



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

**APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO  
SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS, EN EL CAMPUS  
CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Adhemar Enrique Argueta López**

Asesorado por el Ing. Civil e Hidrogeólogo José Fernando Samayoa Roldán

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO  
SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS, EN EL CAMPUS  
CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. CIVIL E HIDROGEÓLOGO  
JOSÉ FERNANDO SAMAYOA ROLDÁN  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. José Milton De León Bran
<b>VOCAL V</b>	Br. Isaac Sultán Mejía
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
<b>EXAMINADORA</b>	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS, EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 28 de mayo de 2009.

**Adhemar Enrique Argueta López**

Guatemala 17 de septiembre de 2009

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero.

Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de graduación del estudiante de la carrera de ingeniería civil Adhemar Enrique Argueta López quien se identifica con el carné número 2002-12188.

El trabajo en mención se titula **"APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"**, el cual he asesorado y revisado, y por tanto considero que llena con los requisitos satisfactoriamente.

En calidad de asesor del trabajo de graduación doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente



*José Fernando Samayoa Roldán*  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado 2299

Ing. Civil e Hidrogeólogo José Fernando Samayoa Roldán  
Colegiado No. 2299  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala,  
13 de octubre de 2009

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero

Sydney Alexander Samuels Milson  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ingeniero.

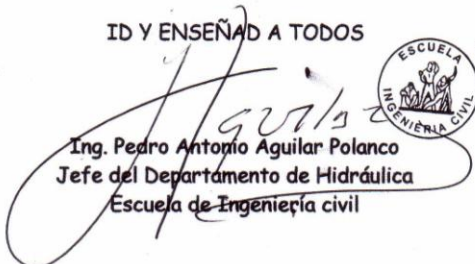
Atentamente y por este medio, envío a usted el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante **Adhemar Enrique Argueta López**, con el título **APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo extendiendo la **APROBACIÓN DEL MISMO**, por parte del asesor Ing. José Fernando Samayoa Roldán y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por **APROBADO**; solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería civil



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Fernando Samayoá Roldán y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Adhemar Enrique Argueta López, titulado APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS, EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Mgter. Ing. Bryan Alexander Samuels Milson

Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

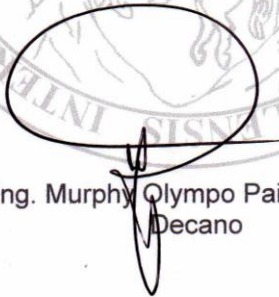


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.447.09

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: **APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS, EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Adhemar Enrique Argueta López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, Octubre de 2009



/cc



## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Proveedor de sabiduría, por darme la fuerza que me impulsó siempre a seguir adelante, gracias por ayudarme a culminar esta meta.
- Mis padres** **Lic. Ademar Argueta Mérida**  
**Thelma Yolanda López Morales de Argueta**  
Por brindarme la mejor herencia que a un hijo se le puede dar; una formación académica, este triunfo pertenece a ustedes también ya que sin su ayuda nada de esto sería una realidad el día de hoy.
- Mis abuelos** **Enrique de Jesús Argueta Morales D.E.P.**  
**María Isabel Mérida Girón viuda de Argueta**  
**Evelio López Hernández**  
**Matilde Morales de López**  
Por haber inculcado siempre los valores, principios y el espíritu de superación hacia toda la familia.
- Mi asesor** **Ing. José Fernando Samayoa Roldán**  
Por toda su colaboración y aporte en la realización de este trabajo de graduación.
- Facultad de Ingeniería** Templo del saber, donde he recibido la formación que hoy me acredita para salir a trabajar por el desarrollo de este gran país.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Gloriosa casa de estudios de la cual me siento orgulloso poder ser parte.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **MIS PADRES**

#### **PUEBLO DE GUATEMALA**

Ese pueblo que a diario sufre de injusticias pero no deja de luchar por salir adelante a pesar de no haber tenido las oportunidades, que necesita de buenos profesionales y siendo el Ingeniero Civil uno de los principales motores del desarrollo de un país, está comprometido a luchar hombro con hombro para que todos tengamos un mejor mañana.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1. RECURSOS HIDRÁULICOS</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de los recursos hidráulicos	1
1.2 El ciclo hidrológico	1
1.2.1 Procesos del agua	4
1.2.1.1 Evaporación	4
1.2.1.2 Precipitación	5
1.2.1.3 Infiltración	6
1.2.1.4 Escorrentía	7
1.2.1.5. Circulación subterránea	9
1.2.1.5.1 Distribución del agua en el subsuelo	9
1.2.1.5.2 Factores condicionantes del agua subterránea	13
1.2.1.5.3 Flujo del agua subterránea	16
1.3 Métodos de obtención de recursos hidráulicos	18
1.3.1 Agua superficial	18
1.3.1.1 Ríos	18
1.3.1.2 Lagos	19
1.3.2 Agua atmosférica	20
1.3.3 Agua subterránea	20

1.3.3.1 Manantiales	20
1.3.3.2 Pozos excavados	21
1.3.3.3 Pozos profundos	22
1.4 Generalidades del agua	23
1.5 Usos del agua	24
<b>2. APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>	<b>27</b>
2.1 Definición	27
2.2 Prospección del agua subterránea	28
2.2.1 Reconocimientos geológicos	31
2.2.2 Reconocimientos hidrológicos	32
2.2.3 Métodos geofísicos	33
2.2.3.1 Método eléctrico resistivo	34
2.2.3.2 Método sísmico	34
2.2.4 Método de perforación	35
2.2.5 Analogía proyectual	36
2.3 Pozo de extracción de agua potable	36
2.3.1 Evaluación de un proyecto de agua potable	37
2.3.1.1 Tipo de proyecto	37
2.3.1.1.1 Residencial	38
2.3.1.1.2 Municipal	38
2.3.1.1.3 Gubernamental	38
2.3.1.1.4 Industrial	39
2.3.1.1.5 Riego	39
2.3.1.1.6 Generación de energía	39
2.3.1.1.7 Minería	40
2.3.1.1.8 Proyectos de ingeniería	41
2.3.2 Métodos de perforación	41
2.3.3 Especificaciones técnicas para el diseño de un pozo	43

2.3.3.1	Diámetro de perforación	43
2.3.3.2	Diámetro de entubado	44
2.3.3.3	Profundidad	45
2.3.3.4	Lodo de perforación	46
2.3.3.5	Colocación de la captación y rejillas	46
2.3.3.6	Filtro de grava	48
2.3.3.7	Sello sanitario	48
2.3.4	Pruebas a realizar en un pozo mecánico	49
2.3.4.1	Verticalidad	49
2.3.4.2	Alineamiento	50
2.3.4.3	Desarrollo y limpieza	50
2.3.4.3.1	Empleo de agentes dispersantes	51
2.3.4.3.2	Desarrollo por sobre bombeo	51
2.3.4.3.3	Desarrollo por lavado a contracorriente	51
2.3.4.3.4	Aire comprimido	52
2.3.4.3.5	Limpieza con pistón	52
2.3.4.3.6	Con chorros de agua horizontales a alta velocidad	52
2.3.4.4	Prueba de bombeo	53
2.3.5	Diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra un pozo mecánico	53
2.3.5.1	Caudal	54
2.3.5.2	Nivel estático	54
2.3.5.3	Nivel dinámico	55
2.3.5.4	Abatimiento	55
2.3.5.5	Caudal específico	56
2.3.6	Mantenimiento de un pozo mecánico	57
2.3.6.1	Frecuencia de mantenimiento	57
2.3.6.2	Revisión de la bomba	58
2.4	Calidad del agua subterránea	59

2.4.1	Parámetros del agua potable	59
2.4.2	Norma COGUANOR NGO 29001	60
2.4.2.1	Análisis físico-químico	61
2.4.2.1.1	Parámetros físicos	61
2.4.2.1.1.1	Color	61
2.4.2.1.1.2	Olor	62
2.4.2.1.1.3	Temperatura	62
2.4.2.1.1.4	Turbiedad	62
2.4.2.1.1.5	Potencial hidrógeno (pH)	63
2.4.2.1.1.6	Conductividad eléctrica del agua	63
2.4.2.1.2	Parámetros químicos	64
2.4.2.1.2.1	Cloruros	64
2.4.2.1.2.2	Cloro residual	65
2.4.2.1.2.3	Cloro residual libre disponible	65
2.4.2.1.2.4	Cloruro residual combinado disponible	65
2.4.2.1.2.5	Fluoruros	66
2.4.2.1.2.6	Sulfatos	66
2.4.2.1.2.7	Nitrógeno	66
2.4.2.1.2.8	Hierro	67
2.4.2.1.2.9	Dureza	67
2.4.2.1.2.10	Alcalinidad	68
2.4.2.1.2.11	Plomo	68
2.4.2.1.2.12	Manganeso	69
2.4.2.1.2.13	Yodo	69
2.4.2.2	Análisis bacteriológico	70
2.4.2.2.1	Examen microbiológico	71
2.4.2.2.2	Características del grupo coliforme	72
2.5	Conservación del recurso agua subterránea	74
2.5.1	Contaminantes del agua subterránea	75

2.5.2 Protección de los recursos	77
<b>3. MONITOREO DE RECURSOS HIDRÁULICOS</b>	<b>79</b>
3.1 Área y población a analizar	79
3.1.1 Usuarios del servicio	80
3.1.2 Demanda de agua potable en la actualidad	83
3.1.3 Demanda de agua potable a futuro	85
3.1.4 Condiciones del suministro de agua en la actualidad	88
3.1.5 Utilización del agua potable en el campus central	89
3.1.5.1 Servicios sanitarios	89
3.1.5.2 Limpieza y servicios de consejería	90
3.1.5.3 Elaboración de alimentos	90
3.1.5.4 Riegos agrícolas	91
3.1.5.5 Jardinería	91
3.1.5.6 Clínicas	91
3.2 Ubicación de los pozos mecánicos	92
3.3 Caracterización de los acuíferos aprovechados	95
3.4 Investigación de campo sobre las condiciones en que se encuentran los pozos mecánicos	99
3.4.1 Pozo 1, División de Servicios Generales	100
3.4.2 Pozo 2, División de Servicios Generales	105
3.4.3 Pozo finca experimental de Veterinaria	109
3.4.4 Pozo centro experimental de Agronomía	111
3.4.5 Pozo 1, Facultad de Ingeniería	117
3.4.6 Pozo 2, Facultad de Ingeniería	119
3.5 Pruebas de laboratorio	122
3.5.1 Toma de muestras en los distintos pozos mecánicos	122
3.5.1.1 Obtención de muestras para el análisis físico-químico	122
3.5.1.2 Obtención de muestras para el examen bacteriológico	123

3.5.2 Pruebas de laboratorio según la norma COGUANOR NGO	
29001	124
3.5.2.1 Análisis físico-químico sanitario	124
3.5.2.1.1 Informes de las muestras obtenidas en los pozos	124
3.5.2.2 Examen bacteriológico	124
3.5.2.2.1 Análisis de las muestras obtenidas en los pozos	125
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>127</b>
4.1 Informe de las condiciones en las que se encuentra el suministro de agua potable en la actualidad	127
4.1.1 Calidad del servicio según la unidad académica	127
4.1.2 Hidrogeología del campus universitario	129
4.1.3 Funcionamiento de los pozos mecánicos	133
4.1.4 Calidad del agua subterránea	135
4.2 Identificación de problemas	136
4.2.1 Deficiencias del suministro de agua potable	136
4.2.2 Vida útil del sistema de extracción de agua subterránea existente en el campus central	137
<b>5. PROPUESTA TÉCNICA COMO PREVENCIÓN DE UNA ESCASEZ DE AGUA POTABLE</b>	<b>139</b>
5.1 Monitoreo del sistema de agua potable	139
5.1.1 Verificación y reparación de fugas en la tubería de distribución	139
5.2 Cronograma de mantenimiento a los pozos mecánicos en funcionamiento	140
5.3 Estudio para la construcción de nuevos pozos mecánicos	141
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>143</b>



<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>145</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>147</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>149</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. El ciclo hidrológico	3
2. Diagrama del escurrimiento	8
3. Flujo del agua subterránea	17
4. El agua subterránea y los pozos	22
5. Diámetros y tuberías de un pozo	45
6. Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejillas	47
7. Niveles de un pozo mecánico	56
8. Contaminación del agua subterránea	77
9. Ubicación de pozos en el campus central	94
10. Perfil estratigráfico pozo 1, División de Servicios Generales	96
11. Perfil estratigráfico pozo 2, División de Servicios Generales	97
12. Perfil estratigráfico pozo centro experimental de Agronomía	98
13. Manómetro para medición de niveles del pozo	102
14. Aforo volumétrico a pozo 1, División de Servicios Generales	103
15. NE pozo 1, División de Servicios Generales	104
16. Brocal de pozo 2, División de Servicios Generales	108
17. Aforo volumétrico a pozo finca experimental de Veterinaria	111
18. Bombeo continuo al pozo del CEDA	114
19. NE pozo 2, División de Servicios Generales	115
20. Panel de control pozo 1, Facultad de Ingeniería	119
21. Medición de NE pozo 2, Facultad de Ingeniería	120
22. Recipiente para muestras análisis físico-químico sanitario	122
23. Frasco para la toma de muestra del examen bacteriológico	123

## TABLAS

I.	Materiales permeables e impermeables	15
II.	Diámetros de perforación según proyecto	44
III.	Parámetros físicos del agua potable	63
IV.	Parámetros químicos del agua potable	70
V.	Alumnos inscritos en el campus central por unidad académica en el período 2001-2009	81
VI.	Estudiantes inscritos en el campus central en el período 2001-2009	82
VII.	Dotaciones de agua para edificios escolares	83
VIII.	Tasas de crecimiento poblacional del campus central	86
IX.	Datos técnicos pozo 1, División de Servicios Generales	100
X.	Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo 1, División de Servicios Generales	101
XI.	Datos técnicos pozo 2, División de Servicios Generales	106
XII.	Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo 2, División de Servicios Generales	107
XIII.	Ficha técnica pozo finca experimental de Veterinaria	110
XIV.	Datos técnicos pozo del CEDA	112
XV.	Datos del equipo hidráulico y eléctrico del pozo del CEDA	113
XVI.	Datos técnicos pozo 1, Facultad de Ingeniería	117
XVII.	Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo 1, Facultad de Ingeniería	118
XVIII.	Datos técnicos pozo 2, Facultad de Ingeniería	120
XIX.	Condiciones climáticas del campus central	131
XX.	Infiltración por subcuencas	132
XXI.	Cronograma de mantenimiento	140

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>km</b>	Kilómetro
<b>m</b>	Metro
<b>mg</b>	Miligramo
<b>L</b>	Litro
<b>gpm</b>	Galones por minuto
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>'</b>	Pie
<b>"</b>	Pulgada
<b>LMA</b>	Límite máximo aceptable
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>Utn</b>	Unidad de turbiedad, unidades nefelométricas
<b>EFPEM</b>	Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media
<b>CEMA</b>	Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>Q</b>	Caudal
<b>Qesp</b>	Caudal específico
<b>NE</b>	Nivel estático
<b>ND</b>	Nivel dinámico
<b>HP</b>	<i>Horse Power</i> (caballos de fuerza)



## 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>Carcinógeno</b>	Se aplica a la sustancia o agente que produce cáncer.
<b>Depresiones endorreicas</b>	Región cuyas aguas no se vierten al mar por el tipo de relieve, creando una cuenca cerrada.
<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 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 Universidad de San Carlos cuenta con el centro de estudios más grande del país, éste es el campus central, como en todo centro educativo el servicio de agua potable juega un papel importante para el desarrollo de sus actividades diarias y el bienestar de las personas que estudian y trabajan en esta institución.

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

En los capítulos siguientes se muestra el monitoreo que se realizó al sistema de abastecimiento con el que cuenta el campus central, se hicieron pruebas a los pozos de extracción de agua subterránea, proporcionando información de las condiciones de funcionamiento y de calidad del agua, se hace un análisis de los aspectos importantes que se encontraron en los pozos mecánicos, se dan propuestas acerca de las medidas que se deben adoptar para que el suministro de agua potable siga siendo eficiente y que se encuentren nuevas alternativas para poder prevenir una escasez de agua en el futuro.



## OBJETIVOS

➤ **General:**

Realizar un monitoreo del suministro de agua potable que abastece el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

➤ **Específicos:**

1. Estudiar todas las condiciones que afectan al intercambio del agua en el medio ambiente.
2. Establecer los parámetros que se deben tomar en cuenta para la construcción de un proyecto de aprovechamiento del agua subterránea.
3. Conocer los datos técnicos que componen un pozo mecánico y los métodos que lo harán eficiente por más tiempo.
4. Comprender sobre la importancia de la preservación del agua subterránea y los parámetros que rigen la calidad del agua.
5. Hacer un diagnóstico de las deficiencias que afectan el funcionamiento de los pozos ubicados en el campus central.
6. Hacer un análisis comparativo de los niveles del manto freático existente en el campus central.

7. Establecer las condiciones en las que se encuentran los pozos del campus central, y proponer las alternativas existentes para su mejor funcionamiento.

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso muy importante y del cual se puede hacer uso para satisfacer las demandas de agua potable de las personas, toda acción que el hombre realice lleva una reacción hacia el medio ambiente, el ciclo hidrológico se ve afectado por diferentes actividades del ser humano y esto afecta al agua que se encuentra en los mantos freáticos y de los que gran cantidad de la población a nivel mundial tienen como alternativa de suministro.

La Universidad de San Carlos de Guatemala para su abastecimiento aprovecha los reservorios de agua subterránea anteriormente contaba con suministro por parte de EMPAGUA, pero en la actualidad el servicio únicamente hace uso de los pozos mecánicos existentes en el lugar, el campus central es el centro de estudios con mayor acopio de estudiantes a nivel nacional, es por ello que se presenta este trabajo de graduación donde se estudia la interacción continua del agua en el ambiente, las condiciones que las afectan y la forma de aprovechamiento del agua subterránea, en el presente documento se realiza un monitoreo del suministro de agua potable en esta casa de estudios, las condiciones en que se encuentran los pozos mecánicos y la forma en que se administran estos recursos, se hace también el análisis de las medidas a emplear para poder evitar problemas graves a futuro y que afecten a toda la comunidad universitaria.



# **1. RECURSOS HIDRÁULICOS**

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

Los recursos hidráulicos se constituyen en uno de los recursos naturales renovables más importante para la vida. 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.

## **1.2. El ciclo hidrológico**

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

El ciclo del agua o 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 parte se evapora y también regresa a la atmósfera y parte escurre hacia el suelo y se infiltra.

