



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS  
10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Edgar Antonio Montenegro Contreras**

Asesorado por el Ing.Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS  
10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDGAR ANTONIO MONTENEGRO CONTRERAS**

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL MONTENEGRO FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS 10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2011.

  
**Edgar Antonio Montenegro Contreras**

Licenciado

Manuel María Guillén Salazar

Jefe del Departamento de Planeamiento

Escuela de Ingeniería Civil

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Licenciado Guillén:

Tras haber asesorado al estudiante universitario EDGAR ANTONIO MONTENEGRO CONTRERAS, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **"ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ZONAS 10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA"** y haber revisado y corregido su contenido, sin encontrar objeción al respecto, doy mi aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo, recomendando su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Ingeniera Civil  
Colegiado 3177

Hugo L. Montenegro Franco  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO NO 3177

Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

31 de mayo de 2013

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ZONAS 10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edgar Antonio Montenegro Contreras, quien contó con la asesoría del Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar

Jefe del Departamento de Planeamiento

**Manuel María Guillén Salazar**  
ECONOMISTA  
Colegiado No. 4759



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
PLANEAMIENTO  
USAC

/bbdeb.

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua







**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Edgar Antonio Montenegro Contreras, titulado ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS 10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS 10 Y 14 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Antonio Montenegro Contreras**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, julio de 2013



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Quien me ha dado paciencia, sabiduría, inteligencia, para enfrentar los retos antepuestos en la vida.
- Mis padres** Ing. Hugo Leonel Montenegro y Marisol de Montenegro, porque me han dado la vida, además protegido y enseñado el valor de la misma y de familia, me han apoyado en toda decisión que he tomado, y es por ellos que he cumplido la meta de ser un profesional.
- Mi familia** Dentro de ella me forme y soy las persona que hoy en día soy, y gracias a los ejemplos de ellos, luché por la superación y satisfacción propia.
- Mi novia** Por estar a mi lado y apoyarme.
- Mis hermanos** Con ellos he tenido el apoyo en todo momento, y nos hemos fijado la meta de llegar a ser profesionales y superarnos.
- Mis amigos** Por compartir tantos buenos momentos, sin su apoyo no hubiera alcanzado esta meta.

**Mi universidad**

Universidad de San Carlos de Guatemala,  
especialmente a la Escuela de Ingeniería Civil.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas y permitirme llegar a ser un profesional.
<b>Ing. Hugo Montenegro</b>	Por brindarme todo el apoyo e información necesaria, para realizar este trabajo de graduación.
<b>Montagua</b>	Por permitir desempeñarme como profesional.



1.6.1.	Usos del agua .....	22
2.	UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA..	25
2.1.	Exploración y sondeo de aguas subterráneas .....	25
2.1.1.	Estudio geológico .....	28
2.1.2.	Estudio hidrológicos .....	29
2.2.	Métodos .....	30
2.2.1.	Métodos geofísicos.....	30
2.2.1.1.	Método sísmico.....	31
2.2.1.2.	Método de resistividad eléctrica .....	31
2.2.2.	Método de perforación.....	32
3.	PERFORACIÓN DE POZO PARA EXTRACCIÓN DE AGUA POTABLE	
	.....	35
3.1.	Evaluación de un proyecto de agua subterránea.....	35
3.1.1.	Tipo de proyecto.....	36
3.1.1.1.	Residencial .....	36
3.1.1.2.	Municipal .....	36
3.1.1.3.	Industrial .....	37
3.1.1.4.	Comercial (proyectos de ingeniería) ...	37
3.2.	Métodos de perforación.....	37
3.3.	Especificaciones técnicas del diseño de un pozo .....	39
3.3.1.	Diámetros de perforación .....	39
3.3.2.	Diámetro del entubado .....	39
3.3.3.	Profundidad .....	40
3.3.4.	Colocación de la captación y rejillas .....	41
3.3.5.	Filtro de grava .....	43
3.3.6.	Sello sanitario.....	43
3.4.	Pruebas a realizar en un pozo mecánico.....	44



3.4.1.	Verticalidad y alineamiento .....	44
3.4.2.	Desarrollo y limpieza.....	45
3.4.3.	Prueba de bombeo .....	46
3.5.	Estudio de las condiciones en las que se encuentra un pozo mecánico .....	46
3.5.1.	Caudal .....	47
3.5.2.	Nivel estático .....	47
3.5.3.	Nivel dinámico.....	48
3.5.4.	Abatimiento .....	48
3.5.5.	Perfil stratigráfico .....	49
3.6.	Mantenimiento de un pozo mecánico .....	51
3.6.1.	Frecuencia de mantenimiento .....	51
3.6.2.	Revisión del equipo de bombeo .....	52
4.	ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	55
4.1.	Calidad del agua subterránea .....	55
4.1.1.	Parámetros del agua potable .....	55
4.1.2.	Norma COGUANOR NGO 29001 .....	55
4.1.2.1.	Análisis físico-químico.....	57
4.1.2.2.	Análisis bacteriológico.....	65
4.2.	Contaminantes del agua subterránea .....	67
4.3.	Protección de aguas subterráneas .....	69
5.	MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	71
5.1.	Zona y población a analizar .....	71
5.2.	Ubicación de pozos mecánicos.....	71
5.3.	Monitoreo de pozos .....	72

6.	PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN PARA REDUCIR EL AGOTAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA .....	75
6.1.	Monitoreo del sistema de agua potable .....	75
6.2.	Cronograma de mantenimiento a los pozos existentes .....	75
6.3.	Estudio para ejecución o perforación de nuevos pozos .....	76
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA .....	83
	ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	El ciclo hidrológico .....	3
2.	Diagrama de escurrimiento .....	7
3.	Flujo del agua subterránea.....	16
4.	El agua subterránea y los pozos .....	21
5.	Diámetros y tubería de un pozo .....	40
6.	Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejilla .....	42
7.	Perfil estratigráfico .....	49
8.	Niveles de un pozo mecánico .....	50
9.	Contaminación del agua.....	68

### TABLAS

I.	Materiales permeables e impermeables .....	14
II.	Diámetros de perforación según proyecto .....	39
III.	Parámetros físicos del agua potable .....	59
IV.	Parámetros químicos del agua potable .....	65
V.	Tabla de informe .....	72
VI.	Cronograma de mantenimiento .....	76



## GLOSARIO

<b>Aluvión</b>	Sedimento de origen fluvial, de granulometría relacionada con el caudal y compuesta de cantos, grava y arena en depósitos frecuentemente de origen volcánico.
<b>Capilaridad</b>	Fluidos que a su vez dependen de la tensión superficial.
<b>Carcinógeno</b>	Se aplica a la sustancia o agente que produce cáncer.
<b>Depresiones</b>	Región cuyas aguas no se vierten al mar por el tipo de relieve, creando una cuenca cerrada
<b>Estiaje</b>	Nivel de caudal mínimo.
<b>Estratigrafía</b>	Ciencia que estudia la sucesión de los depósitos sedimentarios, generalmente ordenados en capas (o estratos).
<b>Fisiología</b>	Ciencia cuyo objeto de estudio son las funciones de los seres orgánicos.
<b>Humedal</b>	Zona generalmente plana, en la que la superficie se inunda de manera permanente o intermitente.



<b>Intersticios</b>	Espacios libres entre las partículas de los materiales sólidos.
<b>Intersticios de rocas</b>	Espacios pequeños entre dos cuerpos de roca o entre dos partes de un mismo cuerpo.
<b>Magmatismo</b>	Son todos los procesos en los que intervienen los materiales de la tierra cuando se encuentran fundidos, o en forma de magma.
<b>Manto freático</b>	Depósitos de agua subterránea que se filtran a través de la capa permeable de la corteza terrestre.
<b>Petrografía</b>	Rama de la geología que se ocupa del estudio e investigación de las rocas.
<b>Potabilización</b>	Proceso de conversión de agua común en agua potable apta para el consumo humano.
<b>Relieve kárstico</b>	Relieve que se desarrolla sobre todo tipo de rocas solubles como los carbonatos y los yesos, debido a la disolución que produce el agua de lluvia sobre las mismas.
<b>Resistividad eléctrica</b>	Es el grado de dificultad que encuentran los electrones en su desplazamiento, dependiendo del tipo material que recorran.

- Sublimación** Proceso que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido.
- Terreno detrítico** Terreno compuesto por detritos (restos, residuos, sedimentos).



## RESUMEN

Las zonas 10 y 14 de la ciudad de Guatemala, cuentan con la mayor cantidad de hoteles, apartamentos y hospitales privados del país, como en todo lugar poblado o habitado, el servicio de agua potable juega un papel importante para el desarrollo de las actividades diarias, y el bienestar de las personas que habitan y trabajan en este sector.

Este documento está dividido en 6 capítulos, en los primeros 2 se presenta un estudio completo sobre los recursos hidráulicos y el aprovechamiento del agua subterránea, definiendo los factores que marcan el tránsito, permanencia y uso que se le da a este líquido tan fundamental en la vida de los seres humanos, también se explican los parámetros con los que se debe desarrollar un proyecto de agua potable abastecido con base en perforaciones y extracciones subterráneas y los parámetros que rigen su potabilidad.

En los capítulos siguientes, se muestra el monitoreo que se realizó al sistema de abastecimiento con el que cuentan algunas edificaciones y sectores importantes de la zonas 10 y 14, se explican y detallan los exámenes que se deben hacer a las muestras químico-bacteriológico para determinar el grado de pureza del agua tomada en cada pozo, se dejan propuestas acerca de las medidas a adoptar para que su uso eficiente y que se encuentren alternativas para prevenir escasez en el futuro.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un diagnóstico sobre niveles de aguas subterráneas y manto fríasico, efectuando monitoreo del abastecimiento en zonas 10 y 14 de la ciudad de Guatemala.

### **Específicos**

1. Recopilar información geológica de las aguas subterráneas del sector.
2. Determinar y establecer los márgenes y niveles actuales de los niveles de agua subterránea.
3. Proporcionar la información pertinente y significativa para la ejecución de proyectos de agua potable.
4. Proporcionarle a los proyectistas una información actualizada de niveles estáticos para proyectos futuros.
5. Establecer los parámetros a tomar en cuenta para aprovechamiento del agua.
6. Comprender sobre la importancia de la prevención del agua subterránea y los parámetros que rigen su calidad.

7. Diagnosticar las condiciones de los pozos y proponer alternativas para su mejor funcionamiento.

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso importante para las actividades del ser humano, desafortunadamente por la actividad de la humanidad se ha convertido en recurso finito, pues se interrumpe su ciclo, existe una sobreexplotación en la actualidad, la cual se utiliza para satisfacer las demandas de las personas, actividades industriales, hospitalarias y otras. La perforación de pozos se ha convertido en el prototipo ideal para el aprovechamiento de este recurso.

La mayoría de las zonas capitalinas utilizan para su abastecimiento las aguas subterráneas, predominando la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), la cual suministra el servicio a través de pozos mecánicos, aún así, gran parte cuenta con pozo propio, debido a las limitaciones del abastecimiento municipal, esto sobresale en condominios residenciales con propiedad horizontal, pero toma su auge con mayor incidencia en los condominios residenciales de propiedad vertical, ya que los índices de ocupación se elevan considerablemente, dando como resultado una concentración de la demanda en relación a la superficie terrestre ocupada.

En los últimos años, en las zonas 10 y 14 de la ciudad de Guatemala, se han desarrollado proyectos habitacionales de gran magnitud, por medio de la construcción de edificios de apartamentos, los cuales, en su mayoría se abastecen del suministro a través de la perforación de pozos mecánicos.

En el presente trabajo se realizarán mediciones de las profundidades actuales de los niveles del agua subterránea, para lo cual se utilizará como componente principal un grupo de pozos que actualmente están siendo

explotados, con estos datos actualizados se contará con un parámetro de comparación con resultados obtenidos de estudios anteriores.

# **1. RECURSOS HIDRÁULICOS**

## **1.1. Definición de los recursos hidráulicos**

Los recursos hidráulicos constituyen uno de los recursos naturales renovables más importante para la vida, y estos lo integran; ríos, lagos, océanos, el agua atmosférica y el agua subterránea. Se hacen presentes en las actividades del ser humano.

## **1.2. El ciclo hidrológico**

El agua en la naturaleza no permanece estática, en el cual se definen diferentes etapas o fases; éstas, por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo, ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye.

El ciclo hidrológico, es el proceso mediante el cual, se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado, por ejemplo, desde el momento en que es lluvia, hasta volver a ser lluvia. Este recorrido puede cerrarse por distintas vías; el ciclo hidrológico no tiene un camino único. Se parte de la atmósfera como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo.

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor, que proviene casi en su totalidad del agua evaporada en el mar. Esta humedad es transportada por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en

forma líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha). Durante la precipitación el agua puede iniciar su retorno hacia la atmósfera, porque en su caída se evapora y una parte de ella no llega al suelo; otra parte al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde una parte se evapora y también regresa a la atmósfera y otra parte escurre hacia el suelo y se infiltra.

El agua que cae directamente al suelo, será la que recorrerá propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, y otros.), otra parte correrá por la superficie, dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar. Una parte de la que se precipitó en la tierra, se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad de este y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que, como el superficial, también llega a los cauces de los ríos; asimismo, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal en la base de los ríos.

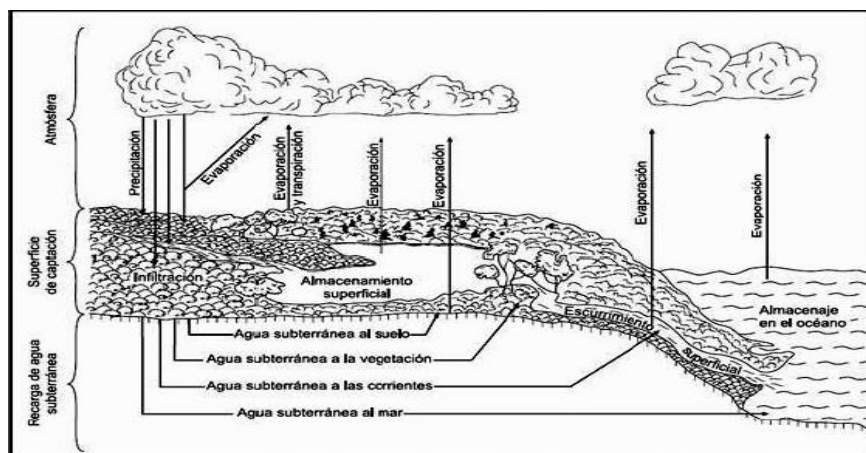
El agua que se infiltra en el suelo, puede volver a la superficie en forma de manantiales en situación próxima, tanto geográfica como temporalmente o profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo. Es conveniente tomar en cuenta que la mayor parte de los movimientos subterráneos del agua son muy lentos.

El escurrimiento superficial, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo que descargan en los cauces, constituyen el agua de escurrimiento, que es la que corre por los cauces de los ríos y a través de ellos llega al mar, aunque

cabe mencionar que una pequeña parte del agua de escurrimiento queda detenida en el lecho de los mismos ríos.

Por último, desde la superficie del mar y desde las demás superficies líquidas, hay otra etapa de evaporación que cierra el ciclo y es donde termina la Hidrología y vuelve a empezar la Meteorología (estudio de fenómenos atmosféricos) (figura 1).

Figura 1. El ciclo hidrológico



Fuente: Maderey Rascón, Laura Elena. Principio de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. 12.

Hay otra parte del ciclo, la recorrida por el agua que desde el suelo es absorbida por las raíces de las plantas y que, por el proceso de transpiración vegetal, vuelve a la atmósfera en forma gaseosa. También se puede hacer participar dentro del ciclo hidrológico a los animales que toman parte del agua y la expulsan, así como hacer figurar la que podría llamarse parte industrial del ciclo.

Cualquiera que sea la fase del ciclo hidrológico que se considere, siempre al final se tendrá el retorno a la atmósfera por evaporación. Así, se puede considerar que la meteorología suministra el agua y la retorna para cerrar el ciclo, y que la parte propiamente hidrológica corresponde al movimiento del agua sobre y bajo la superficie terrestre.

### **1.3. Procesos del agua**

Los procesos del agua tienen lugar en la tierra y en los océanos, tiene una interacción constante con el ecosistema, debido a que los seres vivos dependen del agua para sobrevivir y ellos colaboran al funcionamiento de su ciclo y depende de una atmósfera no contaminada y de un cierto grado de pureza, porque con el agua contaminada se dificulta la evaporación y se entorpece el ciclo.

#### **1.3.1. Evaporación**

La evaporación en un aspecto físico puro, es el paso del estado líquido al gaseoso. Para estudiar la evaporación se deben considerar los distintos orígenes desde los que se produce.

