



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

**ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONA  
13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Mario Francisco Montenegro Contreras**  
Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONA  
13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARIO FRANCISCO MONTENEGRO CONTRERAS**  
ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL MONTENEGRO FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

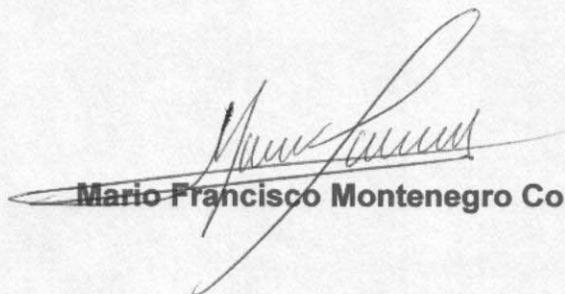
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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 ZONA 13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 noviembre 2012.



**Mario Francisco Montenegro Contreras**

Guatemala, 16 de septiembre 2014

Ingeniero  
Wuillian Ricardo Yon Chavarria  
Jefe del Departamento de Planeamiento  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero.

Por este medio le informo que como asesor de la estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Civil, **Mario Francisco Montenegro Contreras**, carnet 2005-17793, procedí a revisar el Trabajo de Graduación "**Estudio de Aguas Subterráneas en Zona 13 de la ciudad de Guatemala**"

Habiéndole dado el respectivo seguimiento y considero que el mismo cumple con sus objetivos, doy mi aprobación, solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, atentamente,



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Ingeniería Civil  
Colegiado No.3177  
Asesor

Hugo L. Montenegro Franco  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO NO 3177

Hugo L. Montenegro Franco  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO NO 3177



**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,  
10 de octubre de 2014

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 SUBTERRÁNEAS EN ZONA 13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mario Francisco 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,

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO  
USAC

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría  
Jefe Del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





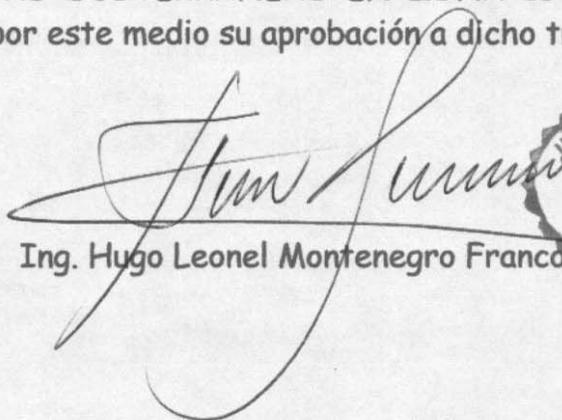
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<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 y del Coordinador del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Mario Francisco Montenegro Contreras, titulado ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONA 13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

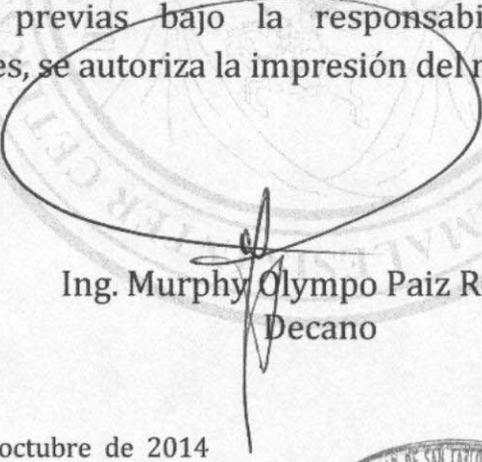


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 577.2014

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 ZONA 13 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Mario Francisco Montenegro Contreras**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 23 de octubre de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Es quien me ha dado paciencia, sabiduría, inteligencia, para enfrentar los retos antepuestos en la vida.
<b>Mis padres</b>	Ingeniero Hugo Leonel Montenegro y Marisol de Montenegro, porque me han dado la vida, me han protegido y enseñado el valor de la vida y la familia, me han apoyado en toda decisión que he tomado, y es por ellos que he cumplido la meta de ser un profesional en mi vida.
<b>Mi familia</b>	Dentro de ella me formé y soy la persona que hoy en día soy, gracias a los ejemplos de ellos, luché por la superación y satisfacción propia.
<b>Mi novia</b>	Por estar a mi lado y apoyarme para culminar esta fase.
<b>Mis hermanos</b>	Con ellos nos hemos fijado la meta de llegar a ser profesionales y superarnos.
<b>Mis amigos</b>	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:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por abrirme las puertas y permitirme llegar a ser un profesional.

**Ing. Hugo Montenegro** Por brindarme todo el apoyo e información necesaria, para realizar este trabajo de graduación.

**Montagua** Por permitir desempeñarme como profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. RECURSOS HIDRÁULICOS.....	1
1.1. El ciclo hidrológico .....	1
1.1.1. Sólido.....	4
1.1.2. Líquido .....	4
1.1.3. Gaseoso .....	5
1.2. Etapas del agua.....	5
1.2.1. Evaporación .....	5
1.2.2. Condensación.....	6
1.2.3. Infiltración .....	7
1.2.4. Precipitación .....	8
1.2.5. Escorrentía .....	8
1.2.6. Circulación agua subterránea .....	10
1.2.7. Fusión .....	11
1.2.8. Solidificación.....	11
1.3. Recursos hidráulicos existentes .....	11
1.3.1. Aguas superficiales.....	12
1.3.1.1. Precipitación y clima .....	12
1.3.1.2. Cuencas de drenajes .....	13
1.3.1.3. Lagos.....	13

1.3.2.	Agua subterránea.....	13
1.3.2.1.	Definición y características de un acuífero .....	14
1.3.2.2.	Hidrogeología.....	14
1.4.	Generalidades del agua y sus usos .....	15
1.4.1.	Suministros .....	16
1.4.1.1.	Usos y necesidades domésticos .....	16
1.4.1.2.	Usos y necesidades comerciales e industriales.....	17
1.4.2.	Energía hidroeléctrica y geotérmica .....	18
1.4.3.	Red de estaciones de aforo fluvial .....	19
2.	PERFORACIÓN DE POZO PARA EXTRACCIÓN DE AGUA POTABLE .....	21
2.1.	Evaluación de un proyecto de agua subterránea.....	21
2.1.1.	Tipo de proyecto .....	21
2.1.1.1.	Residencial.....	22
2.1.1.2.	Municipal.....	22
2.1.1.3.	Industrial.....	22
2.1.1.4.	Agrícola .....	23
2.1.1.5.	Comercial (proyectos de ingeniería) ....	23
2.2.	Métodos de perforación .....	23
2.2.1.	Manuales.....	25
2.2.2.	Mecánicos .....	25
2.3.	Especificaciones técnicas de diseño de un pozo .....	27
2.3.1.	Diámetros de perforación .....	27
2.3.2.	Diámetro del entubado .....	28
2.3.3.	Profundidad.....	28
2.3.4.	Colocación de la captación y rejillas.....	30

2.3.5.	Filtro de grava .....	31
2.3.6.	Sello sanitario .....	32
2.4.	Pruebas a realizar en un pozo mecánico.....	32
2.4.1.	Verticalidad y alineamiento .....	33
2.4.2.	Desarrollo y limpieza.....	34
2.4.3.	Prueba de bombeo .....	35
2.5.	Estudio de condición del pozo .....	35
2.5.1.	Caudal .....	36
2.5.2.	Nivel estático .....	36
2.5.3.	Nivel dinámico.....	37
2.5.4.	Abatimiento .....	37
2.5.5.	Perfil estratigráfico .....	38
2.6.	Mantenimiento de un pozo mecánico .....	40
2.6.1.	Frecuencia de mantenimiento.....	40
2.6.2.	Revisión del equipo de bombeo.....	41
3.	ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	43
3.1.	Calidad del agua subterránea.....	43
3.1.1.	Parámetros del agua.....	43
3.1.2.	Norma COGUANOR NGO 29001 .....	44
3.1.2.1.	Análisis fisicoquímico .....	45
3.1.2.1.1.	Parámetros físicos .....	45
3.1.2.1.2.	Parámetros químicos....	48
3.1.2.2.	Análisis bacteriológico .....	54
3.1.2.2.1.	Examen microbiológico.....	55
3.2.	Contaminantes del agua subterránea.....	56
3.3.	Protección de aguas subterráneas .....	58

4.	MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	61
4.1.	Zona y población a analizar .....	61
4.2.	Ubicación de pozos mecánicos.....	61
4.3.	Investigación sobre monitoreo del estado de pozos .....	61
4.3.1.	Nivel de profundidad de perforación .....	62
4.3.2.	Nivel de agua en actualidad .....	63
4.4.	Propuesta de planificación para reducir el agotamiento de agua subterránea .....	63
4.4.1.	Cronograma de mantenimiento a los pozos existentes .....	64
4.4.2.	Monitores de niveles de agua potable.....	64
4.4.3.	Estudio para ejecución o perforación de nuevos pozos.....	65
4.4.4.	Comparación de los niveles de agua .....	66
5.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	69
5.1.	Legislación tratados y convenios vigentes para el control ambiental en la construcción de pozos .....	70
5.1.1.	Decreto 116-96 Ley de Fomento a la Difusión de la Conciencia Ambiental.....	70
5.1.2.	Decreto 42-2001 Ley de Desarrollo Social, artículo 22 Población, Ambiente y Recursos.....	71
5.1.3.	Constitución Política de la República de Guatemala.....	72
5.1.3.1.	Artículo 64 .....	72
5.1.3.2.	Artículo 82 .....	72
5.1.3.3.	Artículo 97 .....	73
5.1.3.4.	Artículo 119 inciso c) y d) .....	73
5.1.4.	Decreto 12-2002 Código Municipal .....	73

5.1.4.1.	Artículo 35 literal y) .....	74
5.1.4.2.	Artículo 68 literal a) y c) .....	74
5.1.4.3.	Artículo 95.....	74
5.1.4.4.	Artículo 130.....	75
5.1.4.5.	Artículo 142 literal B).....	75
5.1.4.6.	Artículo 147 literal B).....	76
CONCLUSIONES .....		77
RECOMENDACIONES .....		79
BIBLIOGRAFÍA .....		81
ANEXOS .....		83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	El ciclo hidrológico.....	3
2.	Diagrama de escurrimiento .....	9
3.	El agua subterránea y los pozos .....	26
4.	Diámetros y tubería de un pozo .....	28
5.	Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejilla .....	31
6.	Perfil estratigráfico.....	38
7.	Niveles de un pozo mecánico.....	39
8.	Contaminación del agua.....	58
9.	Sensor de nivel de agua.....	65
10.	Gráfico de niveles del agua.....	67

### TABLAS

I.	Diámetros de perforación según proyecto.....	27
II.	Parámetros físicos del agua potable .....	47
III.	Parámetros químicos del agua potable .....	54
IV.	Nivel de profundidad de perforación.....	62
V.	Nivel de agua en la actualidad .....	63
VI.	Cronograma de mantenimiento .....	64



## 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.

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



## RESUMEN

La finalidad de este estudio es principalmente evaluar el estado actual de los recursos hídricos subterráneos en la zona 13 de la ciudad capital de Guatemala, de manera que permita proporcionar la información suficiente sobre la explotación actual de las reservas explotables.