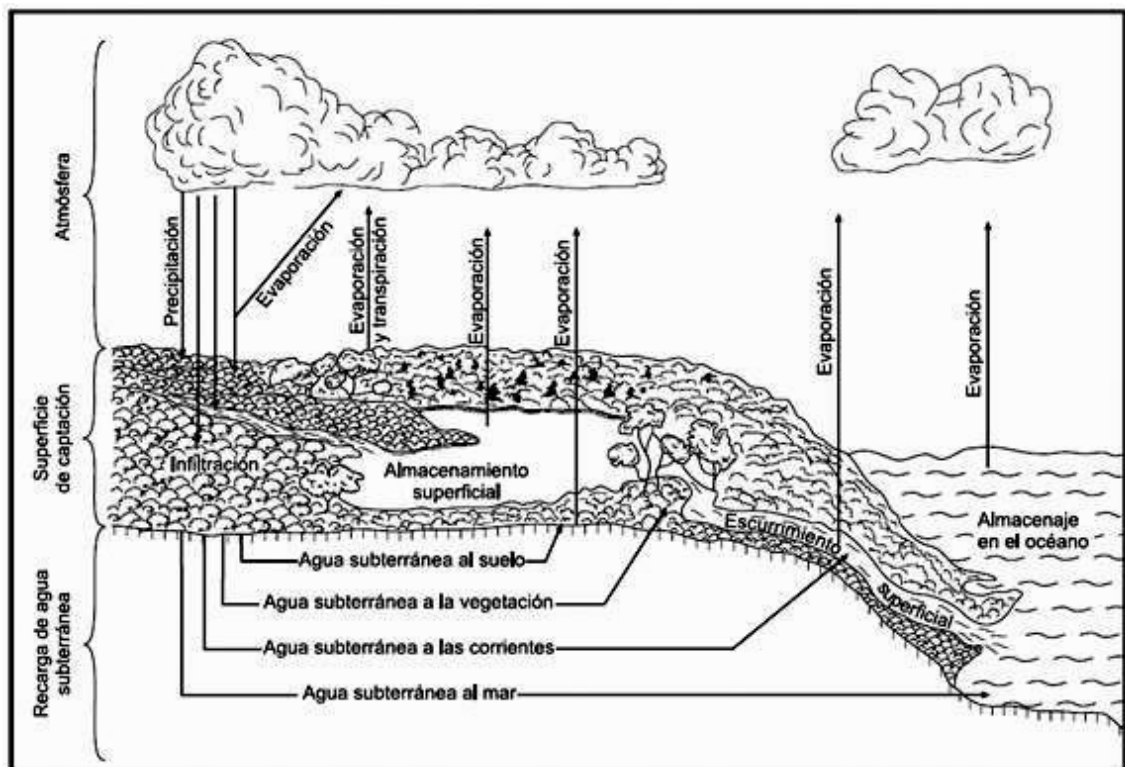
El agua que cae directamente al suelo será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, etc.), otra parte correrá por la superficie dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega 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 del suelo 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 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, por el contrario, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo. Es conveniente tomar en cuenta que la mayor parte de los movimientos subterráneos del agua son muy lentos.



El escurrimiento superficial, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo que descargan en los cauces constituyen el agua de escurrimiento, que es la que corre por los cauces de los ríos y a través de ellos llega al mar, aunque cabe mencionar que una pequeña parte del agua de escurrimiento queda detenida en el lecho de los mismos ríos.

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

Figura 1. El ciclo hidrológico



Fuente: Maderey Rascón Laura Elena. **Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico.** Pág. 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.

### **1.2.1. Procesos del agua**

Los procesos del agua tiene 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.

#### **1.2.1.1. Evaporación**

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

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

Hay otra forma especial de evaporación, la que se produce a partir de la nieve y de los hielos, el paso no es del estado líquido al gaseoso, sino del sólido al 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. En muchos casos, referentes a proyectos de Ingeniería Civil, no interesa distinguir qué parte es de evaporación física propiamente dicha y cuál es del ciclo biológico de la planta o transpiración, sin embargo, cuando la evaporación y la transpiración se engloban en una variable, se habla de evapotranspiración.

#### **1.2.1.2. Precipitación**

La 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 dos 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; nieve y aguanieve para el caso de otros países que debido a sus condiciones climáticas se da este tipo de precipitaciones.

La precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. Aproximadamente 505 000 km<sup>3</sup> de agua caen como precipitación cada año, y de ellos 398 000 km<sup>3</sup> caen sobre los océanos. Dada el área superficial de la tierra, eso significa que la precipitación anual promediada globalmente es más o menos de 1 m, y la precipitación anual media sobre los océanos de 1.1 m.

### **1.2.1.3. Infiltración**

La 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 (que la estorba) 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; reduce las inundaciones y la erosión del suelo.

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

a) 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.

b) 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.

c) 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.

#### **1.2.1.4. Escorrentía**

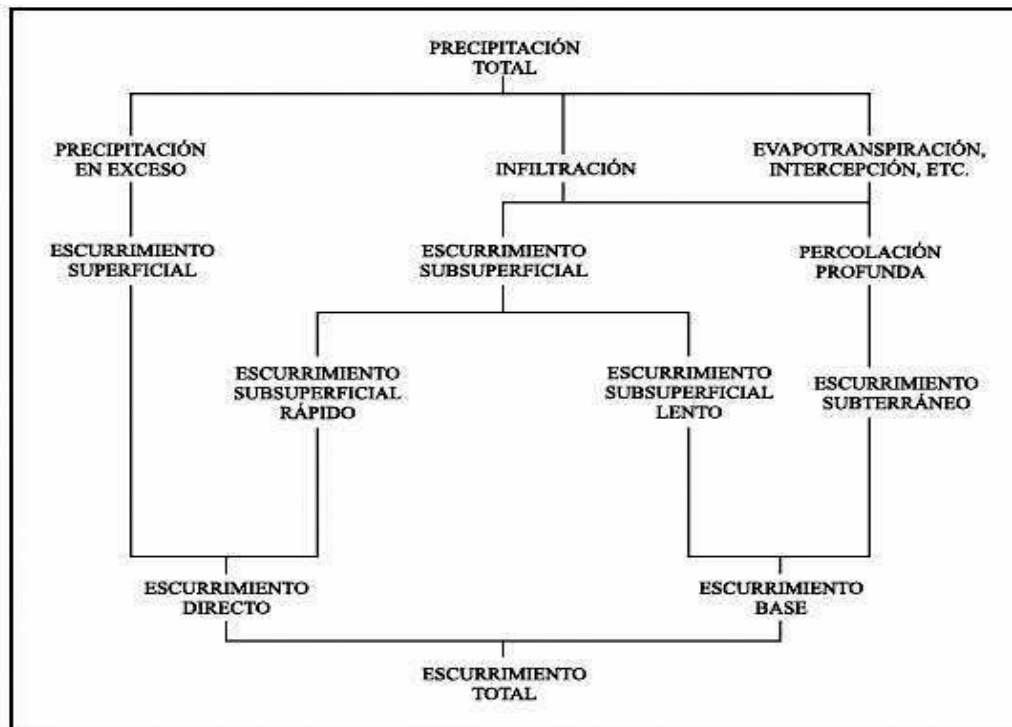
La escorrentía es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales 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).

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

Escurrecimiento 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 escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante 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 que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

Figura 2. Diagrama del escurrimiento



Fuente: Maderey Rascón Laura Elena. **Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico.** Pág. 67

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.

### **1.2.1.5. Circulación 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, su movimiento, su 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.

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

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

#### a) Zona de aereación

La zona de aereación comprende a su vez tres franjas: la del agua del suelo, la intermedia y la capilar. En la franja del agua del suelo se encuentran tres tipos de agua:

- Agua higroscópica, es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.
- Agua capilar, es la que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.
- Agua libre o de gravedad, es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

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

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

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



## b) Zona de saturación

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

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

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

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

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

- Acuíferos; 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.
- Acuitardos; son formaciones capaces de contener agua, pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para su captación o formación de manantiales importantes.
- Acuífugos; son formaciones impermeables que no absorben ni transmiten agua.

Los acuíferos pueden ser libres y confinados. Los primeros se conocen también como acuíferos no confinados, abiertos, freáticos o no artesianos y son los que se presentan cuando el manto freático no está limitado, en la parte superior, por un estrato impermeable. Los acuíferos confinados, también conocidos como artesianos, ocluidos o de presión, se tienen cuando el agua subterránea está limitada en su parte superior por un estrato impermeable. El agua que alimenta a este tipo de acuíferos proviene de un manto en el que el estrato limitante superior o ambos estratos ascienden hasta la superficie o terminan bajo ella.

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

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

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

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

a) Precipitación, es importante considerar a la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia. Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua subterránea no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas. La precipitación es muy importante en dos aspectos, en su cantidad y en su duración.

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

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

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

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

Estas propiedades son la porosidad y la permeabilidad (o más estrictamente la conductividad hidráulica).

La porosidad es la particularidad que tiene un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, que indica el volumen del material ocupado por dichos intersticios. Se ha considerado que una porosidad inferior al 5% es baja, entre el 5% y el 20% es media y más del 20% es alta.

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

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

Tabla I. **Materiales permeables e impermeables**

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

Fuente: Maderey Rascón Laura Elena. **Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico.** Pág. 92

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

### **1.2.1.5.3. Flujo del agua subterránea**

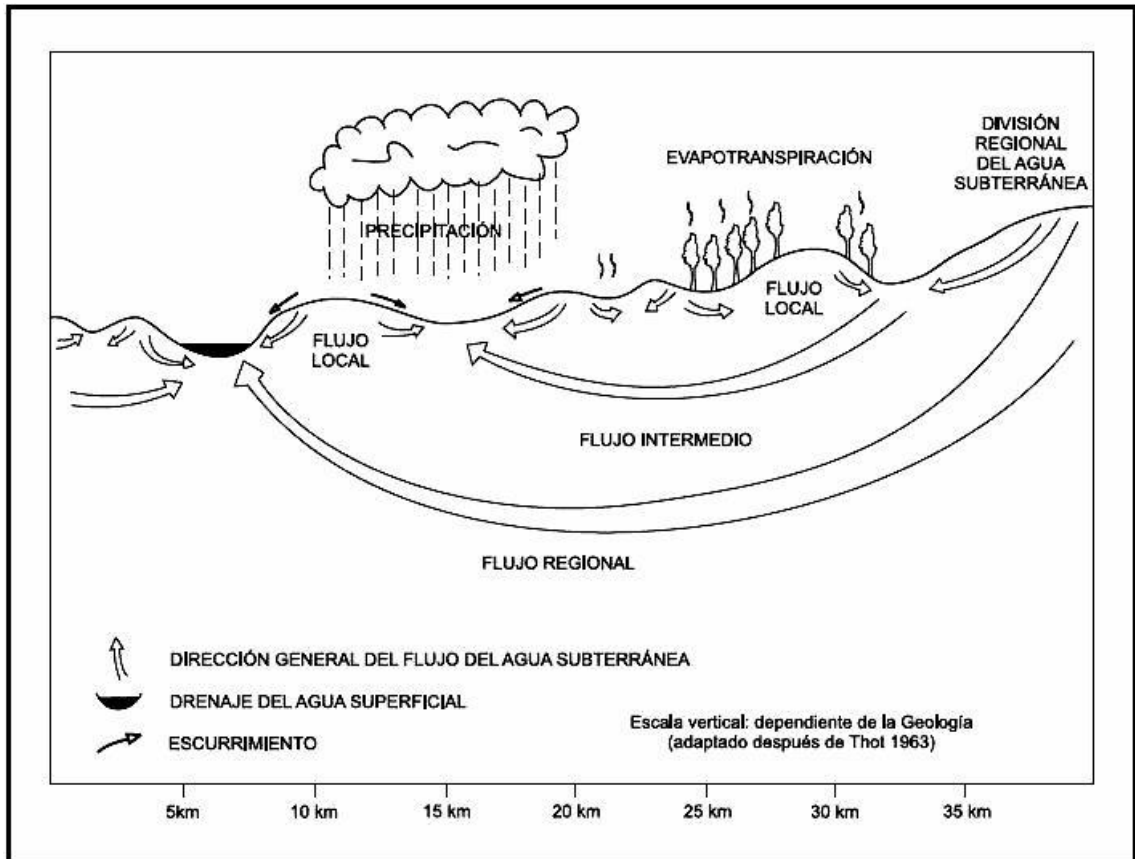
Un sistema hidrológico en el que se considera que el agua subterránea fluye en forma horizontal, y en el cual normalmente la información hidrológica se utiliza para describir un sistema estático en un medio geológico considerado equivalente a un medio granular con propiedades (porosidad y permeabilidad),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

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

Existen tres sistemas principales de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la topografía y al marco geológico presente: local, intermedio y regional. Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales, en cada topografía el agua entra y sale en el mismo valle.

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

Figura 3. Flujo del agua subterránea



Fuente: Maderey Rascón Laura Elena. **Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico.** Pág. 93

Todos estos flujos, en un ambiente natural, mantienen un recorrido separado, al igual que las corrientes marinas o las aguas de dos ríos antes de confluir para formar otra. Las zonas de recarga y descarga están estrictamente controladas por un flujo vertical con una componente de movimiento hacia abajo y hacia arriba, respectivamente.

### **1.3. Métodos de obtención de recursos hidráulicos**

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

#### **1.3.1. Agua superficial**

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 ya se necesita de un proceso de potabilización de las mismas, ya que de no hacerlo así, es alta la probabilidad que el agua a suministrar se encuentre con altos grados de contaminación.

##### **1.3.1.1. Ríos**

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. 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 puede deberse a varios factores de tipo tectónico, volcánico o por glaciaciones.

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

### **1.3.2. Agua atmosférica**

El agua atmosférica se puede aprovechar en el momento en que se precipita a la tierra, esto ha resultado una alternativa viable en zonas donde resulta difícil la obtención de recursos hidráulicos, La circunstancia de que las prácticas y obras de captación de agua de lluvia sean poco costosas, las hace accesibles a los habitantes del área rural. Guatemala es un país rico en recursos hidráulicos, pero se prevén cambios bruscos en las condiciones ambientales debido al cambio climático.

### **1.3.3. Agua subterránea**

El 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 sobreexplotación, 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.

#### **1.3.3.1. Manantiales**

Un manantial o nacimiento es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas.

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

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

#### **1.3.3.2. Pozos excavados**

Conocidos también como pozos artesanales, estos son pozos rústicos y de poca profundidad, normalmente excavados a mano con herramientas sencillas, llegando a estratos de agua subsuperficial que se pueden aprovechar.

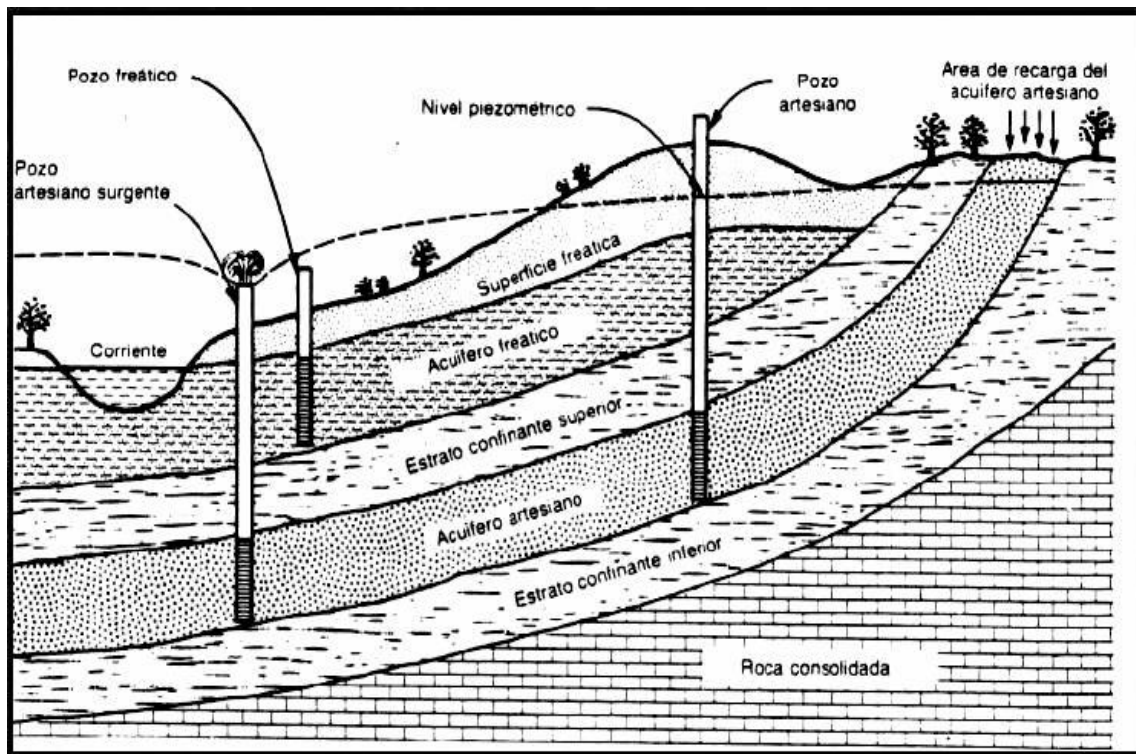
Éstos han sido muy utilizados sobre todo en áreas rurales y su producción de agua fue buena hasta hace algunos años, la profundidad en donde se encontraba el agua no era muy grande, pero en la actualidad se han secado muchos y no es recomendable profundizar demasiado este tipo de estructuras ya que puede resultar peligroso para las personas que los excavan.

### 1.3.3.3. Pozos profundos

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 4).

Figura 4. El agua subterránea y los pozos



Entre los pozos profundos se puede encontrar un tipo que requiere de una especial atención éstos 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.

#### **1.4. Generalidades del agua**

El aspecto más sorprendente y característico de este planeta, visto desde el espacio, es la gran cantidad de agua que tiene su superficie. Por eso la tierra ha sido llamada el planeta azul o de agua. El agua es una de las sustancias más importantes en el planeta, ya que se cree en ella se formó la vida hace millones de años y sin ella no se podría sobrevivir, tomando en cuenta que es un elemento fundamental en todos los organismos vivos y en el funcionamiento de la tierra.

Para muchos investigadores el agua es un compuesto muy singular y una de las sustancias naturales más notables de la naturaleza, la cual posee una gran 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 de graduación.

### **1.5. Usos del agua**

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 ésta se halla distribuida de una manera poco uniforme. El 97% del volumen de agua en la tierra se encuentra en los mares y océanos, pero esta agua no es apta para consumo humano, para cultivos y para la mayor parte de los usos industriales, excepto para procesos de enfriamiento.

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

- Consumo doméstico; comprende el consumo de agua en alimentación, en la limpieza de las viviendas, en el lavado de ropa, la higiene y el aseo personal.
- Consumo público, en la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques, jardines y otros usos de interés comunitario.
- Uso en agricultura y ganadería; en agricultura, para el riego de los campos; en ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.

- El agua en la industria; en las fábricas, en el proceso de elaboración de productos, en los talleres, en la construcción.

Son muchos los usos que se le pueden dar al agua y éstos 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.





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

En el capítulo anterior se ha tocado ya el tema del agua subterránea y en el presente se hace un análisis más profundo sobre este importante recurso, poniendo un especial interés en la forma en que éste se puede aprovechar.

### **2.1. Definición**

Se pueden dar muchas definiciones sobre aguas subterráneas y en si se puede decir que las aguas subterráneas se forman a partir de la infiltración de las lluvias y por aportes de los cursos superficiales, viajan en forma vertical por la fuerza de la gravedad, generalmente hasta encontrar un estrato impermeable, y luego escurren horizontalmente hasta desaguar en los colectores mayores que la llevarán a los cuerpos de agua receptores para reiniciar su ciclo, este proceso puede tardar mucho tiempo ya que la velocidad de este flujo es lenta y dependerá de muchos factores que se explicaron en el capítulo anterior en la sección de circulación subterránea.

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

## **2.2. Prospección del agua subterránea**

El agua subterránea existe casi en cualquier parte por debajo de la superficie terrestre, la exploración de la misma consiste básicamente en determinar en donde se encuentra bajo las condiciones que le permitan llegar rápidamente a los pozos, a fin de poder ser utilizada en forma económica. La manera práctica de hacer lo anterior incluye la aplicación de conocimientos técnicos, experiencia en la perforación y sentido común.