Una parte de lluvia queda en las plantas, interceptada por las hojas o troncos, desde donde hay evaporación. Otra parte llega al suelo y lo moja, así habrá también evaporación desde el suelo húmedo, con variaciones del grado de humedad; una vez saturado el suelo, el agua corre por la superficie, aunque no por cauces, y también desde ésta se produce evaporación. Por último, una parte alcanza los cauces y entonces se tendrá evaporación desde superficies líquidas continuas, es decir, mares, lagos y ríos.



Hay otra forma especial de evaporación, la que se produce a partir de la nieve y hielos, el paso no es de estado líquido a gaseoso, sino de sólido a gaseoso; este fenómeno se conoce como sublimación o volatilización, aunque este fenómeno muy difícilmente se da en Guatemala. Todos estos lugares donde se acumula el agua, dan lugar al fenómeno físico de la evaporación, pero también existen otros que hay que estudiar, las plantas que toman el agua del suelo por medio de sus raíces y a través de su ciclo biológico la regresan a la atmósfera por medio de la transpiración. Cuando la evaporación y la transpiración se engloban en una variable, se habla de evapotranspiración.

### **1.3.2. Infiltración**

Es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo, este fenómeno ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía), depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o por la transpiración de las plantas, otra parte, se incorpora a los acuíferos.

Del agua infiltrada se proveen casi todas las plantas terrestres y muchos animales; alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el período de estiaje (caudal mínimo de un río en verano); reduce las inundaciones y la erosión del suelo.

En el proceso de infiltración se pueden distinguir 3 fases:

- Intercambio: se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación, debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.
- Transmisión: ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- Circulación: sucede cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

### **1.3.3. Precipitación**

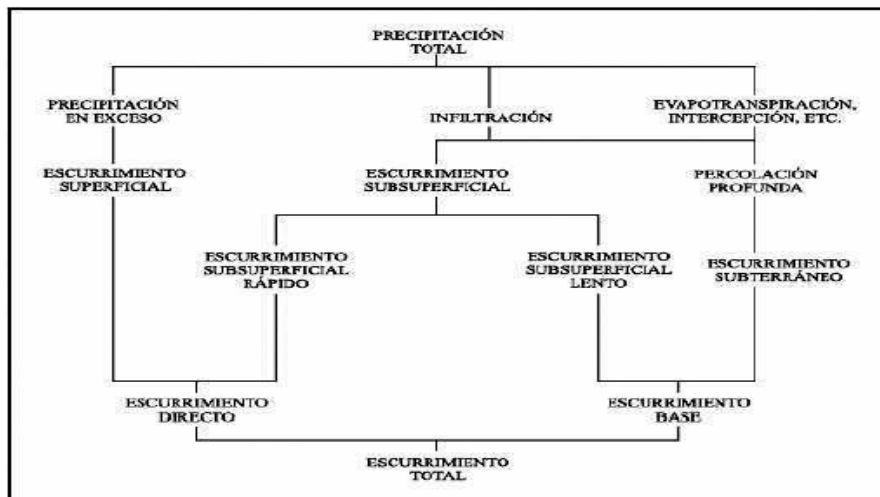
Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa), se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de 2 procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

La precipitación que alcanza la superficie de la tierra, puede producirse en muchas formas diferentes; como lluvia, llovizna, granizo y rocío, esto para el caso de Guatemala. La precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta.

### 1.3.4. Escorrentía

Es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento de agua, éste se puede dividir como se indica a continuación (figura 2).

Figura 2. Diagrama de escurrimiento



Fuente: Maderey Rascón, Laura Elena. Principio de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico p. 67.

Escurrimiento superficial o escorrentía, es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.

Escorrimento subsuperficial, es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma tiempo el unirse a ellas.

Escorrimento subterráneo, es aquel que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimento superficial, se le llama precipitación en exceso. El escurrimento subterráneo y la parte retardada del escurrimento subsuperficial constituyen el escurrimento base de los ríos. La parte de agua de escurrimento que entra rápidamente en el cauce de las corrientes, es a lo que se llama escurrimento directo y es igual a la suma del escurrimento subsuperficial, más la precipitación que cae directamente en los cauces.

### **1.3.5. Circulación agua subterránea**

Existe un fenómeno del escurrimento del agua, denominado circulación subterránea y que no es más que el agua subterránea que se encuentra dentro de la litosfera. A la parte de la Hidrología que se ocupa del agua subterránea se le da el nombre de hidrogeología y cabe mencionar que ésta se dedica exclusivamente a la hidráulica subterránea. La Hidrogeología estudia al agua subterránea, desde su origen, movimiento, distribución debajo de la superficie de la tierra y su conservación.

Por lo que se refiere a la presencia del agua en el subsuelo, se ha comprobado que la mayor parte del agua subterránea, se debe a la infiltración de agua de lluvia, aunque también hay agua subterránea debida a otros fenómenos como el magmatismo y el volcanismo (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles), pero su cantidad no es considerable en relación con las que provienen de la infiltración.

#### **1.3.5.1. Distribución del agua en el subsuelo**

En condiciones normales, la distribución de agua en el subsuelo ha sido dividida en 2 zonas: la de aireación, también conocida como zona vadosa o no saturada y la de saturación.

- La zona de aireación comprende a su vez 3 franjas: la del agua del suelo, la intermedia y la capilar. En la franja del agua del suelo se encuentran 3 tipos de agua:
  - Agua higroscópica: Es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.
  - Agua capilar: Es la que existe en los intersticios del suelo, debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.
  - Agua libre o de gravedad: Es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

En la franja intermedia, el espesor varía desde cero hasta varios metros; es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas, capilares y de gravedad.

La franja capilar es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares.

Al agua contenida en la zona de aereación se le conoce con el nombre de agua suspendida, ésta es el agua vadosa, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático.

- En la zona de saturación se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. En esta región el movimiento del agua es más lento, debido a que todos los poros e intersticios se encuentran ocupados por ella, y es de aquí de donde se extrae el agua para los diversos usos que le da el hombre.

La capa saturada es el manto freático y la parte superior de ésta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región, es la superficie freática que, por lo general, sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega a esta zona se le llama agua freática. La parte inferior de la zona de saturación está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo. Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en cuyo caso se les llama, zonas de saturación colgadas.

El agua se mueve hacia el manto freático por filtración, una vez en él, el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación, se llama percolación.

El movimiento del agua subterránea está controlado por 3 fuerzas principales; la de gravedad, de atracción molecular y de diferencias de densidad, producto de variaciones importantes de temperatura que existen al interior del subsuelo, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones geológicas.

Las formaciones geológicas según su aptitud para contener y dejar pasar el agua a través de su masa, reciben distintos nombres:

- **Acuífero:** Son formaciones, partes de una formación o conjunto de formaciones geológicas, que permiten al agua moverse a través de ellas bajo condiciones ordinarias y son capaces de suministrarla por gravedad, o por bombeo en la calidad requerida.
- **Acuífardo:** Son formaciones capaces de contener agua, pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para su captación o formación de manantiales importantes.
- **Acuífugo:** Son formaciones impermeables que no absorben ni transmiten agua.

Los acuíferos pueden ser libres y confinados. Los primeros se conocen también como acuíferos no confinados, abiertos, freáticos o no artesianos y son los que se presentan cuando el manto freático no está limitado, en la parte superior, por un estrato impermeable. Los acuíferos confinados, también conocidos como artesianos, ocluidos o de presión, se tienen cuando el agua subterránea está limitada en su parte superior por un estrato impermeable.

El agua que alimenta a este tipo de acuíferos proviene de un manto en el que el estrato limitante superior o ambos estratos ascienden hasta la superficie o terminan bajo ella.

El agua confinada o artesiana tiene una presión que la hace subir a un cierto nivel cuando alguna fractura o perforación llega hasta el acuífero confinado. La presión causante de este ascenso, es la presión hidrostática y el nivel al cual llega esta agua sin ser bombeada, se llama superficie piezométrica o superficie de presión. El nivel de un punto cualquiera de la superficie freática y piezométrica sin haber bombeado el agua, da el nivel estático.

Cuando la superficie piezométrica queda debajo del terreno se dice que el agua es ascendente y cuando queda arriba de la superficie, el agua es brotante.

#### **1.3.5.2. Factores condicionantes del agua subterránea**

La presencia y el movimiento del agua subterránea están condicionados por ciertos factores, entre los que se cuentan como más importantes; la precipitación, la forma del terreno, la geología y la presencia o ausencia de vegetación.

- Precipitación, es importante considerar a la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia. Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua subterránea no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y



llega lentamente hasta ellas. La precipitación es muy importante en dos aspectos, en su cantidad y en su duración.

- Forma del terreno; este aspecto interesa a la Hidrología tanto superficial como subterránea, ya que el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas, indicando así el camino que seguirá el agua al caer a la superficie.

Las formas del terreno son fundamentales, pues en general las partes altas constituyen zonas potenciales de recarga y las bajas, de descarga del flujo de agua subterránea.

Las corrientes fluviales pueden influir en el aumento de agua del subsuelo, especialmente en la época de lluvia. Las zonas de descarga, además de manantiales, pueden estar representadas por cuerpos de agua, humedales y suelos salinos, entre otros.

- Geología: El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en la Hidrogeología, ya que la velocidad de movimiento depende de la estructura y composición litológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. Las diferentes formaciones poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir buenos acuíferos.

Estas propiedades, son la porosidad y la permeabilidad (o más estrictamente la conductividad hidráulica). La porosidad es la particularidad que tiene un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, que indica el volumen del material ocupado por dichos intersticios.

Se ha considerado que una porosidad inferior al 5 por ciento es baja, entre el 5 por ciento y el 20 por ciento es media y más del 20 por ciento es alta.

La permeabilidad, es la facilidad que tiene un material geológico para dejar pasar cualquier fluido, en este caso el agua, a través de los intersticios. Cuando el fluido es agua, se considera más adecuado emplear conductividad hidráulica, concepto que incorpora la densidad y viscosidad del agua. Se han diferenciado 2 clases de permeabilidad: la permeabilidad continua, en pequeñas proporciones o conductividad hidráulica de medios granulares, que es la que se presenta cuando los poros o intersticios están comunicados entre sí y la permeabilidad localizada, en grandes proporciones o de medios fracturados, que se presenta cuando el agua se mueve a través de fisuras y grietas de las rocas.

Como se puede observar, no basta que las formaciones o materiales geológicos tengan un alto porcentaje de porosidad, sino además es necesario que sus poros o fracturas estén intercomunicados, (tabla I).

**Tabla I. Materiales permeables e impermeables**

<b>Materiales permeables</b>	
Muy permeables	Lavas cavernosas, gravas, arenas gruesas.
Permeables	Arenas finas, conglomerados, areniscas, calizas no muy fracturadas.
Poco permeables	Gravas con arcillas, margas, calizas margosas.
<b>Materiales impermeables</b>	
Impermeables	Pizarras cristalinas, areniscas antiguas, calizas cristalinas, calizas compactas no cavernosas, cuarcitas.
Muy impermeables	Granitos y rocas en masa, pizarras arcillosas, gneis, arcillas.

Fuente: Maderey Rascón, Laura Elena. Principio de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológicop. 92.

- Vegetación, es un factor que en partes topográficamente altas, influye en la infiltración y, por lo tanto, contribuye a la recarga del agua subterránea. El suelo, desde el punto de vista hidrogeológico, está estrechamente ligado con la cubierta vegetal. Las raíces de las plantas y los animales propios del suelo lo preparan haciéndolo más poroso y dándole así oportunidad al agua para pasar a través de él. La vegetación puede facilitar la infiltración, aún en los suelos duros y arcillosos.

### Flujo del agua subterránea

Un sistema hidrológico en el que se considera que el agua subterránea fluye en forma horizontal, y en el cual normalmente la información hidrológica se utiliza para describir un sistema estático en un medio geológico considerado equivalente a un medio granular con propiedades (porosidad y permeabilidad), cuyo valor es igual en todas direcciones; rara vez se presenta en el medio natural.

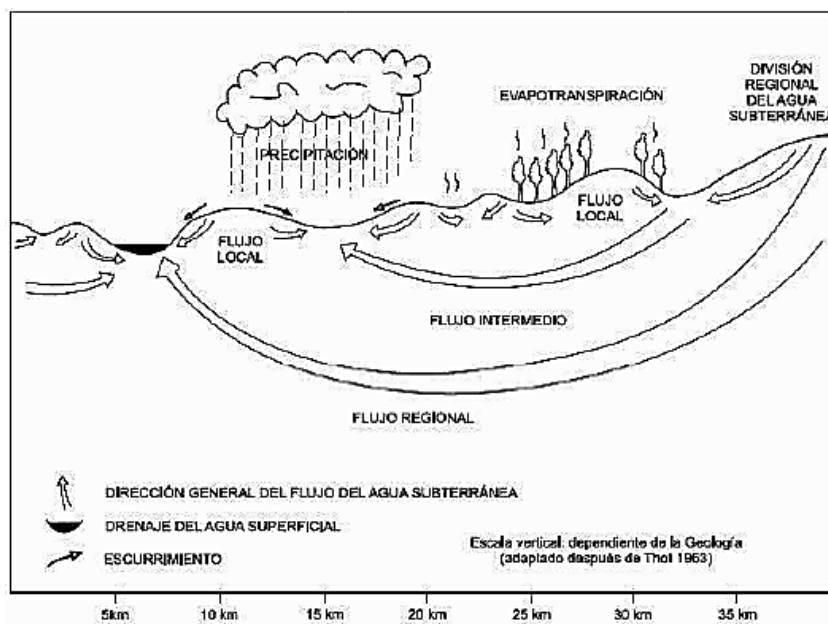
Un sistema hidrológico subterráneo dinámico, es más representativo de la realidad y las investigaciones en este campo toman en cuenta el movimiento vertical del agua subterránea. En acuíferos de gran espesor (1000 metros o más), el flujo vertical controla el movimiento del agua subterránea, control que marca un comportamiento particular en las zonas de extracción por pozos, en especial en las zonas de recarga (hacia abajo) y en las de descarga (hacia arriba). Si se detiene por un instante el flujo de agua subterránea, se puede estimar la forma de su movimiento en el plano horizontal y en el plano vertical, lo que resultará en la definición de áreas de recarga y áreas de descarga.

Existen 3 sistemas principales de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la topografía y al marco geológico presente: local,

intermedio y regional. Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales, en cada topografía el agua entra y sale en el mismo valle.

En algunos casos, parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio. Los sistemas regionales se desarrollan a mayor profundidad y van de las partes más altas a las zonas de descarga más bajas de la cuenca (figura 3).

Figura 3. Flujo del agua subterránea



Fuente: Maderey Rascón, Laura Elena. Principio de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. 93.

Estos flujos, en un ambiente natural, mantienen un recorrido separado, al igual que las corrientes marinas o las aguas de 2 ríos antes de confluir para formar otra. Las zonas de recarga y descarga, están estrictamente controladas

por un flujo vertical con una componente de movimiento hacia abajo y hacia arriba, respectivamente.

#### **1.4. Recursos hidráulicos utilizados**

El hombre a través de la historia, se ha visto obligado a buscar alternativas para poder obtener recursos hidráulicos, ya que éstos son de suma importancia y sin los mismos, la vida no sería posible, con el paso de los años se ha observado que es más difícil la obtención del agua para el consumo humano, esto debido a distintos factores; la humanidad ha hecho uso de distintas fuentes de abastecimiento, a continuación se enumerarán algunas de ellas.

##### **1.4.1. Aguas superficiales**

Se entiende como agua superficial a los cuerpos de agua que en el medio existen y de los que el hombre hace uso por medio de captaciones, estas fuentes se han visto afectadas debido a la contaminación de las cuencas en las que se encuentran, en años atrás se podían aprovechar estas fuentes sin riesgos razonables para la salud de las personas, pero en la actualidad con la superpoblación se hace necesario la utilización de un proceso de potabilización de las mismas, ya que de no hacerlo, es alta la probabilidad que el agua a suministrar se encuentre con altos grados de contaminación.

- **Ríos**

Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año debido a factores climatológicos, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso

se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura, y se ve afectado por la topografía de la cuenca hidrográfica en la que se encuentra.

En el aprovechamiento de recursos hidráulicos, los ríos han tenido mucha participación, ya que de ellos las comunidades han obtenido el agua para su consumo, ya sea por medio de un trabajo de ingeniería, o por simple acopio de las personas que viven en el lugar, en la actualidad, los ríos de Guatemala se han visto fuertemente afectados por la contaminación y para poder aprovecharlos se ha tenido que hacer uso de procesos de potabilización.

- Lagos

Cuerpo de agua depositada en depresiones del terreno, generalmente de agua dulce, más o menos extenso. Es posible deducir el origen de un lago si se observa su contorno, las depresiones lacustres se han formado a partir de una o varias fuerzas del subsuelo y su formación pueden deberse a varios factores de tipo tectónico, volcánico o por glaciaciones.