Este documento contiene un estudio hidrológico, cuyo resultado es la obtención información técnica actualizada de las fuentes de agua subterránea (cantidad, uso, tipo, estado, número de pozos equipados, características de estos y su masa de explotación). Asimismo, definir mediante el análisis de los resultados, propuestas para la ubicación para la perforación de pozos.

En este estudio se muestra el monitoreo que se realizó al sistema de abastecimiento con el que cuentan algunas edificaciones y sectores importantes de la zona 13 de la ciudad de Guatemala, 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 dan propuestas acerca de las medidas que se pueden optar para que el suministro de agua potable siga siendo eficiente.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el estado actual de las fuentes de agua subterránea en la zona 13 de la ciudad de Guatemala, de manera que permita proporcionar información actualizada para el planteamiento de soluciones prácticas y concisas que ayuden a una mejor conservación del recurso en este sector.

### **Específicos**

1. Determinar los márgenes y niveles actuales de agua subterránea.
2. Establecer los parámetros a tomar en cuenta para aprovechamiento del agua.
3. Comprender la importancia de la prevención del agua subterránea y los parámetros que rigen su calidad.
4. Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales de los pozos para proponer alternativas para su mejor funcionamiento.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala enfrenta grandes desafíos para lograr una gestión adecuada de sus recursos hídricos nacionales. El agua subterránea es un recurso importante para las actividades del ser humano, desafortunadamente por la actividad de la humanidad se ha convertido en un recurso finito, porque es interrumpido 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, una 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.

La zona 13 de la ciudad capital actualmente presentan un repunte en el desarrollo habitacional y comercial, debido a la escases de vital líquido los desarrolladores de proyectos se ven obligados a la perforación de pozos mecánicos para abastecerse de este recurso que es indispensable, pero el ser humano no le da importancia al daño que está causándole a los mantos friáticos.

Lo cual lleva al incremento de la explotación del agua subterránea del sector, 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**

Los recursos hidráulicos se constituyen en uno de los recursos naturales renovables más importantes para la vida. Los recursos naturales pueden beneficiar a las comunidades pero dañan al medio ambiente. La hidráulica es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. El funcionamiento básico consiste en aprovechar la energía cinética del agua almacenada, de modo que accione las turbinas hidráulicas.

Para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año. La presa sirve también para aumentar el salto y así mejorar su aprovechamiento.

Estos recursos lo constituyen los ríos, los lagos, los océanos, el agua atmosférica y el agua subterránea. Estos recursos se hacen presentes en todas las actividades del ser humano y son toda el agua existente en el medio, se presenta en distintos estados y su interacción se rige por medio del ciclo hidrológico.

## **1.1. El ciclo hidrológico**

El agua en la naturaleza no permanece estática, en el cual se definen diferentes etapas o fases; estas, 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.

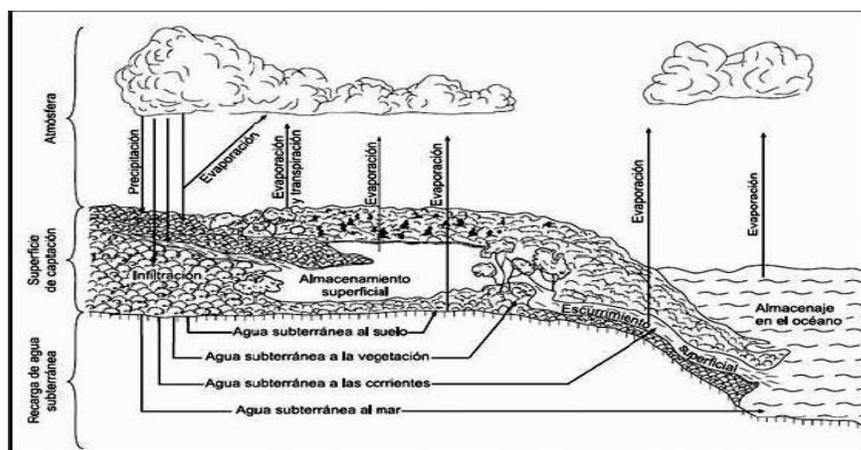
El agua que cae directamente al suelo, será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, y otros.), otra parte correrá por la superficie, dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que 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 de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo.

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 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 RASCON, Laura Elena. *Principio de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico* p. 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.

### **1.1.1. Sólido**

Al estar el agua en estado sólido, todas las moléculas se encuentran unidas mediante un enlace de hidrógeno, que es un enlace intermolecular y forman una estructura parecida a un panal de abejas, lo que explica que el agua sea menos densa en estado sólido que en líquido. La energía cinética de las moléculas es muy baja, es decir que las moléculas están casi inmóviles.

Una de las peculiaridades del agua es que al congelarse tiende a expandirse y disminuir su densidad.

### **1.1.2. Líquido**

El estado líquido es un estado de agregación de la materia intermedio entre el estado sólido y el estado gaseoso. Las moléculas de los líquidos no están tan próximas como las de los sólidos, pero están menos separadas que las de los

gases. Las moléculas en el estado líquido ocupan posiciones al azar que varían con el tiempo.

### **1.1.3. Gaseoso**

Cuando el agua es gaseosa, la energía cinética es tal que se rompen todos los enlaces de hidrógeno quedando todas las moléculas libres. El vapor de agua es tan invisible como el aire; el vapor que se observa sobre el agua en ebullición o en el aliento emitido en aire muy frío, está formado por gotas microscópicas de agua líquida en suspensión, lo mismo que las nubes.

## **1.2. Etapas del agua**

Las etapas 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 del ciclo del agua, y él depende de una atmósfera no contaminada y de un cierto grado de pureza del agua, porque con el agua contaminada se dificulta la evaporación y se entorpece el ciclo.

### **1.2.1. 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 esta 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.

### **1.2.2. Condensación**

La condensación es el proceso por el cual el agua cambia de fase, de vapor o gas a estado líquido. La condensación es responsable de la formación de las nubes. Algunos ejemplos comunes de la condensación son: el rocío que se forma en la hierba en horas de la madrugada, los vidrios de los lentes que se empañan cuando se entra en un edificio caliente en un frío día de invierno, o las gotas que forman en un vaso con una bebida fría en un día caliente de verano.

La condensación es un proceso de cambio de fase a través del cual el vapor de agua se convierte en líquido a causa del enfriamiento del aire. Cuando el aire caliente se refresca, el agua sale del vapor que está en el agua caliente y se condensa en forma líquida.

### **1.2.3. 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: se presenta 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.

#### **1.2.4. Precipitación**

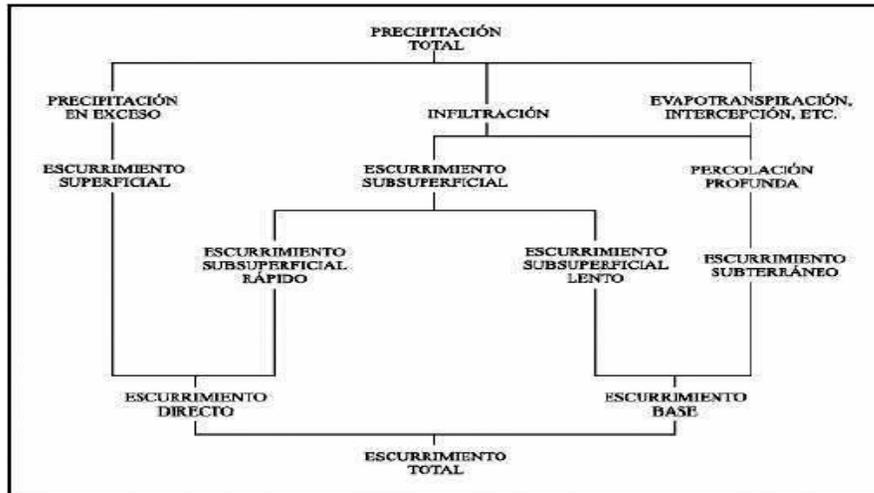
Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa), se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través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

#### **1.2.5. 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 RASCON, Laura Elena. *Principio de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico* p. 67.

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

#### **1.2.6. Circulación agua subterránea**

Existe un fenómeno del escurrimiento 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.

### **1.2.7. Fusión**

La fusión es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia del estado sólido al estado líquido por la acción del calor.

El proceso de fusión de la materia es el mismo que el de fundición, pero este término se aplica generalmente a sustancias como los metales, que se licuan a altas temperaturas, y a sólidos cristalinos. Cuando una sustancia se encuentra a su temperatura de fusión, el calor que se suministra es absorbido por la sustancia durante su transformación, y no produce variación de su temperatura. Este calor adicional se conoce como calor de fusión. El término fusión se aplica también al proceso de calentar una mezcla de sólidos para obtener una disolución líquida simple, como en el caso rompan, desaparezca la distribución regular o lo que es lo mismo la estructura cristalina y se inicie el paso al estado líquido, es decir la fusión.

### **1.2.8. Solidificación**

La solidificación es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia de líquido a sólido producido por una disminución en la temperatura o por una compresión de este material. Es el proceso inverso a la fusión.

## **1.3. Recursos hidráulicos existentes**

El hombre a través de la historia, se ha visto obligado a buscar alternativas para poder obtener recursos hidráulicos, ya que estos 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.

### **1.3.1. 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.

#### **1.3.1.1. Precipitación y clima**

Un río 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 en el lugar viven, 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.

### **1.3.1.2. Cuencas de drenajes**

Se entiende por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas.

### **1.3.1.3. 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 este 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.