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

Ciertos indicios útiles en la localización de abastecimientos de agua subterránea son por ejemplo, que ésta probablemente se encuentra en mayores cantidades bajo los valles que en las parte altas; en las zonas áridas cierto tipo de plantas indican que el agua que las nutre se encuentra a poca profundidad; asimismo, en las áreas donde el agua aparece superficialmente como son manantiales, pantanos y lagos, también debe existir agua subterránea pero aunque no necesariamente en grandes cantidades o de buena calidad; sin embargo, los indicios más valiosos son las rocas, ya que los Hidrólogos y los Geólogos las agrupan sin importar que sean consolidadas como las areniscas, calizas, granitos y basaltos; o no consolidadas como las gravas, arenas y arcillas.

La grava, la arena, las areniscas y las calizas, son las mejores conductoras de agua, sin embargo, solo constituyen una parte de las rocas que forman la corteza terrestre y no todas ellas aportan la misma cantidad de agua.

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

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

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

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

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

La historia de un pozo es realmente útil cuando incluye lo siguiente; muestras de las rocas, información de cuales estratos contienen agua y con qué facilidad la ceden, la profundidad a que se encuentre el nivel estático del agua en los estratos que la contengan y los datos de las pruebas de aforo y bombeo de cada uno de los acuíferos, a fin de poder determinar cuánta agua pueden aportar y cuánto se abate el nivel del agua de acuerdo a los caudales de bombeo.

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

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

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

### **2.2.1. Reconocimientos geológicos**

Mediante los reconocimientos geológicos es posible obtener conclusiones hidrogeológicas de una región, pudiéndose avanzar en forma rápida gracias al desarrollo y uso de mapas geológicos; sin embargo, en cualquier estudio siempre serán necesarios los reconocimientos de campo, que permiten afinar lo observado en mapas.

En la exploración, el Geólogo se sirve de la Petrografía, de la Estratigrafía, de la Geología estructural y de la Geomorfología.

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

La porosidad determina la cantidad de agua que puede almacenarse y la permeabilidad la facilidad con que esta puede extraerse.

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

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

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

### **2.2.2. Reconocimientos hidrológicos**

Los estudios hidrológicos resultan de gran utilidad en la exploración del agua subterránea, ya que pueden aportar información acerca de la cantidad de agua útil para la recarga de los acuíferos, de la facilidad con que se produce la misma y de la localización y cuantificación del volumen de agua subterránea que se descarga en la superficie. La cantidad de agua útil para la recarga está íntimamente relacionada con la precipitación, así como con las aguas superficiales que circulan en corrientes permanentes. En general la localización del agua subterránea depende, en mucho, de las condiciones hidrológicas que predominen en una región, ya que en función de éstas habrá una mayor o menor recarga útil. Por ejemplo una región desértica tendrá menos posibilidades en cuanto a la existencia de agua subterránea, que las que tenga una región húmeda, aunque en ambas el medio geológico sea similar.

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

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

### **2.2.3. Métodos geofísicos**

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

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

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

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

### **2.2.3.1. Método de resistividad eléctrica**

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

Se emplea desde la superficie en forma de sondeos de resistividades. Con solo introducir adecuadamente una corriente eléctrica al suelo, se pueden determinar los lugares de mayor probabilidad para alumbrar agua y la profundidad de las capas que por su resistividad sean aparentemente mejores como unidad acuífera.

Las rocas ígneas y las metamórficas tienen valores comprendidos entre los  $10^2$  y  $10^8$  ohm-m, las sedimentarias y las no consolidadas de 10 a  $10^4$  ohm-m, todo este estudio geofísico se resume en conocer los valores de la resistividad de los estratos y a partir de ello saber cuáles son sus condiciones y si hay posibilidad de encontrar un acuífero de buenas características.

### **2.2.3.2. Método sísmico**

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



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

#### **2.2.4. Método de perforación**

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

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

Las muestras de los materiales obtenidos durante la perforación representan, en la mayoría de los casos, la mejor fuente de información tanto en el aspecto geológico como en el hidrológico. El fin principal en la perforación de pozos de exploración es obtener muestras que revelen el tipo, profundidad y espesor de los estratos que forman el subsuelo de las zonas por estudiar.

Las perforaciones de exploración se realizan para satisfacer dos objetivos; pueden ser parte del estudio hidrogeológico de un área, o bien pueden ser preliminares al diseño y construcción de uno o más pozos en un lugar en particular.

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

Una perforación de exploración requiere de más recursos monetarios y por consiguiente muy escasamente se realiza en el medio, a no ser que sea un proyecto en el que van implicados varios pozos, ya que de ser para un solo pozo se encarecería demasiado.

#### **2.2.5. Analogía proyectual**

Un método que puede ser mucha utilidad es la de obtener datos de pozos perforados en lugares cercanos, con esto se puede saber si en la región se cuenta con un acuífero que pueda ser aprovechable.

Los datos a analizar serán la profundidad de la perforación; el caudal producido, en galones por minuto; los niveles estático y dinámico; y el abatimiento del pozo que se encuentra ya en funcionamiento, teniendo estos datos, conjuntamente con otros que sean de interés, se empleará un criterio técnico para la planificación y ejecución del nuevo pozo.

### **2.3. Pozo de extracción de agua potable**

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

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

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

Como en todo proyecto se debe realizar una evaluación previa para poder verificar la viabilidad del mismo, 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 ésta 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.

#### **2.3.1.1. 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.

#### **2.3.1.1.1. Residencial**

Un proyecto de este tipo abarca desde la construcción de un pozo mecánico para una residencia, hasta un complejo residencial o 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.

#### **2.3.1.1.2. Municipal**

Las corporaciones municipales, en muchas partes del país, también recurren a la extracción del agua subterránea para poder suministrar de este vital líquido a sus comunidades, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

#### **2.3.1.1.3. Gubernamental**

El gobierno central de la república de Guatemala en apoyo a la población también posee proyectos en los cuales se busca el abastecimiento de agua potable por medio de sus dependencias centralizadas, y debido a los grados de contaminación que reflejan los cuerpos de agua superficial la alternativa de extracción de agua del subsuelo se usa con más frecuencia.

#### **2.3.1.1.4. 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.

#### **2.3.1.1.5. Riego**

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.

#### **2.3.1.1.6. Generación de energía**

Existe el fenómeno de la energía geotérmica que se obtiene por la extracción del calor interno de la tierra. En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se perfora por fracturas naturales de las rocas basales o dentro de rocas sedimentarias.

El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua y de vapor, en la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos, de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a inyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. Este es un aprovechamiento del agua subterránea para otros fines distintos que el de suministro de agua potable, es por ello que el estudio que este proceso lleva es distinto.

#### **2.3.1.1.7. Minería**

La extracción del agua subterránea forma parte de las operaciones mineras, debido a que muchas minas están constituidas por un conjunto de espacios abiertos y se encuentran bajo el nivel freático, motivo por el cual el descenso de dicho nivel es fundamental, lográndose de esta manera obtener condiciones adecuadas para las operaciones de minado en el interior del subsuelo.

El descenso de la napa freática se logra mediante la instalación de pozos convencionales, ubicados tanto dentro como en los alrededores del área a explotar por la minería, conduciendo la descarga del bombeo hacia un lugar de almacenamiento, aquí puede ser utilizada para distintos fines dentro del proceso de minado y si presenta buenos parámetros de calidad se puede descargar al medio ambiente.

### 2.3.1.1.8. 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.

### 2.3.2. Métodos de perforación

En el momento de iniciar un proyecto de extracción de agua subterránea un aspecto importante es el método de perforación que se empleará, existen varios factores que se deben considerar antes de elegir un método en particular y éstos 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 trépano 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.



La cabeza de la barrena está hecha de acero y se encuentra provista por una corona de dientes de aleación carbono-tungsteno. Las puntas de la corona pueden afilarse o reemplazarse cuando se hayan gastado. El material de la excavación se va extrayendo continuamente por succión o por medio de la inyección de una espuma que lleva los cortes obtenidos hacia la superficie limpiando el área de contacto de la barrena y ayudando a obtener el registro de perforación.

### **2.3.3. Especificaciones técnicas para el 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.

#### **2.3.3.1. Diámetro de perforación**

En la construcción de un pozo mecánico es muy importante el diámetro de perforación, este es el diámetro de mayor magnitud y que contendrá en su interior la tubería de revestimiento y la tubería de bombeo. Cualquiera que sea el proyecto, su diseño dependerá de la demanda y de las condiciones que se encuentren en el lugar, un aspecto importante es deducir cuál será el diámetro de perforación, por analogía proyectual y con el registro de haber obtenido buenos resultados por parte de los constructores de pozos, se pueden asumir diámetros convencionales de acuerdo al tipo de proyecto, obviamente este es un diámetro tentativo y todo dependerá de varios factores que anteriormente se han indicado en este trabajo de graduación, en el tema de prospección de agua subterránea, tabla II.

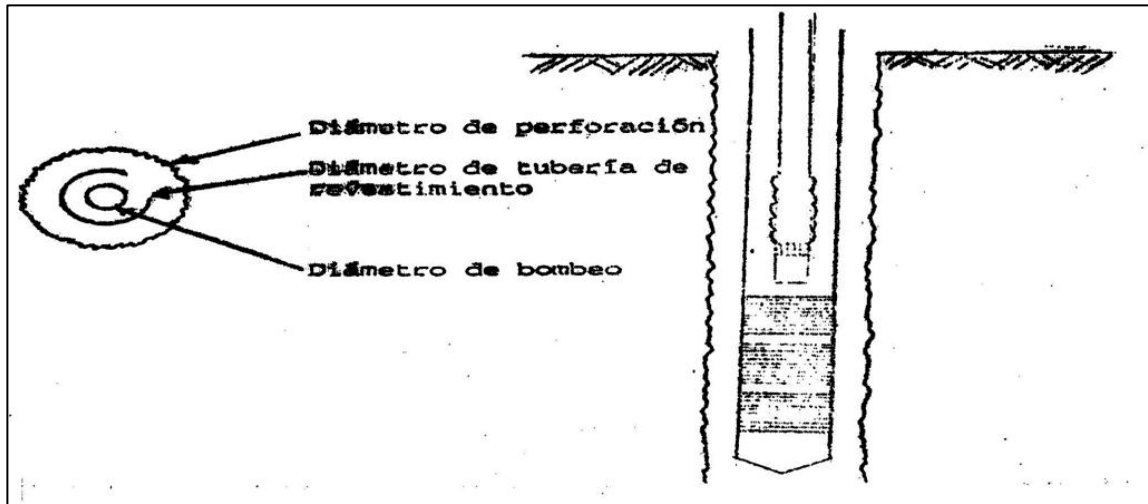
Tabla II. Diámetros de perforación según proyecto

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Diámetro sugerido</b>
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"

### 2.3.3.2. Diámetro del entubado

El diámetro de la tubería de revestimiento o de entubado es la que llevará todos los componentes de importancia para el pozo, como serán las rejillas de captación y servirá de barrera para que entre el diámetro perforado y el entubado en el pozo se 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 5).

Figura 5. Diámetros y tuberías de un pozo



### 2.3.3.3. 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 éste contiene en su retorno a la superficie, en base a todo esto se puede realizar un diseño de la profundidad del pozo mecánico.

#### **2.3.3.4. 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.

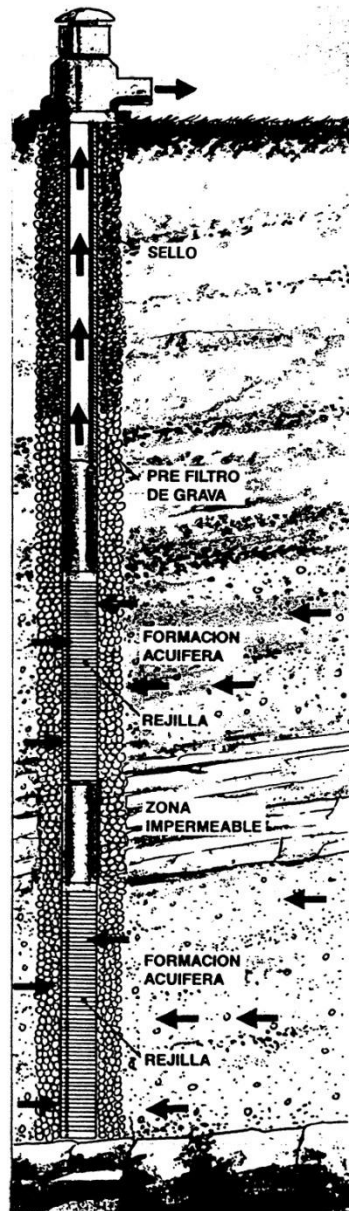
Es necesario que el personal técnico que realizará la construcción del pozo prepare un fluido de perforación, que produzca el efecto de sellado con poca invasión dentro de la formación y que no sea muy viscoso, para evitar la contaminación del acuífero. Las propiedades que influyen en un lodo de perforación 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.

#### **2.3.3.5. 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 6. Colocación de filtro de grava, sello sanitario y rejillas



### **2.3.3.6. Filtro de grava**

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

### **2.3.3.7. 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 sólo 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 éste no sea menor de 30 pies de longitud.

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

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

#### **2.3.4.1. Verticalidad**

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 de exceder de  $2/3$  del diámetro interior de la tubería por cada 100' de profundidad.

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

- Que la guía esté suspendida en un punto inamovible fijo durante 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.

### **2.3.4.2. Alineamiento**

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.

### **2.3.4.3. Desarrollo y limpieza**

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

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

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

- 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.

#### **2.3.4.3.1. Empleo de agentes dispersantes**

Para facilitar la eliminación del lodo de perforación y arcillas, poniéndolas en suspensión y evitando su sedimentación en el pozo y rejilla, es recomendable utilizar ciertos agentes químicos y dispersantes añadidos al agua en el pozo, el más usual es el hexametáfosfato de sodio, aunque también se utilizan otros polifosfatos tales como; el pirofosfato tetrasódico y el fosfato trisódico.

#### **2.3.4.3.2. Desarrollo por sobre bombeo**

En este método se bombea el agua propia del pozo en forma intermitente con un caudal mucho mayor al que se pretende extraer del mismo, esto para poder lavar los materiales que se encuentren incrustados en la rejilla o en el filtro de grava.

#### **2.3.4.3.3. Desarrollo por lavado a contracorriente**

En el desarrollo por lavado a contracorriente se bombea de una manera intermitente el pozo, explotando caudales elevados de agua, conjuntamente a éstos se realiza también el cubeteo del pozo para poder extraer los residuos que se puedan estar asentando en el pozo.

#### **2.3.4.3.4. Aire comprimido**

Se inicia aplicando químicos dispersantes y cepillando el pozo, luego se inyecta aire por medio de un compresor industrial con el objetivo de crear turbulencia dentro del pozo y remover las partículas y sedimentos mezclados con el químico aplicado, esto se hace en secciones de 10 pies de arriba hacia abajo y luego inversamente de abajo hacia arriba.

#### **2.3.4.3.5. Limpieza con pistón**

Este método consiste en comprimir y aspirar el agua en el pozo para producir un enérgico flujo de agua hacia adentro y hacia fuera del acuífero a través de la rejilla y forzar al material más fino del acuífero a entrar en el pozo.

Al bajar el pistón, el efecto de empuje se amortigua, el agua escapa hacia la parte superior a través de éste; cuando el pistón asciende, la lamina de goma asienta sobre su cara superior y la succión es más intensa que el empuje, evacuándose de manera continua el material fino en vez de forzarlo hacia el exterior en cada descenso.

#### **2.3.4.3.6. Con chorros de agua horizontales a alta velocidad (*Jetting*)**

Muy efectivo en desarrollo y limpieza de acuíferos en material granular, consiste en la introducción de una tubería de inyección a lo largo de las rejillas del pozo, este dispositivo dispara chorros de agua horizontales a una velocidad alta, con esto se consigue eliminar los materiales que están incrustados en las rejillas y en los filtros de grava.

#### **2.3.4.4. 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 éste 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.

#### **2.3.5. Diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra un pozo mecánico**

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.

### **2.3.5.1. 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 y se explican en el capítulo 3.

### **2.3.5.2. Nivel estático**

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

### **2.3.5.3. Nivel dinámico**

El nivel dinámico, al igual que el nivel estático, indica la columna de agua que existe por encima del elemento de succión en el pozo mecánico, con la diferencia que el nivel dinámico se mide cuando el acuífero está siendo explotado, esto significa que el pozo 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, esto se detalla en el capítulo 3.

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.

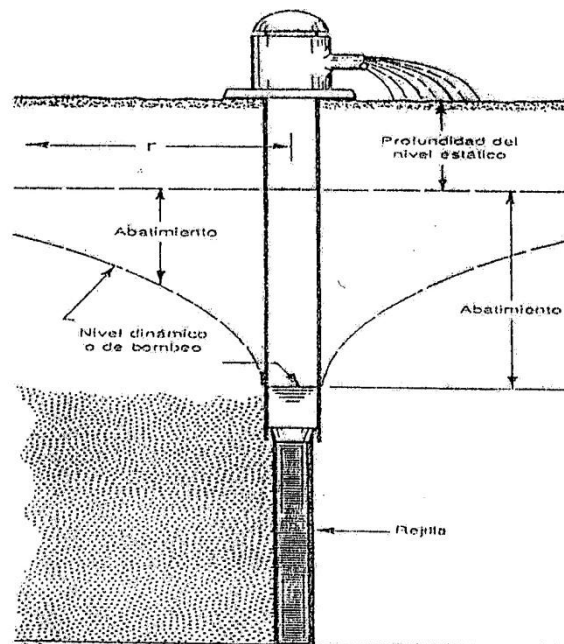
### **2.3.5.4. Abatimiento**

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

### 2.3.5.5. Caudal específico

No todos los pozos son iguales, a pesar de talvez tener un caudal de aforo idéntico entre dos pozos, también existe un factor importante que es el caudal específico, éste 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



La fórmula para obtener el caudal específico es la siguiente.

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

Donde:

**Q<sub>esp</sub>** = Caudal específico.

**Q** = Caudal producido según el aforo realizado al pozo.

**Abatimiento** = Diferencia entre los niveles estático y dinámico.

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

Después de realizadas las pruebas a un pozo mecánico se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos y en base a esto se puede deducir si el pozo necesita de un servicio de mantenimiento, esto con el objetivo de aumentar sus capacidades técnicas y de restablecer los parámetros con los que fue construido, 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.

#### **2.3.6.1. 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 éstos 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 físico-químico y bacteriológico (cada 6 meses); prueba de bombeo y medición de niveles estático y dinámico (anualmente).

El buen funcionamiento del pozo mecánico depende mucho del mantenimiento que se le dé, es muy importante preservar este tipo de obras ya que son de suma importancia para los usuarios del servicio.

#### **2.3.6.2. Revisión de la bomba**

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 reemplazada cumplida su vida útil.



## **2.4. 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.

### **2.4.1. Parámetros del agua potable**

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.

#### **2.4.2. Norma COGUANOR NGO 29001**

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

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

En Guatemala han sido escritas 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).

- **EI 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.

- **EI 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.

### **2.4.2.1. Análisis físico-químico**

#### **2.4.2.1.1. 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.

##### **2.4.2.1.1.1. 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.

#### **2.4.2.1.1.2. 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.

#### **2.4.2.1.1.3. 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.

#### **2.4.2.1.1.4. 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.

#### 2.4.2.1.1.5. 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.

#### 2.4.2.1.1.6. 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 III se enumeran los parámetros físicos del agua según la norma que la rige.

Tabla III Parámetros físicos del agua potable

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

#### **2.4.2.1.2. 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.

##### **2.4.2.1.2.1. Cloruros**

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

La determinación de este parámetro es importante cuando se tiene un conocimiento en el agua de un abastecimiento, ya que cuando el agua aparece contaminada éstos tienden a estar en exceso. 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.