El aporte de agua a los lagos, viene de los ríos y del afloramiento de aguas freáticas, y su drenaje puede ser de igual manera por medio de un río o hacia los mantos freáticos, todo dependerá, al igual que en los ríos, de la topografía de la cuenca hidrográfica en la que se encuentra y de los afluentes que a éste lleguen. Por ser un cuerpo de agua dulce puede ser aprovechado para el consumo humano, con un monitoreo de la calidad del agua y realizando procesos de potabilización si fuera necesario.

### **1.4.2. Agua subterránea**

Representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar volúmenes enormes.

El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la degradación y a la sobre explotación, el aprovechamiento de este recurso es muy importante y es la opción más usada en la actualidad, porque a pesar de su sensibilidad se podría determinar que es la que se encuentra en un nivel más óptimo de calidad.

- Manantiales

Un manantial o nacimiento, es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Se origina debido a la filtración de lluvia o por la incidencia de un ramal de río, este fenómeno ocurre porque el agua penetra en un área y emerge en otra, de menor altitud, donde no está confinada en un conducto impermeable. Estos manantiales suelen ser abundantes en relieves kársticos. Los cursos subterráneos a veces se calientan por el contacto con rocas ígneas y afloran como aguas termales.

### **1.4.3. Pozos excavados o manuales**

Conocidos también como pozos artesanales, estos son pozos rústicos y de poca profundidad, normalmente excavados a mano con herramientas sencillas, llegando a estratos de agua subsuperficial que se pueden aprovechar. Éstos han sido muy utilizados en áreas rurales y su producción fue buena hasta

hace algunos años, la profundidad en donde se encontraba el agua no era muy grande, pero en la actualidad se han secado muchos mantos friáticos y no es recomendable profundizar demasiado este tipo de estructuras, ya que puede resultar peligroso para las personas que los realizan.

Los pozos artesianos son manantiales artificiales provocados por el hombre, mediante una excavación o una perforación y en la que la presión del agua es tal que la hace emerger en la superficie.

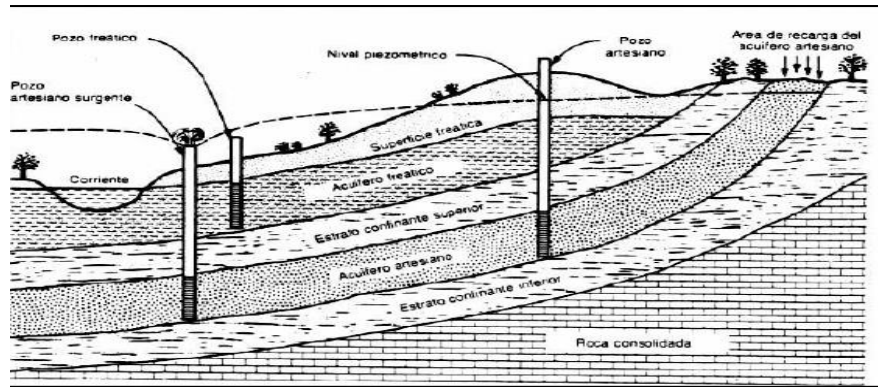
#### **1.4.4. Pozos profundos o mecánicos**

Estos son pozos que mantienen el mismo fin que los pozos artesanales poco profundos, pero llegan a estratos con cantidades mayores de agua subterránea y para su perforación, se necesita de equipo especializado y mano de obra técnica.

La construcción de este tipo de estructuras, ha sido la alternativa en las grandes ciudades, ya que resulta más fácil su extracción y mejor servicio en cuanto a el suministro de agua potable. Más adelante se ampliará el tema de pozos profundos de extracción de agua subterránea (figura 4).



Figura 4. El agua subterránea y los pozos



Fuente: estudios y monitoreo, empresa privada.

Entre los pozos profundos se puede encontrar un tipo que requiere de una especial atención, estos son los pozos conocidos como artesianos o cautivos.

Un pozo artesiano, es aquel tipo de manantial o pozo que se comunica con un acuífero cautivo de agua, ubicado entre 2 estratos confinantes con su área de recarga en otro punto más arriba en el terreno, estando el nivel piezométrico del líquido por encima del nivel freático. Se habla de un pozo artesiano surgente cuando el líquido confinado asciende por encima de la superficie del terreno, de forma natural hasta alcanzar un nivel casi equivalente al del punto de alimentación del acuífero artesiano, quedando pequeño debido a la pérdida de carga. Este tipo de pozos se pueden obtener en la naturaleza en menor proporción que los pozos de acuíferos libres.

### 1.5. Generalidades del agua

El aspecto más sorprendente y característico de este planeta, visto desde el espacio, es la gran cantidad de agua que tiene su superficie. Por eso la tierra

ha sido llamada el planeta azul o de agua. El agua es una de las sustancias más importantes en el planeta, ya que se cree, en ella se formó la vida hace millones de años y sin ella no se podría sobrevivir, tomando en cuenta que es un elemento fundamental en todos los organismos vivos y en el funcionamiento de la tierra.

Para los investigadores, el agua es un compuesto muy singular y una de las sustancias naturales más notables de la naturaleza, la cual posee variedad de propiedades físicas y químicas, mostrándose en 3 estados fundamentales: sólido, líquido y gaseoso.

Para que el agua se pueda considerar como potable y apta para el consumo humano, debe cumplir con ciertos parámetros que más adelante se definirán en este trabajo.

## **1.6. Empresas que suministran agua en zonas 10 y 14**

En la actualidad una gran parte de propietarios de edificaciones y casas dejaron de comprar o pagar el servicio de agua a la empresa municipal, ya que decidieron elaborar una inversión un poco mayor y así perforar su propio pozo para abastecerse ellos mismos.

### **1.6.1. Usos del agua**

El abasto fijo mundial de agua en todas sus formas (gaseoso, líquido y sólido), es enorme. Solo una pequeña fracción de la misma está disponible para la humanidad como agua dulce, y esta se halla distribuida de una manera poco uniforme. El 97 por ciento del volumen de agua en la tierra se encuentra en los mares y océanos, pero esta agua no es apta para consumo humano, para

cultivos y para la mayor parte de los usos industriales, excepto para procesos de enfriamiento.

El porcentaje del que se puede hacer uso es limitado y las principales funciones para las que se utiliza son:

- Consumo doméstico: Comprende el consumo de agua en alimentación, limpieza de las viviendas, lavado de ropa, higiene y el aseo personal.
- Consumo público: Es la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques, jardines y otros usos de interés comunitario.
- Uso en agricultura y ganadería: En agricultura, para el riego de los campos. En ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.
- El agua en la industria: En las fábricas, en el proceso de elaboración de productos, en los talleres, en la construcción.

Son muchos los usos que se le puede dar al agua y estos son solamente algunos, ya que este vital líquido siempre ha sido parte fundamental en la vida del hombre y de los seres vivos que necesitan de este recurso para poder tener sustento.



## **2. UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Se hace un análisis más profundo sobre este importante recurso, poniendo un especial interés en la forma en que se puede utilizar y aprovechar.

### **2.1. Exploración y sondeo de Aguas Subterráneas**

Hay muchas definiciones de aguas subterráneas y en sí se puede decir que estas se forman a partir de la infiltración de las lluvias y por aportes de los cursos superficiales, viajan en forma vertical por la fuerza de la gravedad, generalmente hasta encontrar un estrato impermeable, y luego escurren horizontalmente hasta desaguar en los colectores mayores que la llevarán a los cuerpos de agua receptores para reiniciar su ciclo, este proceso puede tardar mucho tiempo, ya que su velocidad es lenta y depende de factores ya explicados.

En este tránsito el agua se aloja en los espacios intersticiales de los sedimentos del subsuelo y forman los yacimientos de agua subterránea o acuíferos, es en este punto donde el hombre puede aprovechar este importante recurso, su existencia y comportamiento depende de factores como el clima, relieve, naturaleza de los suelos, la estratigrafía, entre otros.

El agua subterránea existe casi en cualquier parte por debajo de la superficie terrestre, la exploración de la misma consiste básicamente en determinar en donde se encuentra bajo las condiciones que le permitan llegar rápidamente a los pozos, a fin de poder ser utilizada en forma económica. La

manera práctica de hacerlo, anterior incluye la aplicación de conocimientos técnicos, experiencia en la perforación y sentido común.

A continuación se describe un enfoque general para realizar una exploración del agua subterránea.

La localización de abastecimiento de agua subterránea, se encuentra en mayores cantidades bajo los valles; en las zonas áridas y cierto tipo de plantas indican que el agua que las nutre se encuentra a poca profundidad; asimismo, en las áreas donde el agua aparece superficialmente como los manantiales, pantanos y lagos, también debe existir agua subterránea, aunque no necesariamente en grandes cantidades o de buena calidad.

La mayor parte de las rocas constituidas de arcilla y rocas cristalinas, pueden aportar agua suficiente para usos domésticos en las áreas en donde no se encuentran buenos acuíferos.

Los lineamientos generales para realizar una exploración del agua subterránea, son los siguientes:

- Primero: se elabora un plano geológico que muestre los diferentes tipos de roca que afloran a la superficie y de ser posible, secciones transversales que permitan ver su distribución en el subsuelo. El plano geológico, las secciones y sus explicaciones anexas, deben mostrar justamente cuales rocas son probables conductoras de agua y en donde se encuentra por debajo de la superficie.

- Segundo: debe reunirse la información respecto a la existencia de pozos, su localización, profundidad de perforación, profundidad del nivel de agua, caudal promedio y el tipo de rocas que se hayan encontrado al perforar.

La historia de los pozos en donde el perforista ha tenido el cuidado de registrar la profundidad y el tipo de los diferentes estratos que ha ido encontrando al realizar la perforación, siempre son de gran utilidad para conocer las condiciones hidrogeológicas de cualquier región.

La historia de un pozo es realmente útil cuando incluye lo siguiente:

Muestras de las rocas, información de cuales estratos contienen agua y con qué facilidad la abastecen, la profundidad en la que se encuentra el nivel estático en los estratos que la contengan y los datos de las pruebas de aforo y bombeo de cada uno de los acuíferos, a fin de poder determinar cuánta agua pueden extraer y cuanto se abate el nivel de acuerdo a los caudales de bombeo (baja el nivel de agua).

Cuando no existe la suficiente información, es necesario perforar algunos pozos de exploración, mediante los cuales se obtienen muestras del material encontrado durante el avance de la perforación, posteriormente es examinado y analizado para determinar cuáles estratos son los que contienen agua y de qué tamaño son las áreas en que se extienden.

Los reportes y los planos que sobre las condiciones hidrogeológicas de cualquier región se elaboren, deben mencionar los lugares en donde puede encontrarse el agua subterránea, la calidad química de esta, asimismo los lugares en que tiene lugar la recarga y descarga natural de los acuíferos.

El entendimiento de los principios fundamentales de la ocurrencia y movimiento del agua subterránea, es básico para la exploración de la misma a fin de alcanzar resultados satisfactorios.

### **2.1.1. Estudio geológico**

Mediante este estudio, es posible obtener conclusiones hidrogeológicas de una región, avanzando gracias al desarrollo y uso de mapas geológicos, en cualquier estudio siempre serán necesarios los reconocimientos de campo, que permiten afinar lo observado en mapas. En la exploración, el geólogo se sirve de la petrografía, estratigrafía, geología estructural y de la geomorfología.

La petrografía constituye uno de los renglones más importantes dentro de los reconocimientos geológicos, ya que mediante ella, es posible determinar la porosidad y la permeabilidad características de los diferentes tipos de rocas, eliminando, en función de dichas características, las zonas que no presentan condiciones favorables para la localización del agua subterránea. La porosidad determina la cantidad de agua que puede almacenarse y la permeabilidad, la facilidad con que esta puede extraerse.

La estratigrafía es un instrumento esencial para la prospección hidrogeológica de extensas regiones de rocas sedimentarias o volcánicas. La posición y el espesor de los horizontes acuíferos así como la continuidad de las capas confinantes tienen particular importancia, por lo que el auxilio de la estratigrafía resulta siempre indispensable.

La geología estructural junto con la estratigrafía, se utiliza en la localización de los horizontes acuíferos que hayan sido desplazados por movimientos tectónicos.



Los estudios estructurales son utilizados para localizar zonas de fracturación en rocas compactas pero frágiles; o bien en la localización de fallas en materiales no consolidados que en ocasiones pueden formar barreras hidrológicas, las cuales son importantes en el estudio del movimiento del agua subterránea.

### **2.1.2. Estudio hidrológicos**

Los estudios hidrológicos resultan de gran utilidad en la exploración del agua subterránea, ya que pueden aportar información acerca de la cantidad de agua útil para la recarga de estos, de la facilidad con que se produce la misma y de la localización y cuantificación del volumen de agua subterránea que se descarga en la superficie. La cantidad de agua útil para la recarga, está íntimamente relacionada con la precipitación, así como con las aguas superficiales que circulan en corrientes permanentes.

En general la localización del agua subterránea depende, de las condiciones hidrológicas que predominen en una región, ya que en función de estas, habrá una mayor o menor recarga útil. Por ejemplo una región desértica tendrá menos posibilidades en cuanto a la existencia de agua subterránea, que las que tenga una región húmeda, aunque en ambas el medio geológico sean similares.

La facilidad con que se produzca la recarga es otra variable hidrológica importante, depende de las características del tipo de terreno de las áreas en que tiene lugar la misma; un caso desfavorable lo constituyen las superficies impermeables, tales como las arcillas y las cuarcitas que permiten que el escurrimiento superficial sea rápido, impidiendo una recarga adecuada.

De lo expuesto, se desprende que para alcanzar resultados adecuados en la exploración del agua subterránea por esos medios, es necesario realizar en conjunto ambos reconocimientos, ya que si algunas regiones presentan condiciones geológicas favorables, posiblemente en el aspecto hidrológico no sea así.

## **2.2. Métodos**

La geohidrología considera a las aguas subterráneas aptas para el consumo como un mineral útil, pero a diferencia de otros minerales, el agua subterránea es el único mineral que en su proceso de explotación tiene lugar su agotamiento. Entre los métodos para localizar agua subterránea se tiene:

### **2.2.1. Métodos geofísicos**

Los métodos geofísicos proporcionan una evidencia indirecta de las formaciones subterráneas, indicando la posibilidad de que estas constituyen acuíferos; estos métodos no dan una medida directa del tipo de rocas, permeabilidad, porosidad o densidad de ninguna formación, sino más bien detectan alguna otra propiedad de los materiales que varía con los factores que determinan que estos pueden ser lo suficientemente porosos y permeables.

Los métodos geofísicos pueden aplicarse de manera superficial o mediante perforaciones, o sea que las mediciones pueden hacerse en o sobre la superficie del terreno o bien bajo este.

Los principales métodos geofísicos son: magnético, gravimétrico, radioactivo, geotérmico, eléctrico y sísmico.

Cada uno de ellos se basa en el hecho de que las diferentes rocas y formaciones minerales, ofrecen reacciones distintas y medibles a los campos de fuerza utilizados. En los problemas referentes a la exploración del agua subterránea, los más empleados son el eléctrico y el sísmico.

#### **2.2.1.1. Método sísmico**

En la exploración del agua subterránea, el método sísmico resulta más exacto que el eléctrico. El principio se basa en la reacción que tienen las masas geológicas, frente a las vibraciones inducidas artificialmente en la superficie de la tierra, por el impacto de un instrumento pesado o por el impacto de una carga de explosivos, que produce ondas sísmicas o de choque que viajan a diferentes velocidades a través de los materiales que constituyen el subsuelo, siendo posible detectar los diferentes estratos y determinar inclusive el espesor de las primeras 2 o 3 capas superficiales. Este método solo se puede aplicar si la velocidad de las ondas sísmicas aumenta con la profundidad.

El uso más frecuente del método sísmico, es para determinar la profundidad del basamento, desplazamiento del nivel freático y fronteras laterales de los acuíferos.

#### **2.2.1.2. Método de resistividad eléctrica**

Es el método geofísico más utilizado para la exploración del agua subterránea, ya que los instrumentos son accesibles y para los trabajos de campo no se necesita demasiado recurso humano.

Se emplea desde la superficie en forma de sondeo de resistividad. Con solo introducir adecuadamente una corriente eléctrica al suelo, se determinan

los lugares de mayor probabilidad para alumbrar agua y la profundidad de las capas que por su resistividad sean aparentemente mejores como unidad acuífera. Las rocas ígneas y las metamórficas tienen valores comprendidos entre los 102 y 108 ohm-m, las sedimentarias y las no consolidadas de 10 a 104 ohm-m, todo este estudio geofísico se resume en conocer los valores de la resistividad de los estratos y a partir de ello saber cuáles son sus condiciones y si hay posibilidad de encontrar un acuífero de buenas características.

### **2.2.2. Método de perforación**

La manera más segura de conocer el tipo de formaciones que se encuentran por debajo de la superficie terrestre, es perforando a través de ellas, obteniendo muestras durante la perforación y elaborando un registro del corte.

