa profundidad parecen ya no incidir en la contaminación bacteriológica de estas fuentes.

La profundidad promedio de todos los pozos estudiados es de 546 pies, y los pozos en los que se detectó contaminación bacteriológica poseen una profundidad promedio de 516 pies, al no ser significativa la diferencia de profundidad entre los pozos contaminados y la totalidad de pozos estudiados, parece ser que la profundidad de perforación no es un factor que incida en la contaminación bacteriológica.

Debido a razones de accesibilidad a los pozos y costo de análisis, se analizó solamente una muestra por pozo, aún así se determinó que el agua subterránea de Fraijanes sí es vulnerable a la contaminación por aguas residuales domiciliarias rurales y urbanas, así como a las pecuarias.

V. CONCLUSIONES

A. El 25%, de las doce muestras captadas directamente de las fuentes de agua subterránea, presentó indicadores de contaminación bacteriológica. El 75% restante no presentó coliformes totales ni *E. coli*.

B. Las fuentes de agua subterránea de los pozos seis, ocho y nueve del Municipio de Fraijanes, presentan indicadores de contaminación, estos pozos se encuentran posiblemente degradados por los siguientes factores:

- 1. Pozo 6 – El Canchón.** Por las aguas residuales de la escuela con la que colinda, ya que esta no posee sistema de tratamiento ni conexión a alcantarillado municipal, además, a pocos metros se encuentran potreros y pastizales para ganado bovino y equino, los cuales no controlan la escorrentía superficial.
- 2. Pozo 8 – Las Crucitas.** Por la escorrentía e infiltración lateral generada por el criadero de ganado porcino que se encuentra a tres metros de distancia y a los pastizales de ganado bovino que lo rodea, además colinda con viviendas rurales sin alcantarillado municipal, de las cuales se descargan aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento.
- 3. Pozo 9 – El Tempisque.** Por mal manejo de las aguas residuales domiciliarias en sus colindancias ya que se encuentra dentro del casco urbano de Fraijanes.

C. Los pozos en los que se detectó contaminación bacteriológica poseen una profundidad similar con respecto a la profundidad de perforación de la totalidad de los pozos municipales de Fraijanes, por lo que se concluye que la profundidad de estos no es un factor que incida en la presencia de indicadores de contaminación bacteriológica.

D. La información litológica de todos los pozos en estudio nos indica que el 90% de estos, posee entre los 20 y 50 pies de profundidad, una formación de barro y arena fina, incluyéndose los pozos con buena calidad de agua y los que presentaron indicadores de contaminación, concluyéndose que las cualidades litológicas a esa profundidad ya no inciden en la contaminación bacteriológica de este caso.

E. Hay cuatro fuentes de agua subterránea que poseen buena calidad microbiológica y alto riesgo de contaminación:

- 1. Pozo 2 - Edificio Municipal.** Por la contaminación por lixiviación del botadero de desechos sólidos que se encuentra a cincuenta metros de este.
- 2. Pozo 5 – Rabanales.** Por las viviendas rurales sin ningún tipo de tratamiento de aguas negras, adyacentes a este.
- 3. Pozo 13 – Los Altos.** Por la escorrentía de pastizales aledaños, donde se alimenta ganado bovino, y la granja avícola que se encuentra a 100 metros.
- 4. Pozo 14 – Planta de Tratamiento.** Por el riesgo de fugas e infiltración de aguas negras municipales, provenientes del afluente de la planta de tratamiento de aguas negras del casco urbano de Fraijanes.

VI. RECOMENDACIONES

A. Crear las siguientes barreras múltiples de protección, para asegurar la conservación de las fuentes de agua subterránea.