#### **2.4.2.1.2.2. 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 adiciono. Se dice que el agua tiene una demanda de cloro después de cierto tiempo de contacto.

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

#### **2.4.2.1.2.3. 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 amoníaco presente, un residual de cloro libre.

#### **2.4.2.1.2.4. Cloruro residual combinado disponible**

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

#### **2.4.2.1.2.5. Fluoruros**

Éstos pueden presentarse en forma natural en el agua subterránea o superficial. El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados, como la fluorina ( $\text{CaF}_2$ ) y la criolita. En las aguas que se utilizan para consumo humano conviene mantener un nivel de 1.0 mg/L de fluoruros para prevenir la caries dental, y son especialmente sensibles a las dentaduras de niños.

#### **2.4.2.1.2.6. Sulfatos**

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

#### **2.4.2.1.2.7. Nitrógeno**

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

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.



#### **2.4.2.1.2.8. 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 mg/L. La coloración en general se transforma en problema cuando la concentración es mayor que 0.3 mg/L. 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.

#### **2.4.2.1.2.9. Dureza**

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

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

#### **2.4.2.1.2.10. 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.

#### **2.4.2.1.2.11. 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% 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. Los efectos conocidos varían de cambios bioquímicos leves si el grado de exposición es bajo, a problemas neurológicos graves e intoxicación (o incluso la muerte) si el nivel de contacto es extremadamente alto.

#### **2.4.2.1.2.12. Manganeso**

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 manganoso, junto con bicarbonato ferroso. Las bacterias que metabolizan el manganeso originan limos de color negro y se desarrollan de una manera abundante que ejercen acción de taponamiento en los sistemas de conducción.

#### **2.4.2.1.2.13. Yodo**

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

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

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

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

<b>Características químicas</b>	<b>Límite Máximo Admisible (LMA)</b>	<b>Límite Máximo Permisible (LMP)</b>
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

#### **2.4.2.2. 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.

#### **2.4.2.2.1. Examen microbiológico**

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

#### **2.4.2.2.2. Características del grupo coliforme**

La denominación genérica del grupo coliforme designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales (que comprende la totalidad del grupo) y los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal). Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

El grupo coliforme total comprende todas las bacterias en forma de bacilos:

- Bacilos aeróbicos o anaeróbicos facultativos
- No esporulados
- Gram. - negativos

Estas bacterias fermentan la lactosa con producción de ácido y gas de 24 a 48 horas a las temperaturas siguientes, la diferencia en su temperatura de fermentación es debido al grupo coliforme al que pertenecen

35 °C para el grupo coliforme total

44.5 °C para el grupo coliforme fecal

Para la investigación del grupo coliforme se utiliza el método de los tubos de fermentación por diluciones múltiples y se realizan las siguientes pruebas normales.

- Prueba presuntiva: básicamente consiste en sembrar volúmenes apropiados de la muestra de agua en tubos con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un periodo de incubación de 24-28 horas a 35 °C. La ausencia de gas después de 48 horas es prueba de que no existen bacterias coliformes en las muestras analizadas y constituye una prueba negativa (-). La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado constituye una prueba positiva (+) pero no necesariamente confirma la presencia de coliformes, ya que existe la posibilidad que la formación de gas se deba a otro tipo de microorganismo que no constituyen índices de polución, y para ello es necesario que se lleve a cabo la prueba confirmativa.
- Prueba confirmativa: básicamente consiste en inocular todos los tubos que den un resultado positivo en la prueba presuntiva, en un medio de cultivo adecuado que depende del grupo coliforme a investigar. Las condiciones en las cuales se llevan a cabo estas determinaciones, se pueden observar en las características del grupo coliforme descritas anteriormente. Al igual que la prueba presuntiva, la ausencia de gas después del período de incubación constituye una prueba negativa y la presencia de gas una prueba positiva, lo que confirma la presencia del grupo coliforme que se haya investigado.

Estos resultados se basan en leyes probabilísticas, por medio del método de los tubos de fermentación en diluciones múltiples. Los resultados se expresan por medio de un índice denominado: número más probable (NMP)/100cm<sup>3</sup>. El NMP es un índice del número más probable de bacterias coliformes, totales o fecales, que tienen más probabilidades de ocurrir sobre cualquier otro número en los resultados obtenidos por medio del examen bacteriológico.

Los cálculos del índice se hacen en dos supuestos: que los gérmenes estén repartidos al azar en el agua, que se obtenga una reacción positiva solo si la porción de agua analizada contiene uno o más gérmenes. Para que el agua se pueda considerar apta para el consumo humano el NMP debe ser  $< 3$ .

## **2.5. Conservación del recurso agua subterránea**

La contaminación del agua subterránea es la alteración de su calidad natural, derivada de las actividades humanas, que la hace total o parcialmente inadecuada para el fin que se destinaba. El hombre puede provocar esta contaminación, consciente o inconscientemente, de muy diversas maneras.

La naturaleza aporta una cobertura protectora a las aguas subterráneas, de importancia variable según los casos. Así, en los terrenos detríticos ocurren fenómenos que proporcionan una depuración más o menos efectiva; sin embargo, en acuíferos fisurados estos fenómenos son prácticamente inexistentes. La legislación vigente reconoce la importancia de las aguas subterráneas, así como la protección y correcta gestión. Las características geológicas de los acuíferos y la consiguiente inercia del agua subterránea, obligan a prevenir la degradación de su calidad.



La prevención es la única manera económicamente viable para proteger con garantía este recurso vital en el presente y para el futuro.

### **2.5.1. 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.

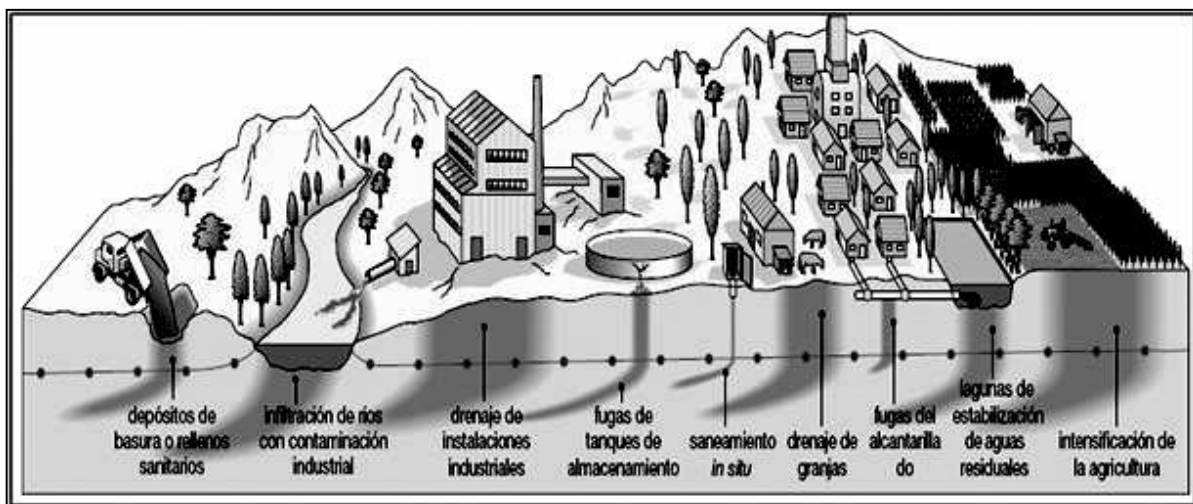
Este problema se da en aguas superficiales y se extiende a las aguas subterráneas. Este proceso es lento, pero por filtración la contaminación puede llegar a zonas profundas. El agua subterránea es la menos contaminada, siendo casi imposible tratarla de una manera eficaz, en función del costo y que a 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 subterránea



### 2.5.2. Protección de los recursos

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

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

### **3. MONITOREO DE RECURSOS HIDRÁULICOS**

El tema principal de este trabajo de graduación es hacer un monitoreo de los recursos hidráulicos y obtener la información referente al aprovechamiento del agua subterránea en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para poder llevar a cabo esto se hicieron diversos trabajos de campo e investigaciones, y en el presente capítulo se detallan.

#### **3.1. Área y población a analizar**

El campus central de la universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra ubicado en la zona 12 de la ciudad de Guatemala y para ingresar a éste se puede hacer por el final del anillo periférico, en la parte sur de la ciudad o por la 32 calle de la avenida Petapa; su posición geográfica se encuentra en las coordenadas Latitud 14° 35' 07" Norte y Longitud 90° 33' 14" Oeste y a una elevación promedio sobre el nivel del mar de 1485 metros.

El campus central lo componen un complejo de edificios destinados como edificios de aulas, administrativos y de investigación, albergando 9 Facultades y 7 escuelas facultativas, cuenta con infraestructura para proveer determinados servicios a la población estudiantil y éstos son: instalaciones deportivas (alberca olímpica, canchas de tenis y baloncesto, y un estadio de futbol), biblioteca, bancos, clínicas medicas y odontológicas, cafeterías y un complejo de parqueos, además cuenta con dos centros de desarrollo experimental y son la finca experimental de Veterinaria y el centro experimental de Agronomía (CEDA), más adelante se explicará detalladamente las funciones de estas dependencias.

### **3.1.1. Usuarios del servicio**

En todo centro educativo el agua potable y el drenaje son servicios esenciales de los que no pueden prescindir los estudiantes, personal administrativo y docente para sus necesidades fisiológicas, aseo personal y limpieza de las instalaciones.

La mayor demanda de agua potable se da para satisfacer las necesidades de los estudiantes que son los usuarios más relevantes, debido a la cantidad elevada de los mismos. La población estudiantil año tras año crece aunque la tasa ha bajado en comparación con otras épocas, por lo que la demanda y la disponibilidad de los servicios de agua potable sufren modificaciones constantes en su caudal.

Según datos proporcionados por el Departamento de Registro y Estadística se muestra más adelante la cantidad de alumnos inscritos en cada unidad académica que reciben clases en el campus central.

El período a analizar para obtener los usuarios del servicio será entre los ciclos académicos del año 2001 al año 2009 (tabla V). Las facultades que se encuentran en el campus central son: Agronomía, Arquitectura, Ciencia Económicas, Ciencias Jurídicas y Sociales, Ciencias Químicas y Farmacia, Humanidades, Ingeniería, Odontología, Medicina Veterinaria y Zootecnia; y las escuelas facultativas son: Ciencias de la Comunicación, Historia, Trabajo Social, Ciencia Política, EFPEM, Ciencias Lingüísticas y Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA).

Tabla V. Alumnos inscritos en el campus central por unidad académica período 2001-2009

UNIDAD ACADÉMICA	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Agronomía	1,259	1,235	1,193	1,268	1,045	1,114	1,136	1,210	1,266
Arquitectura	4,968	5,397	5,429	5,395	5,190	4,950	4,683	4,501	4,082
C.C. Económicas	20,705	20,405	20,951	21,706	18,704	18,992	19,253	20,727	21,637
C.C. Jurídicas y Sociales	15,714	16,715	16,114	18,748	16,036	15,665	15,337	16,523	15,885
C.C. Químicas y Farmacia	1,734	1,852	1,938	1,996	2,219	2,289	2,346	2,438	2,487
Humanidades	3,235	3,904	4,319	4,800	4,790	7,125	8,395	9,897	12,212
Ingeniería	13,861	13,635	13,343	13,642	13,041	12,690	12,790	12,707	12,468
Odontología	1,435	1,420	1,342	1,301	1,309	1,228	1,220	1,179	1,188
Veterinaria	798	863	900	874	900	916	991	1,080	1,051
C.C. de la Comunicación	4,835	5,082	5,292	5,694	5,124	4,959	5,191	5,075	4,944
Historia	1,041	1,073	1,106	1,123	1,067	994	981	991	980
Trabajo Social	593	550	709	729	705	718	789	933	1,103
Ciencia Política	1,455	1,619	1,655	1,657	1,510	1,519	1,457	1,577	1,610
EFPEM	2,365	2,186	2,280	2,344	2,405	2,514	2,661	3,004	3,281
C.C. Lingüísticas	-	-	-	-	-	21	95	96	156
CEMA	113	140	146	178	192	179	156	166	167

En la tabla V se puede observar una leve baja en la cantidad de estudiantes que se han inscrito entre los ciclos académicos comprendidos entre el 2001 y el 2009 para algunas unidades académicas y un pequeño ascenso en otras unidades, la única facultad que presenta un considerable aumento en su número de estudiantes es la Facultad de Humanidades y la EFPEM, por ello analizar a cada unidad académica por separado no daría un resultado representativo de la tasa de crecimiento, a continuación se muestra la población estudiantil total que se ha inscrito en el campus central en los ciclos académicos del 2001 al 2009 (tabla VI).

Tabla VI. **Estudiantes inscritos en el campus central período 2001-2009**

<b>TOTAL DE ESTUDIANTES INSCRITOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA PERIODO 2001-2009</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
	74,111	75,536	76,717
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
	81,455	74,237	75,852
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
	77,386	82,118	84,632

En la anterior tabla se muestra la cantidad de alumnos que son usuarios del servicio en el campus central, se ha buscado un parámetro representativo de la cantidad de estudiantes, ya que no asiste el total de éstos todos los días ni a lo largo de todo el horario en que las instalaciones están abiertas a los usuarios, en la sección siguiente se hará el cálculo de la demanda, tomando los parámetros convencionales para este tipo de proyectos.



### 3.1.2. Demanda de agua potable en la actualidad

En el campus central funcionan 5 pozos de extracción de agua subterránea, pero de estos son tres los que proveen servicio de agua potable hacia edificios de aulas y administrativos, también abastecen a edificios que se dedican a la investigación, los 2 restantes abastecen de agua a proyectos de cultivo y crianza de animales.

Para calcular la cantidad de agua que se requiere por día en el campus central (demanda actual), primero debe calcularse el número de alumnos actual, número de jornadas en las que se utiliza el servicio y dotaciones recomendadas, en la tabla VI se presenta la cantidad de alumnos inscritos en la Universidad de San Carlos y que tienen sus actividades académicas en el campus central (periodo 2001-2009), para poder obtener la demanda actual se tomo el número de alumnos inscritos en el año 2009.

Actualmente para saber la dotación de agua en edificios escolares se cuenta con el “Reglamento para presentación, diseño y construcción de redes de distribución de agua potable” elaborado por EMPAGUA y su finalidad es estandarizar las técnicas y parámetros de diseño. A continuación se dan las dotaciones recomendadas por el reglamento de EMPAGUA, (tabla VII).

Tabla VII. **Dotaciones de agua para edificios escolares**

<b>Planteles educativos</b>	<b>Litros/alumno-día</b>
Alumnos externos	40
Alumnos internos	200
Alumnos (0.25) internos	70
Personal residente	200
Personal no residente	50

Al tener como base las dotaciones recomendadas por la tabla VII, al estudiante del campus central se le da calidad de alumno externo, al cual hay que dotársele de 40 litros/día. Al tener como base el número de estudiantes del ciclo 2009, quienes teóricamente asisten al campus central son 84,632 estudiantes (dato proporcionado por la tabla VI), pero de estos se asume que asisten en 3 jornadas diarias, de esta forma la dotación se reduce a 13.33 litros por día, por lo cual la demanda actual diaria de agua es de:

$$84632 \text{ alumnos} \times 13.33 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 1\,128,145 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Si a esto se le suma el personal administrativo y docente, la demanda aumentará, es de conocimiento de todos que en la Universidad de San Carlos de Guatemala no hay una asistencia normal por parte de los estudiantes esto debido a distintos factores, entonces para efectos de este trabajo de graduación se manejará solamente la demanda requerida para estudiantes inscritos ya que con esto se puede asegurar que se está cumpliendo los requerimientos por parte del personal docente, administrativo y de conserjería, además hay que sumarle la cantidad de agua requerida para el proyecto de jardinería que según el departamento de mantenimiento asciende a 384 m<sup>3</sup> en época de estiaje, con estos datos la demanda total del campus central asciende a 1510 m<sup>3</sup> de agua al día.

Demanda actual 1510 m<sup>3</sup> de agua potable al día

### 3.1.3. Demanda de agua potable a futuro

En la Universidad de San Carlos se está dando un fenómeno que requiere de mucha atención y es la baja tasa de crecimiento poblacional de estudiantes, a continuación se hará la comparación de épocas anteriores con lo que se está dando en la actualidad en el campus central, en cuanto a crecimiento poblacional se refiere.

Para realizar una proyección de la población, en comunidades en vías de desarrollo se hace uso del método de crecimiento geométrico, cuya fórmula es la siguiente:

$$P_n = P_i (1 + i)^n$$

Donde:

**P<sub>n</sub>** = Población proyectada a futuro

**P<sub>i</sub>** = Población actual o inicial

**i** = Tasa de crecimiento

**n** = Número de años

Para obtener la tasa de crecimiento solo hace falta despejar de la fórmula base el valor "i", obteniendo dos valores de población de periodos anteriores con un intervalo representativo de la población.

En este tema de crecimiento poblacional de estudiantes han estado ocurriendo fenómenos que requieren de análisis ya que para poder proyectar el crecimiento hay que tener un valor de la tasa que proporcione valores futuros confiables.

Los fenómenos que están sucediendo se explican a continuación:

- Para el período de 1990 al año 2000 la tasa de crecimiento de la población estudiantil en la Facultad de Ingeniería fue de 5.46%, con los datos del período 2001-2009 la tasa de crecimiento poblacional es negativa y es del -1.31%, esto quiere decir que una de las facultades de mayor tradición en esta casa de estudios va en descenso en su población, levemente en algunos años intermedios de este periodo ha subido el valor, pero estadísticamente es un descenso.
- En la tabla VI (estudiantes inscritos en el campus central período 2001-2009) se presenta un fenómeno que hay que tomar en cuenta, el crecimiento poblacional en el campus central no presenta una relación de ascenso o descenso uniforme, en los intervalos de tiempo las tasas de crecimiento presentan valores que difieren entre si de una manera muy brusca, hay que analizar estos datos ya que se debe tener una tasa de crecimiento representativa, que sea de utilidad para una proyección a futuro de la población estudiantil (tabla VIII).

Tabla VIII. Tasas de crecimiento poblacional del campus central

<b>Ciclos académicos</b>	<b>Tasa de crecimiento poblacional</b>
2001-2004	3.20%
2004-2005	-8.86%
2005-2009	3.33%
2001-2009	1.67%

La tasa de crecimiento poblacional negativa de -8.86% que se da entre el año 2004 y 2005 es debido a que entre estos años la población estudiantil era de 81,455 y 74,237 estudiantes respectivamente, esto es un descenso de 7,218 estudiantes en un año.

Estos cambios tan bruscos pueden influir en errores al momento de calcular la población proyectada a futuro, para fines del cálculo de la demanda de agua potable a futuro se utilizará la tasa de crecimiento del período de 2001-2009, esto por criterio ya que no se sabe cuántas veces más en años próximos se pueda dar un descenso considerable como el que ocurrió entre el año 2004 y 2005, pero se observa que la población vuelve a incrementarse de una manera similar en un periodo siguiente. La población proyectada a futuro se espera para un período de diseño de 15 años.

$$P_n = 84,632 (1 + 0.0167)^{15}$$

$$P_n = 108,500 \text{ estudiantes}$$

La población estudiantil dentro de 15 años (año 2024) estudiando en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala será de aproximadamente de 108,500 estudiantes, para el cálculo de la dotación se emplea el mismo criterio de jornadas y de afluencia de estudiantes.

$$108,500 \text{ alumnos} \times 13.33 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 1\,446,305 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

La demanda de agua potable a futuro será de 1 446,305 litros/día esto equivalente a  $1,446 \text{ m}^3$  de agua al día, más un cálculo aproximado de  $800 \text{ m}^3$  de agua para riego de jardines en época de estiaje, en la actualidad el proyecto de jardinería del campus central realiza el riego de éstos por medio del agua potable que proveen los pozos administrados por la División de Servicios Generales pero en un futuro se podría aprovechar agua que no sea potable para estas actividades, esto se podría llevar a cabo reutilizando el agua que se descarga en la planta de tratamiento del campus central.