Los registros de los pozos, consisten en indicar las características propias de los diferentes estratos, en función de la profundidad. Hay diferentes formas de realizar el registro de un pozo, la más común es la descripción del perforista acerca del carácter geológico de cada estrato, la profundidad a la que se produce un cambio en el tipo de estratos que se vayan atravesando y la profundidad a que se encuentra el agua.

Las muestras de los materiales obtenidos durante la perforación, representan en la mayoría de los casos, la mejor fuente de información, tanto en el aspecto geológico como en el hidrológico. El fin principal en la perforación de pozos de exploración, es obtener muestras que revelen el tipo, profundidad y espesor de los estratos que forman el subsuelo de las zonas por estudiar. Estas perforaciones de exploración se realizan para satisfacer 2 objetivos; pueden ser parte del estudio hidrogeológico de un área, o bien pueden ser preliminares al diseño y construcción de uno o más pozos en un lugar en particular.

Si lo que se planea es realizar la prospección de agua subterránea y obtener datos necesarios para el diseño de pozos, se requiere de una atención detallada en el análisis de muestras de materiales que constituyen los acuíferos, siendo necesaria mayor precisión en el registro del pozo.

- Analogía proyectual

Un método que puede ser de mucha utilidad, es la de obtener datos de pozos perforados en lugares cercanos, con esto se puede saber si en la región se cuenta con un acuífero que pueda ser aprovechable, los datos a analizar serán la profundidad de la perforación; el caudal producido, en galones por minuto; los niveles estático y dinámico; y el abatimiento del pozo que se encuentra en funcionamiento.



### **3. PERFORACIÓN DE POZO PARA EXTRACCIÓN DE AGUA POTABLE**

Es una obra de ingeniería que se ha convertido en una de las principales fuentes de explotación de agua potable, se puede definir como una excavación que atraviesa los distintos estratos del suelo con el fin de encontrar agua subterránea.

En este apartado se explicará en qué consiste un proyecto de este tipo y las distintas fases que se llevan a cabo en su construcción.

#### **3.1. Evaluación de un proyecto de agua subterránea**

Como en todo proyecto, se debe realizar una evaluación previa para poder verificar la viabilidad del mismo, hay que constatar que no existe una fuente donde pueda ser captada el agua superficialmente y que esta cumpla con los parámetros de calidad para el consumo humano, y además si el caso es factible y viable desde los aspectos financiero y económico.

En las ciudades donde el suministro municipal de agua potable se ve afectado debido a la sobrepoblación, y lo difícil de poder encontrar una fuente superficial de captación, la construcción de un pozo de extracción de agua subterránea, es la mejor opción al día de hoy, es por ello que ha proliferado la construcción de estas obras de ingeniería, y es importante su estudio para que no sea sobreexplotado o contaminado.

### **3.1.1. Tipo de proyecto**

El recurso de agua subterránea, es importante para suplir necesidades humanas, puede ser cuantificada de diferentes maneras y utilizada para distintos fines, eso es lo que hará que un proyecto difiera de otro en su diseño y ejecución, ya que no es el mismo diseño de un pozo mecánico para un proyecto pequeño, que para uno de grandes proporciones, claro que esto se verá muy influenciado por las características del lugar de perforación.

#### **3.1.1.1. Residencial**

Un proyecto de este tipo, abarca desde la construcción de un pozo mecánico para una residencia, hasta un complejo residencial o colonia, ya que la construcción de proyectos habitacionales ha proliferado en los últimos años en el Área Metropolitana Guatemalteca (AMG), los planificadores y desarrollistas, han encontrado en la extracción de agua subterránea la alternativa más viable para poder suministrar el vital líquido de una manera eficaz y continua.

#### **3.1.1.2. Municipal**

Las corporaciones municipales, en muchas partes del país, también recurren a la extracción del agua subterránea para poder suministrar de este vital líquido a sus comunidades, potencializando el desarrollo y mejorando la calidad de vida de sus habitantes. (Decreto 12-2002)



### **3.1.1.3. Industrial**

Las distintas industrias que operan en el país, dependiendo de los productos que manufacturen o los servicios que presten (embotelladoras, maquilas, rastros, alimentos), necesitan grandes dotaciones de agua y debido a la carencia de regularidad en el servicio por parte de la empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), deben obtenerlos por medio de pozos.

### **3.1.1.4. Comercial (proyectos de ingeniería)**

Las empresas comerciales, es otra rama de la economía que necesitan para suplir necesidades de pozos, la extracción del agua que se encuentra en el subsuelo, se debe reducir el nivel freático para poder cimentar o para proteger la obra en el momento de la construcción, realizando esto también se puede aprovechar esta agua y utilizarla como abastecimiento de agua potable.

## **3.2. Métodos de perforación**

En el momento de iniciar un proyecto de extracción de agua subterránea, un aspecto importante es el método de perforación que se empleará, existen factores que se deben considerar antes de elegir un método en particular y son: el diámetro del pozo, profundidad y formaciones geológicas que se van a penetrar.

- Método de percusión: En este método se utiliza un trepano pesado que es levantado por una pluma y dejado caer en la cavidad que se está perforando. La perforación avanza por la trituración a golpes que se va efectuando en su fondo. Los materiales molidos se extraen mediante una

cuchara (cilindro hueco provisto en su extremo de una lengüeta que impide la salida del material).

A medida que se va profundizando la excavación a percusión, se va introduciendo la tubería de acero que hace el papel de revestimiento lateral de la perforación. El método de perforación por percusión puede aplicarse en cualquier tipo de material blando, pero la velocidad de perforación no es alta, y para grandes profundidades, la colocación de la tubería de revestimiento podría presentar problemas en la verticalidad.

- Método rotativo: En este sistema se realiza la perforación mediante un tricono; desgastadora y trituradora que muele o rompe la formación mientras que el material cortado es retirado de la perforación, mediante una circulación continua de fluido, que permite tener un registro del tipo de material que se está atravesando; la perforación rotatoria es particularmente adecuada para formaciones de materiales sueltos y rocas, se pueden hacer perforaciones de gran diámetro con profundidades considerables y permite avanzar en el trabajo.

Terminada la perforación, se introduce la tubería de revestimiento del pozo, dotada de su respectiva rejilla de captación, la que tiene un diámetro menor que la perforación ejecutada. Entre la pared del pozo y la tubería de revestimiento se coloca una grava seleccionada que hace el papel de filtro.

- Método de rotopercusión: Este combina un martinete neumático y una barrena que realiza la perforación rotatoria. El martinete, accionado por compresión de aire, va golpeando a la barrena, la que a su vez va fracturando el material del terreno perforado.

### 3.3. Especificaciones técnicas de diseño de un pozo

La entidad que contrata los servicios de un ingeniero para la realización del proyecto, deberá ajustarse a las especificaciones técnicas que fija el contratista.

#### 3.3.1. Diámetros de perforación

En la siguiente tabla se encontrarán diámetros sugeridos para la elaboración de un proyecto de perforación de pozo mecánico.

Tabla II. Diámetros de perforación según proyecto

Tipo de proyecto	Diámetro sugerido
Residencial	Condominio 8" Casa 6" Colonia 8"
Municipal	Empresas de agua 10", 12", 14"
Gubernamental	Apoyo a poblaciones 8", 10"
Industrial	Embotelladoras 10", 12", 14" Maquilas 8", 10" Rastros 8", 10" Alimentos 8", 10"
Riego	Ingenios 12", 14"
Generación de energía	8", 10", 12"
Minería	8", 10"
Proyectos de ingeniería	8", 10", 12"

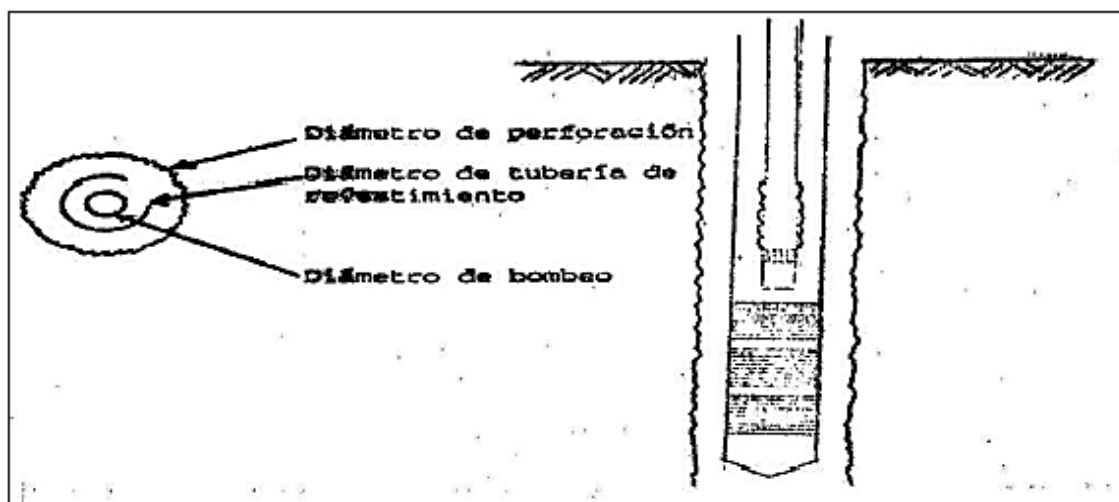
Fuente: Maderey Rascón, Laura Elena. Principio de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico p. 67.

#### 3.3.2. Diámetro del entubado

El diámetro de la tubería de revestimiento o de entubado, es la que llevará todos los componentes de importancia para el pozo, como serán las rejillas de captación y servirá de barrera para que entre el diámetro perforado y el

entubado en el pozo, se pueda colocar el sello sanitario y el filtro de grava, es aquí donde se encuentra la tubería de bombeo a una profundidad específica, aprovechando de la mejor manera el acuífero e impulsando el agua subterránea.

Figura 5. **Diámetros y tubería de un pozo**



Fuente: estudios y monitoreo, empresa privada.

### 3.3.3. **Profundidad**

Para poder saber una profundidad de perforación, los calculistas y constructores de pozos mecánicos de extracción de agua subterránea, hacen uso de: reconocimientos geológicos, hidrológicos, métodos geofísicos, perforaciones de exploración o por analogía proyectual. Estos procesos de prospección de agua subterránea, suelen ser de ayuda para saber a qué profundidad se cuenta con un acuífero con buenas condiciones, y además en el momento de la perforación influirá la forma en que se está comportando el pozo, el tipo de cortes que sacan los lodos de perforación y la cantidad de agua

que éste contiene en su retorno a la superficie, con base a todos se puede realizar un diseño de la profundidad del pozo mecánico.

- Lodo de perforación

El lodo, es un elemento de importancia al perforar un pozo y sus funciones principales son; estabilizar sus paredes, recoger fragmentos del fondo, sellar las paredes del agujero, mantener los fragmentos de la perforación en suspensión, enfriar y limpiar la broca y lubricar el equipo de perforación. El lodo de perforación es utilizado en el método rotativo.

Es necesario que el personal profesional y técnico que realizará la construcción del pozo, prepare un fluido de perforación, que produzca el efecto de sellado con poca invasión dentro de la formación y que no sea muy viscoso, para evitar la contaminación del acuífero. Las propiedades que influyen en un lodo de perforación son; densidad, viscosidad, consistencia gelatinosa, propiedad filtrante y contenido de arena, todas estas propiedades deben ser reguladas y llevando un control de calidad para que el lodo cumpla con los objetivos propuestos.

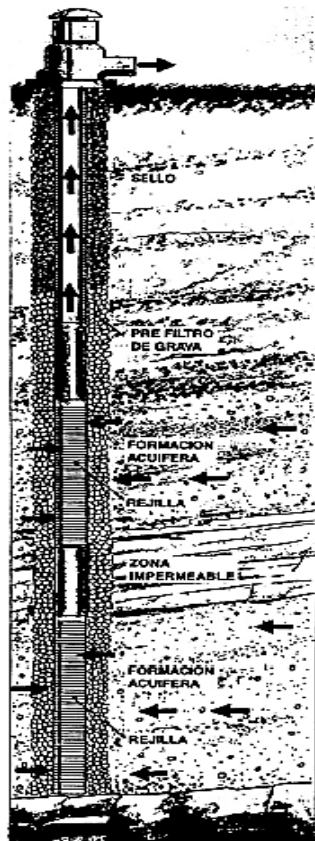
#### **3.3.4. Colocación de la captación y rejillas**

Una rejilla, longitud ranurada o filtro de un pozo, sirve como sección de captación, que toma el agua de un acuífero de material no consolidado. La rejilla permite que el agua fluya libremente hacia el pozo desde la formación saturada, evitando que los finos ingresen y además actúa como un retenedor estructural que estabiliza la perforación del material no consolidado.

Solamente cuando es capaz de permitir el paso de agua libre de arena al pozo, en cantidades abundantes y con un mínimo de pérdida de carga, es que la rejilla se considera adecuada.

Hay factores que cuentan en la construcción de un buen pozo, la clave del éxito del sistema completo, reside en la perfecta colocación de las rejillas en las zonas idóneas de captación en los acuíferos, es por ello que se designa que el filtro o rejilla sea el corazón del pozo mecánico.

Figura 6. **Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejilla**



Fuente: estudios y monitoreo, empresa privada.

### **3.3.5. Filtro de grava**

Como se observa en la figura 6, el filtro de grava debe ser instalado en forma posterior al sello sanitario y la grava deberá tener una granulometría definida que varíe desde  $\frac{1}{4}$  hasta  $\frac{1}{2}$  pulgada, para evitar el ingreso de materiales finos al pozo. Este filtro es importante debido a que si no se cuenta con éste, las rejillas tienden a taparse, esto producirá una baja en la producción de agua, y el mantenimiento del mismo tendrá que hacerse con rigurosidad.

### **3.3.6. Sello sanitario**

El sello sanitario consiste en un conglomerado impermeable que se coloca en el espacio anular existente entre el diámetro perforado y el tubo del pozo, desde la superficie del terreno hasta una profundidad que no interfiera con la captación de agua, evitando así el paso de las sustancias peligrosas.

Este sello sanitario es una mezcla de materiales que después de colocado se endurece y permanece. Uno muy efectivo consiste en arcilla, que por su impermeabilidad impide el paso de sustancias, bentonita que le otorga flexibilidad a la mezcla, y cal que actúa como bactericida. Para sello sanitario se utiliza el cemento, evita el ingreso de contaminantes desde la superficie del terreno, sino desde otros estratos acuíferos que contengan agua de calidad no deseada. La colocación dependerá de los registros de materiales obtenidos durante la perforación, se recomienda que éste no sea menor de 30 pies de longitud.

### **3.4. Pruebas a realizar en un pozo mecánico**

Durante la ejecución y concluida la construcción de un pozo se deben realizar pruebas que puedan indicar que el mismo se ha construido de una manera adecuada y que indiquen la capacidad que éste posee.

#### **3.4.1. Verticalidad y alineamiento**

El concepto de verticalidad, es exigido para poder asegurar que la bomba pueda trabajar de una manera adecuada y que la tubería de revestimiento no pueda estar afectada por inclinaciones debido a las paredes del pozo en el momento de su instalación, el parámetro de desviación no debe de exceder de  $2/3$  del diámetro interior de la tubería por cada 100 pies de profundidad.

La prueba de verticalidad que se aplica a pozos de agua subterránea, asume factores para establecer que las medidas sean precisas; ésta se debe realizar usando plomadas y contrapesos y debe cumplir con los siguientes.

- Que la guía esté suspendida en un punto inamovible fijo durante la prueba de verticalidad.
- El cable que la suspende se mantiene perfectamente recto y tenso durante el descenso de la guía.
- La deflexión del cable puede ser medida en forma precisa.
- El punto de unión del cable con el contrapeso debe estar centrado respecto de la tubería.



Se debe realizar una prueba de alineamiento entre la tubería de revestimiento y la tubería de bombeo, ya que se debe bajar la tubería interna, manteniendo una distancia uniforme entre ambas. De no estar adecuadamente alineadas las tuberías, puede haber contacto entre éstas debido a las vibraciones en el momento del bombeo y ocasionar problemas.

### **3.4.2. Desarrollo y limpieza**

Una vez construido un pozo, es decir, que se ha instalado la rejilla y el filtro de grava de ser necesario, es preciso realizar las siguientes acciones:

- Extraer los restos de los lodos y detritos de perforación.
- Estabilizar la formación acuífera en lo que respecta a las arenas.
- Tratar de obtener el mayor caudal posible.

A esto se le conoce con el nombre de limpieza y desarrollo del pozo, y se utilizará para limpiarlo de dos tipos de materiales que pueden afectar el funcionamiento del mismo, siendo éstos:

- Granulares no consolidados: Su función principal es eliminar los materiales finos de las proximidades del pozo, facilitando así la circulación del agua hacia el pozo.
- Consolidados: Su misión principal es limpiar las grietas y fisuras de lodo, residuos de perforación y arena.