## **1.3.2. 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.

#### **1.3.2.1. Definición y características de un 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.

#### **1.3.2.2. Hidrogeología**

Es una rama de las ciencias geológicas que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación, así su definición dice: la hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital

de ciertos elementos químicos, como así también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos. El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarcan: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, fisuración, su composición química, los rasgos geológicos y geotectónicos, es así que la investigación hidrogeológica implica, entre otras, tres temáticas principales:

- El estudio de las relaciones entre la geología y las aguas subterráneas.
- El estudio de los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos.
- El estudio de la química de las aguas subterráneas (hidroquímica e hidrogeoquímica).

#### **1.4. Generalidades del agua y sus usos**

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 organismo vivientes y en el funcionamiento de la tierra.

Para 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.

El abasto fijo mundial de agua en todas sus formas (gaseoso, líquido y sólido) es enorme. Sin embargo, 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.

#### **1.4.1. Suministros**

Son muchos los usos que se le pueden 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 todos los seres vivos que necesitan de este recurso para poder tener sustento.

##### **1.4.1.1. Usos y necesidades domésticos**

Por supuesto que uno de los usos más importantes que se le da al agua es en los propios hogares. Este tipo de uso corresponde a la categoría de uso doméstico. Los usos domésticos incluyen agua para todas las cosas que se hace en casa: tomar agua, preparar los alimentos, bañarse, lavar la ropa y los utensilios de cocina, cepillarse los dientes, regar su jardín, otros.

El agua generalmente llega a través de una de las dos maneras que se describen a continuación. Ya sea que la sirva el departamento de agua de la ciudad o condado, o por propio suministro.

La gente que se abastece de su propia agua, generalmente la obtiene del agua subterránea.

Este consumo puede variar entre límites más o menos amplios, dependiendo de los hábitos higiénicos de la población, nivel y desarrollo de la vida de los pueblos, facilidades disponibles de los servicios, tarifas, condiciones climáticas, estaciones del año, otros, y por consiguiente es difícil establecer una cifra.

#### **1.4.1.2. Usos y necesidades comerciales e industriales**

Las necesidades del agua en la industria son muy variables, y depende fundamentalmente de la industrialización de la ciudad o región y del tipo de industrias, los cuales necesitan cada día más agua para la elaboración de sus productos, refrigeración y producción de vapor.

En los procesos industriales el agua realiza importantes funciones: se utiliza para transportar otros materiales en diferentes procedimientos de lavado, como prima y en un sin número de otras aplicaciones que pueden ser exclusivas de una sola industria e incluso de una sola planta.

El agua es un medio adecuado y económico para el lavado general de equipos industriales. Además de la estética, lavar el equipo en la industria es muy importante, ya que evita que se contaminen los productos con el polvo o

con basura, como medida de seguridad (evita que se acumulen los desechos en el piso y no resbalarse o caerse y lastimarse) y para evitar el polvo que puede dañar al equipo.

#### **1.4.2. Energía hidroeléctrica y geotérmica**

La energía hidroeléctrica aprovecha el movimiento del agua para convertirlo en corriente eléctrica comercial. La primera vez que esto se hizo fue en Northumberland (Gran Bretaña) en 1880 y es una tecnología que se sigue aprovechando en la actualidad con pocas modificaciones.

El funcionamiento es sencillo, convierte la energía potencial del agua a cierta altura en energía eléctrica. Se permite la caída del fluido y la energía potencial se convierte en cinética alcanzando gran velocidad en el punto más bajo; en este punto se le hace pasar por una turbina y provoca un movimiento rotatorio en un generador que a su vez se convierte en energía eléctrica de tensión y frecuencia desordenadas. Una vez extraída la energía eléctrica el agua se devuelve al río para su curso normal, pudiéndose aprovechar de nuevo para obtener energía eléctrica aguas abajo o para el consumo humano.

Se denomina turbina a la máquina que se emplea para transformar energía mecánica en energía eléctrica. Hay dos tipos fundamentales de turbinas para aprovechar la energía hidráulica, turbina Pelton y Francis-Kaplan; la primera se utiliza en el caso de saltos superiores a 200 metros y pequeños caudales, normalmente para presas situadas en zonas de alta montaña; las segundas son más indicadas en el caso de saltos menores.

La geotermia no es más que el calor interno de la Tierra. Este calor interno calienta hasta las capas de agua más profundas: al ascender, el agua caliente o

el vapor producen manifestaciones, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para calefacción desde la época de los romanos. Hoy en día, los progresos en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo.

La Tierra posee una importante actividad geológica. Esta es la responsable de la topografía actual del mundo, desde la configuración de tierras altas y bajas (continentes y lechos de océanos) hasta la formación de montañas. Las manifestaciones más instantáneas de esta actividad son el vulcanismo y los fenómenos sísmicos. El núcleo del planeta es una esfera de magma a temperatura y presión elevadísimas. De hecho, el calor aumenta según se desciende hacia el centro de la Tierra: en bastantes pozos petrolíferos se llega a 100 grados Celsius a unos 4 kilómetros de profundidad.

Pero no es necesario instalar larguísimos colectores para recoger una parte aprovechable de ese calor generado por la actividad geológica de la Tierra. Puede ser absorbido de colectores naturales, como por ejemplo géisers o simples depósitos de aguas termales.

### **1.4.3. Red de estaciones de aforo fluvial**

Una estación de aforo es un punto situado en el cauce de un río donde se mide el caudal del río ( $Q$ ).

La medida directa en forma continua de los caudales es técnicamente complicada, por lo que se busca la medida de una variable auxiliar cuyo conocimiento permita a través de una función intermedia la determinación del caudal.

La variable auxiliar idónea será el nivel de las aguas en el cauce ( $h$ ), medida con un limnómetro o limnógrafo, y la función intermedia ( $f$ ) se denomina curva de gastos, de modo que para cada valor instantáneo de  $h$  se puede obtener el valor del caudal  $Q$  en el mismo instante.

Para determinar la curva de gastos que establece una correspondencia entre los niveles  $h$  y los caudales que circulan por la estación de aforo, se parte de aforos directos que permiten obtener pares de valores ( $h_i, Q_i$ ).

La estación de aforo debe situarse en un sector del cauce del río que se encuentre en régimen de semimódulo: cuando el caudal que circula por un cauce sólo depende del nivel de las aguas dentro del tramo que lo limita, pero no del nivel aguas abajo, se dice que está en régimen de semimódulo.

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

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

Como en todo proyecto se debe realizar una evaluación previa para poder verificar la viabilidad del mismo, en el caso del tema de agua potable 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 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 este importante recurso.

#### **2.1.1. Tipo de proyecto**

El recurso de agua subterránea es importante para poder suplir necesidades de agua potable, pero esta necesidad 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 y por los distintos factores que antes se han mencionado.

#### **2.1.1.1. Residencial**

Un proyecto de este tipo abarca desde la construcción de un pozo mecánico para una residencia, hasta un complejo residencial o una colonia, que en la actualidad se da con frecuencia, ya que la construcción de proyectos habitacionales ha proliferado bastante en los últimos años en el área metropolitana, los planificadores y desarrolladores han encontrado en la extracción de agua subterránea la alternativa más viable para poder suministrar agua potable de una manera adecuada.

#### **2.1.1.2. 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, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

#### **2.1.1.3. 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 las empresas municipales de agua, deben obtener este servicio por medio de pozos de extracción de agua subterránea.

#### **2.1.1.4. Agrícola**

Guatemala es un país principalmente agrícola y el control de los cultivos es de mucho interés, es por ello que algunas comunidades apoyadas por el gobierno central, por las municipalidades, ayudas internacionales o por sus propios medios han optado por la construcción de pozos subterráneos para atender la demanda de agua en sus cultivos y poder mantener y preservar los mismos, aunque sí de proyectos de riego se piensa son los ingenios azucareros los que requieren de grandes dotaciones de agua y los que en la actualidad poseen pozos con grandes producciones de agua subterránea.

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

En proyectos de ingeniería se encuentran muchas veces problemas al hacer cortes en el terreno o al momento de cimentar estructuras de diferentes tipos, ya que en el subsuelo suelen haber niveles freáticos que pueden entorpecer los trabajos.

Una alternativa muy usada es la de construir pozos de 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.

### **2.2. 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 empleara, existen varios factores que se deben considerar antes de elegir un método en particular

y estos son el diámetro del pozo, la profundidad del pozo y las formaciones geológicas que se van a penetrar, los métodos más utilizados son los que a continuación se describen.

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 herramienta comúnmente llamada cuchara que es un 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 una barrena o trepano giratorio comúnmente llamado 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 y 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 más rápido 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: el método de rotopercusión 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.

### **2.2.1. 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 subsuperficie que se pueden aprovechar. Estos han sido muy utilizados sobre todo en áreas rurales y su producción de agua 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 y no es recomendable profundizar demasiado este tipo de estructuras ya que puede resultar peligroso para las personas que los excavan.

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.

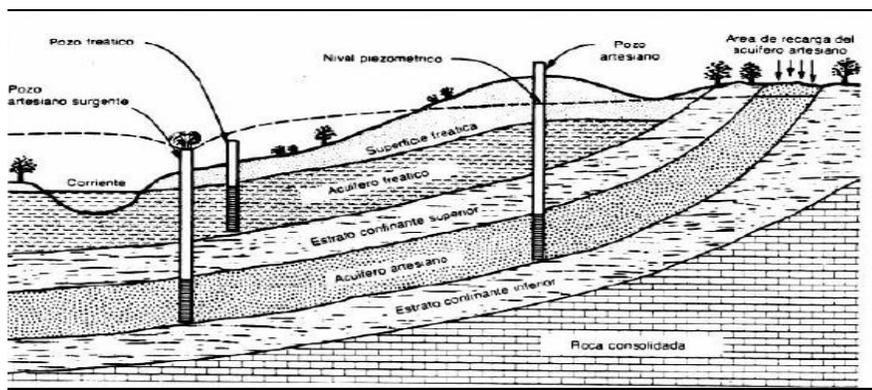
### **2.2.2. Mecánicos**

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 construcción se necesita de equipo especializado para su

perforación y mano de obra técnica, así como de bombas para la extracción de este importante recurso.

La construcción de este tipo de estructuras ha sido la alternativa en las grandes ciudades ya que resulta más fácil su extracción y mejor el suministro de agua potable. Más adelante se ampliará el tema de pozos profundos de extracción de agua subterránea (figura 3).

Figura 3. El agua subterránea y los pozos



Fuente: estudios y monitoreo, de una empresa privada.