De seguirse utilizando para riego agua potable y tomando en cuenta la población estudiantil proyectada a futuro la demanda será aproximadamente de  $2250 \text{ m}^3$  de agua al día.

Demanda a futuro (año 2 024)  $2250 \text{ m}^3$  de agua potable al día

#### **3.1.4. Condiciones del suministro de agua en la actualidad**

El suministro de agua potable en la actualidad es aceptable, la División de Servicios Generales suministra agua potable al 85.27% del total de estudiantes en el campus central esto lo hace por medio de los dos pozos que administra, la Facultad de Ingeniería suministra del vital líquido al 14.73% del total de estudiantes del campus, todos ellos inscritos en esa facultad, es capaz de proveer agua potable a Ingeniería gracias al pozo mecánico que tiene bajo su administración, la Facultad de Agronomía cuenta con un pozo mecánico pero su uso es casi exclusivo para fines de riego en el centro experimental de Agronomía, este pozo está interconectado y puede formar parte del circuito de distribución central del campus y además en determinado momento puede llevar abastecimiento a los edificios de esta facultad, esto normalmente se da en momentos en que es solicitado el servicio como apoyo.

La finca experimental de Veterinaria cuenta también con un pozo de agua pero éste es de uso exclusivo para las actividades de la finca y no se puede unir al circuito central del campus ni puede abastecer a los edificios de esta Facultad.

Hasta el momento el suministro se da sin interrupciones considerables y se pudo comprobar que se cuenta con un servicio satisfactorio, el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala tiene aproximadamente 12 años de no utilizar el servicio prestado por EMPAGUA, anteriormente se utilizaba este servicio pero era ineficiente y resultaba oneroso para la Universidad.

### **3.1.5. Utilización del agua potable en el campus central**

El agua potable como en todas partes se utiliza para muchos fines y en el caso del campus central no es la excepción, el agua en el campus central se utiliza para distintas actividades y las de más relevancia son las siguientes.

#### **3.1.5.1. Servicios sanitarios**

Un alto porcentaje de la dotación del agua potable se usa para la descarga en servicios sanitarios, obviamente todos los edificios de aulas y administrativos cuentan con servicios de este tipo y para todas las personas que acuden diariamente a esta casa de estudios el uso de los mismos es primordial para poder realizar sus necesidades fisiológicas así como para su aseo personal.

En algunas unidades académicas la limpieza y disponibilidad de servicios sanitarios no es buena, en el análisis realizado se ha podido constatar que el problema no es por falta de agua potable, ya que todos los edificios cuentan con cisternas que pueden suplir ampliamente la demanda de estos servicios, el problema se refleja en aspectos de cultura de las personas y en la negativa por parte de los encargados de la limpieza y conserjería de mantener abiertos al público los servicios sanitarios.

#### **3.1.5.2. Limpieza y servicios de conserjería**

Un ambiente agradable en los edificios es primordial para que las personas se sientan cómodas y puedan realizar de una mejor manera sus actividades ya sean de estudio o laborales, los servicios de limpieza y conserjería usan una cantidad de agua considerable dependiendo de las áreas que tienen destinadas a limpiar.

#### **3.1.5.3. Elaboración de alimentos**

En todo el campus central y en las distintas facultades se encuentran cafeterías y kioscos de comida, estos negocios dedicados a la venta de alimentos utilizan agua potable para poder elaborarlos, es para estos usos del agua en que más se necesita que el agua cumpla con parámetros de calidad, ya que de no ser así puede tener perjuicios en la salud de los estudiantes y personas que ingieran estos alimentos.



#### **3.1.5.4. Riegos agrícolas**

En el campus central hay áreas destinadas al cultivo y a la crianza de animales, éstos son el centro experimental de Agronomía y la finca experimental de Veterinaria, administrados por sus respectivas facultades y son de utilidad para poder realizar prácticas de laboratorio para los estudiantes de estas unidades académicas, es tan importante el suministro de agua en estas áreas que las autoridades que las administran se vieron en la necesidad de perforar sus propios pozos mecánicos para suplir sus necesidades.

#### **3.1.5.5. Jardinería**

En tiempos recientes se está llevando a cabo el proyecto de jardinería del campus central, esto trae una demanda extra de agua, en época de estiaje principalmente, ya que para conservar los jardines del campus central se necesita de un riego frecuente de estas áreas.

Las áreas jardinizadas abarcan lugares determinados, pero se prevee que éstas irán en aumento, ya que las autoridades planean jardinizar la totalidad del área verde interior al anillo periférico universitario.

#### **3.1.5.6. Clínicas**

La Facultad de Odontología cuenta con servicio de clínicas, en ellas los estudiantes de esta unidad académica ponen en práctica los conocimientos adquiridos en su carrera y realizan una labor social para las personas externas y estudiantes que necesitan de atención odontológica y que no cuentan con los recursos económicos.

También existen clínicas medicas y odontológicas en el área de salud del edificio de Bienestar Estudiantil para atender a los estudiantes de la Universidad, estas clínicas requieren de un suministro eficiente de agua, y éste es otro uso que se le da al agua potable extraída de los pozos mecánicos del campus central.

### **3.2. Ubicación de los pozos mecánicos**

En el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala se cuenta con 5 pozos mecánicos de extracción de agua subterránea y la ubicación de los mismos se describe a continuación, también más adelante se ubican por medio de una fotografía satelital (figura 9).

La División de Servicios Generales cuenta con dos pozos para el abastecimiento de la mayor parte de la demanda de agua potable en el campus central:

#### **➤ Pozo 1, División de Servicios Generales**

Latitud 14° 35' 21.2" Norte, Longitud 90° 33' 11.7" Oeste y a una altura de 1492 metros sobre el nivel del mar.

#### **➤ Pozo 2, División de Servicios Generales**

Latitud 14° 35' 03.5" Norte, Longitud 90° 33' 22.8" Oeste y a una altura de 1486 metros sobre el nivel del mar.

La Facultad de Ingeniería cuenta con dos pozos para abastecer sus instalaciones, pero solo el pozo número 1 se encuentra en funcionamiento en la actualidad:

➤ **Pozo 1, Facultad de Ingeniería**

Latitud 14° 35' 11.3" Norte, y Longitud 90° 33' 14.7" Oeste y a una altura de 1491 metros sobre el nivel del mar.

➤ **Pozo 2, Facultad de Ingeniería**

Latitud 14° 35' 12.0" Norte, y Longitud 90° 33' 13.6" Oeste y a una altura de 1491 metros sobre el nivel del mar. Este pozo actualmente no se encuentra en funcionamiento.

➤ **Pozo finca experimental de Veterinaria**

La Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia cuenta con un pozo en la finca experimental de Veterinaria, y que abastece de agua para las actividades que en la finca se realizan, pero no suministra a los edificios de aulas y administrativos de esta facultad.

Latitud 14° 34' 53.2" Norte, y Longitud 90° 33' 27.4" Oeste y a una altura de 1483 metros sobre el nivel del mar.

➤ **Pozo centro experimental de Agronomía (CEDA)**

La Facultad de Agronomía cuenta con un pozo en el centro experimental de Agronomía CEDA, este pozo también suministra a los edificios en momentos determinados como podría ser épocas de estiaje y cuando el suministro de la red principal de distribución no es capaz de cumplir toda la demanda, pero la mayoría del tiempo solo abastece en el CEDA.

Latitud 14° 34' 53.1" Norte, y Longitud 90° 33' 19.8" Oeste y a una altura de 1489 metros sobre el nivel del mar.

Los datos de coordenadas geográficas de los pozos fueron localizados por medio de un Navegador GPS, marca GARMIN, modelo ETREX VISTA CX, con versión de Software 2.50 ID 3315420814, propiedad de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 9. Ubicación de pozos en el campus central



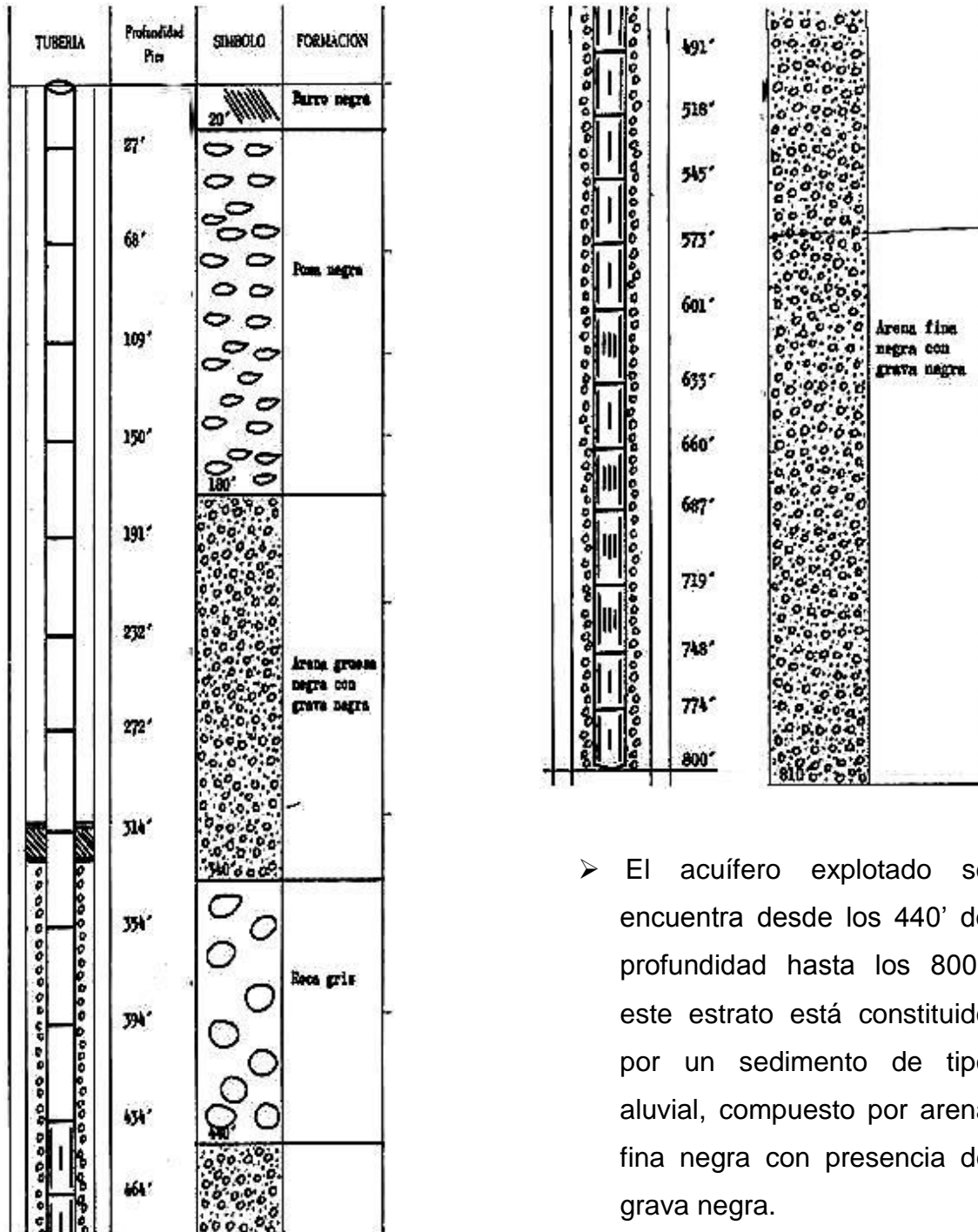
### **3.3. Caracterización de los acuíferos aprovechados**

En el área analizada, observando el registro de perforación de los pozos y en base a los datos obtenidos en los caudales de aforo de éstos se puede deducir que el acuífero que está siendo explotado es de buenas características de permeabilidad y transmisibilidad, para poder realizar una caracterización de los acuíferos se necesita conocer los perfiles estratigráficos de los pozos. Para poder caracterizar las áreas saturadas se analizaron los datos y perfiles estratigráficos de los pozos y se ha podido determinar que el acuífero que cuenta con las mejores cualidades está formado por arena gruesa negra, con una mezcla de grava negra, ubicado a una profundidad promedio que va desde los 400 hasta los 1000 pies de profundidad desde la superficie, estas características indican que se trata de un sedimento aluvial, este es el acuífero aprovechado por los proyectos de extracción de agua subterránea del campus central.

Anterior a este estrato se encuentran formaciones comprendidas por rellenos de tipo volcánico, aglomerados volcánicos, estratos de piedra pómez y un estrato superior arcilloso: la mayor parte de estos estratos son de origen volcánico y esto debido a la intensa actividad volcánica que en esta región se ha dado a lo largo de millones de años. El perfil estratigráfico del campus central es uniforme en su conformación y esto se puede hacer notar en base a los perfiles del terreno obtenidos en el lugar en que se sitúan los pozos. En las secciones anteriores se han explicado cuales son los materiales que poseen mejores condiciones para el reservorio y flujo del agua subterránea, en los perfiles estratigráficos aparece también la forma de colocación de la tubería lisa y las rejillas, en el lugar donde están colocadas las rejillas es donde se encuentran los estratos con mejores condiciones y donde se encuentra el acuífero explotado por el pozo mecánico.

➤ Pozo 1, División de Servicios Generales

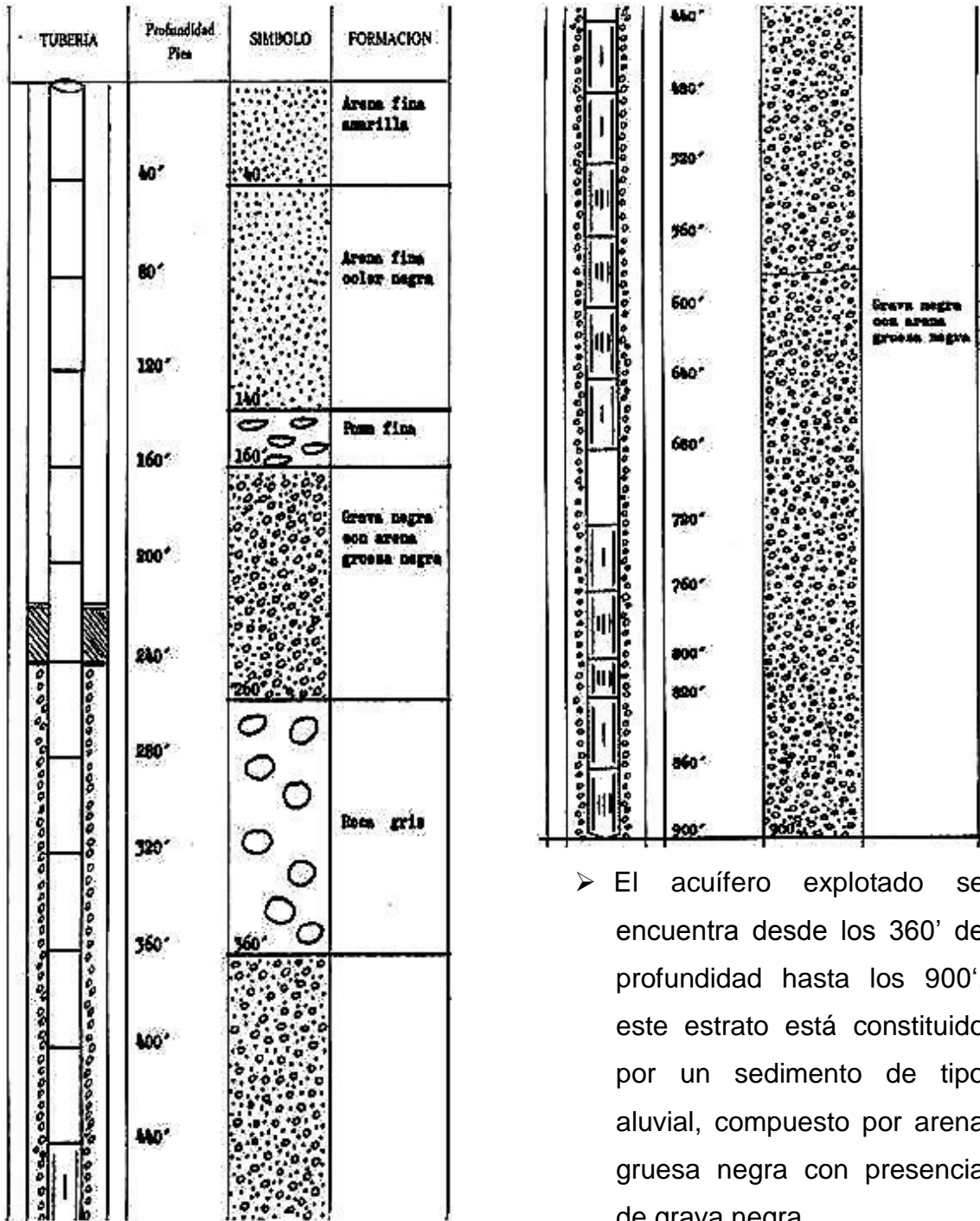
Figura 10. Perfil estratigráfico pozo 1, División de Servicios Generales



➤ El acuífero explotado se encuentra desde los 440' de profundidad hasta los 800', este estrato está constituido por un sedimento de tipo aluvial, compuesto por arena fina negra con presencia de grava negra.