Estos métodos de limpieza no sólo se realizan al momento de poner en funcionamiento el pozo, sino también como medidas de mantenimiento, esto para limpiar las rejillas de residuos que las estén tapando.

### **3.4.3. Prueba de bombeo**

Las pruebas de bombeo, muestran el comportamiento de los pozos, se utilizan para poder analizar la producción en determinadas condiciones, conocer el caudal máximo de extracción y observar el cambio resultante en el nivel de agua. También se pueden determinar parámetros de interés en el acuífero como; la conductividad hidráulica, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento.

Se debe bombear el pozo continuamente por un período que va de 24 a 48 horas, dependiendo de las características de profundidad y diámetro o de cómo éste se vaya comportando en el transcurso de las horas de bombeo.

Debe llevarse un registro del descenso del nivel para poder determinar el abatimiento y con ello conocer el caudal específico, al finalizar se debe hacer un monitoreo sobre el tiempo de recuperación del acuífero que está siendo explotado.

### **3.5. Estudio de las condiciones en las que se encuentra un pozomecánico**

Como toda obra de infraestructura, después de un tiempo de estar en funcionamiento necesita de mantenimiento y de un monitoreo constante de sus aspectos de funcionamiento, en el caso de los pozos mecánicos, hay varios aspectos que se deben tomar en cuenta y que son los que marcarán si un pozo necesita de rehabilitación.

### **3.5.1. Caudal**

El caudal producido por un pozo mecánico, es sin duda el punto de mayor interés, lo que se busca es que pueda abastecer adecuadamente una necesidad, hay varios métodos para poder saber cuál es su caudal, el más confiable es el medidor de flujo, muchas veces no se cuenta con este dispositivo, entonces se deben usar otros métodos de aforo.

Los estudios de aforo de pozos de agua subterránea, tienen por finalidad conocer el caudal de explotación y las características hidráulicas de los acuíferos, la importancia de los ensayos de aforo radica en que a través de ellos se puede determinar la disponibilidad del agua del subsuelo, la calidad del agua subterránea, las características y eficiencia de funcionamiento de los elementos del pozo. Algunos de los métodos de aforo más utilizados son; método de vertederos (rectangular, triangular, orificio calibrado), volumétrico y de descarga abierta, para efectos de este trabajo, los aforos se realizaron por el método volumétrico.

### **3.5.2. Nivel estático**

El nivel estático indica la columna de agua que existe por encima del elemento de succión del pozo mecánico, cuando el acuífero no está siendo explotado, esto quiere decir que es la capacidad que tiene el acuífero en el momento que no se está bombeando, sino que se ha mantenido en reposo por un tiempo determinado.

### **3.5.3. Nivel dinámico**

El nivel dinámico, al igual que el nivel estático, indica la columna de agua que existe por encima del elemento de succión en el pozo mecánico, con la diferencia que el nivel dinámico se mide cuando el acuífero está siendo explotado, esto significa que el pozo estará bombeando por un tiempo determinado, aforando su caudal y midiendo el nivel dinámico.

La medición de los niveles de un pozo se puede realizar por medio de 2 métodos principalmente; por medio de una sonda con un electrodo en el extremo que se bajará por la tubería o por medio de la línea de aire que se encuentra instalada en el pozo, para efectos de este trabajo de graduación se utilizó el método de la línea de aire en la medición de niveles de los pozos.

A través de estos ensayos, es fácil y práctico determinar si un acuífero es sobreexplotado o no, toda vez que el agua subterránea es extraída a una velocidad mayor que su velocidad de recarga natural, aumentará la profundidad del nivel freático o piezométrico, lo cual indica sobreexplotación del recurso.

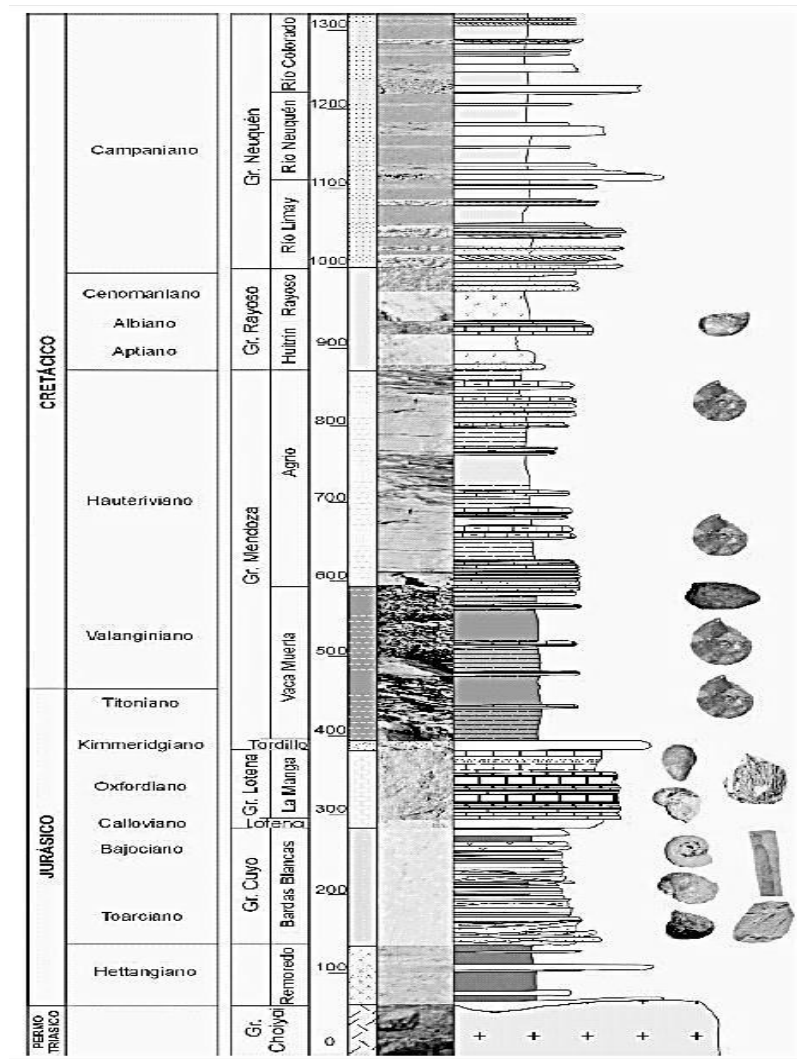
### **3.5.4. Abatimiento**

El abatimiento es la diferencia que existe entre el nivel estático y el nivel dinámico en la medición de los niveles de un pozo mecánico, esta diferencia indica cuanto baja el nivel del pozo desde que está en reposo hasta la medición realizada cuando el pozo se ha encontrado trabajando por un tiempo determinado, la obtención del abatimiento será de ayuda para determinar el caudal específico de un pozo mecánico.

### 3.5.5. Perfil estratigráfico

Este perfil indica cómo es colocado el tipo de tubo en el pozo y el suelo que se encuentra en cada capa, así mismo se indica donde se encuentra las rejillas de infiltración, profundidad de perforación y el nivel del agua.

Figura 7. Perfil estratigráfico

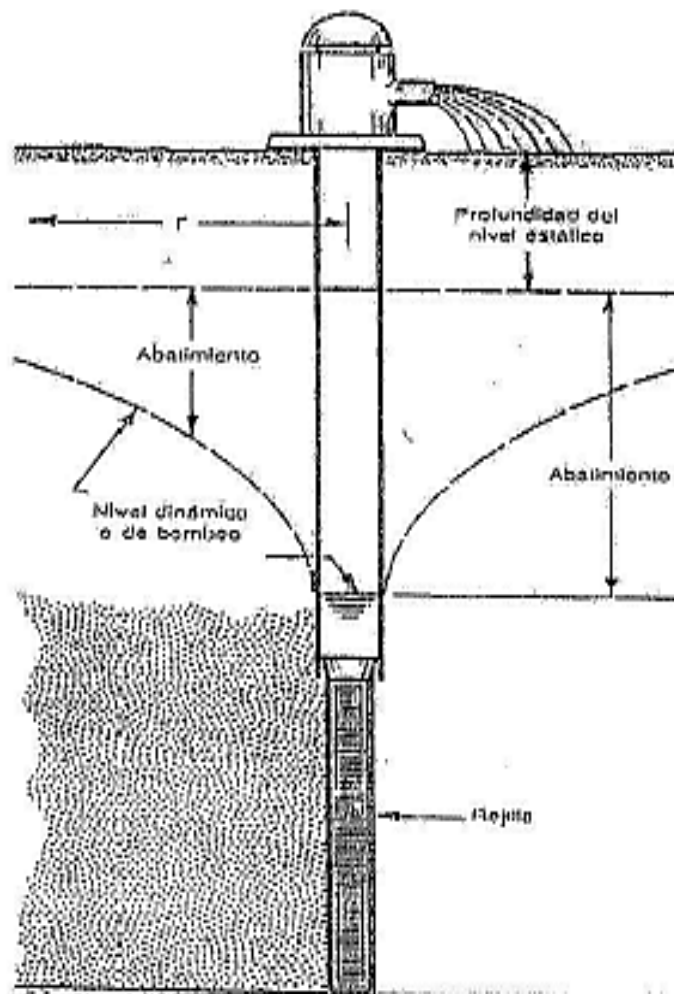


Fuente: elaboración mediante muestras de suelo según avance de perforación.

## Caudal específico

No todos los pozos son iguales, a pesar de tener un caudal de aforo idéntico al caudal específico, no es más que el producido por unidad de abatimiento (galones por minuto por pie), obteniendo esto, se encuentran las condiciones reales en las que se encuentra el pozo, (figura 8).

Figura 8. Niveles de un pozo mecánico



Fuente: elaboración a mano con base en conocimientos y perfiles

La fórmula para obtener el caudal específico es la siguiente.

$$Q_{\text{esp}} = Q/\text{Abatimiento}$$

Donde:

$Q_{\text{esp}}$  = caudal específico.

$Q$  = caudal producido según el aforo realizado al pozo.

Abatimiento = diferencia entre los niveles estático y dinámico.

### **3.6. Mantenimiento de un pozo mecánico**

Después de realizadas las pruebas a un pozo mecánico, se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos y con base a esto se puede deducir si el pozo necesita de un servicio de mantenimiento, esto con el objetivo de aumentar sus capacidades técnicas y de restablecer los parámetros con los que fue construido, si el problema no es de tipo hidrogeológico y que el acuífero se ha quedado sin agua, esto se puede deducir con la medida de niveles estático y dinámico, de no ser el problema de este tipo se puede recuperar la producción del pozo por medio de procesos que a continuación se detallan.

#### **3.6.1. Frecuencia de mantenimiento**

La frecuencia con la que se debe dar mantenimiento a un pozo mecánico, dependerá de cuál es su componente, ya que cada uno de éstos posee diferentes condiciones y trabajan de manera distinta, esto se enmarca como un mantenimiento preventivo, ya que el correctivo se debe hacer en el momento que el componente presenta problemas.

Las actividades del mantenimiento preventivo deben ser permanentes; inspección general de equipo de bombeo y tablero de control (diario); verificación de ruidos y vibración; limpieza de equipos, verificación de la calidad de los aceites de los motores y de las instalaciones eléctricas (mensual); alineación de los motores de las bombas (anualmente); verificación del funcionamiento y operación de las válvulas de retención (cada 6 meses); limpieza del pozo como prevención contra la incrustación de rejillas y revestimiento, mínimo cada 8 o 12 meses por método mecánico o tratamiento químico; se debe realizar la desinfección del pozo antes de su puesta en marcha.

Toma de muestra del agua para determinar su calidad mediante análisis físico-químico y bacteriológico (cada 6 meses); prueba de bombeo y medición de niveles estático y dinámico (anualmente). El buen funcionamiento del pozo mecánico depende mucho del mantenimiento que se le dé, es muy importante preservar este tipo de obras ya que son de suma importancia para los usuarios del servicio.

### **3.6.2. Revisión del equipo de bombeo**

El equipo hidráulico de bombeo, juega un papel importante y deben verificarse las condiciones en las que está trabajando, el factor a analizar principalmente, es la eficiencia del mismo, esto se realiza monitoreando el amperaje que utiliza la bomba para trabajar, ya que de utilizar un valor mayor estaría indicando que el equipo está exigiendo una mayor energía y caballaje que el nominal que debe utilizar para poder bombear el agua.



Se debe hacer este monitoreo por lo menos 1 vez a la semana, también se debe verificar la válvula de retención o de cheque para evitar que la bomba trabaje excesivamente por estar en malas condiciones.

Es usual que el equipo de bombeo de un pozo pierda su eficiencia con el paso del tiempo y dependiendo también del uso que se le dé, normalmente un equipo de este tipo, posee una vida útil de 10 años, es normal que pasado este tiempo comience a dar problemas, por eso se sugiere que sea remplazada cumplida su vida útil.



## **4. ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA**

### **4.1. Calidad del agua subterránea**

La calidad del agua de un pozo de agua subterránea es de vital importancia, por lo que requiere que el agua sea clara, libre de bacterias patógenas, libre de sabores, olores, y que no sea corrosiva ni produzca incrustaciones.

Son muchos los fenómenos del medio ambiente que afectan los procesos químicos del agua subterránea. Su utilidad se ve afectada por el contenido de minerales disueltos, si alguno de estos minerales excede de la cantidad que puede tolerarse, debe de ser tratada.

#### **4.1.1. Parámetros del agua potable**

El agua potable por sus características de calidad, es adecuada para el consumo humano; es sanitariamente segura, esto significa que no transmite enfermedades, libre de concentraciones excesivas de minerales, materia orgánica y libre de sustancias tóxicas; también se dice que es agradable a los sentidos, incolora, inodora y de sabor agradable o insabora, en Guatemala la rige la Norma COGUANOR NGO 29001.

#### **4.1.2. Norma COGUANOR NGO 29001**

El control de calidad del agua, es una de las tareas más importantes, entre las que se destacan: exámenes bacteriológicos, físico químico parcial, físico

químico sanitario, físicoquímico especial y análisis de desechos líquidos. Para tales efectos se llevan a cabo exámenes bacteriológicos y análisis físicoquímicos, cuyos resultados se comparan con la Norma COGUANOR NGO 29001.

Éstos a su vez, tienen asociados valores cualitativos y cuantitativos, que deben estar comprendidos entre los límites que el estudio y la experiencia han encontrado necesarios y tolerantes para el consumo humano.

En Guatemala han sido escritas estas normas y son publicadas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), entidad adscrita al Ministerio de Economía, y las denominan Normas COGUANOR NGO 29001, que son especificaciones para agua de consumo humano. NGO se refiere a Norma Guatemalteca Obligatoria.

Para las concentraciones de sulfatos y para los datos físicos como color, olor, turbidez y pH, existen 2 valores que definen estos límites máximos de concentración, los cuales se les denominan: Límite Máximo Permisible (LMP) y Límite Máximo Aceptable (LMA).

- El LMP: Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, no es adecuada para el consumo humano.
- El LMA: Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

#### 4.1.2.1. Análisis físico-químico

##### Parámetros físicos

Este tipo de análisis se relaciona con la medición y registro de propiedades organolépticas que pueden ser observadas por los sentidos; para lo que se hace uso de ciertos parámetros que permiten tener un juicio acertado de la calidad del agua. Estas características son las que más impresionan al consumidor, sin embargo, tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario.

- Color

Principalmente el color se encuentra en las aguas superficiales o en algunos pozos poco profundos y manantiales; las aguas de pozos profundos son incoloras. El color en el agua, es generalmente ocasionado por la extracción de la materia colorante derivado de hojas, semillas y otras sustancias similares de materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad y algunas veces, es causado por la presencia de coloidales del hierro o magnesio combinado con materia orgánica y descargas de desechos industriales.

- Olor

Esta característica física, se debe a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles, algunas de las cuales se producen cuando se descompone la materia orgánica, algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles. La intensidad y lo ofensivo de los olores varía con el tipo; algunas son a tierra y moho, otros son de olor putrefacto.

- Temperatura

Termodinámicamente se considera como una medida de la energía térmica del movimiento desordenado de las moléculas en una sustancia en equilibrio térmico. La temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de gran importancia, la manera en que afectará al consumidor, es en hacerla más agradable o menos agradable a sus sentidos y esto dependerá del clima en el que se encuentre.

- Turbiedad

Es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos estándares establecidos o se debe a la dispersión de interferencias de los rayos luminosos que pasan a través de la misma, como resultados de la presencia de materia orgánica e inorgánica finamente dividida. Para poder saber si esta turbidez presenta riesgos para el ser humano, es necesario realizar el examen bacteriológico.

- Potencial hidrógeno (pH)

Se define arbitrariamente y por comodidad como el logaritmo de base 10 del inverso de la concentración del ión hidrógeno ( $H^+$ ) y se emplea para expresar el comportamiento del ión hidrógeno. La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5,5-8,6 grados, en una escala de 14 grados, para la cual un pH con valor de 7 en el agua refleja neutralidad, y para un pH de valor mayor de 7 representa alcalinidad y lo contrario indica acidez. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación de su abastecimiento por algún desecho de tipo industrial.