Entre los pozos profundos se puede encontrar un tipo que requiere de una especial atención, estos son los pozos conocidos como pozos artesianos o cautivos. Un pozo artesiano es aquel tipo de manantial o pozo que comunica con un acuífero cautivo de agua, ubicado entre dos 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 hablará 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 minorado 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.

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

Un pozo mecánico difiere de otro debido a sus especificaciones técnicas, estas son de mucha importancia porque serán las que regirán el comportamiento del pozo cuando se encuentre en funcionamiento, entre las especificaciones más relevantes se encuentran las que a continuación se describen.

#### 2.3.1. Diámetros de perforación

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

Tabla I. Diámetros de perforación según proyecto

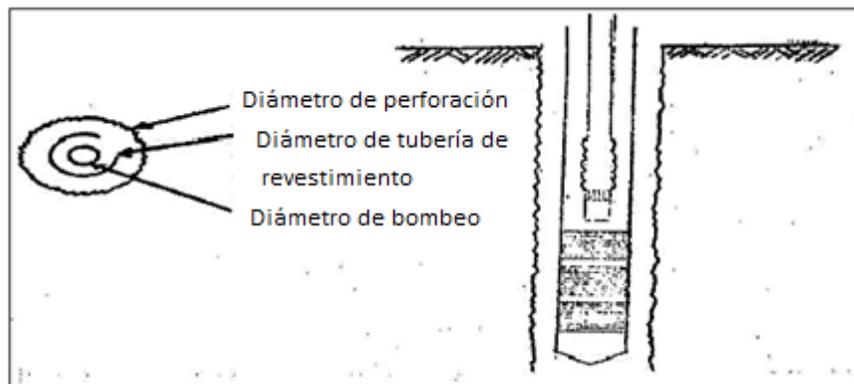
Tipo de proyecto	Diámetro sugerido
Residencial	Condominio 8" Casa 6" Colonia 8"
Municipal	Empresas de agua 10", 12", 14"
Gubernamental	Apoyo a poblaciones 8", 10"
Industrial	Embotelladoras 10", 12", 14" Maquilas 8", 10" Rastros 8", 10" Alimentos 8", 10"
Riego	Ingenios 12", 14"
Generación de energía	8",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

Fuente: MADEREY RASCON, Laura Elena. *Principio de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico* p. 67.

### 2.3.2. 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 puedan 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 4. Diámetros y tubería de un pozo



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

### 2.3.3. Profundidad

Un factor muy importante es la profundidad que se le dará al pozo mecánico, para poder saber una profundidad de perforación los calculistas y constructores de pozos mecánicos de extracción de agua subterránea hacen uso de muchos métodos que ya antes han sido descritos en este trabajo de

graduación y son; reconocimientos geológicos, reconocimientos hidrológicos, métodos geofísicos, perforaciones de exploración o por analogía proyectual.

Estos procesos de prospección de agua subterránea suelen ser de mucha 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 este contiene en su retorno a la superficie, con base en todo esto se puede realizar un diseño de la profundidad del pozo mecánico.

- Lodo de perforación

El lodo de perforación es un elemento de mucha importancia en el momento de la perforación de un pozo y sus funciones principales son: estabilizar las paredes del pozo, 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 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 de una manera disciplinada y llevando un buen control de calidad para que el lodo cumpla con los objetivos propuestos.

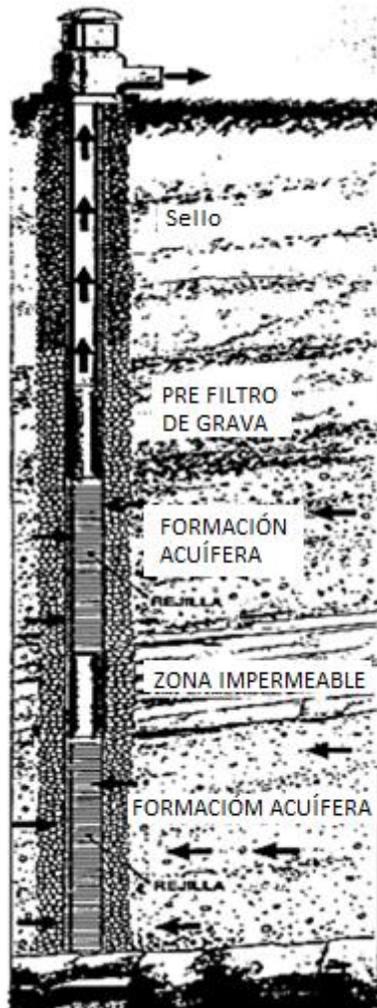
#### **2.3.4. Colocación de la captación y rejillas**

Una rejilla, longitud ranurada o filtro de un pozo sirve como sección de captación de un pozo 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 muchos factores que cuentan en la construcción de un buen pozo, sin embargo, 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 es el corazón del pozo mecánico.

Figura 5. Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejilla



Fuente: elaboración propia, programa Microsoft Visio 2010.

### 2.3.5. Filtro de grava

Como se observa en la figura 5, 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 este las rejillas tienden a taparse, esto producirá una baja en la producción de agua en el pozo, y el mantenimiento del mismo tendrá que hacerse con una mayor eventualidad.

### **2.3.6. 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. Otro muy utilizado para sello sanitario se realiza con cemento.

De este modo no solo se 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, pero se recomienda que este no sea menor de 30 pies de longitud.

## **2.4. 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 este posee.

### **2.4.1. Verticalidad y alineamiento**

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

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

- Que la guía esté suspendida en un punto inamovible fijo durante toda la prueba de verticalidad.
- El cable que la suspende se mantiene perfectamente recto y tenso durante todo el descenso de la guía.
- La deflexión del cable puede ser medida en forma muy precisa.
- El punto de unión del cable con el contrapeso debe estar siempre 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 tiene que poder 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 esto ocasionará problemas.

## **2.4.2. 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, para asegurar que no existan problemas en el funcionamiento del pozo:

- 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 poder limpiar al pozo de dos tipos de materiales que pueden afectar el funcionamiento del mismo, siendo estos:

- Materiales granulares no consolidados: siendo la función principal eliminar los materiales finos de las proximidades del pozo, facilitando así la circulación del agua hacia el pozo.
- Materiales consolidados: siendo la misión principal 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 poder limpiar las rejillas que poseen residuos que las estén tapando.

### **2.4.3. 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 en el pozo. También se pueden determinar parámetros de interés en el acuífero como son; la conductividad hidráulica, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento.

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

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

### **2.5. Estudio de condición del pozo**

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.

### **2.5.1. Caudal**

El caudal producido por un pozo mecánico es sin duda alguna el punto de mayor interés, porque lo que se busca es que el pozo pueda abastecer adecuadamente una necesidad de agua potable, hay varios métodos para poder saber cuál es el caudal que está produciendo un pozo, el más confiable es el de medidor de flujo, pero 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 de graduación los aforos se realizaron por el método volumétrico.

### **2.5.2. 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.

### **2.5.3. 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 se 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 dos 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.

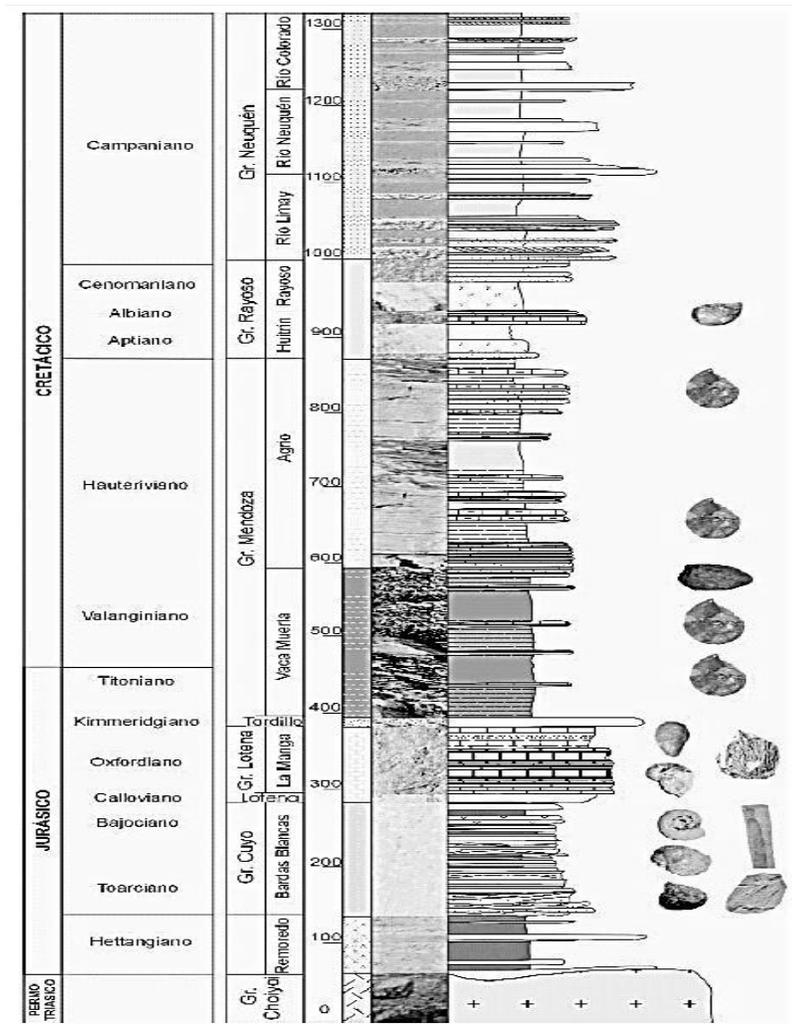
### **2.5.4. Abatimiento**

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.