➤ Pozo 2, División de Servicios Generales

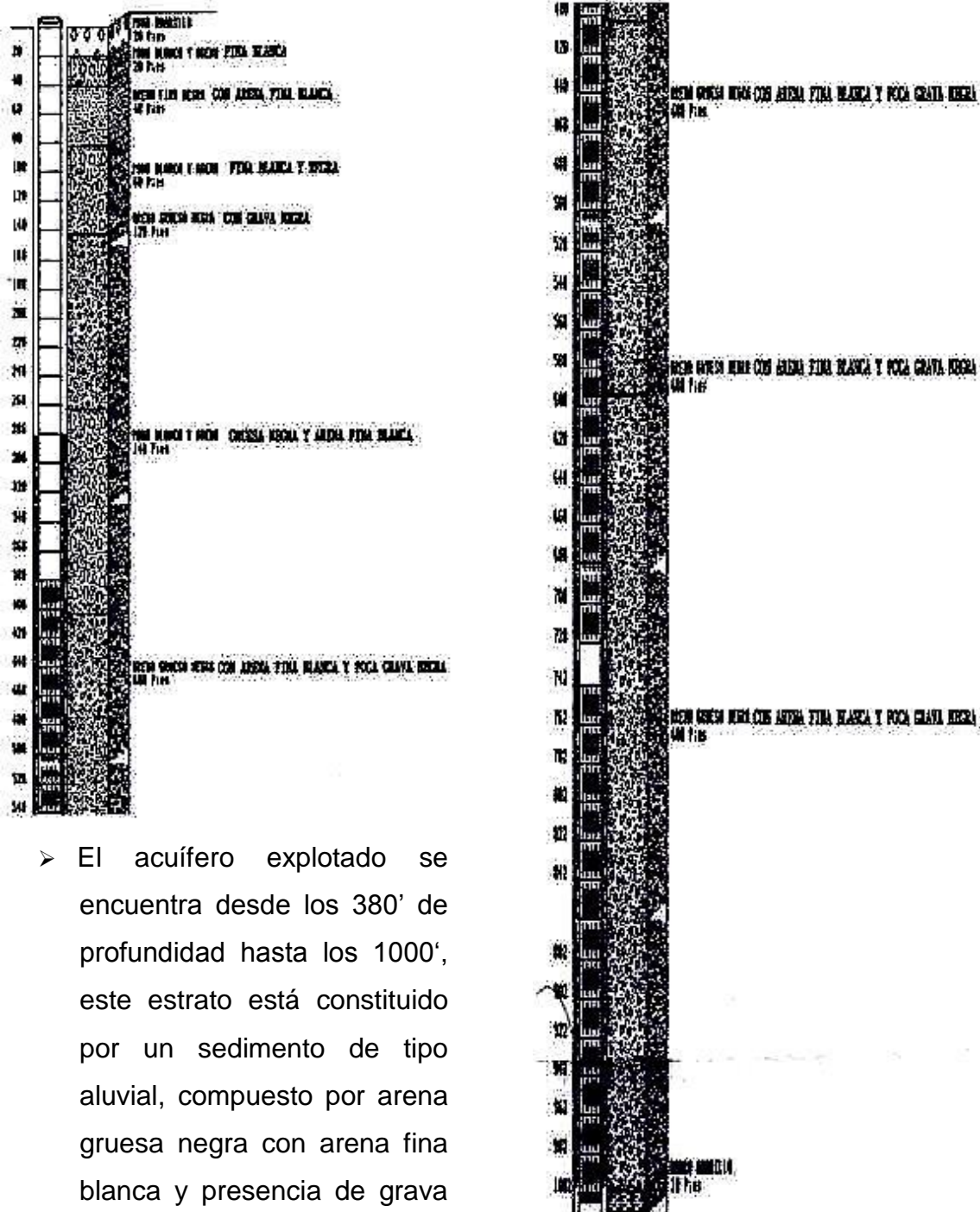
Figura 11. Perfil estratigráfico pozo 2, División de Servicios Generales



- El acuífero explotado se encuentra desde los 360' de profundidad hasta los 900', este estrato está constituido por un sedimento de tipo aluvial, compuesto por arena gruesa negra con presencia de grava negra.

➤ Pozo centro experimental de Agronomía (CEDA)

Figura 12. Perfil estratigráfico pozo centro experimental de Agronomía (CEDA)



- El acuífero explotado se encuentra desde los 380' de profundidad hasta los 1000', este estrato está constituido por un sedimento de tipo aluvial, compuesto por arena gruesa negra con arena fina blanca y presencia de grava negra.



Como se pudo observar en los perfiles estratigráficos de los pozos, las condiciones son similares, por lo que se puede decir que el acuífero que se está aprovechando es el mismo, es válido resaltar que además éste posee buenas condiciones, ya que estos pozos poseen buena capacidad de producción y de recarga en sus niveles freáticos, en la siguiente sección se hace un análisis de las condiciones en las que se encuentran los pozos mecánicos del campus central y se hace un análisis comparativo sobre las condiciones en las que se encontraba el acuífero en algunos pozos en el momento en que fueron construidos y las condiciones que se tienen en la actualidad con las pruebas que se realizaron.

#### **3.4. Investigación de campo sobre las condiciones en que se encuentran los pozos mecánicos**

Se realizó un monitoreo de las condiciones de funcionamiento de cada pozo mecánico que existe en el campus central, este monitoreo consistió en pruebas de aforo para poder saber el caudal que éstos están produciendo, medición de los niveles estático y dinámico de los pozos y revisión del equipo de bombeo, todas estas pruebas son de mucho interés para poder sacar conclusiones de las deficiencias y características de cada pozo.

A continuación se presenta la ficha técnica y los datos de cada pozo, las pruebas fueron realizadas los días 27 y 28 de agosto del año 2009, para el pozo 1 de la División de Servicios Generales y para el pozo del centro experimental de Agronomía se realiza el análisis comparativo de sus características hidrológicas desde el momento en que fueron construidos hasta la fecha de medición de niveles y aforos.

### 3.4.1. Pozo 1, División de Servicios Generales

Este pozo es administrado y operado por la División de Servicios Generales a través del departamento de mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, este pozo fue perforado en el año de 1988 y conjuntamente con el pozo 2 de esta dependencia abastecen a la mayoría de edificios del campus universitario, sus datos técnicos se enumeran a continuación, (tabla IX). Los dos pozos de la División de Servicios Generales son operados automáticamente 15 días del mes cada uno y su horario de bombeo lo determina la demanda, ya que el equipo de bombeo se activa y detiene automáticamente, su período de bombeo es casi ininterrumpido a lo largo del día y en ocasiones debido a la demanda tienen que trabajar ambos pozos.

Tabla IX. Datos técnicos pozo 1, División de Servicios Generales

<b>Datos del pozo mecánico</b>	
<b>Pruebas realizadas el día 27/08/2009</b>	
Diámetro del pozo	8" en hierro negro
Profundidad del pozo mecánico	800'
Longitud ranurada	366'
Sello sanitario de cemento	Desde 315' a 335'
Filtro de grava	Desde 335' a 800'
Profundidad de la bomba	600'
Diámetro de tubería de pozo a tanque	4" en PVC
Nivel estático	466'
Nivel dinámico	480'
Abatimiento	14'
Caudal	250 gpm
Caudal específico	17.86 gpm/pie

Además de las condiciones del pozo en cuanto a las características de sus distintos componentes, también es muy importante saber las especificaciones del equipo hidráulico y eléctrico, ya que éstos juegan un papel muy importante en el funcionamiento del pozo, a continuación se enumeran estos datos para el pozo 1, División de Servicios Generales (tabla X).

Tabla X. **Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo 1, División de Servicios Generales**

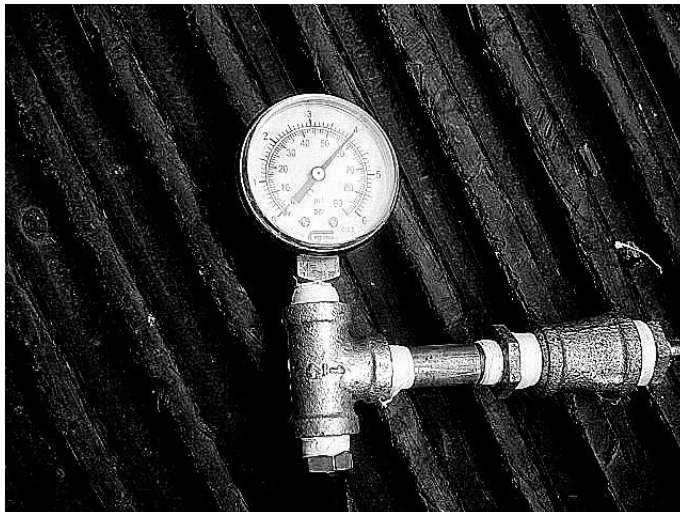
<b>Datos del equipo hidráulico</b>			
Línea de aire		1/4"	
Válvula de compuerta en descarga		4"	
Diámetro de tubería en pozo mecánico		4" galvanizada tipo mediana	
Bomba sumergible		Marca Berkeley 6T50-250/50HP/12 etapas	
Motor sumergible		Franklyn Electric 50 HP 3 PH 460 Voltios	
<b>Datos del equipo eléctrico</b>			
Banco de transformación		3 de 15 KVA	
Cable de tierra		No tiene	
Cable sumergible		4/3	
Flip-On principal		De 3 polos por 90 amperios	
Flip-On de mando		1 de 3 polos de 6 amperios y 1 de 2 polos por 6 amperios	
<b>Datos de mediciones del consumo del amperaje del motor</b>			
Medición 1	A/T1	R/T2	N/T3
	68.5	68.5	68.5
Amperaje nominal	67.7	Amperaje máximo	77

A continuación se presenta el reporte que detalla cada uno de los componentes tanto técnicos, hidráulicos y eléctricos que forman parte del pozo mecánico número 1 de la División Servicios Generales, en el cual se realizó un aforo volumétrico para determinar niveles y producción actual (gpm).

El aforo se realizó en el pozo mecánico y tuvo una duración de 1 hora, el pozo estuvo sin funcionamiento por aproximadamente 15 horas antes de realizar este aforo, la medición del nivel estático (NE) se realizó al inicio de las pruebas y consistió en inyectarle oxígeno a la línea de aire de 1/4" e indicó una lectura en el manómetro de 58 psi, lo cual indica que el (NE) se encuentra a una cota de 134' (pies) por encima de la bomba, como la profundidad de la bomba es de 600' se sabe que el nivel estático se encuentra 466' de profundidad.

Después de bombeado el pozo por 1 hora se realizó la medida de su nivel dinámico obteniendo un dato de 52 psi, equivalente a 120' de columna de agua sobre la bomba, esto indica un nivel dinámico de 480', obteniendo así un abatimiento de 6 psi equivalente a 14', el manómetro de medición se puede observar en la siguiente figura.

Figura 13. **Manómetro para medición de niveles en el pozo**



Para realizar el aforo se procedió a arrancar el equipo de bombeo sumergible de 50 HP, durante el aforo se obtuvo una producción de 250 gpm, el aforo fue de tipo volumétrico, midiendo el tiempo de llenado de un tonel de 54 galones, el llenado se llevó a cabo tres veces durante la hora de aforo y se hizo un promedio de los tiempos de llenado para obtener la producción del pozo.

La medición del caudal se hizo por medio de una descarga abierta en el brocal del pozo (figura 14).

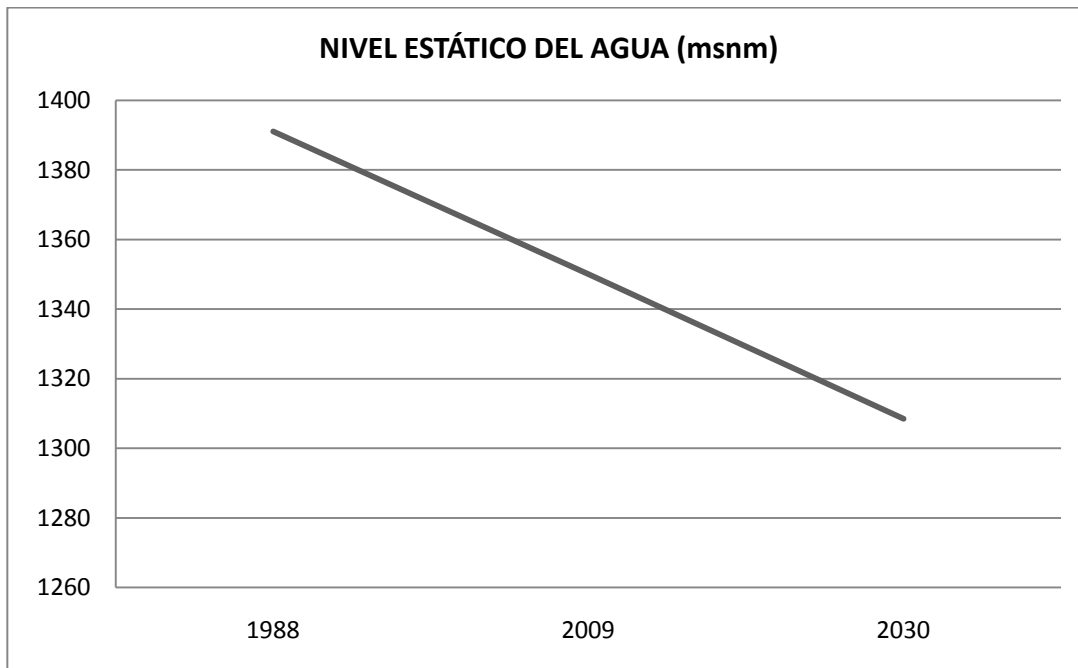
Figura 14. **Aforo volumétrico a pozo 1, División de Servicios Generales**



El consumo de amperaje del motor es normal ya que, como lo demostrado en la tabla VII se detalla el amperaje nominal de 67.7 y un máximo de 77 amperios, para un motor de 50 HP y según los datos obtenidos en las lecturas de las mediciones realizadas el equipo tiene un consumo de 68.5 amperios, lo cual indica que el consumo es normal y que el motor trabaja sin que la bomba exija más caballaje o fuerza para el bombeo, la válvula de retención se encuentra en buen estado y mantiene un nivel de agua dentro de la tubería de bombeo.

Se obtuvieron los datos de niveles y caudal producido durante la prueba de bombeo en el año de 1988, año en que fue construido este pozo, la medida del NE es de mucha importancia compararlo ya que indicará la manera que ha estado disminuyendo el nivel freático. A continuación se muestra la gráfica de descenso de los niveles y se hace una proyección de un punto crítico, tomando en cuenta que la bomba en la actualidad se encuentra colocada a una profundidad de 600', para fines de observar el descenso de niveles se utiliza la altura del NE con referencia al nivel del mar, en 1988 se encontraba a una altura de 1391, en el 2009 a 1350 y se proyecta que para el año 2030 llegará a 1308.5 msnm (figura 15).

Figura 15. NE pozo 1, División de Servicios Generales (msnm)



Lo que interesa averiguar es la tendencia en el descenso del nivel y cómo afectará el rendimiento de la bomba es por ello que se hace el análisis en base a la columna de agua en pies que se encuentra sobre la bomba, en el año de 1988 la profundidad del NE se encontraba a 330', en la actualidad se encuentra a una profundidad de 466', haciendo una proyección a futuro, con una tasa de descenso similar a la que se ha comportado el acuífero, se prevee que para el año de 2030 el NE llegue a los 602', el equipo de bombeo se encuentra en la actualidad en los 600' de profundidad, en los últimos tiempos las condiciones climáticas han tenido severos cambios y también la impermeabilización de las áreas de recarga ha sido evidente, por ello se espera una tasa de descenso superior a la observada en los 21 años que tiene el pozo de estar en funcionamiento, otro aspecto comparativo de importancia es que los caudales de producción en el pozo siguen siendo similares, ya que en el año de 1988 fue de 225 gpm y en la actualidad el caudal de bombeo es de 250 gpm, en esto influyen bastante las características del equipo de bombeo hidráulico con que se realizó el aforo, la bomba y el motor que en la actualidad se posee sugiere que es más eficiente y con una mejor tecnología para el bombeo.

#### **3.4.2. Pozo 2, División de Servicios Generales**

Este pozo al igual que el anterior también es administrado y operado por la División de Servicios Generales, a través del departamento de mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fue perforado en el año de 1988. Las características entre los dos pozos de la División de Servicios Generales son similares y su período de funcionamiento es compartido 15 días del mes para cada uno, bombeando de forma automática según la demanda, en ocasiones cuando aumenta la demanda es necesario poner a los dos pozos a trabajar simultáneamente, para almacenar el agua que se distribuirá al campus se cuenta con un tanque de almacenamiento de 763 m<sup>3</sup>.

Los datos técnicos de este pozo se enumeran más adelante, al momento de realizar el monitoreo se observó que no cuenta con línea de aire, ni posee la tubería apropiada para poder bajar una sonda eléctrica, por esta razón fue imposible realizar la medición de niveles en el pozo, sus datos son similares a los del pozo 1 y extraen el agua subterránea del mismo acuífero, por ello se puede asumir que sus niveles cumplen con los requerimientos al igual que en el pozo 1, es causa de problemas que este pozo no posea con los componentes necesarios ya que no es posible medirse de otra forma (tabla XI).

Tabla XI. **Datos técnicos del pozo 2, División de Servicios Generales**

<b>Datos del pozo mecánico</b>	
Diámetro del pozo	8" en hierro negro
Profundidad del pozo mecánico	900'
Profundidad de la bomba	600'
Longitud ranurada	420'
Sello sanitario de cemento	Desde 220' a 240'
Filtro de grava	Desde 240' a 900'
Diámetro de tubería de pozo a tanque	4" en PVC
Nivel estático	No hay datos
Nivel dinámico	No hay datos
Abatimiento	No hay datos
Caudal	231 gpm
Caudal específico	No hay datos

Los datos del equipo hidráulico y los datos eléctricos se observan a continuación (tabla XII).



Tabla XII. Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo 2, División de Servicios Generales

<b>Datos del equipo hidráulico</b>			
<b>Pruebas realizadas el día 27/08/2009</b>			
Línea de aire	No tiene		
Válvula de compuerta en descarga	4"		
Diámetro de tubería en pozo mecánico	4" galvanizada tipo mediana		
Bomba sumergible	Marca Berkeley 6T50-250/40HP/14 etapas		
Motor sumergible	Franklyn Electric 40 HP 3 PH 460 Voltios		
<b>Datos del equipo eléctrico</b>			
Banco de transformación	3 de 25 KVA		
Arrancador suave	Tiene rampa de arranque de 3 s y paro de 3 s		
Cable de tierra	No tiene		
Cable sumergible	2/3		
Flip-On principal	De 3 polos por 90 amperios		
Flip-On de mando	1 de 3 polos de 6 amperios y 1 de 2 polos por 6 amperios		
<b>Datos de mediciones del consumo del amperaje del motor</b>			
Medición 1	A/T1	R/T2	N/T3
	51.3	53.7	50
Amperaje nominal	53.5	Amperaje máximo	62

Sólo se pudo realizar el aforo en este pozo, como antes se indicó no se realizó la medida de niveles debido a que no se contaba con los componentes necesarios propios del pozo, para poder realizar la medida de los niveles se necesita de una rehabilitación del pozo para evaluar realmente a que profundidad se encuentran los niveles estático y dinámico.

La verificación de los niveles es muy importante para el buen funcionamiento y cuidado del equipo de bombeo sumergible, con esto se evita el riesgo de trabajar sin agua o con una columna de agua muy por debajo de lo requerido para un adecuado desempeño, el que según normas no debe ser menor de 100' de columna de agua por encima de la bomba, o también verificar que no se halla producido un descenso brusco de niveles, los cuales pueden ocurrir por movimientos telúricos, perforación de pozos nuevos cerca del área en la cual se encuentra este proyecto o la sobreexplotación de pozos aledaños.

El aforo en el pozo se realizó por un lapso de tiempo de 1 hora, tomando tres medidas volumétricas con un tonel de 54 galones, espaciadas al inicio, 30 minutos después y al terminar la hora de bombeo, tomando los tiempos y llegando al dato de producción del pozo de 231 gpm en el brocal del pozo mecánico. Al momento de quitar el tapón del brocal del pozo se observó que la válvula de retención o cheque como se conoce comúnmente, no está trabajando adecuadamente, ya que no mantiene el nivel de agua en la tubería de bombeo, esto puede causar problemas ya que eso ocasiona que la bomba trabaje más de lo debido y de una manera forzada y la puede deteriorar, acortando su vida útil o puede darse el caso en que deje de funcionar súbitamente, (figura 16).

Figura 16. **Brocal del pozo 2, División de Servicios Generales**



Esta válvula ya fue reemplazada por parte del personal de mantenimiento que tiene a su cargo la operación de este pozo, pero no se ha conseguido que funcione normalmente: la forma en la que está trabajando el equipo de bombeo hidráulico es normal según las especificaciones del fabricante, entonces se puede asumir que esta condición no ha causado deterioro hasta el momento, pero debe ser verificado este problema y encontrada una solución, ya que se corre el riesgo que el pozo comience a ocasionar problemas considerables.

El consumo de amperaje del motor es normal, ya que se mantiene entre los rangos de amperaje nominal y amperaje máximo para una bomba de 40 HP, estos rangos están indicados en la tabla XII.