- 1.** Recolección y tratamiento de todas las aguas residuales (domiciliares, comerciales, industriales, agrícolas y pecuarias).
- 2.** Limitación de la descarga de efluentes tratados de aguas residuales, con el fin de que la acumulación de descargas no sobrepase la capacidad de autopurificación del suelo, especialmente en el caso de utilización de fosas sépticas unifamiliares y pozos de absorción.
- 3.** Manejo de las cuencas colectoras y del uso del suelo, con el objeto de proteger de la contaminación los recursos de aguas subterráneas y también superficiales.
- 4.** Los ganaderos deben controlar el escurrimiento e infiltración de desechos fecales desde los pastizales y patios de granjas, controlando la densidad animal, plantando barreras vegetales y evitando ubicar las áreas de alimentación en terrenos con declive hacia la fuente de agua.
- 5.** Crear un sistema integral de manejo de desechos sólidos municipales para evitar la contaminación del agua subterránea por lixiviación.

B. Aplicar niveles de cloro residual entre 0.5 y 1ppm. al agua extraída de los pozos, para ser considerada potable.

C. Realizar estudios posteriores para monitorear de forma sistemática la calidad del agua subterránea de Fraijanes. De esta manera se podrá crear una base de datos estadística de los pozos.

D. Crear una estrategia de educación ambiental dirigida a los habitantes de Fraijanes, para crear conciencia del valor que posee el agua subterránea, con el fin de cambiar las creencias y acciones de la población de forma positiva para con este recurso natural.

E. Controlar el uso de las aguas subterráneas de Fraijanes, contabilizando y normando los pozos privados existentes, así como todos los pozos nuevos que se perforen.

VII. LITERATURA CITADA

Bitton, G. 1994. *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss. New York. USA.

Comisión Guatemalteca de Normas. 1999. Norma guatemalteca obligatoria para agua potable: Especificaciones. NGO-29001: 99. 1-14 pp.

Cooperación del Gobierno de Francia; SOGREAH Consultants; y Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala. 1999. *Actualización del Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable a la Ciudad de Guatemala, Informe Final*. Guatemala.

Csuros, M.; y Csuros. 1999. *Microbiological Examination of Water and Wastewater*. Lewis Publishers. USA.

Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala, Dirección de Operación y Mantenimiento. 2002. *Memoria de Labores año 2001* (Producción de Agua Potable). Informe.

Foster; Ventura Napa; y Aoki Hirata. 1987. *Contaminación de las Aguas Subterráneas, un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y El Caribe en relación con el suministro de agua potable*. Lima, CEPIS.

Guatemala. 1986. *Ley Preliminar de Regionalización*. Congreso de la República. Artículo 3. 2 pp.

Instituto de Fomento Municipal. 2001. *Interpretación de Resultados de Análisis Efectuados a Muestras de Agua en el Municipio de Fraijanes*. Guatemala. Informe.

Instituto Geográfico Nacional, División de Investigación de Recursos de Agua. 1973. *Reconocimiento Hidrogeológico del Valle de Guatemala*. Guatemala. 121 pp.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología; Instituto Geográfico Nacional; y Organización de las Naciones Unidas. 1978. *Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala*. Guatemala. 303 pp.

_____; 1978a. *Informe final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala*. Condiciones Hidrogeológicas Generales. Guatemala. Mapa No. 14.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 1985. *Reconocimiento Hidrogeológico en la Cuenca del Lago Petén Itzá*. Guatemala. 114 pp.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 1994. *Reconocimiento Hidrogeológico en la Cuenca del Río Guacalate hasta la Estación San Luis Las Carretas*. Guatemala. 109 pp.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2001. *Ríos de Guatemala*. Guatemala, 11 pp.

International Life Sciences Institute Argentina; Organización Panamericana de la Salud; y Organización Mundial de la Salud. 1996. *La Calidad del Agua Potable en América Latina, Ponderación de los Riesgos Microbiológicos*

- contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química*. ILSI Press. Washington, DC, USA. 222 PP.
- Miller, G. Tyler, Jr. 1994. *Ecología y Medio Ambiente*. Grupo Editorial Iberoamérica. Capítulo 22. México. 867 pp.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Centro de Salud Fraijanes. 2001. *Muestras de Control de Agua en Fraijanes*. Informe.
- Municipalidad de Fraijanes, Departamento de Agua Potable. 2002. *Fuentes de Agua Potable en Fraijanes*. Informe.
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. 2001. *Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Américas*. Perú. pp.