## 2.5.5. 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 6. Perfil estratigráfico

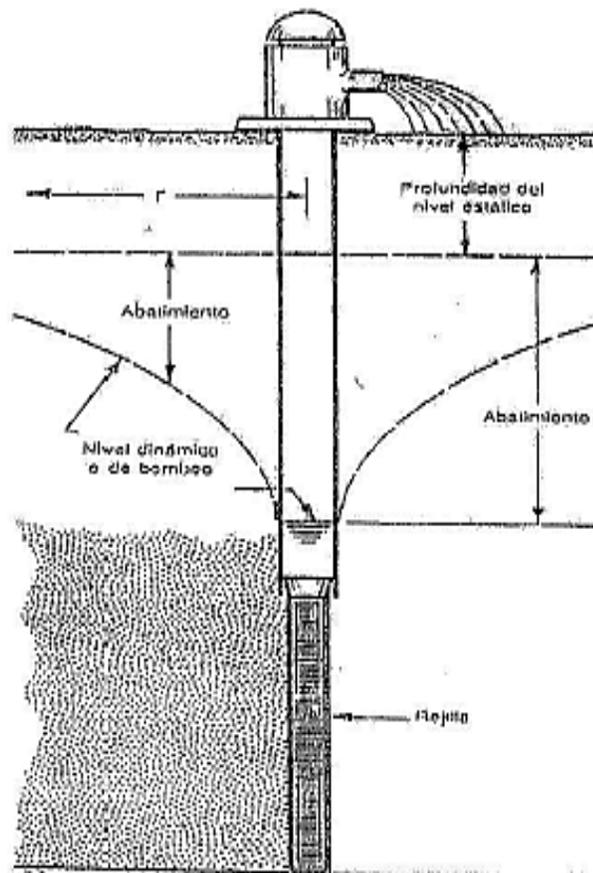


Fuente: elaboración mediante muestras de suelo según avance de perforación, con programa Microsoft Visio 2010.

## Caudal específico

No todos los pozos son iguales, a pesar de tal vez tener un caudal de aforo idéntico entre dos pozos, también existe un factor importante que es el caudal específico, este no es más que el caudal producido por unidad de abatimiento (gpm/pie), obteniendo esto se encuentran las condiciones reales en las que se encuentra el pozo, (figura 7).

Figura 7. Niveles de un pozo mecánico



Fuente: elaboración a mano en base a conocimientos y perfiles, con programa Microsoft Visio 2010.

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

## **2.6. 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 en 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, claro está 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 más adelante se detallan.

### **2.6.1. Frecuencia de mantenimiento**

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

mantenimiento preventivo deben ser periódicas y 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 fisicoquímico 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.

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

El equipo hidráulico de bombeo juega un papel muy 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 unas 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 esta válvula.

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 diez años, es normal que pasado este tiempo comience a dar problemas por eso se sugiere que sea remplazada cumplida su vida útil.

### **3. ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA**

#### **3.1. 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. La utilidad del agua subterránea se ve afectada por el contenido de minerales disueltos, si alguno de estos minerales excede de la cantidad que puede tolerarse el agua debe de ser tratada, todos estos parámetros serán estudiados más a fondo en esta sección.

##### **3.1.1. Parámetros del agua**

El agua potable se define como aquella que 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.

### **3.1.2. Norma COGUANOR NGO 29001**

El control de calidad del agua es una de las tareas más importantes, entre las que se destacan: exámenes bacteriológicos, fisicoquímico parcial, fisicoquímico sanitario, fisicoquímico especial y análisis de desechos líquidos. Para tales efectos se llevan a cabo exámenes bacteriológicos y análisis fisicoquímicos cuyos resultados se comparan con la Norma COGUANOR NGO 29001.

Estos 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 todas 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 dos 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, el agua 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 el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

### **3.1.2.1. Análisis fisicoquímico**

En el análisis fisicoquímico se indican cuáles deben ser los análisis de autocontrol y los análisis en el grifo del consumidor, para ver la calidad del agua. Es cierto que el mayor riesgo de infección fisicoquímico está dado en aguas de pozo.

#### **3.1.2.1.1. Parámetros físicos**

Este tipo de análisis se relaciona con la medición y registro de aquellas 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 mientras que 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 mucho 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 diez 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 del abastecimiento de agua 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, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. En la tabla II se enumeran los parámetros físicos del agua según la norma que la rige.

Tabla II. **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: laboratorio químico, Anaiisa.

### **3.1.2.1.2. 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 de la potabilidad del agua se hace por dos razones.

Para determinar si la concentración de los constituyentes químicos está conforme a las normas 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 estos tienden a estar en exceso. Esto 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 analizara el agua para determinar al cloro (el cloro residual), se encontraría menos cloro presente que el que se adicionó. 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 el agua dos 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 al agua es para producir directamente o mediante la destrucción del amoniaco 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 amoniaco ya presente en el agua o agregado, un residual activo combinado. Este también es regularmente más efectivo y más rápido en su acción bactericida que el cloro residual libre disponible.

- Fluoruros

Estos 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 mg/L de fluoruros para prevenir la caries dental, y son especialmente sensibles a las dentaduras de niños.

- Sulfatos

Estos 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 este 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.

Es propio de la comida, más que del agua. El agua que se bebe contribuye solamente con una muy baja cantidad del total de nitrato que el organismo recibe. Aunque son bajos los niveles de nitrato que naturalmente ocurren, 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 aguas de pozos profundos. El agua que contiene cantidades pequeñas de hierro puede parecer clara cuando recién es extraída, pero podrá rápidamente tornarse de un color rojizo, después de su exposición al aire. Este proceso es denominado oxidación.

La concentración de hierro es medida en miligramos por litro. La coloración en general se transforma en problema cuando la concentración es mayor que 0,3 miligramos 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 al agua, 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 de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Son estas 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 el sabor del agua, esta puede provocar depósitos de carbonatos en conducciones de lavadoras, calentadores y calderas.

- Alcalinidad

La alcalinidad significa la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básicos o ácidos. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, 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 mg/L de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del 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 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.

- Manganeseo

Este elemento es el más difícil de hallar en el agua que el hierro, pero es más dañino para los procesos industriales. En aguas claras de pozos profundos, usualmente se encuentran en forma de bicarbonato manganeso, 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 III.

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

Características químicas	Límite Máximo Admisible (LMA)	Límite 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, Anaiisa.

### 3.1.2.2. **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 lleva consigo 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.

#### **3.1.2.2.1. Examen microbiológico**

El agua que circula por un sistema de distribución debe 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 común y será problema que lleve consigo el agua que los humanos beban.

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.

### **3.2. 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 algo común a todo el 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 los derivados de las 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.

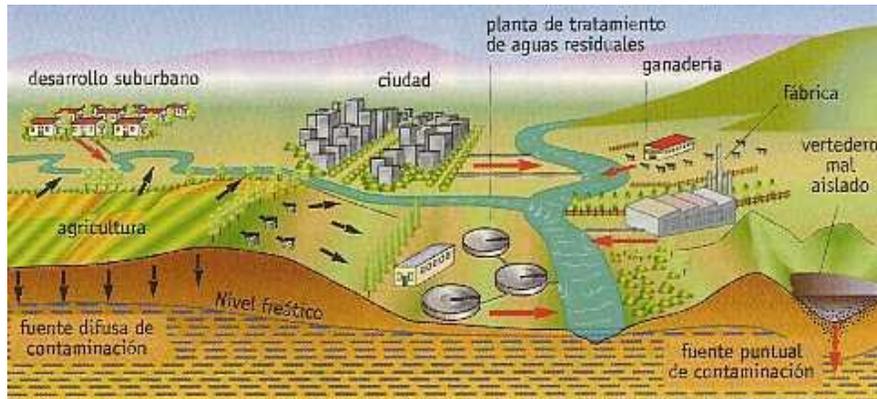
Los recursos son esenciales pero no están bien administrados, protegidos y conservados. La mala disposición de las aguas residuales, los desechos

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, 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 muy costoso (figura 8).

Figura 8. **Contaminación del agua**



Fuente: Google. Consulta: 13 de agosto de 2014.

### 3.3. **Protección de aguas subterráneas**

Para seguir contando con el recurso agua subterránea es necesario que sean protegidos los acuíferos de la contaminación, esto se puede realizar por muchos métodos y es tarea de todas las personas, 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.

Todas 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 solo 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 subsuperficiales en las áreas así definidas.



## **4. MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

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

La zona 13 de la ciudad capital de Guatemala es aquella que se eligió para analizar y a tomar las medidas de niveles de agua en los pozos mecánicos ubicados en edificaciones privadas, los cuales se están aumentando y con ello perforando pozos mecánicos propios para así no pedir el suministro de agua a la Municipalidad de Guatemala.

### **4.2. Ubicación de pozos mecánicos**

A continuación se tiene la ubicación de los pozos que se consideraron como base para la investigación, de donde se obtuvieron los resultados de los niveles de agua y profundidad de perforación:

Av. Las Américas Suites Casa Blanca

15 A. avenida "A" 4 – 59, zona 13

Arriate central avenida Las Américas 2-00, zona 13

13 av. B 24-05 zona 13 Industrias Forcom

### **4.3. Investigación sobre monitoreo del estado de pozos**

A través del monitoreo de estado de los pozos, se mide anualmente el nivel de agua en los mantos acuíferos. Con lo cual se cuenta con información actualizada para evaluar las condiciones bajo las cuales se está explotando el agua subterránea; determinamos el abatimiento promedio anual y el déficit.

Se realizó un monitoreo de las condiciones de funcionamiento de cada pozo mecánico que existe en la zona 13 de la ciudad de Guatemala, este monitoreo consistió en pruebas de aforo para poder saber el caudal que estos están produciendo, medición de los niveles estático y dinámico de los pozos y revisión del equipo de bombeo.

#### 4.3.1. Nivel de profundidad de perforación

Los resultados de la investigación fueron los siguientes niveles de profundidad de perforación de los pozos ubicados en la zona 13 de la ciudad de Guatemala:

Tabla IV. Nivel de profundidad de perforación

DIRECCIÓN	Profundidad de Perforación
Av. Las Américas Suites Casa Blanca	600 ft
15A. avenida "A" 4 - 59 zona 13	700 ft
Arriate central avenida Las Americas 2-00, zona 13	610 ft
13 av. B 24-05 zona 13 Industrias Forcom	490 ft

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. Nivel de agua en actualidad

Los resultados de la investigación arrojaron los siguientes niveles de agua que actualmente tienen los pozos ubicados en la 13 de la ciudad de Guatemala:

Tabla V. Nivel de agua en la actualidad

DIRECCIÓN	Nivel Estático
Av. Las Américas Suites Casa Blanca	275 ft
15A. avenida "A" 4 - 59 zona 13	290 ft
Arriate central avenida Las Americas 2-00, zona 13	350 ft
13 av. B 24-05 zona 13 Indistrias Forcom	350 ft

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Propuesta de planificación para reducir el agotamiento de agua subterránea

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.

#### 4.4.1. Cronograma de mantenimiento a los pozos existentes

Se debe poseer un cronograma de mantenimiento de los pozos mecánicos, este variará dependiendo del componente del pozo y de la cantidad de horas al día que trabaja, este 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 VI).