### **3.4.3. Pozo finca experimental de Veterinaria**

Este pozo es de pequeñas dimensiones en su infraestructura con un diámetro de bombeo menor al de los otros pozos que se encuentran en el campus central y con una menor capacidad del equipo de bombeo hidráulico, pero su demanda no es elevada, sólo abastece agua para las actividades de riego y crianza de animales de la finca experimental de Veterinaria, que sirve como prácticas de laboratorio para los estudiantes de las carreras que en esta unidad académica se imparten.

No se pudo obtener el año en que fue perforado, pero por sus características se asume que tiene por lo menos 20 años de antigüedad, los datos técnicos de este pozo se enumeran a continuación, (tabla XIII). Su horario de bombeo es según la demanda, pero no es durante períodos prolongados ya que la demanda no es alta y en época de lluvias esta demanda baja considerablemente.

Tabla XIII. Ficha técnica pozo finca experimental de Veterinaria

<b>Datos del pozo mecánico</b>			
<b>Pruebas realizadas el día 27/08/2009</b>			
Diámetro del pozo	8" en hierro negro		
Diámetro de tubería de pozo a tanque	2" en PVC		
Caudal	66 gpm		
<b>Datos del equipo hidráulico</b>			
Línea de aire	No tiene		
Diámetro de tubería en pozo mecánico	2" galvanizada tipo mediana		
Bomba sumergible	Marca Red Jacket 10HP		
Motor sumergible	Franklyn Electric 10 HP 3 PH 230 Voltios		
<b>Datos del equipo eléctrico</b>			
Banco de transformación	2 de 10 KVA		
Cable sumergible	6/3		
Flip-On principal	De 3 polos por 50 amperios		
Flip-On de mando	1 de 2 polos de 6 amperios		
<b>Datos de mediciones del consumo del amperaje del motor</b>			
Medición 1	A/T1	R/T2	N/T3
	28.6	30.3	28.1
Amperaje nominal	28.4	Amperaje máximo	32.2

En el pozo de la finca experimental de Veterinaria no se encontró línea de aire ni una tubería apropiada para poder bajar la sonda eléctrica, en este pozo sólo se pudo realizar el aforo de su caudal, éste se realizó por el método volumétrico, se utilizó una cubeta de 5 galones para poder llevarlo a cabo, tomando tiempos en tres momentos diferentes y se obtuvo un caudal de producción de 66 gpm, según lo indicado por el personal administrativo de la finca la producción del pozo cumple con la demanda de agua para las actividades diarias, (figura 17).

Figura 17. **Aforo volumétrico al pozo de la finca experimental de Veterinaria**



En cuanto al equipo hidráulico y eléctrico están trabajando de una manera aceptable, el consumo de amperaje del motor es normal, ya que como lo muestra la tabla XIII, el amperaje oscila en los 29 amperios y está entre los rangos nominales y máximos para una bomba de 10 HP, una deficiencia que se observó fue que los controles del equipo sumergible son muy antiguos y necesitan renovarse. Para saber los niveles se necesita de una rehabilitación completa del pozo ya que es importante contar con este dato.

#### **3.4.4. Pozo centro experimental de Agronomía (CEDA)**

La Facultad de Agronomía posee un centro de tipo experimental que sirve de apoyo a sus actividades docentes, aquí se realizan prácticas de cultivo para los alumnos de esta unidad académica, debido a la fuerte demanda de agua que requieren los cultivos que en este centro se llevan a cabo, se perforó un pozo mecánico de extracción de agua subterránea en el año de 1994, este pozo lo administra el personal de mantenimiento del CEDA.

El horario de bombeo de este pozo puede variar según la época del año, ya que en temporada de lluvia éste cuenta con menos horas de bombeo, es accionado manualmente por el personal del CEDA, en épocas de estiaje y cuando la red principal no es capaz de abastecer a los edificios este pozo puede ser interconectado para aportar a la demanda del campus central ya sea para las instalaciones que forman parte de Agronomía o en algunos casos para toda la Universidad, a continuación se presentan los datos técnicos de este pozo, (tabla XIV).

Tabla XIV. Datos técnicos pozo del CEDA

<b>Datos del pozo mecánico</b>	
<b>Pruebas realizadas el día 28/08/2009</b>	
Diámetro del pozo	8" en hierro negro
Profundidad del pozo mecánico	1002'
Profundidad de la bomba	728'
Longitud ranurada	600'
Sello sanitario de cemento	Desde 282' a 300'
Filtro de grava	Desde 300' a 1002'
Diámetro de tubería de pozo a tanque	4" en PVC
Nivel estático	555'
Nivel dinámico	578'
Abatimiento	23'
Caudal	360 gpm
Caudal específico	15.65 gpm/pie

Los datos del equipo hidráulico y los datos eléctricos del pozo del CEDA se observan a continuación, cabe resaltar que este pozo posee los equipos con mayor capacidad de todos los existentes en el campus central y sus condiciones se encuentran en un estado satisfactorio, (tabla XV).

Tabla XV. Datos del equipo hidráulico y eléctrico pozo del CEDA

<b>Datos del equipo hidráulico</b>			
Línea de aire	1/4"		
Válvula de compuerta en descarga	4"		
Diámetro de tubería en pozo mecánico	4" galvanizada tipo mediana		
Bomba sumergible	Marca Berkeley 6T50-250/60HP/14 etapas		
Motor sumergible	Franklyn Electric 60 HP 3 PH 460 Voltios		
<b>Datos del equipo eléctrico</b>			
Banco de transformación	3 de 25 KVA		
Cable de tierra	No tiene		
Cable sumergible	2/3		
Flip-On principal	De 3 polos por 125 amperios		
Flip-On de mando	1 de 3 polos de 6 amperios y 1 de 2 polos por 6 amperios		
<b>Datos de mediciones del consumo del amperaje del motor</b>			
Medición 1	A/T1	R/T2	N/T3
	83.5	77.9	81.5
Amperaje nominal	80.5	Amperaje máximo	91

A continuación se presenta el reporte que detalla las pruebas que se llevaron a cabo en este pozo de extracción de agua subterránea ubicado en el centro experimental de Agronomía (CEDA).

Se realizó un aforo volumétrico para determinar los niveles del pozo y su producción actual (gpm). También se revisaron aspectos importantes y de interés en el funcionamiento del equipo hidráulico de bombeo y los datos de sus componentes eléctricos, esto con el fin de verificar sus condiciones de funcionamiento en la actualidad.

Se realizó un aforo en el pozo mecánico y tuvo una duración de 1 hora de bombeo constante, el pozo estuvo sin funcionamiento por aproximadamente 5 horas antes de realizar este aforo, la medición del nivel estático (NE) se realizó al inicio de las pruebas y consistió en inyectarle oxígeno a la línea de aire de 1/4" e indicó una lectura en el manómetro de 75 psi, lo cual indica que el (NE) se encuentra a una cota de 173.25' (pies) por encima de la bomba, como la profundidad de la bomba es de 728' el nivel estático se encuentra a 555' de profundidad, después de bombeado el pozo por el lapso establecido de 1 hora se realizó la medida de su nivel dinámico, obteniendo un dato de 65 psi equivalente a 150' de columna de agua sobre la bomba, obteniendo así un abatimiento de niveles de 10 psi, equivalente a 23' aproximadamente, por la ubicación del equipo de bombeo se puede saber que el ND se encuentra a una profundidad de 578', el caudal específico de este pozo es de 15.65 gpm/pies, es un buen valor de caudal específico, el tiempo de recuperación después del bombeo fue de 10 minutos esto es un buen indicio de las características hidrogeológicas del acuífero, se obtuvo una producción de 360 gpm, éste es el caudal más elevado en todos los pozos del campus central, para poder realizar la prueba de aforo se tomo el agua en el brocal del pozo, (figura 18).

Figura 18. **Bombeo continuo en pozo del CEDA**

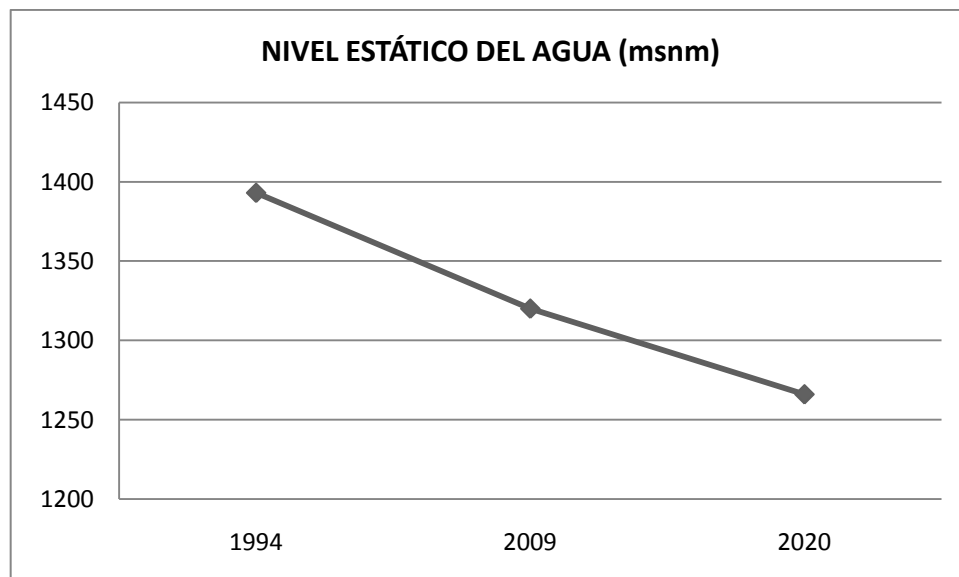




El funcionamiento de todos sus componentes se encuentra en buenas condiciones, el equipo sumergible está trabajando entre los rangos establecidos de amperaje para una bomba de 60 HP, tal como se indica en la tabla XV.

De este pozo también se obtuvieron los datos de niveles y caudal producido durante la prueba de bombeo en el año de 1994, año en que fue perforado el mismo, como ya se ha mencionado en este trabajo de graduación, es de mucha importancia hacer el análisis comparativo de los niveles especialmente el NE, ya que indicará la manera que ha estado disminuyendo el nivel freático con el que se cuenta en el campus central y que seguirá siendo el encargado de abastecer a la comunidad universitaria, a continuación se muestra la gráfica de descenso de los niveles y se hace una proyección de un punto crítico, tomando en cuenta que la bomba en la actualidad se encuentra colocada a una profundidad de 728', para poder observar mejor el descenso del nivel se toma como referencia la altura sobre el nivel del mar del nivel estático del agua, en 1994 se encontraba a una altura de 1393, en el 2009 a 1320 y se proyecta que para el año 2020 llegará a 1266 msnm (Figura 19).

Figura 19. NE pozo 2, División de Servicios Generales (msnm)



Lo que interesa averiguar es la tendencia en el descenso del nivel y cómo afectará el rendimiento de la bomba es por ello que se hace el análisis en base a la columna de agua en pies que se encuentra sobre la bomba, se pudo observar en el año de 1994 la profundidad del NE se encontraba a 315', en la actualidad se encuentra a una profundidad de 555', haciendo una proyección a futuro con una tasa de descenso similar a la que se ha comportado el acuífero se prevee que para el año de 2020 el NE llegue a los 731', el equipo de bombeo se encuentra en la actualidad en los 728' de profundidad, realizando este análisis es poco el tiempo que el pozo podrá seguir en funcionamiento observando este aspecto, además hay que tener en cuenta que las características climáticas y los factores del agua subterránea que se ven afectados directamente por el ciclo hidrológico se están tornando cada vez más adversos, entonces se llega a la conclusión que este pozo debe ser profundizado o bajar la bomba para aprovechar de una mejor manera el acuífero, aquí radica la importancia de monitorear los niveles del pozo.

En los 15 años que tiene el pozo de estar en funcionamiento ha mostrado muy buenas características y se puede notar la rápida recuperación del acuífero, otro aspecto comparativo de importancia es que los caudales de producción en el pozo siguen siendo similares, ya que en el año de 1994 fue de 292 gpm y en la actualidad el caudal de bombeo es de 360 gpm, en esto influyen bastante las características del equipo de bombeo hidráulico con que se realizó la prueba de bombeo, cuando se desarrolló el pozo, la bomba y el motor que en la actualidad funcionan sugiere que es más eficiente y con una mejor tecnología para el bombeo.

### 3.4.5. Pozo 1, Facultad de Ingeniería

Para la Facultad de Ingeniería fue insuficiente el servicio que proporcionaba la red municipal y la red de la Universidad en épocas anteriores, ya que la División de Servicios Generales utilizó pozos mecánicos para su abastecimiento una década después de que en la Facultad de Ingeniería ya se usaba este tipo de suministro, en el año de 1978 se complementa el servicio con la perforación de un pozo mecánico, ya se contaba con uno que era utilizado por el laboratorio de ingeniería química (pozo 2), y que en la actualidad no se encuentra en funcionamiento, el pozo 1, es el que abastece en la actualidad a esta facultad, de los pozos que se ubican en el campus central es el único que no pertenece a la División de Servicios Generales. A continuación se muestran los datos técnicos de este pozo mecánico, (Tabla XVI).

Tabla XVI. Datos técnicos pozo 1, Facultad de Ingeniería

Datos del pozo mecánico	
Pruebas realizadas el día 28/08/2009	
Diámetro del pozo	6" en hierro negro
Profundidad del pozo mecánico	600'
Profundidad de la bomba	No hay datos
Longitud ranurada	180'
Sello sanitario de cemento	Desde 80' a 100'
Filtro de grava	Desde 100' a 600'
Diámetro de tubería de pozo a tanque	4" en tubería galvanizada
Nivel estático	No hay datos
Nivel dinámico	No hay datos
Abatimiento	No hay datos
Caudal	190 gpm
Caudal específico	No hay datos

El pozo 1 cuenta con línea de aire pero está defectuosa, ya que está cortada en la boca del pozo y no fue posible repararla, debido a esto no se pudieron tomar las medidas de niveles. Se realizó el aforo del pozo y dio como resultado una producción de 190 gpm. A continuación se presentan los datos del equipo hidráulico y eléctrico de este pozo mecánico (tabla XVII).

Tabla XVII. Datos del equipo hidráulico y eléctrico del pozo 1, Facultad de Ingeniería

<b>Datos del equipo hidráulico</b>			
Línea de aire	¼" pero en mal estado		
Válvula de compuerta en descarga	4"		
Diámetro de tubería en pozo mecánico	4" galvanizada tipo mediana		
Bomba sumergible	No hay datos, sólo potencia de 30HP		
Motor sumergible	Franklyn Electric 30 HP 3 PH 230 Voltios		
<b>Datos del equipo eléctrico</b>			
Banco de transformación	3 de 25 KVA		
Cable de tierra	No tiene		
Cable sumergible	2/3		
Flip-On principal	De 3 polos por 125 amperios		
Flip-On de mando	1 de 3 polos por 6 amperios		
<b>Datos de mediciones del consumo del amperaje del motor</b>			
Medición 1	A/T1	R/T2	N/T3
	85.0	81.1	88.6
Amperaje nominal	79	Amperaje máximo	90.4

Los datos del amperaje requeridos por la bomba son algo confusos, se debe tener un monitoreo de estos valores porque están altos y esto indicaría que la bomba está realizando un mayor esfuerzo.

El panel de control es muy antiguo y se debería de dar un mantenimiento total y rehabilitación a este pozo mecánico, las condiciones en las que se encuentra debido a su antigüedad ya muestran señales de deterioro, algunos de sus componentes no funcionan bien o son muy antiguos, (figura 20).

Figura 20. **Panel de control pozo 1, Facultad de Ingeniería**



#### **3.4.6. Pozo 2, Facultad de Ingeniería**

Este pozo es el primero que se construyo en el campus central, el año de perforación fue en 1973, actualmente se encuentra fuera de funcionamiento, realmente se cuenta con pocos datos de este pozo, algunos de los datos obtenidos se muestran a continuación, (tabla XVIII).

Tabla XVIII. Datos técnicos pozo 2, Facultad de Ingeniería

Datos del pozo mecánico	
Diámetro del pozo	6" en hierro negro
Profundidad del pozo mecánico	400'
Profundidad de la bomba	No hay datos
Diámetro de tubería de pozo a tanque	3" en tubería galvanizada
Nivel estático	365'
Nivel dinámico	No hay datos
Abatimiento	No hay datos
Caudal	No está en funcionamiento
Caudal específico	No hay datos

Se pudo realizar la medición del NE de este pozo dando un valor de 365', el pozo está en abandono pero podría ser rehabilitado si se necesitara de un caudal de agua mayor, (figura 21).

Figura 21. Medición de NE pozo 2, Facultad de Ingeniería



Tomando en cuenta la condición de abandono en la que se encuentra este pozo, se le puede dar un uso que no sea el de producción de agua potable, éste cuenta con las características para utilizarse como un pozo de observación, esto para poder monitorear las condiciones en las que se encuentra el acuífero que se está explotando en el campus universitario.

El proceso para poder convertirlo en un pozo de observación es extraer toda la tubería de bombeo y la bomba que se encuentra en el mismo, se debe colocar una tubería de menor diámetro para poder bajar una sonda eléctrica y medir el nivel del agua dentro del pozo. Es interesante poder realizarlo ya que el pozo 1 de la Facultad de Ingeniería se encuentra cerca de éste y con ello bombeando este pozo se pueden encontrar los parámetros de transmisibilidad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento del acuífero.

En el pozo 2 de Ingeniería después de haberlo convertido en un pozo de observación se podrán tomar datos y se llevará un monitoreo para que así en épocas de estiaje o como una rutina de mantenimiento preventivo, se pueda saber cómo es que se está comportando el acuífero, y todas las entidades involucradas en el tema de agua potable dentro de la Universidad de San Carlos pueden ser beneficiadas con esta información.

También podría ser de utilidad para el INSIVUMEH, ya que esta dependencia necesita saber la manera en que se comportan los acuíferos y puede colaborar y ser beneficiada con la información obtenida, ya que el recurso agua subterránea está siendo explotado en todo el valle de la Ciudad Capital y se debe conocer el comportamiento de los acuíferos.

### **3.5. Pruebas de laboratorio**

#### **3.5.1. Toma de muestras en los distintos pozos mecánicos**

Se realizó un muestreo en tres de los cinco pozos que se encuentran en funcionamiento en el campus central, esto se basó en el criterio de que se analizarían sólo los pozos que su producción de agua abastece el consumo humano, estos pozos son; los dos pozos administrados por la División de Servicios Generales y el pozo 1 de la Facultad de Ingeniería.

##### **3.5.1.1. Obtención de muestras para el análisis físico-químico sanitario siguiendo los parámetros de la norma COGUANOR NGO 29010 h4**

La toma de la muestra se hace directamente en la fuente que se quiere verificar, se puede transportar a temperatura ambiente y se utiliza un recipiente de un galón de polietileno, (figura 22).

Figura 22. Recipiente y boleta para toma de muestras para el análisis físico-químico





### **3.5.1.2. Obtención de muestras para el examen bacteriológico siguiendo los parámetros de la norma COGUANOR NGO 29018 h6**

Para el muestreo se utiliza un frasco esterilizado en autoclave, de 100 ml de capacidad, de boca ancha, con tapón esmerilado, para tomar muestras que sean representativas de la calidad del agua subterránea se recomienda seguir los siguientes pasos: destapar el frasco sin contaminarlo, flamear la boca del frasco, tomar la muestra del agua, tapar el frasco sin contaminarlo y con el papel y cordón que posee, transportarlo en refrigeración y meterlo dentro de una bolsa plástica para evitar el contacto con algún otro líquido por el proceso de refrigeración, (figura 23).