- Conductividad eléctrica del agua

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua potable prácticamente no conduce la corriente, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. En la tabla III se enumeran los parámetros físicos según la norma que la rige.

Tabla III. **Parámetros físicos del agua potable**

Características físicas	Límite Máximo Aceptable (LMA)	Límite Máximo Permisible (LMP)
Color	5.0 unidades	50 unidades
Olor	No rechazable	No rechazable
Temperatura	10 a 30 °C	No mayor de 34 °C
Turbidez	5.0 Utn	25.0 Utn
Ph	7 - 8.5	6.5 – 9.2
Sabor	No rechazable	No rechazable
Conductividad eléctrica	50 µmhos/cm	Menor de 1500 µmhos/cm

Fuente: estudios y monitoreo, empresa privada.

- Parámetros químicos

Mediante este análisis, es posible determinar las cantidades de materia mineral y orgánica presentes en el agua y que pueden afectar su calidad. El análisis químico desde el punto de vista, la potabilidad del agua se hace por 2 razones.

Para determinar si la concentración de los constituyentes químicos está conforme a las normas técnicas y de calidad y para determinar la presencia de productos del nitrógeno y relacionarlo con la contaminación de materia orgánica, amoníaco, nitritos (que indican oxidación bacteriana de la materia orgánica) y nitratos que indica que la materia orgánica ha sido mineralizada.

- Cloruros

El cloro se utiliza muy ampliamente en aguas y drenajes, como agente oxidante y como desinfectante. Como agente oxidante se le emplea para el control de sabor, olor y para la eliminación de color en el tratamiento de aguas municipales (oxidación de compuestos orgánicos); se utiliza para la oxidación de compuestos en los suministros de aguas freáticas; en el tratamiento de aguas industriales se emplea para la oxidación.

La determinación de este parámetro, es importante cuando se tiene un conocimiento en el agua de un abastecimiento, ya que cuando el agua aparece contaminada, éstos tienden a estar en exceso. Puede ser indicio de contaminación por excretas humanas o, particularmente, por la orina, que contiene cloruros en proporción aproximada a la consumida en la alimentación.

- Cloro residual

Si se fuese a adicionar al agua una cantidad conocida de cualquiera de las formas del cloro y después de cierto intervalo de tiempo (tiempo de contacto) se analizará para determinar al cloro (el cloro residual), se encontraría menos cloro presente que el que se adiciono. Se dice que el agua tiene una demanda de cloro después de cierto tiempo de contacto.



Cuando se realiza el proceso de desinfección por medio de cloro, es posible obtener en 2 formas, por medio de las cuales se manifiesta el residual de cloro disponible o activo en el agua. Estas formas son:

- Cloro residual libre disponible

Este tipo de residual se obtiene cuando el agua se clora íntegramente; es decir cuando la aplicación del cloro es para producir directamente o mediante la destrucción del amoníaco presente, un residual de cloro libre.

- Cloruro residual combinado disponible

Este residual se obtiene cuando el cloro se aplica al agua con la finalidad de producir conjuntamente con el amoníaco ya presente en el agua o agregado, un residual activo combinado. Éste también es regularmente más efectivo y más rápido en su acción bactericida que el cloro residual libre disponible.

- Fluoruros

Éstos pueden presentarse en forma natural en el agua subterránea o superficial. El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados, como la fluorina ( $\text{CaF}_2$ ) y la criolita. En las aguas que se utilizan para consumo humano conviene mantener un nivel de 1,0 miligramos por litro de fluoruros para prevenir la caries dental, y son especialmente sensibles a las dentaduras de niños.

- Sulfatos

Éstos se encuentran en el agua natural en un amplio rango de concentraciones. Las aguas provenientes de minas o efluentes industriales frecuentemente contienen altas concentraciones de sulfato debido a la oxidación de la pirita y el uso del ácido sulfúrico. La presencia en exceso de sulfatos en el agua de suministro público obra como purgante, es decir, tiene efectos laxantes.

- Nitrógeno

Este elemento es importante para la fisiología de animales y plantas, éste se encuentra en el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) que es un compuesto de nitrógeno y oxígeno, se presenta en muchas de las comidas que se consumen diariamente, generalmente es baja su concentración en el agua subterránea.

El agua que se bebe contribuye solamente con una baja cantidad de nitrato que el organismo recibe. Algunas veces se encuentran niveles altos que son muy peligrosos para infantes.

- Hierro

La presencia de hierro, es un problema de calidad del agua muy común, especialmente en pozos profundos. Cuando contiene cantidades pequeñas de hierro puede parecer clara cuando recién es extraída, pero podrá rápidamente tornarse rojizo, después de su exposición al aire. Este proceso es denominado oxidación. La concentración de hierro es medida en miligramo por litro. La coloración en general se transforma en problema cuando la concentración es mayor que 0,3 miligramo por litro.

No se sabe de algún efecto que perjudique a la salud por tomar agua que contenga hierro, aunque en cantidades excesivas causa manchas en la ropa o utensilios de porcelana, provoca depósitos y proliferación de color y turbiedad, produce sabores metálicos y en general le da un aspecto desagradable y no apta para ciertos usos.

- Dureza

Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza, es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

La dureza se puede determinar fácilmente mediante reactivos. Aunque también se puede percibir por su sabor, ésta puede provocar depósitos de carbonatos en conducciones de lavadoras, calentadores y calderas.

- Alcalinidad

La alcalinidad significa la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que sus niveles de pH lleguen a ser básicos o ácidos. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Cuando la acidez es alta en el agua, la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En el agua la alcalinidad se expresa en miligramo por litro de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de sus tres clases; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato e hidróxido. La determinación de la alcalinidad no tiene importancia directa desde el punto de vista sanitario.

- Plomo

Aunque se ha venido utilizando en numerosos productos para el consumidor, el plomo es un metal tóxico y es peligroso para la salud si se inhala o ingiere. Las fuentes del plomo más importantes son: el aire en el ambiente, la tierra y el polvo (dentro y fuera de la casa), los alimentos (que pueden estar contaminados por los envases) y el agua (debido a la corrosión en las tuberías).

Se calcula que el plomo en el agua potable contribuye del 10 por ciento al 20 por ciento a que los niños entren en contacto con este metal. El grado del daño que causa, depende de la cantidad a la que se esté expuesto.

- Manganeso

Este elemento es más difícil de hallar en el agua que el hierro, pero es sumamente dañino para los procesos industriales. En aguas claras de pozos profundos, usualmente se encuentran en forma de bicarbonato manganoso, junto con bicarbonato ferroso. Las bacterias que metabolizan el manganeso originan limos de color negro y se desarrollan de una manera abundante que ejercen acción de taponamiento en los sistemas de conducción.

- Yodo

El yodo parece ser un elemento que, en cantidades muy pequeñas, es esencial para la vida animal y vegetal. El yoduro y el yodato que se encuentran en las aguas marinas, entran en el ciclo metabólico de la mayor parte de la flora y la fauna marinas, mientras que en los mamíferos superiores el yodo se concentra en la glándula tiroides.

Las propiedades bactericidas del yodo apoyan sus usos principales para el tratamiento de heridas o la esterilización del agua potable.

Los parámetros limitantes de las características químicas en el agua para que pueda ser potable se enumeran en la tabla IV.

Tabla IV. **Parámetros químicos del agua potable**

Características químicas	Limite Máximo Admisible (LMA)	Limite Máximo Permisible (LMP)
Cloruro (Cl)	200.00 mg/L	600.00 mg/L
Cloro residual libre	0.3 - 0.5 mg/L	0.6 – 1.0 mg/L
Fluoruro	-----	1.700 mg/L
Calcio (Ca)	75.00 mg/L	200 mg/L
Zinc (Zn)	5.00 mg/L	15.00 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	200.00 mg/L	400.00 mg/L
Hierro (Fe)	0.100 mg/L	1.000 mg/L
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	100.00 mg/L	500.00 mg/l
Sólidos totales	500 mg/L	1500 mg/L
Sólidos totales disueltos	500.00 mg/L	1000.00 mg/L
Manganeso (Mn)	0.050 mg/L	0.500 mg/L
Plomo (Pb)	-----	0.100 mg/L
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	-----	45.00 mg/L
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	-----	0.010 mg/L
Alcalinidad	-----	300 mg/L

Fuente: tabla de laboratorio químico, estudios y monitoreo, empresa privada.

#### 4.1.2.2. **Análisis bacteriológico**

El agua debe estar exenta de gérmenes patógenos de origen entérico y parasitario intestinal, que son los que pueden transmitir enfermedades. Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus o protozoarios patógenos son el riesgo para la salud común y que van inmersas en el agua para consumo humano si no es tratada.

El agua tratada o sin tratar que circula por un sistema de abastecimiento, no debe contener ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal.

Los principales organismos indicadores de contaminación fecal son: *Escherichia Coli*, las bacterias termorresistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales y las esporas de clostridia reductores del sulfito. La presencia de gérmenes del grupo coliforme, debe considerarse como un indicio de contaminación fecal más o menos reciente. La presencia de *Escherichia Coli* debe considerarse como indicio seguro de contaminación fecal reciente y, por tanto, peligrosa que exige la aplicación de medidas urgentes.

- Examen microbiológico

El agua que circula por un sistema de distribución, debe de ser previamente tratada para que no contenga ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal. Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus, protozoarios patógenos o por parásitos son el riesgo para la salud más comunes.

El objetivo primordial de los exámenes que se suelen practicar al agua, es determinar si contiene organismos patógenos; pero existen ciertas razones, por las cuales no son detectados. Lo más probable es que los gérmenes patógenos lleguen al agua esporádicamente y no sobreviven en ella durante largo tiempo; por ende, pueden no encontrarse en la muestra enviada al laboratorio. Si existen en muy pequeño número, es fácil que escapen a las técnicas de investigación.

De encontrarse algún indicio de microorganismos hay que realizar procesos de tratamiento inmediatamente o suspender el servicio.

## **4.2. Contaminantes del agua subterránea**

Los diferentes ecosistemas que tiene la tierra, podrían parecer indiferentes a las actividades humanas, pero todos forman parte de una actividad y la variación de uno de ellos altera el equilibrio ecológico. A la alteración causada por la intromisión de agentes extraños a la biosfera, producto de las actividades del hombre, se la conoce como contaminación.

La contaminación resulta común al planeta y puede diferenciarse por la naturaleza de los contaminantes. En los países en vías de desarrollo como Guatemala, en donde las aguas además de llevar elementos agroquímicos e industriales, contienen aguas residuales sin tratar y se añade el factor higiénico y sanitario, otro factor es el incremento del uso de detergentes que colaboran con la formación de algas en los cuerpos de agua superficiales, en cuanto más algas existan, más bacterias se proliferan, más oxígeno consumido y menos oxígeno en las aguas.

Este problema se da en aguas superficiales y se extiende a las aguas subterráneas. Este proceso es lento, pero por filtración la contaminación puede llegar a zonas profundas. El agua subterránea es la menos contaminada, siendo casi imposible tratarla de una manera eficaz, en función del costo y que a largo plazo un acuífero contaminado es un acuífero condenado, por lo que se necesitan medidas de control en alta prioridad.

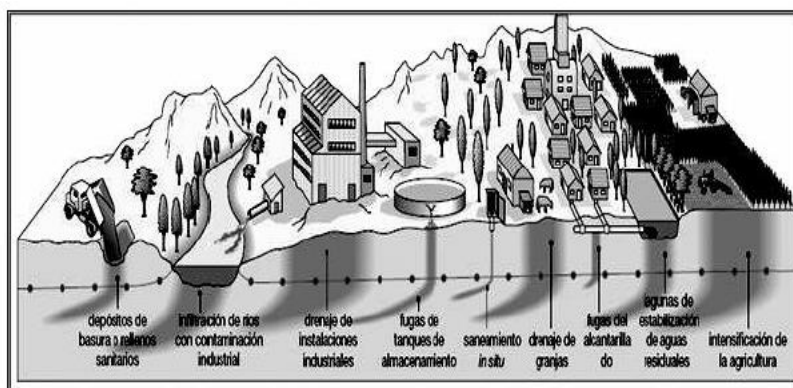
Los recursos son esenciales pero no están bien administrados, protegidos y conservados. La mala disposición de las aguas residuales, los desechos residenciales, industriales y municipales también amenazan el agua subterránea. Los productos derivados de la lixiviación de los rellenos y la descarga que contienen sustancias orgánicas cloradas, son causa de

preocupación porque se han determinado como mutagénicas y carcinógenas. En otras áreas el uso indiscriminado de los agroquímicos, como los nitratos se les ha identificado como contaminación de aguas subterráneas, también las fosas sépticas domésticas, tanto por nitratos como por bacterias constituyen un problema serio de contaminación.

Los contaminantes producen enfermedades y se sospecha de otras sustancias como el mercurio, arsénico y el plomo; la agricultura, ganadería y comercio como las granjas avícolas son fuente de mucha contaminación orgánica e inorgánica de aguas superficiales y subterráneas.

Es necesario que las diferentes instituciones, como es el caso del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), tenga un control sobre las áreas donde hay contaminación por actividades como las antes descritas, ya que todas las fuentes de captación que puedan estar alrededor de ellas, podrían sufrir de una contaminación severa y sean causa de una mala calidad del agua y por lo tanto el tratamiento sea costoso (figura 9).

Figura 9. **Contaminación del agua**



Fuente: estudios y monitoreo, hidrología.



### **4.3. Protección de aguas subterráneas**

Para seguir contando con el recurso de agua subterránea, es necesario que sean protegidos de la contaminación, esto se puede realizar por muchos métodos, y es tarea de todos, ya que una pequeña acción puede traer una gran reacción.

Para proteger los acuíferos contra la contaminación, es esencial controlar las prácticas de uso del suelo, las descargas de efluentes y el depósito final de residuos. Algunas de las alternativas empleadas son las siguientes: es necesario establecer zonas simples y sólidamente definidas (basadas en perímetros de vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación y de protección de fuentes), con ubicaciones que muestren dónde es posible realizar actividades de vertido, con un riesgo aceptable para el agua subterránea.

La zonificación para la protección del agua subterránea también juega un papel clave al establecer prioridades para el monitoreo de su calidad, premisas para realizar auditorías ambientales en industrias, acciones de control de contaminación dentro de un sistema agrícola y limpieza de terrenos históricamente contaminados, así como para educación pública en general.

Estas actividades son componentes esenciales de una estrategia sustentable para la protección de la calidad del agua subterránea.

Es necesario lograr un equilibrio razonable entre la protección de los recursos de agua subterránea (los acuíferos en conjunto) y la protección de fuentes específicas (pozos y manantiales). Aunque ambos enfoques son complementarios, el hecho de que se enfatice uno u otro (en una zona

específica) dependerá de la situación de explotación de los recursos y de las condiciones hidrogeológicas que prevalezcan.

Si el uso para consumo humano, sólo comprende una parte reducida del recurso de agua subterránea disponible, quizá no resulte eficaz por el mismo costo proteger todas las partes de un acuífero por igual, esto indica entonces que se debe enfatizar la protección a determinadas zonas y para poder realizar esto, se debe tomar en cuenta lo siguiente.

- Delinear zonas de protección (de captación) para las fuentes de agua subterránea y perímetros de flujo del líquido.
- Evaluar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación y las cargas de contaminantes sub-superficiales en las áreas así definidas.

## **5. MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El monitoreo de aguas, se basa en estudios medición de niveles y caudales.

### **5.1. Zona y población a analizar**

La zonas 10 y 14 de la ciudad capital de Guatemala, son las zonas que se eligieron para analizar y a tomar las medidas de niveles de agua en los pozos mecánicos ubicados en edificaciones privadas en dichas zonas la extracción de agua mediante pozos se ha expandido en la mayoría, de residencias y edificaciones en el sector, de esta forma cada vez menos la dependencia de vital líquido a través de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), de la ciudad capital de Guatemala.

### **5.2. Ubicación de pozos mecánicos**

A continuación se tiene la ubicación de los pozos en los cuales se basan para llevar el control de niveles de agua.

- Zona 10
  - 15 calle A y 8va. avenida zona 10
  - Colonia Los Eucaliptos carretera a El Salvador zona 10
  - 15 calle 6-38 zona 10, Villa Real
  - 20 calle zona 10
  - Zona 10 edificio San Marco

- 14 av. y 16 calle zona 10
- 15 calle 1-11 zona 10
  
- Zona 14
  - Ave. Las Américas Suites Casa Blanca
  - 21 calle 2-30 zona 14, Bellini
  - 11 calle 2-29 zona 14, Terzetto
  - 3 av. 17-24 zona 14, San Ángel
  - 10av. zona 14
  - 22 calle 4-35 zona 14 (IBIZA)

### 5.3. Monitoreo de pozos

En el cuadro siguiente se encuentra los datos obtenidos de profundidad de perforación y nivel estático.