Tabla VI. Cronograma de mantenimiento

Actividad	Frecuencia
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

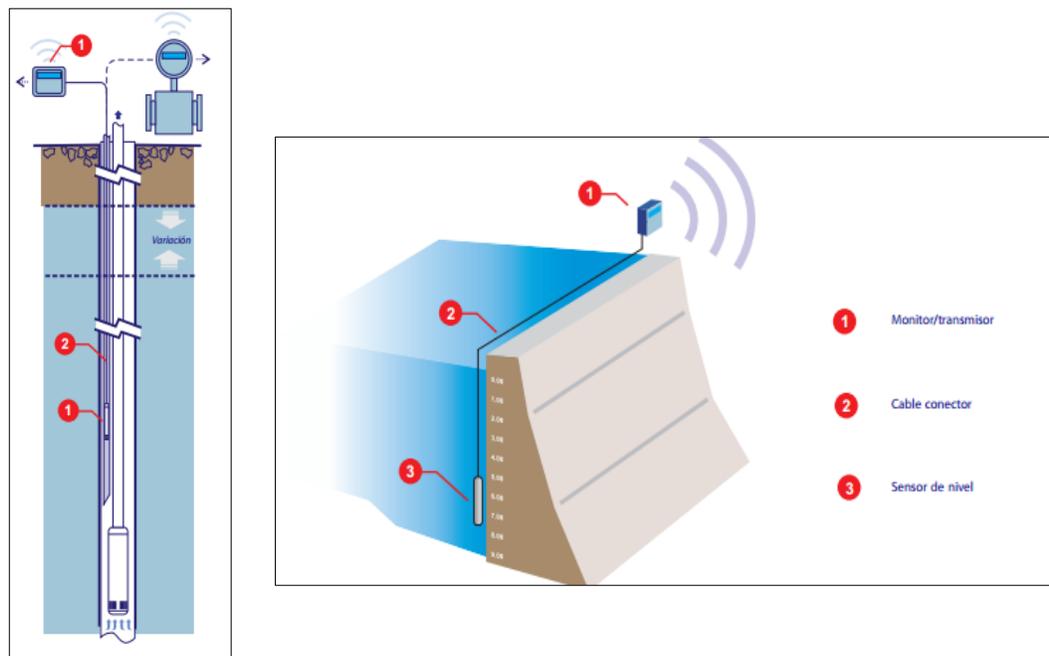
Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Monitores de niveles de agua potable

Son instrumentos de precisión, que mide y registra la altura del nivel de agua por encima del sensor con una resolución de centímetros o hasta milímetros, según sea necesario.

Es una herramienta imprescindible para evaluar el rendimiento y la capacidad de todo tipo de reserva de agua ya que permite conocer la evolución de los niveles del líquido.

Figura 9. **Sensor de nivel de agua**



Fuente: [http://mrtechnologies.com.ar/folleto/Folleto\\_Sensor\\_de\\_Nivel.pdf](http://mrtechnologies.com.ar/folleto/Folleto_Sensor_de_Nivel.pdf). Consulta: 28 de agosto 2014.

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

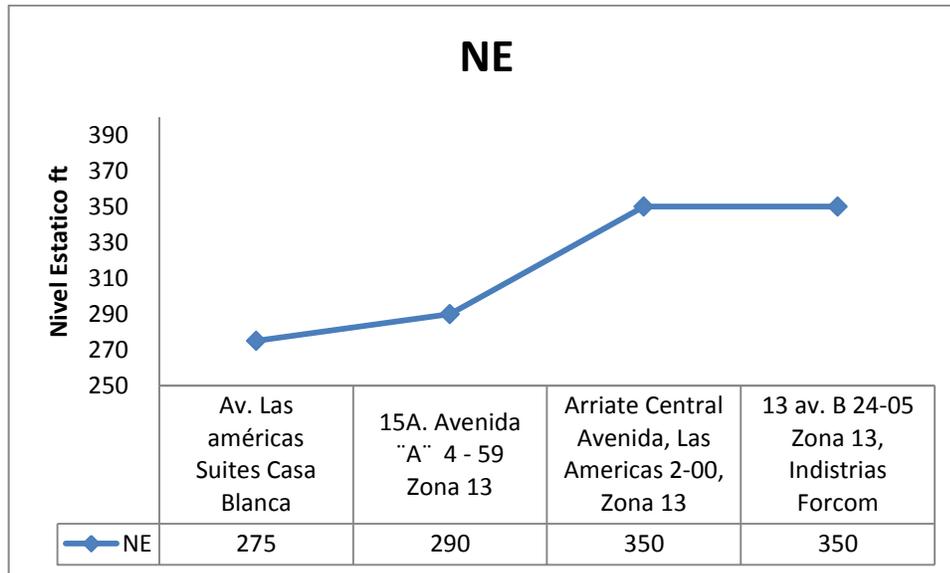
A continuación se listan los estudios que son recomendados ejecutar para optar por la perforación de un pozo para abastecimiento de agua potable en cualquier región:

- Características morfológicas: estas indican en dónde están ubicados, qué 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, otros.
- 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 técnicoadministrativo 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.

#### **4.4.4. Comparación de los niveles de agua**

Se obtuvieron los datos de niveles y caudal producido en los diferentes pozos que se evaluaron, la medida del NE es de mucha importancia compararlo ya que indicará la manera que ha estado comportando el nivel freático según el punto de medición de este.

Figura 10. Gráfico de niveles del agua



Fuente: elaboración propia.



## **5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

Se llama Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento técnicoadministrativo 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. Este procedimiento jurídicoadministrativo se inicia con la presentación de la memoria resumen por parte del promotor, sigue con la realización de consultas previas a personas e instituciones por parte del órgano ambiental, continúa con la realización del Estudio de Impacto Ambiental a cargo del promotor y su presentación al órgano sustantivo. Se prolonga en un proceso de participación pública y se concluye con la emisión de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) por parte del órgano ambiental.

La EIA se ha vuelto preceptiva en muchas legislaciones. Las consecuencias de una evaluación negativa pueden ser diversas según la legislación y según el rigor con que esta se aplique, yendo desde la paralización definitiva del proyecto hasta su ignorancia completa.

El EIA se refiere siempre a un proyecto específico, ya definido en sus particulares tales como: tipo de obra, materiales a ser usados, procedimientos constructivos, trabajos de mantenimiento en la fase operativa, tecnologías utilizadas, insumos, otros.

## **5.1. Legislación tratados y convenios vigentes para el control ambiental en la construcción de pozos**

Los tratados y convenios buscan un equilibrio global entre la conciencia ambiental y la construcción de pozos, basando su importancia en la prevención de posibles daños o faltas contra el ambiente.

### **5.1.1. Decreto 116-96 Ley de Fomento a la Difusión de la Conciencia Ambiental**

La presente Ley establece el marco normativo para la difusión de la educación y conciencia ambiental a través de los medios de comunicación y tiene como objetivos principales:

- Promover la difusión de la educación y conciencia ambiental, en forma permanente, a través de los medios de comunicación del país.
- Coadyuvar a que la población guatemalteca tome conciencia de la necesidad de proteger, conservar y utilizar de manera sustentable los recursos naturales del país.
- Motivar e incentivar a todos los sectores del país a difundir programas de educación y de conciencia ambiental.
- Mantener el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable por medio de la conservación, protección y uso sostenible del patrimonio nacional, apoyándose en los programas generales de políticas ambientales que dicte la autoridad competente en la materia.

- La promoción y difusión de la temática ambiental permanente debe desarrollarse con la elaboración de políticas y programas ambientales que diseñe la autoridad estatal respectiva y que podrán ejecutarse, tanto por entidades gubernamentales como no gubernamentales.
- La toma de conciencia de la vocación forestal de la mayor parte del territorio nacional para fomentar la reforestación y el manejo forestal sustentable.
- Promover y difundir acciones que reduzcan la contaminación de desechos sólidos, visual, auditiva, de aire, agua, suelo y del ambiente en general.

**5.1.2. Decreto 42-2001 Ley de Desarrollo Social, artículo 22  
Población, Ambiente y Recursos**

Población, ambiente y recursos naturales. El Estado, por medio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Economía, Ministerio de Trabajo y Previsión Social, y la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, efectuará evaluaciones de impacto sobre el ambiente y estudios e investigaciones sobre los vínculos, efectos e impactos existentes entre la población y consumo, producción, ambiente y recursos naturales, que sirvan de orientación para realizar acciones dirigidas al desarrollo sostenible y sustentable.

### **5.1.3. Constitución Política de la República de Guatemala**

La Constitución Política de la República de Guatemala es la ley suprema de Guatemala, en la cual se rige todo el Estado y sus demás leyes. La Constitución Política de la República de Guatemala actual fue creada por una Asamblea Nacional Constituyente, el 31 de mayo de 1985, la cual lo hizo en representación del pueblo con el objeto de organizar jurídicamente y políticamente al Estado, así como, también contiene los derechos fundamentales de los miembros de su población. También es llamada Carta Magna.

#### **5.1.3.1. Artículo 64**

Patrimonio natural. Se declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. El Estado fomentará la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales, los cuales son inalienables. Una ley garantizará protección a la fauna y la flora que en ellos exista.

#### **5.1.3.2. Artículo 82**

Autonomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La Universidad de San Carlos de Guatemala, es una institución autónoma con personalidad jurídica. En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

Se rige por su Ley Orgánica y por los estatutos y reglamentos que ella emita, debiendo observarse en la conformación de los órganos de dirección, el principio de representación de sus catedráticos titulares, sus graduados y sus estudiantes.

#### **5.1.3.3. Artículo 97**

Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a proporcionar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua se realicen racionalmente, evitando su depredación.

#### **5.1.3.4. Artículo 119 inciso c) y d)**

En inciso c y d, trata de las obligaciones del Estado. Las cuales son:

- c) Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.
- d) Velar por la elevación del nivel de vida de todos los habitantes del país procurando el bienestar de la familia.

#### **5.1.4. Decreto 12-2002 Código Municipal**

El Código Municipal toma en consideración que el proceso de modernización y descentralización del Estado guatemalteco desarrolla una nueva visión de administración de los recursos naturales.

#### **5.1.4.1. Artículo 35 literal y)**

Competencias generales del Concejo Municipal. Le compete al Concejo Municipal:

Y) La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio.

#### **5.1.4.2. Artículo 68 literal a) y c)**

Competencias propias del municipio. Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, y son las siguientes:

- a) Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato.
  