Tabla V. **Tabla de informe**

DIRECCION	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	NIVEL BOMBEO	NIVEL ESTATICO
Av. Las américas Suites Casa Blanca	600 ft	-----	275,52 ft
15 calle A 8va avenida z. 10	700 ft	239 ft	228 ft
Colonia los Eucaliptos z. 10	700 ft	-----	250 ft
15 calle 6-38 z. 10	700 ft	-----	230 ft
21 calle 2-30 z. 14	600 ft	-----	248 ft
11 calle 2-29 z. 14	700 ft	-----	235 ft

Continuación de la tabla V.

3 av. 17-24 z. 14	600 ft	-----	240 ft
22 Calle 4-35 z. 14	600ft	375 ft	285 ft
10 av. z. 14	600 ft	-----	239 ft
15 calle 1-11 z. 10	700 ft	422,2 ft	273.2 ft
20 calle z. 10	600 ft	-----	239 ft
14av. Y 16calle z. 10	600 ft	318 ft	231 ft
Zona 10 edificio San Marco	600 ft	-----	229.6 ft

Fuente: estudios y perforaciones realizadas en los últimos años por empresas privadas, MONTAGUA, MASEHISA, daho pozos.



## **6. PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN PARA REDUCIR EL AGOTAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA**

### **6.1. Monitoreo del sistema de agua potable**

Un constante monitoreo por parte de personal técnico y mano de obra calificada, evitará que se den desperdicios de agua potable, buscando las deficiencias en el sistema que la puedan poner en peligro y que contribuyan a evitar desperdicios del vital líquido.

### **6.2. Cronograma de mantenimiento a los pozos existentes**

Se debe poseer un cronograma de mantenimiento de los pozos mecánicos, éste variará dependiendo del componente del pozo y de la cantidad de horas al día que trabaja, éste sería un mantenimiento preventivo para evitar mantenimientos correctivos, ya que los correctivos se tienen que llevar a cabo en el momento que se presente el problema, en la tabla que se muestra a continuación, se hace una propuesta al respecto (tabla XXI).

Tabla VI. **Cronograma de mantenimiento**

<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>
Inspección general del equipo de bombeo y tablero de control	Semanal
Limpieza de equipos, verificación de las instalaciones eléctricas	Mensual
Alineación de los motores de las bombas	Anualmente
Verificación de funcionamiento y operación de válvulas de cierre o cheque	Cada 6 meses
Prevención contra las incrustaciones de rejillas y revestimiento, método mecánico o tratamiento químico	Mínimo cada 2 años
Análisis físico químico y bacteriológico	Cada 6 meses
Prueba de bombeo y medición de niveles del pozo	Anualmente

Fuente: estudios y monitoreo, empresa privada.

### **6.3. Estudio para ejecución o perforación de nuevos pozos**

A continuación se listan los estudios que se son recomendados ejecutar al optar por la perforación de un pozo para abastecimiento de agua potable:

- **Características morfológicas:** Estas indican en donde están ubicados, que existe alrededor, tipo de suelos, rocas, ríos.
- **Característica hidrológica:** Este proporciona la información basada en climas, si son climas secos o húmedos, cantidad de agua que puede existir en el clima y en la zona.
- **Características geológicas:** Esta depende del tipo de suelos que se encuentran en la región, si son plásticos, porosos, arcillosos.



- Condiciones hidrogeológicas: Estas dependen de las características de las formaciones geológicas donde se encuentra almacenada y en circulación el agua subterránea, ya que las porosidades de los materiales son los que regulan la capacidad de almacenamiento de agua, así como también proporcionan las condiciones favorables o desfavorables para él.
- Impacto Ambiental y Gestión de Riesgo: Se llama Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo, rechazarlo o modificarlo.



## CONCLUSIONES

1. El servicio de agua potable existente, se encuentra en funcionamiento y de manera adecuada, pues todos los usuarios poseen y lo cuidan de una manera regulada y controlada, por medio de contadores de agua.
2. Un proyecto de perforación de pozo mecánico para suministro de agua, depende de muchos factores y se requiere de un estudio para saber si es viable y se podrán esperar buenos resultados de la ejecución, para cumplir con la demanda requerida. .
3. Un pozo mecánico posee distintos componentes, y todos ellos son de sumo interés, ya que forman un conjunto de infraestructura que podrá suplir las necesidades de las personas o usuarios.
4. El agua que se extrae del pozo, es para uso doméstico, laboral o personal, para que sea una fuente de agua de consumo humano debe cumplir con las parámetros establecidos por la Norma COGUANOR NGO 29001.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario hacer conciencia para un uso racional del agua, mantener un control estricto en su consumo, ya que es un recurso indispensable para la vida.
2. Controlar la cantidad y ubicación de los pozos, para así evitar la perforación de estos muy cercanos y captar las mismas arterias de agua.
3. Si existen pozos cercanos, tratar de llegar a un acuerdo de compartir el agua y así dividir gastos y consumos para evitar la perforación de más pozos aledaños al mismo.
4. Se deben adoptar medidas preventivas para preservar el suministro de agua potable de Guatemala y así evitar el colapso del servicio.
5. Para realizar un proyecto de extracción de agua se debe contar con personal altamente calificado de empresas de reconocido prestigio y con experiencia en este tipo de obras.



## BIBLIOGRAFÍA

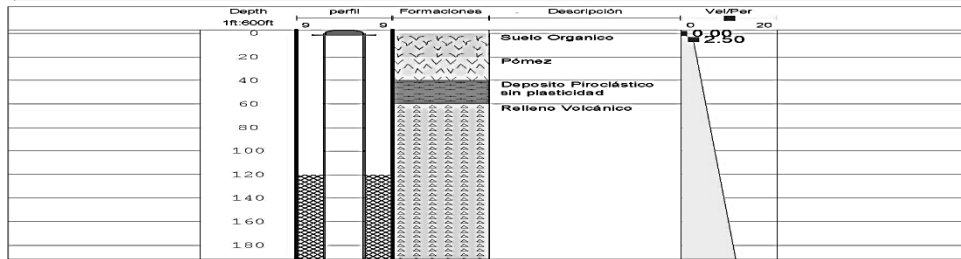
1. Comisión Guatemalteca de Normas, Agua Potable, especificaciones COGUANOR NGO 29001
2. FOSTER, Stephen; et al. *Protección de calidad de agua subterránea: guía para empresas de agua autonomías municipales y agencias ambientales. Mexico: The World Bank, 2003. 128 p.*
3. FIGUEROA CABALLEROS, Mario René. *Explotación de aguas subterráneas su operación, control y mantenimiento.* Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1992. 176 p.
4. HELWEG, Otto J. *Recursos hidráulicos: planeación y administración.* México: Noriega, 1992. 408 p.
5. MONTAGUA. *Perforación de pozos, pruebas de bombeo, pruebas de agua,* [en línea] [www.montagua.com.gt](http://www.montagua.com.gt), Guatemala: Trabajos, consulta: mayo de 2013.



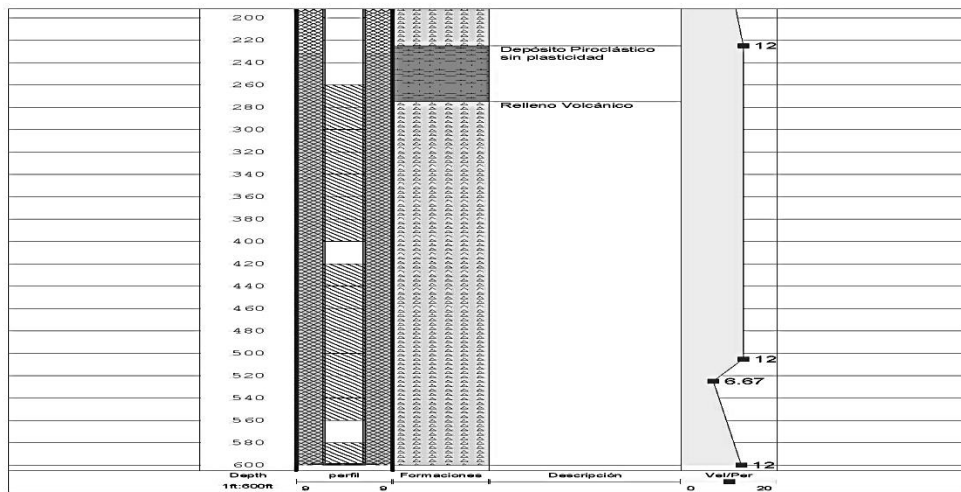


# ANEXOS

		ODT: 11026 PER-2120
Calzada La Paz 6-30 Zona 5 -Tel.: (502) 2382-5000, Fax (502) 2382-5001- Guatemala Ciudad, Guatemala, C. A.		
Propietario : PROMOTORA MIRACERROS, S.A. (CORPOTEC)		
Ubicación Pozo: 14 AVENIDA Y 16 CALLE, ZONA 10		
Fecha de inicio: 24-11-2006	Fecha finalización: 1 -12-2006	
Perforadora: M-3	Metodo: ROTATIVO	
Perforador: SERGIO FAJARDO		
Diámetro: 6 PULGADAS		
Nivel Estático: 231 PIES	Profundidad pozo: 600 PIES	
Producción : 122 G.P.M.	Nivel de bombeo: 318 PIES	
Duración bombeo: 12:00 HORAS		
Profundidad de la bomba: Instalada a 576' con 17 etapas, 40 HP		
Observaciones: Filtro de Grava de 220' a 600' Sello sanitario de 200 a 220 pies		
: Hecho por: F.A.C.L.		



Page 1



Page 2

Fecha : 2006-12-20 12:06:20 Pagina : 1  
**P R U E B A D E B O M B E O**  
 PROPIETARIO: CORPORACION TECNICA DE DESARROLLOS, S.A. Trabajo: 11026  
 UBICACION : 14 AVENIDA Y 16 CALLE ZONA 10, GUATEMALA Prueba : 3090  
 EQUIPO : MAYHEW\_3 (C34912) 1000 1973 ROJO  
 OPERADOR : SERGIO FAJARDO

ORIFICIO DE 3" EN TUBO DE 4" LINEA DE AIRE A 0 PIES  
 NIVEL ESTATICO 231 PIES PRODUCCION DEL POZO 122 G.P.M.  
 NIVEL DINAMICO 318 PIES ETAPAS DE LA BOMBA DE LA PRUEBA DE BOMBEO 17  
 BOMBA INSTALADA A 576 PIES POTENCIA DE LA BOMBA EN LA PRUEBA DE BOMBEO 40 H.P.

Hora	Minutos	Nivel en Metros	L.Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
DICIEMBRE 17	2.006						
07:30	0	70.43		231.01	0.01		
07:31	1	79.27	8.00	209.01	29.01	122	INICIO DE LA PRUEBA DE BOMBEO
07:32	2	73.58		232.01	31.01	122	SE ABRIÓ LLAVE A 8" PARA 122 GPM
07:33	3	80.18		262.99	31.99	122	
07:34	4	80.79		264.99	33.99	122	
07:35	5	81.10		266.01	35.01	122	
07:40	10	82.32		270.01	39.01	122	
07:50	20	85.37		280.01	49.01	122	
08:00	30	88.41		289.98	58.98	122	
09:00	90	90.55		297.00	66.00	122	
10:00	150	91.46		299.99	68.99	122	
11:00	210	92.38		303.01	72.01	122	
12:00	270	94.21		309.01	78.01	122	
13:00	330	95.12		311.99	80.99	122	
14:00	390	96.04		315.01	84.01	122	
15:00	450	96.95		318.00	87.00	122	
16:00	510	96.95		318.00	87.00	122	
17:00	570	96.95		318.00	87.00	122	
18:00	630	96.95		318.00	87.00	122	
19:00	690	96.95		318.00	87.00	122	
19:30	720	96.95		318.00	87.00	122	FIN DE LA PRUEBA
19:31	1	80.18		262.99	31.99		INICIO DE LA RECUPERACION
19:32	2	76.52		250.99	19.99		
19:33	3	75.61		248.00	17.00		
19:34	4	74.70		245.02	14.02		
19:35	5	73.48		241.01	10.01		

Fecha : 2006-12-20 12:06:20 Pagina : 2  
**P R U E B A D E B O M B E O**  
 PROPIETARIO: CORPORACION TECNICA DE DESARROLLOS, S.A. Trabajo: 11026  
 UBICACION : 14 AVENIDA Y 16 CALLE ZONA 10, GUATEMALA Prueba : 3090  
 EQUIPO : MAYHEW\_3 (C34912) 1000 1973 ROJO  
 OPERADOR : SERGIO FAJARDO

Hora	Minutos	Nivel en Metros	L.Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
19:40	10	72.56		238.00	7.00		
19:50	20	71.95		236.00	5.00		
20:00	30	71.34		234.00	3.00		
20:30	60	70.43		231.01	0.01		FIN DE LA RECUPERACION



**REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO**

UBICACIÓN DEL POZO No.1: Km. 22 ruta a El Salvador PROPIETARIO: Iglesia Cristiana  
 DIAMETRO DEL POZO: 8" PVC Casa de Dios  
 PROFUNDIDAD DEL POZO: 401 pies FECHA: 20 de mayo 2.011.  
 PROFUNDIDAD DEL EQUIPO: 385 pies PIEZOMETRO: Tubo de 2.5  
 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO: 25 HP. DURACIÓN: 24 Horas.  
 HORA DE INICIO: 16 horas HOJA No. 1

HORAS	MINUTOS	NIVEL DEL AGUA	piezometric	Piezometro	GPM
	0	186 Nivel estatico		84	
	1	195		80	186
	2	218		70	186
	3	230		65	186
	4	241		60	186
	5	241		60	186
	6	241		60	186
	7	245		58	186
	8	245		58	186
	9	249		56	186
	10	252		55	186
	13	252		55	186
	16	252		55	186
	19	252		55	186
	22	252		55	186
	25	252		55	186
	28	252		55	186
	30	252		55	186
	35	252		55	186
	40	252		55	186
	45	252		55	186
	50	252		55	186
	55	252		55	186
1	0	252		55	186
	10	252		55	186
	20	252		55	186
	30	252		55	186
	40	252		55	186
	50	252		55	186
2	0	252		55	186
	15	252		55	186
	30	252		55	186
	45	252		55	186
3	0	252		55	186
	15	252		55	186
	30	252		55	186
	45	252		55	186
4	0	257		53	186

UBICACIÓN DEL POZO: Km. 22 ruta a El Salvador PROPIETARIO: Iglesia Cristiana  
 Casa de Dios

HORAS	MINUTOS	NIVEL DEL AGUA	piezometric	Piezometro	GPM
5	0	260		50	186
	30	265		50	186
6	0	265		50	186
	30	265		50	186
7	0	265		50	186
	30	265		50	186
8	0	265		50	186
	30	265		50	186
9	0	265		50	186
	30	265		50	186
10	0	265		50	186
	30	265		50	186
11	0	265		50	186
	30	265		50	186
12	0	265		50	186
	30	265		50	186
13	0	265		50	186
	30	265		50	186
14	0	265		50	186
	30	265		50	186
15	0	265		50	186
	30	265		50	186
16	0	265		50	186
	30	265		50	186
17	0	265		50	186
	30	265		50	186
18	0	265		50	186
	30	265		50	186
19	0	265		50	186
	30	265		50	186
20	0	265		50	186
	30	265		50	186
21	0	265		50	186
	30	265		50	186
22	0	265		50	186
	30	265		50	186
23	0	265		50	186
	30	265		50	186
24	0	265		50	186

RESULTADOS FINALES  
 Nivel estatico: 186 pies  
 Nivel dinamico: 265 pies  
 Caudal de bombeo: 160 GPM  
 Colocación de equipo de prueba: 385 pies

Atentamente,

*Hugo Leonel Montenegro*  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro  
 Gerente

CASA DE DIOS  
 Casa del Nuevo Tiempo  
 Administración  
*Carlos Barrios*



**REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO**

UBICACIÓN DEL POZO No.2: Km. 22 ruta a El Salvador PROPIETARIO: Iglesia Cristiana  
 DIAMETRO DEL POZO: 6" PVC Casa de Dios  
 PROFUNDIDAD DEL POZO: 400 pies FECHA: 18 de mayo 2,011.  
 PROFUNDIDAD DEL EQUIPO: 385 pies PIEZOMETRO: Tubo de 2.5  
 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO: 25 HP. DURACIÓN: 24 Horas.  
 HORA DE INICIO: 18 horas HOJA No. 1

HORAS	MINUTOS	NIVEL DEL AGUA	piezometric	Piezometro	GPM
	0	195 Nivel estatico		80	
	1	206		75	186
	2	218		70	186
	3	230		65	186
	4	241		60	186
	5	241		60	186
	6	241		60	186
	7	245		58	186
	8	245		58	186
	9	249		56	186
	10	252		55	186
	13	252		55	186
	16	252		55	186
	19	252		55	186
	22	252		55	186
	25	252		55	186
	28	252		55	186
	30	252		55	186
	35	252		55	186
	40	252		55	186
	45	252		55	186
	50	252		55	186
	55	252		55	186
1	0	252		55	186
	10	252		55	186
	20	252		55	186
	30	252		55	186
	40	252		55	186
	50	252		55	186
2	0	252		55	186
	15	252		55	186
	30	252		55	186
3	0	252		55	186
	15	252		55	186
	30	252		55	186
4	0	252		55	186
	30	257		53	186

UBICACIÓN DEL POZO: Km. 22 ruta a El Salvador PROPIETARIO: Iglesia Cristiana  
 Casa de Dios

HORAS	MINUTOS	NIVEL DEL AGUA	piezometric	Piezometro	GPM
5	0	260		52	186
	30	265		50	186
6	0	265		50	186
	30	265		50	186
7	0	265		50	186
8	0	265		50	186
9	0	265		50	186
10	0	265		50	186
11	0	265		50	186
12	0	265		50	186
13	0	265		50	186
14	0	265		50	186
15	0	265		50	186
16	0	265		50	186
17	0	265		50	186
18	0	265		50	186
19	0	265		50	186
20	0	265		50	186
21	0	265		50	186
22	0	265		50	186
23	0	265		50	186
24	0	265		50	186

**RESULTADOS FINALES**  
 Nivel estatico: 195 pies  
 Nivel dinámico: 205 pies  
 Caudal de bombeo: 160 GPM  
 Colocación de equipo de prueba: 385 pies

Atentamente,

*Fuigo Leonel Montenegro*  
 Ing. Fuigo Leonel Montenegro  
 Gerente

**CASA DE DIOS**  
 Senal. Nuevo Templo  
 Administración  
*Ricardo Blandino*



**MONTAGUA**  
INGENIERIA CIVIL Y  
ELECTROHIDRAULICA

Guatemala, 10 de Marzo del 2012

Atención: Ingeniero Hugo Montenegro

Se realizaron Pruebas A Bomba y Motor Marca Franklin Electric de 15HP 230 3F

Pies / Psi	Amps	Tiempo/Seg	GPM/Curva	Pruebas /Gpm
540 / 235	L1= 38.1 L2= 38.5 L3= 38.1	71	50	42
440 / 190	L1= 38.6 L2= 38.9 L3= 38.7	57.9	60	52.5

Aislamiento entre líneas

Rojo: 135 Amarillo: 138 Negro: 149 Mega homs

Resistencia entre líneas

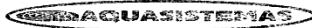
Amarillo/Negro: 0.36 Amarillo/Rojo: 0.38 Negro/Amarillo: 0.37 Hms

Equipo en Buenas condiciones para ser Instalado

Sin mas que agregar me suscribo

Atentamente

Alba Coronado  
AQUASISTEMAS S.A



**MONTAGUA**  
Ingenieria Civil y Electrohidráulica



**INFORME 5141**

Dirigido al: Hugo Montenegro  
Institución: Montagua  
Captación: Fوسفهرا Centroamericana, S.A.  
Av. Petzapa 37-01 zona 12  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 13/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 13/03/2012  
Inicio de análisis: 13/03/2012

Análisis solicitado: Físicoquímico agua potable según norma COGUANOR 29001.

Parámetro	Unidades	LMA	LMP	Resultado
Color aparente	unidades Pt-Co	5.000	35.000	24.00
Hierro total	mg/l	0.100	1.000	0.08
Nitrato	mg/l	1.0	10	0.008
Nitrógeno	mg/l	5.000	15.000	0.62
Turbidez	mg/l	100.000	250.000	30.60
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	42.00
Conductividad	µS/cm	100	750	129.30
Calcio	mg/l	75.000	100.000	32.004
Magnesio	mg/l	60.000	100.000	9.24
Manganeso total	mg/l	0.050	0.500	0.025
pH	unidades pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.47
Temperatura	°C	15.0-25.0	34.0	24.0
Color	—	no rechazable	no rechazable	No rechazable
Sólidos totales disueltos	mg/l	500.000	1000.0	89.09
Cloro residual	mg/l	1.500	1.500	0.01

- CONCLUSIONES:**
- Los límites aceptables y permisibles corresponden a la Norma COGUANOR para agua potable NCG 29001 (A.C. Gobernamental N.º 586-1999) publicada en el Diario de Centro América el 4 de febrero de 2000. Los parámetros analizados corresponden a los establecidos en el numeral E2, inciso 5.4 de dicha norma.
  - Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition, 1998.
  - Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohíbese la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.
  - Los resultados satisfacen los criterios físicoquímicos establecidos por la Norma Coguanoar 29001 para agua potable.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
15 de Marzo del 2012  
Analista: MC

**MONTAGUA**  
Ingenieria Civil y Electrohidráulica

**Analisa**  
Laboratorio de Control de Calidad  
Licda. Victoria García  
Químico Biólogo  
Colegiado. 3,135

**INFORME 5134**

Dirigido a: Hugo Montenegro  
Institución: Montagua  
Captación: Fosforera Centroamericana, S.A.  
Av. Petapa 37-01 zona 12  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Botella Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 09/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 09/03/2012  
Inicio de análisis: 09/03/2012

Análisis solicitados  
Fisicoquímico agua potable según norma COGUANOR 29001.

**RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

Parámetro	Unidades	LMA	LMP	Resultado
Color aparente	unidades Pt-Co	5.000	35.000	29.00
Hierro total	mg/l	0.100	1.000	0.10
Nitrato	mg/l	-	10	1.50
Nitrito	mg/l	-	1.0	0.001
Turbidez	UNT	5.000	15.000	1.74
Sólidos totales	mg/l	100.000	200.000	22.10
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	62.00
Conductividad	µS/cm	100	750	162.90
Calcio	mg/l	75.000	150.000	23.24
Magnesio	mg/l	25.000	100.000	0.26
Manganeso total	mg/l	0.050	0.500	0.037
pH	unidades pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.38
Temperatura	°C	15.0-25.0	34.0	-
Sólidos totales disueltos	mg/l	no rechazable	no rechazable	No rechazable
Cloro residual	mg/l	500.000	1000.0	133.95
Oloro	mg/l	1.500	1.500	0.01

mg/l (ppm): miligramos por litro (partes por millón)  
UNT: unidades nefelométricas de turbidez  
LMA: límite máximo admisible norma COGUANOR agua potable 29001  
LMP: límite máximo permisible, norma COGUANOR agua potable 29001

**OBSERVACIONES:**

- Estos informes aceptables y permisibles corresponden a la Norma COGUANOR para agua potable 29001 (Ac. Gubernamental No. 986-1999) publicada en el Diario de Centro América el 4 de febrero de 2000. Los parámetros analizados corresponden a los establecidos en el numeral E2, inciso 3.4 de dicha norma.
- Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998.
- Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.
- Los resultados satisfacen los criterios fisicoquímicos establecidos por la Norma COGUANOR 29001 para agua potable.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
14 de Marzo del 2012  
Analista: MC

**MONTAGUA**  
Ingeniería Civil y Electrohidráulica

Licda. Vilma García  
Química Bióloga  
Colegiada 3.133

**INFORME 5141**

Dirigido a: Hugo Montenegro  
Institución: Montagua  
Captación: Fosforera Centroamericana, S.A.  
Av. Petapa 37-01 zona 12  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Botella Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 13/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 13/03/2012  
Inicio de análisis: 13/03/2012

Análisis solicitados  
Microbiológicos agua potable según norma COGUANOR 29001.

Resultados	Límites Aceptables
Recuento de Coliformes	<23 NMP/100mL
Recuento de E. coli	<1.1 NMP/100mL
Recuento total de mesófilos aerobios	<200 UFC/mL

**OBSERVACIONES:**

- NMP/100mL: Número más probable por cien mililitros
- UFC/mL: Unidad formadora de colonias por mililitro
- Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998.
- Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.
- Los resultados NO cumplen con los requisitos microbiológicos de la NORMA COGUANOR AGUA POTABLE 29001.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
15 de Marzo del 2012  
Analista: MC

**MONTAGUA**  
Ingeniería Civil y Electrohidráulica

Licda. Vilma García  
Química Bióloga  
Colegiada 3.133

**INFORME 5120**  
Dirigido a: Jorge Mario Mena  
Dirección: km 19.9 Carretera al Salvador  
Monte Alto casa No 27  
Captación: Pozo  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 07/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 07/03/2012  
Inicio de análisis: 07/03/2012

Análisis solicitados: Físicoquímico agua potable según norma COGUANOR 29001.

Parámetro	Unidades	LMA	LMP	Resultado
Color aparente	unidades Pt-Co	5.000	35.000	32.00
Hierro total	mg/l	0.100	1.000	0.02
Nitrato	mg/l	-	10	3.50
Nitrato	mg/l	-	10	3.50
Turbidez	UNT	5.000	1.0	0.024
Cloruro	mg/l	100.000	250.000	1.40
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	180.00
Conductividad	µS/cm	100	750	230.60
Calcio	mg/l	75.000	150.000	60.92
Magnesio	mg/l	30.000	100.000	0.77
Manganeso total	mg/l	0.050	0.300	0.052
pH	unidades pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.01
Temperatura	°C	15.0-25.0	34.0	-
Cloro	-	no rechazable	no rechazable	no rechazable
Sólidos totales disueltos	mg/l	500.000	1000.0	160.13
Cloro residual	mg/l	1.500	1.500	0.01

mg/l (ppm): miligramos por litro (partes por millón)  
UNT: unidades nefelométricas de turbidez  
LMA: límite máximo admisible norma Coguanoor agua potable 29001  
LMP: límite máximo permisible norma Coguanoor agua potable 29001  
**OBSERVACIONES:**  
• Los límites aceptables y permisibles corresponden a la Norma COGUANOR para agua potable de febrero de 2000. Los parámetros analizados corresponden a los establecidos en el numeral E2, inciso 5.4 de dicha norma.  
• Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998.  
• Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.  
• Los resultados satisfacen los criterios físicoquímicos establecidos por la Norma Coguanoor 29001 para agua potable.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
12 de Marzo del 2012  
Analista: MC

Licda. Victoria García  
Química Bióloga  
Colegiada 3.135

**Analisa**  
LABORATORIO DE REFERENCIA

**INFORME 5134**  
Dirigido a: Hugo Montenegro  
Institución: Montagua  
Captación: Fosefora Centroamericana, S.A.  
Av. Petapa 37-01 zona 12  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 09/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 09/03/2012  
Inicio de análisis: 09/03/2012

Parámetro	Unidades	Resultado	Límites Aceptables
Recuento de Coliformes	NMP/100mL	>23	<1.1
Recuento de E. coli	NMP/100mL	<1.1	<1.1
Recuento total de mesófilos aerobios	UFC/mL	250	<200

**OBSERVACIONES:**  
• NMP/100mL: Número más probable por cien mililitros  
• UFC/ml: Unidad formadora de colonias por mililitro  
• Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998.  
• Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.  
• Los resultados NO cumplen con los requisitos microbiológicos de la NORMA COGUANOR AGUA POTABLE 29001.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
14 de Marzo del 2012  
Analista: MC

**MONTAGUA**  
Ingeniería Civil y Electrodráulica

Licda. Victoria García  
Química Bióloga  
Colegiada 3.135

**INFORME 4997**  
Dirigido a: Juan Guillermo Cruz  
Institución: Proyecto Vivenza  
Captación: Pozo  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 09/02/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 09/02/2012  
Inicio de análisis: 09/02/2012

Análisis solicitados  
Fisicoquímico agua potable según norma COGUANOR 29001.

Parámetro	Unidades	LMA	LMP	Resultado
Color aparente	unidades Pt-Co	5.000	35.000	19.00
Hierro total	mg/l	0.100	1.000	0.03
Nitrato	mg/l	-	1.0	2.90
Nitrito	mg/l	-	1.0	0.01
Turbidez	UNT	5.000	15.000	1.17
Cloruro	mg/l	100.000	250.000	20.70
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	100.00
Conductividad	µS/cm	75.000	150.000	178.20
Calcio	mg/l	60.000	100.000	32.064
Magnesio	mg/l	0.050	0.500	4.84
Manganeso total	mg/l	2.0-2.5	8.0-8.5	0.012
pH	unidades pH	6.5-8.5	6.5-8.5	7.16
Temperatura	°C	15.0-25.0	34.0	-
Olor	mg/l	no rechazable	no rechazable	No rechazable
Sólidos totales disueltos	mg/l	500.000	1000.0	90.00
Cloro residual	mg/l	1.500	1.500	0.01

**OBSERVACIONES:**  
 Los límites aceptables y permisibles corresponden a la Norma COGUANOR para agua potable NAO 29001 (Ac. Gubernamental No. 986-1999) publicada en el Diario de Centro América el 4 de febrero de 2000. Los parámetros analizados corresponden a los establecidos en el numeral E2, inciso 5.4 de dicha norma.  
 Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998.  
 Este informe incluye, suite y cumplimiento a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.  
 Los resultados satisfacen los criterios fisicoquímicos establecidos por la Norma COGUANOR 29001 para agua potable.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
13 de Febrero del 2012  
Analista: MC

**Analisa**  
Licda. Victoria García  
Química Bióloga  
Colegiada. 3.133

**INFORME 5120**  
Dirigido a: Jorge Mario Mena  
Dirección: Km 19.5 Carretera el Salvador  
Monte Alto casa No 27  
Captación: Pozo  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 07/03/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 07/03/2012  
Inicio de análisis: 07/03/2012

Análisis solicitados  
Microbiológicos agua potable según norma COGUANOR 29001.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS	Resultados	Límites Aceptables
Recuento de Coliformes	>23 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento de <i>E. coli</i>	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento total de mesófilos aerobios	>5,700 UFC/mL	<200 UFC/mL

**OBSERVACIONES:**  
 • NMP/100mL: Número más probable por cien mililitros  
 • UFC/mL: Unidad formadora de colonias por mililitro  
 • Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998  
 • Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.  
 • Los resultados NO cumplen con los requisitos microbiológicos de la NORMA COGUANOR AGUA POTABLE 29001.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
12 de Marzo del 2012  
Analista: MC

**Analisa**  
Licda. Victoria García  
Química Bióloga  
Colegiada. 3.133



**INFORME 4997**

Dirigido a: Juan Guillermo Cruz  
Institución: Proyecto Vivanza  
Captación: Pozo  
Tipo de muestra: Agua de Pozo  
Envase: Bolsa Plástica Estéril  
Cantidad: 600 ml

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 09/02/2012  
Fecha ingreso al laboratorio: 09/02/2012  
Inicio de análisis: 09/02/2012

**Análisis solicitados**

➔ Microbiológicos agua potable según norma COGUANOR 29001.

**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

	Resultados	Límites Aceptables
Recuento de Coliformes	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento de <i>E. coli</i>	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento total de mesófilos aerobios	<1 UFC/ml	<200 UFC/ml

**OBSERVACIONES**

- NMP/100mL: Número más probable por cien mililitros
- UFC/mL: Unidad formadora de colonias por mililitro
- Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998
- Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.
- Los resultados cumplen con los requisitos microbiológicos de la NORMA COGUANOR AGUA POTABLE 29001.

**FECHA DE FINALIZACIÓN**  
13 de Febrero del 2012  
Analista: MC

**Analisa**  
Licda. Karla Llanusa  
Química Bióloga  
Colegiada 3.135

**INFORME 4040**

Dirigido a: Ing. Hugo Montenegro  
Institución: Green Milenium  
Captación: Chorro  
Tipo de muestra: Agua Purificada  
Envase: Bolsa plástica estéril  
Cantidad: 600 mL

No. de muestras: 1 (una)  
Captadas por: Personal de ANALISA  
Fecha toma de muestra: 14/03/2011 12:30  
Fecha ingreso al laboratorio: 14/03/2011 4:30  
Inicio de análisis: 14/03/2011

**Análisis solicitados**

Microbiológicos GOGUANOR NGO 29005 agua para consumo humano

**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

	Resultados	Límites Aceptables
Recuento de Coliformes	< 1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento de <i>E. coli</i>	< 1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100mL
Recuento total de mesófilos aerobios	< 1 UFC/mL	<200 UFC/mL

**OBSERVACIONES**

- NMP/100mL: Número más probable por cien mililitros
- UFC/mL: Unidad formadora de colonias por mililitro
- Método: Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998
- Estos informes pertenecen única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.
- Los resultados cumplen con los requisitos microbiológicos de la NORMA COGUANOR AGUA PARA CONSUMO HUMANO 29005.

**FECHA DE FINALIZACIÓN**  
18 de Marzo de 2011  
Analista MC

Revisado por: Lic. Claudia Alvarado

**Lic. Sergio Lickes**  
Químico Biólogo  
Colegiado 2.239