- c) Pavimentación de las vías públicas urbanas y mantenimiento de las mismas.

#### **5.1.4.3. Artículo 95**

Oficina Municipal de Planificación. El Concejo Municipal tendrá una oficina municipal de planificación, que coordinará y consolidará los diagnósticos, planes, programas y proyectos de desarrollo del municipio. La Oficina Municipal de Planificación podrá contar con el apoyo sectorial de los ministerios y secretarías de Estado que integran el Organismo Ejecutivo.

La Oficina Municipal de Planificación es responsable de producir la información precisa y de calidad requerida para la formulación y gestión de las políticas públicas municipales.

El coordinador de la Oficina Municipal de Planificación deberá ser guatemalteco de origen, ciudadano en ejercicio de sus derechos políticos y profesional, o tener experiencia calificada en la materia.

#### **5.1.4.4. Artículo 130**

Objetivo de las inversiones. Las inversiones se harán preferentemente en la creación, mantenimiento y mejora de los servicios públicos municipales y en la realización de obras sanitarias y de urbanización.

No puede asignarse ni disponerse de cantidad alguna para objetivos ajenos a los fines del municipio.

#### **5.1.4.5. Artículo 142 literal B)**

Formulación y ejecución de planes. La municipalidad está obligada a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y de desarrollo integral de su municipio en los términos establecidos por las leyes. Las lotificaciones, parcelamientos, urbanizaciones y cualquier otra forma de desarrollo urbano o rural que pretendan realizar o realicen el Estado o sus entidades o instituciones autónomas y descentralizadas, así como las personas individuales o jurídicas que sean calificadas para ello, deberán contar con la aprobación y autorización de la municipalidad en cuya circunscripción se localicen.

Tales formas de desarrollo, además de cumplir con las leyes que las regulan, deberán comprender y garantizar como mínimo, y sin excepción alguna, el establecimiento, funcionamiento y administración de los servicios públicos siguientes, sin afectar los servicios que ya se prestan a otros habitantes del municipio:

b) Agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución.

#### **5.1.4.6. Artículo 147 literal B)**

Licencia o autorización municipal de urbanización. La municipalidad está obligada a formular y efectuar planes de ordenamiento territorial y de desarrollo integral de su municipio, en los términos establecidos por las leyes. Las lotificaciones, parcelamientos, urbanizaciones y cualquier otra forma de desarrollo urbano o rural que pretendan realizar o realicen el Estado o sus entidades o instituciones autónomas y descentralizadas, así como personas individuales o jurídicas, deberán contar con licencia municipal.

Tales formas de desarrollo deben cumplir con los requisitos que señalen otras leyes y, en todo caso, cumplir como mínimo con los servicios públicos siguientes:

b) Agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución.

## 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 los 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. Es necesario controlar la cantidad y ubicación de los pozos, para así evitar la perforación de pozos 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 muchos 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 Guatemala: COGUANOR NGO 29001, 1985. 15 p.
2. FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; GÓMEZ, Daniel. *Protección de calidad de agua subterránea*. Mexico: The World Bank, 2003. 128 p.
3. FIGUEROA CABALLEROS, Mario René. *Explotación de aguas subterráneas su operación, control y mantenimiento*. Trabajo de graduación de Ing. Civil Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1990. 176 p.
4. HELWEG J. Otto. *Recursos hidráulicos planeación y administración*. México: Noriega Editores. 1992. 408 p.
5. MONTAGUA. *Pozos perforados*. [en línea] [www.montagua.com.gt](http://www.montagua.com.gt). [Consulta: septiembre de 2014.]



## **ANEXOS**



**ANEXO 1. PRUEBA DE BOMBEO, POZO ZONA 13**

*Pozo 213*

Fecha :	2012-10-09 12:34:03	Página :	1				
PRUEBA DE BOMBEO							
PROPIETARIO:	MERCADEO INMOBILIARIO	Trabajo:	10960				
UBICACION :	15A.AVENIDA "A" 4-50. ZONA 13, GUATEMALA	Prueba :	3000				
EQUIPO :	S-E						
OPERADOR :	ELVIS CANAC						
ORIFICIO 2.5" EN TUBO DE 4"		LINEA DE AIRE A 9 PIES					
NIVEL ESTATICO 290 PIES		PRODUCCION DEL POZO 70 G.P.M.					
NIVEL DINAMICO 410 PIES		ETAPAS DE LA BOMBA DE LA PRUEBA DE BOMBEO 14					
BOMBA INSTALADA A 664 PIES		POTENCIA DE LA BOMBA EN LA PRUEBA DE BOMBEO 29 H.P.					
Hora	Minutos	Nivel en Metros	L. Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
SEPTIEMBRE 28 2.012							
07:00	0	0.00	2.00	0.00	290.00	33	SE ABRIÓ VALVULA A 2" PARA BOMBLEAR 33GPM
07:01	1	95.79	2.00	314.19	24.19	33	
07:02	2	97.59	2.00	320.10	30.10	33	
07:03	3	98.41	2.00	322.78	32.78	33	
07:04	4	98.51	2.00	323.11	33.11	33	
07:05	5	98.18	2.00	325.31	35.31	33	
07:06	6	100.15	2.00	328.49	38.49	33	
07:07	7	100.83	2.00	330.83	40.83	33	
07:08	8	102.07	2.00	334.79	44.79	33	
07:09	9	103.05	2.00	338.00	48.00	33	
07:10	10	103.99	2.00	341.09	51.09	33	
07:12	12	105.18	2.00	344.99	54.99	33	
07:14	14	106.71	2.00	350.01	60.01	33	
07:16	16	106.71	2.00	350.01	60.01	33	
07:18	18	106.71	2.00	350.01	60.01	33	
07:20	20	106.71	2.00	350.01	60.01	33	
07:25	25	107.59	4.00	352.90	62.90	47	SE ABRIÓ LLAVE A 4" PARA BOMBLEAR 47GPM
07:30	30	107.59	4.00	352.90	62.90	47	SE ABRIÓ LLAVE A 5" PARA BOMBLEAR 53 GPM
07:35	35	107.59	4.00	352.90	62.90	47	
07:40	40	108.35	5.00	355.30	65.30	53	
07:45	45	110.00	5.00	360.80	70.80	53	
07:50	50	111.22	5.00	364.80	74.80	53	
07:55	55	112.87	5.00	370.21	80.21	53	

Continuación del anexo 1.

Fecha : 2012-10-03 12:34:03		P R U E B A   D E   P O M B E O				Página :	2
PROPIETARIO: MERCADEO INMOBILIARIO						Trabajo:	10060
UBICACION : 15A.AVENIDA "A" 4-59, ZONA 13, GUATEMALA						Prueba :	3000
EQUIPO : S-8							
OPERADOR : BLVIS CANAC							
Hora	Minutos	Nivel en Metros	L.Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
08:00	00	113.60	5.00	372.90	82.90	53	
08:10	70	113.54	5.00	372.41	82.41	53	
08:20	00	113.54	5.00	372.41	82.41	53	
08:30	30	113.54	5.00	372.41	82.41	53	
08:40	100	113.54	5.00	372.41	82.41	53	
08:50	110	113.54	5.00	372.41	82.41	53	
09:00	120	119.51	9.00	391.99	101.99	70	SE ABRIÓ LLAVE A 9" PARA BOMBLEAR 70 GPM
09:15	135	121.22	9.00	397.00	107.00	70	
09:30	150	121.46	9.00	398.39	108.39	70	
10:00	180	121.74	9.00	399.31	109.31	70	
10:30	210	122.10	9.00	400.49	110.49	70	
11:00	240	122.53	9.00	401.90	111.90	70	
11:30	270	122.87	9.00	403.01	113.01	70	
12:00	300	123.32	9.00	404.49	114.49	70	
13:00	360	123.66	9.00	405.60	115.60	70	
14:00	420	124.09	9.00	407.02	117.02	70	
15:00	480	124.27	9.00	407.61	117.61	70	
16:00	540	124.50	9.00	408.69	118.69	70	
17:00	600	124.79	9.00	409.31	119.31	70	
18:00	660	124.94	9.00	409.80	119.80	70	
19:00	720	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
20:00	780	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
21:00	840	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
22:00	900	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
23:00	960	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
00:00	1,020	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
SEPTIEMBRE 29 2.012							
01:00	1,080	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
02:00	1,140	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
03:00	1,200	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
04:00	1,260	125.00	9.00	410.00	120.00	70	

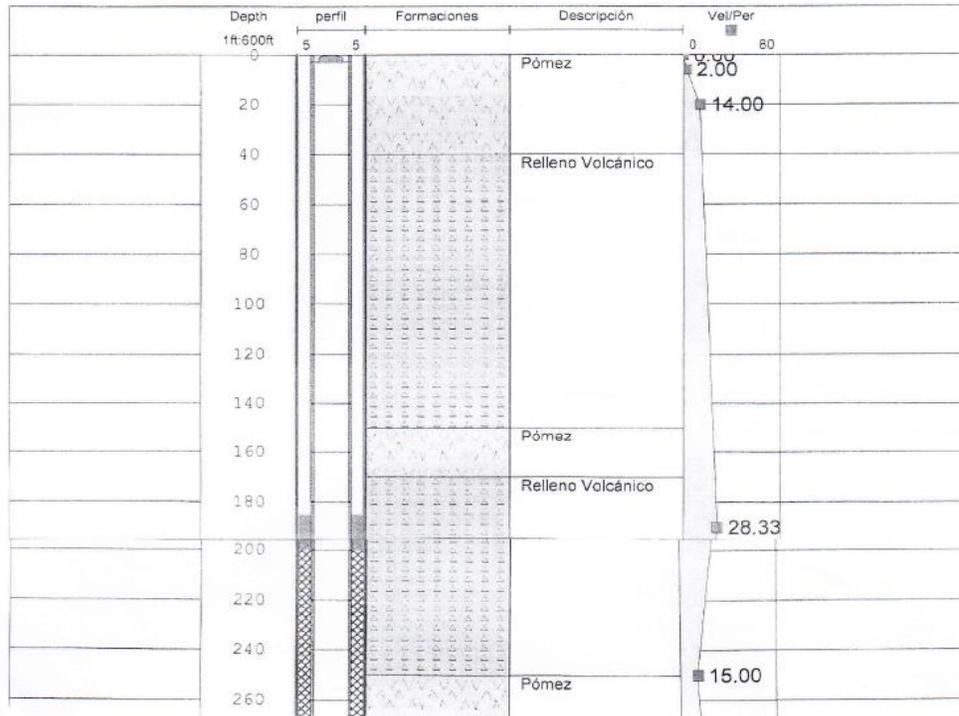
Continuación del anexo 1.

Fecha : 2012-10-09 12:34:03							Página : 3
PROPIETARIO: MERCADEO INMOBILIARIO							Trabajo: 10960
UBICACION : 15A.AVENIDA "A" 4-59, ZONA 13, GUATEMALA							Prueba : 3060
EQUIPO : S-B							
OPERADOR : ELVIS CANAC							
Hora	Minutos	Nivel en Metros	L.Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
05:00	1,320	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
06:00	1,380	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
07:00	1,440	125.00	9.00	410.00	120.00	70	
07:01	1	118.90		389.00	99.99		FINALIZACION DE LA PRUEBA DE BOMBEO
07:02	2	114.45		375.40	85.40		INICIO DE RECUPERACION DEL POZO
07:03	3	109.24		358.31	68.31		
07:04	4	106.74		350.11	60.11		
07:05	5	105.40		345.71	55.71		
07:06	6	103.35		338.99	48.99		
07:07	7	102.20		335.22	45.22		
07:08	8	101.43		332.69	42.69		
07:09	9	100.34		329.12	39.12		
07:10	10	99.73		327.11	37.11		
07:12	12	97.90		321.11	31.11		
07:14	14	96.90		318.00	28.00		
07:16	16	96.77		317.41	27.41		
07:18	18	95.90		314.81	24.81		
07:20	20	94.70		310.62	20.62		
07:25	25	94.09		306.62	16.62		
07:30	30	93.78		307.60	17.60		
07:35	35	93.32		306.09	16.09		
07:40	40	92.72		304.12	14.12		
07:45	45	92.59		303.70	13.70		
07:50	50	92.07		301.98	11.98		
07:55	55	91.95		301.60	11.60		
08:00	60	91.46		299.99	9.99		FIN DE LA RECUPERACION

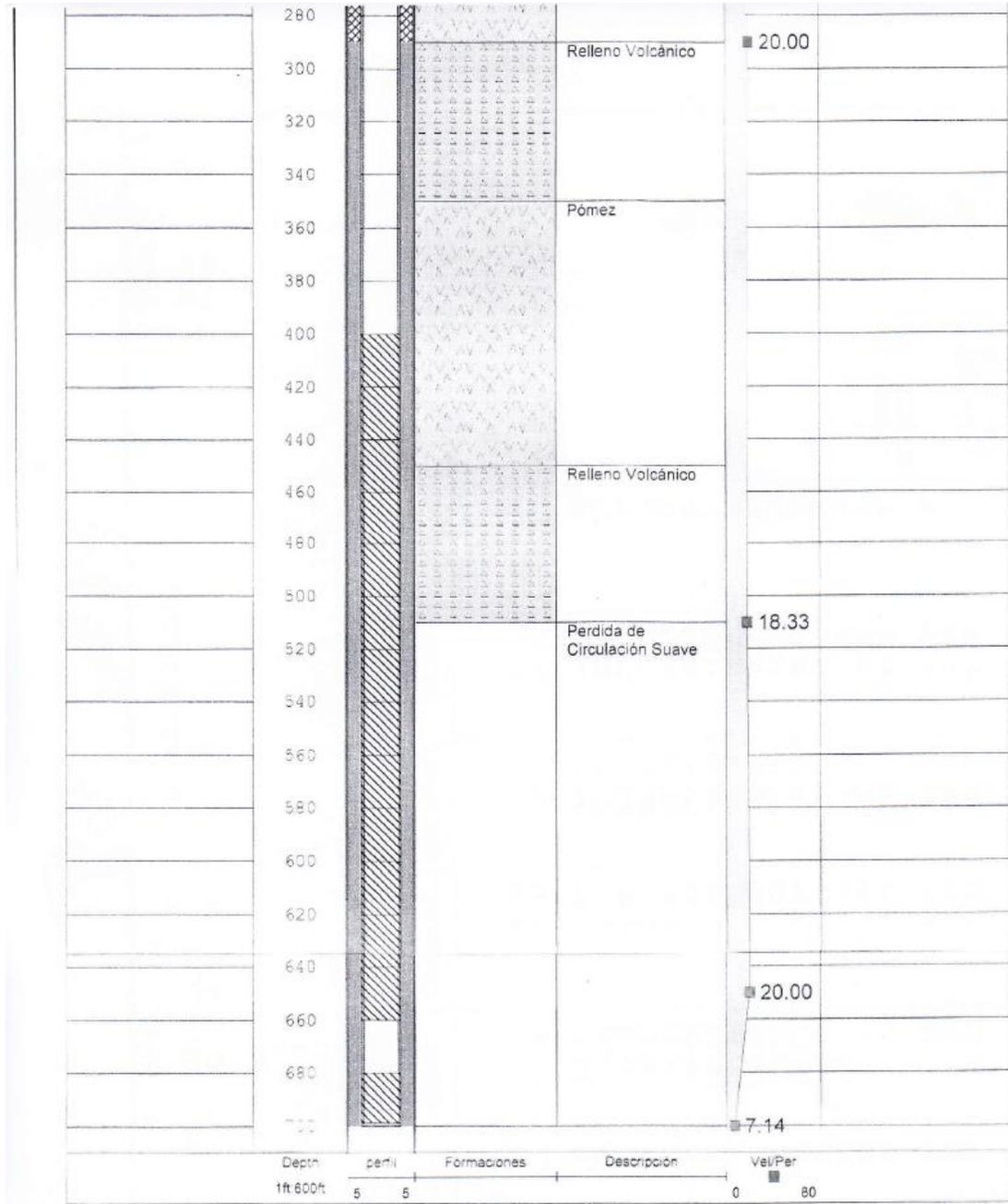
Fuente: empresa Daho pozos.

## ANEXO 2. PRUEBA DE BOMBEO

		ODT: 10960 PER-2071
Calzada La Paz 6-30 Zona 5 -Tel.: (502) 2382-5000, Fax (502) 2382-5001- Guatemala Ciudad, Guatemala, C. A.		
Propietario :	INVERSIONES ZOILA DE LEON DE PINEDA, S.A.	
Ubicación Pozo:	15 AVENIDA "A" 4-59 ZONA 13, GUATEMALA	
Fecha de inicio:	03-09-2012	Fecha finalización: 29-09-2012
Perforadora:	T4W-2	Metodo: ROTOPERCUION
Perforador:	VIDAL CANEL COC	
Diámetro:	6 PULGADAS	Profundidad pozo: 700 PIES
Nivel Estático:	290 PIES	Nivel de bombeo: 410 PIES
Producción :	70 GPM	Duración bombeo: 24:00 HORAS
Profundidad de la bomba:	INSTALADA A 664 PIES, 14 ETAPAS DE 20 HP	REJILLA DE FABRICA 280 PIES
Observaciones:	SELLO SANITARIO DE 185 A 200 PIES, FILTRO DE GRAVA DE 200 A 700 PIES	
: Elaborado por: F.A.C.L		NARIZ DEL POZO: CEMENTO



Continuación del anexo 2.



Fuente: empresa Daho pozos.

### ANEXO 3. ESTUDIO DE NIVEL DEL AGUA

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

HORAS	MINUTOS	NIVEL DEL AGUA		HOJA No. 2	
		piezometric	Piezometro	Piezometro	GPM
5	0	260	50	185	
6	0	265	50	186	
7	0	265	50	185	
8	0	265	50	180	
9	0	265	50	180	
10	0	265	50	180	
11	0	265	50	180	
12	0	265	50	180	
13	0	265	50	180	
14	0	265	50	180	
15	0	265	50	180	
16	0	265	50	180	
17	0	265	50	180	
18	0	265	50	180	
19	0	265	50	180	
20	0	265	50	180	
21	0	265	50	180	
22	0	265	50	180	
23	0	265	50	180	
24	0	265	50	180	

**RESULTADOS FINALES**  
 Nivel estático: 199 pies  
 Nivel dinámico: 265 pies  
 Caudal de bombeo: 180 GPM  
 Colocación de equipo de prueba: 385 pies

Atentamente,

*Hugo Leonel Montenegro*  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro  
 Gerente

**CASA DE DIOS**  
 Canal. Nuevo Templo  
 Administración  
*David Barrios*

DISERÑO Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS, SUMINISTROS DE BIENES Y SERVICIOS TÉCNICOS  
 12 Calle 2-04 Zona 9, Edificio Plaza del Sol, Oficina 423  
 Tels.: 2381-3693 / 2334-5162 / 3

Fuente: empresa Montagua.

## ANEXO 4. PRUEBAS DE BOMBEO



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

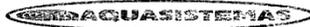
Resistencia entre líneas

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



Fuente: empresa Montagua.

## ANEXO 5. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS



**INFORME 5141**

Dirigido a: Hugo Montenegro  
 Institución: Montagua  
 Captación: Fosforera Centroamericana, S.A.  
 Av. Perera 17-01 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 solicitados  
 Físicoquímico agua potable según norma COGUANOR 29001.

**RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS**

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	-	10	0.90
Nitrógeno	mg/l	-	1.0	0.008
Turbidez	UNT	5.000	15.000	0.62
Cloruro	mg/l	100.000	250.000	30.80
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	42.00
Conductividad	µS/cm	100	750	128.30
Calcio	mg/l	75.000	100.000	34.954
Magnesio	mg/l	50.000	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	-
Olor	-	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

mg/l (ppm): miligramos por litro (partes por millón)  
 UNT: unidades nefelométricas de turbidez  
 LMA: límite máximo admisible norma Coguonor agua potable 29001  
 LMP: límite máximo permisible, norma Coguonor agua potable 29001  
**OBSERVACIONES:**  
 • Los límites aceptables y permisibles corresponden a la Norma COGUANOR para agua potable NGO 29001 (Ac. Cabaenamental No. 086-1990) 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. Prohibida la parcial o total reproducción, sin la autorización escrita por parte de ANALISA.  
 • Los resultados satisfacen los criterios físicoquímicos establecidos por la Norma Coguonor 29001 para agua potable.

FECHA DE FINALIZACIÓN  
 15 de Marzo del 2012  
 Analista: MC



*[Firma]*  
**Lidia Victoria García**  
 Químico Biólogo  
 Colegiado. 3.135