**Figura 23. Frasco para la toma de muestras del examen bacteriológico**



### **3.5.2. Pruebas de laboratorio según la norma COGUANOR NGO 29001**

Como se explicó anteriormente, la norma COGUANOR NGO 29001 es la que regula los parámetros del agua potable en Guatemala, y es en base a los análisis físico-químico sanitario y al examen bacteriológico que se puede saber si una fuente de captación o un suministro provee de agua potable a sus usuarios.

#### **3.5.2.1. Análisis físico-químico sanitario**

Se realizaron a tres de los pozos del campus central, siendo estos; pozo 1 de la División de Servicios Generales, pozo 2 de la División de Servicios Generales y el pozo 1 de la Facultad de Ingeniería.

##### **3.5.2.1.1. Informes de las muestras obtenidas en los pozos**

En el apéndice se presentan los informes obtenidos de las pruebas realizadas con base al análisis físico-químico sanitario y en el capítulo 4 de este trabajo de graduación se hará el análisis de estos resultados, en base a los parámetros físicos y químicos del agua potable que se exponen en la tabla III y en la tabla IV del capítulo 2 de este trabajo de graduación.

#### **3.5.2.2. Examen bacteriológico**

Se realizó el examen bacteriológico a las muestras de agua obtenidas en tres de los cinco pozos que actualmente están en funcionamiento en el campus central y estos son; pozo 1 de la División de Servicios Generales, pozo 2 de la División de Servicios Generales y al pozo 1 de la Facultad de Ingeniería.

Estos exámenes bacteriológicos son de mucha importancia, sobre todo cuando el sistema en análisis suministra el recurso agua potable para el consumo de humanos, ya que a través de este examen se puede saber la cantidad de bacterias y microorganismos que se encuentran en el agua y así prevenir a las personas de algún tipo de contaminación bacteriológica que es la causa de la mayoría de enfermedades provenientes del consumo de agua, especialmente en niños.

#### **3.5.2.2.1. Análisis de las muestras obtenidas en los pozos**

En el apéndice se presentan los informes obtenidos de las pruebas realizadas en base a exámenes bacteriológicos y en el capítulo 4 de este trabajo de graduación se hará el análisis de estos resultados.



## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Informe de las condiciones en las que se encuentra el suministro de agua potable en la actualidad**

Todo el suministro de agua potable del campus central se abastece por medio de pozos de extracción de agua subterránea, por ello el punto de interés es conocer las condiciones en que éstos se encuentran, después de haber hecho distintas pruebas a los pozos mecánicos se puede formar un criterio técnico de las fortalezas y deficiencias de cada uno, además la hidrogeología juega un papel muy importante y es la que dictaminará qué tanta producción de agua tendrán los pozos y por cuánto tiempo.

La red de distribución conforma el complicado sistema de transporte del vital líquido, se debe poner atención a todo el diseño ya que algunas redes datan desde hace medio siglo y aunque se le dé el mantenimiento apropiado ya su vida útil terminó hace varios años. Muchas veces se puede contar con un buen servicio de agua potable pero hay que tener presente la calidad del agua con la que se está abasteciendo, por ello y por muchas razones se rinde a continuación un informe detallado de las condiciones del sistema de agua potable de esta casa de estudios.

#### **4.1.1. Calidad del servicio según la unidad académica**

Para poder hacer este análisis se formarán 4 grupos principales de demandas a suplir, a continuación se explica a quienes se refiere cada una:

La primera gran demanda y la mayor de todas es la que tiene bajo su responsabilidad la División de Servicios Generales, ellos tienen la tarea de abastecer al 85.27% de la población estudiantil inscritos en un total de 9 facultades y 6 escuelas facultativas, también a todo el personal docente y administrativo de estas unidades académicas, entidades administrativas y de servicios adscritas a la rectoría de la Universidad de San Carlos y que tienen sus oficinas y realizan sus actividades en el campus central y el suministro de agua potable para el proyecto de jardinería de esta casa de estudios, toda esta demanda la han sabido suministrar, poseen dos pozos mecánicos y un tanque general de almacenamiento con una capacidad de 763 m<sup>3</sup> de volumen, el servicio hasta la fecha ha sido eficiente, el agua llega a todos los edificios que están a su cargo y rara vez se queda sin agua alguna unidad académica.

La Facultad de Ingeniería es la única unidad académica que no hace uso de la red de distribución principal de la Universidad de San Carlos, esta Facultad alberga el 14.73% del total de estudiantes inscritos en el campus central, posee personal administrativo, docente y de servicios, es una Facultad grande y con buena afluencia de estudiantes, con un complejo de 6 edificios. Para suplir la demanda de agua potable esta unidad académica posee 2 pozos mecánicos, pero uno de estos no se encuentra en funcionamiento, con un solo pozo suministra de agua potable a sus instalaciones y ha sido eficiente.

La finca experimental de Veterinaria utiliza agua potable para suplir la demanda requerida en cuanto a riego de cultivos y crianza de animales, éste es un pozo pequeño pero su producción es la adecuada para abastecer las necesidades de este centro de investigación y práctica de los estudiantes de esta unidad académica, este pozo no suministra en ningún momento agua a los edificios de aulas y administrativos de esta facultad, ellos se abastecen de la red de distribución de la Universidad.

El centro experimental de Agronomía posee un pozo mecánico, esto para abastecer la demanda de agua de los cultivos que en este lugar hay, también suministra agua para el riego del estadio Revolución y en situaciones, cuando sus edificios de aulas y administrativos lo requieren, también puede abastecerlos de agua, algo importante para analizar es que este pozo tiene muy buenas condiciones de trabajo y está interconectado a la red de distribución principal de la Universidad de San Carlos, en algunas ocasiones ha colaborado con la División de Servicios Generales para abastecer el tanque general del campus central cuando hay algún problema con los pozos administrados por ellos, y también esta dependencia ha colabora con el CEDA, la producción de agua de este pozo es buena y cumple de una manera adecuada con las demandas que posee.

#### **4.1.2. Hidrogeología del campus universitario**

En los perfiles estratigráficos de los pozos mecánicos se pudo observar que es un área con estratos de origen volcánico, rellenos y aglomeramientos volcánicos y depósitos aluviales, esto conjuntamente con las condiciones meteorológicas hacen que haya una buena recarga de los acuíferos y por ser este tipo de materiales geológicos poseen excelentes cualidades de transmisibilidad y permeabilidad del agua, las condiciones son propicias desde el punto de vista hidrogeológico para el campus central y el manejo del agua subterránea.

El llamado “Valle de Guatemala”, está localizado en las cabeceras de las cuencas hidrográficas de los ríos Michatoya y Las Vacas; afluentes principales de las cuencas de los ríos María Linda en la vertiente del Pacífico y Motagua en la vertiente del Atlántico, respectivamente.

La extensión superficial es de 805.61 km<sup>2</sup>, correspondiendo 570.57 km<sup>2</sup>, a la cuenca del río Michatoya (cuenca sur) y 235.04 km<sup>2</sup> a la cuenca del río Las Vacas (cuenca norte). El campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra ubicado en la cuenca sur, correspondiente a la cuenca principal del río María Linda, específicamente en la cuenca afluente de ésta que es la del río Michatoya, es por ello que para fines de este trabajo, el estudio se centra en la cuenca del río Michatoya.

#### ➤ Rasgos morfológicos e hidrográficos

La actividad volcánica, los movimientos tectónicos, la meteorización y la erosión fluvial son los principales agentes naturales que han modelado la topografía de las actuales cuencas hidrográficas del valle. Cuencas que conjuntamente forman una especie de recipiente de forma alargada, el límite entre estas dos cuencas que forman el valle de la ciudad capital lo constituye el parte aguas continental Pacífico-Atlántico, y se relaciona sobre alturas comprendidas entre los 1500 y 1600 msnm.

En la cuenca del río Michatoya se encuentran pendientes comprendidas entre 0 y 0.2 m/m y se presentan con una frecuencia del 60%, y valores altos comprendidos entre 0.7 y 0.8 m/m éstas se presentan únicamente con una frecuencia del 8%. Tanto dentro de la cuenca como en la periferia se encuentran áreas de regular extensión superficial con bajas pendientes, las cuales constituyen zonas importantes para la recarga de las aguas subterráneas; San Cristóbal, El Porvenir, Villa Nueva-Petapa, Ciudad Real y el valle de la Ciudad de Guatemala dentro de la cuenca, en sus periferias Don Justo, Pavón, y El Pajón al Este y San Lucas al Oeste, sin embargo, como consecuencia del desarrollo urbano alcanzado en estas áreas, su importancia con relación a la recarga de agua subterránea es menor.



Un aspecto de mucha importancia para el estudio del agua subterránea son las condiciones climatológicas, ya que estas son las que rigen el ciclo hidrológico y aportan muchas de las condiciones para que se dé el flujo de agua subterránea. Para obtener las condiciones que imperan en el campus central se toman los datos del monitoreo del Observatorio Nacional ubicado en la zona 13 de esta capital en las instalaciones del INSIVUMEH (tabla XIX).

Tabla XIX. **Condiciones climáticas del campus central**

<b>Localidad</b>	<b>Elevación (Msnm)</b>	<b>temperaturas C°</b>	<b>Absolutas</b>	<b>Evaporación</b>
Estación INSIVUMEH	1502	Máxima 24.5 Mínima 14.0	Máxima 33.4 Mínima 4.2	120.2 mm
<b>Precipitación</b>	<b>Brillo Solar Total/hrs promedio mes</b>	<b>Humedad Relativa en %</b>	<b>Vel. Viento Kms/hrs</b>	
1196.8 mm	203.6	78	17.7	

Los fenómenos de evaporación y transpiración constituyen parámetros del ciclo hidrológico muy importantes, por las cantidades de agua que se transfieren en forma de vapor de agua a la atmósfera, resultados de la experimentación realizada en otros medios, permiten reconocer a estos fenómenos en forma conjunta; la llamada evapotranspiración, tiene un orden de magnitud superior al 50% de la lluvia precipitada.

Para el estudio del agua subterránea en el valle la infiltración juega un papel muy importante, la alimentación local de la humedad del suelo y de los acuíferos del subsuelo, proviene de la lluvia caída dentro de los límites de la cuenca, que finalmente logra depositarse y escurrir verticalmente a través del suelo y subsuelo, la naturaleza de los suelos y rocas subyacentes dentro de la cuenca estudiada es favorable al proceso de infiltración.

Sin embargo, factores de forma; pendientes en particular, deforestación, mal manejo del suelo y las características de las precipitaciones como intensidad y duración, reducen en forma conjunta la posibilidad de una buena alimentación del agua subterránea.

Para la cuenca del río Michatoya, especialmente en su parte superior; aguas arriba del lago de Amatitlán, se tienen suelos relativamente poco profundos y un subsuelo formado en su mayor parte de sedimentos volcánicos de estructura granular y por rocas de diferentes grados de consolidación, lo cual ofrece condiciones favorables para la infiltración. En esta zona se observa además, que por tener bajas pendientes se ha urbanizado de gran manera en los últimos años y esto afecta la infiltración.

A continuación se dan los datos de la infiltración en las subcuencas que conforman la cuenca sur del valle de Guatemala, estos valores presentan buenos parámetros de recarga y en base a ello se considera que hay una recarga de buenas proporciones hacia los acuíferos, pero debido a factores que anteriormente se han mencionado cada vez es más baja esta infiltración, (tabla XX).

Figura XX. Infiltración por subcuencas

<b>Subcuenca</b>	<b>Infiltración en mm</b>
Molino	216
San Lucas	205
Parrameño	212
Villalobos	193
Pínula	202
Las Minas	215
Tulujá	245
El Bosque	240
Platanitos	128

### **4.1.3. Funcionamiento de los pozos mecánicos**

La manera en la que se encuentre el funcionamiento de los pozos mecánicos es primordial para que el suministro se lleve con normalidad, en la actualidad los 5 pozos mecánicos que suministran agua potable al campus central se encuentran funcionando, pero hay algunos factores que pudieran estar afectando el trabajo adecuado de éstos, a continuación se dará el detalle de cada pozo mencionando sus fortalezas y debilidades.

#### **➤ Pozo 1, División de Servicios Generales**

Este es un pozo con buenas características de explotación del agua subterránea, se sabe el caudal que está produciendo y sus niveles estático y dinámico, el equipo de bombeo sumergible trabaja sin problemas y el panel de control se encuentra en buenas condiciones, todos sus componentes trabajan de manera eficiente y ha recibido mantenimiento por lo menos en los últimos 4 años.

#### **➤ Pozo 2, División de Servicios Generales**

Este pozo posee buenas características hidrogeológicas y la mayoría de sus componentes están trabajando de una manera satisfactoria a excepción de la válvula de retención o de cheque que no trabaja con normalidad, ya que no mantiene un nivel de agua en la tubería de bombeo, también carece de línea de aire y por ello no se puede saber cuáles son sus niveles estático y dinámico, se necesitaría de una rehabilitación para poder colocarle la línea de aire y saber cuáles son sus niveles, el pozo ha recibido mantenimiento en sus instalaciones pero no se ha hecho posiblemente con la frecuencia necesaria para que todos sus componentes trabajen adecuadamente.

➤ **Pozo finca experimental de Veterinaria**

Este es el pozo más pequeño del campus central y la demanda que se le exige la solventa de una manera eficaz, pero si se nota un grado de deterioro en sus instalaciones, principalmente en su panel de control y banco de transformación, ya que son antiguos y necesitan de una renovación inmediata, así como de un mantenimiento a la tubería de bombeo y de revestimiento del pozo, ya que al parecer no se le ha hecho en muchos años y además no cuenta con línea de aire ni sonda para poder saber la medida de sus niveles.

➤ **Pozo centro experimental de Agronomía (CEDA)**

El pozo que se encuentra en el CEDA es el de más reciente construcción, presenta muy buenas características para el aprovechamiento de agua subterránea, su caudal es el más elevado de los pozos existentes en el campus central y su profundidad de perforación supera a la de los otros pozos, sus componentes se encuentran en buenas condiciones, posiblemente debido al poco uso que se le da su funcionamiento es adecuado, sus niveles son aceptables y el periodo de recuperación del acuífero es muy bueno.

➤ **Pozo 1, Facultad de Ingeniería**

Este pozo se encuentra funcionando en la actualidad de manera ininterrumpida, sus componentes están deteriorados y son antiguos, los controles del pozo están en buenas condiciones, al parecer el pozo no ha recibido mantenimiento en los últimos años y la manera en la que trabaja es continua, ya que llena una cisterna elevada, ubicada en el último nivel del edificio T3 y debido a las dimensiones de esta cisterna la bomba se ve en la tarea de llenarla hasta 50 veces diarias, esto produce la pérdida de eficiencia.

Cuenta con línea de aire pero ésta se encuentra cortada y no se pueden medir sus niveles, se necesita un mantenimiento y rehabilitación ya que trabaja ininterrumpidamente pero debido a esta situación podría llegar a tener problemas que hagan que colapse súbitamente.

#### **4.1.4. Calidad del agua subterránea**

En el Apéndice se muestran los informes de las pruebas realizadas sobre calidad del agua en tres de los cinco pozos existentes en la ciudad universitaria, el criterio empleado para escoger los pozos a analizar se debe a que estos suministran agua para consumo humano y entonces por ello necesitan de mayor atención.

El resultado de estos análisis es favorable para los tres pozos estudiados que son los dos pozos de la División de Servicios Generales y el pozo en funcionamiento de la Facultad de Ingeniería, los tres brindan los mismos parámetros.

Desde el punto de vista físico químico sanitario las determinaciones indican que se encuentran dentro de los Límites Máximos Aceptables de normalidad según la norma COGUANOR NGO 29001

Bacteriológicamente el agua es potable, según la norma COGUANOR NGO 29001, hay que resaltar que las muestras fueron tomadas en el brocal del pozo, esto indica que no poseen ningún tipo de tratamiento para potabilizar el agua, ésta fue extraída de su reservorio natural y hay seguridad que es potable.

## **4.2. Identificación de problemas**

En el presente trabajo de graduación también se hace una identificación de los problemas que pueden suscitarse en el servicio de agua potable, una red de distribución tan grande y con tantos usuarios es vulnerable a que sucedan casos no previstos y pueda llegar a colapsar el sistema si no se mantiene un monitoreo constante de los mismos.

### **4.2.1. Deficiencias del suministro de agua potable**

Las deficiencias del servicio pueden ser varias y hasta pueden pasar desapercibidas para las personas encargadas de la administración de este recurso, esto se convierte en una amenaza ya que puede llegar hasta colapsar el sistema; entre las más grandes deficiencias es que no se cuenta en ninguna de las dependencias que administran el recurso agua potable un fondo destinado al mantenimiento de los pozos, algunos ya cuentan con muchos años de no realizarse un mantenimiento y esto puede ocasionar que un día los daños sean graves y los desembolsos de dinero para repararlos sean tan grandes que no los puedan realizar inmediatamente y con esto el pozo dejaría de suministrar el agua a sus usuarios.

Los departamentos de mantenimiento y conserjería deben velar porque las tuberías estén libres de fugas, ya que una fuga, genera que la demanda de los pozos se incremente notablemente, una deficiencia grande es que no en todas la unidades académicas hay personal de mantenimiento en el área de fontanería, entonces muchas veces las personas que laboran en estas unidades académicas no saben a quién acudir para reportar una fuga y que sea reparada.

Algunos tramos de la red de distribución tienen más de 50 años de haber sido construidos, esto implica contaminación del agua y fugas hacia el subsuelo que no pueden ser detectadas a simple vista

#### **4.2.2. Vida útil del sistema de extracción de agua subterránea existente en el campus central**

Hay muchos factores que influyen en este tema, ya que la escasez del agua subterránea no solo se debe a la demanda que se necesita a futuro o a la sobreexplotación del acuífero, en la actualidad hay problemas muy grandes como la deforestación, el cambio climático, la escasez de lluvias y la impermeabilización del suelo, todos estos factores podrían influir en que el acuífero que se está aprovechando sea ineficiente en poco tiempo.

Si se hace en base a la demanda futura de agua potable, asumiendo que el acuífero seguirá conservando sus características de una manera similar a las de hoy en día, el futuro no se torna tan problemático porque el crecimiento poblacional de estudiantes ha tomado tasas de crecimiento relativamente menores a las que se tenían en épocas anteriores, en el capítulo 3 se toma una demanda futura a 15 años esto será posible si se da un servicio de mantenimiento constante a los pozos y a todos sus componentes, en esta proyección a futuro se puede observar que ya los pozos se ven afectados, por lo que tendrían que trabajar de una manera más prolongada y ya no serán capaces de suministrar el agua potable de una manera regular al campus central.





## **5. PROPUESTA TÉCNICA COMO PREVENCIÓN DE UNA ESCASEZ DE AGUA POTABLE**

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

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

#### **5.1.1. Verificación y reparación de fugas en la tubería de distribución**

La mayor causa de desperdicios de agua potable se da en los accesorios de los servicios sanitarios, en las tuberías con muchos años de servicio y en el descuido por parte de las personas usuarias del servicio.

Una alternativa para poder evitar toda esta pérdida de agua es el mantenimiento constante de todos los accesorios de los servicios sanitarios, claro que sólo el departamento de mantenimiento de la División de Servicios Generales no podría con la carga de trabajo, se debe impulsar la creación de un departamento de mantenimiento en cada unidad académica para que vele por el buen funcionamiento de todos sus servicios de agua potable, se debe también hacer el estudio de cuánta es la tubería que ya cumplió con su período de vida útil y debe ser reemplazada.

Es probable que toda esta tubería esté afectando de gran manera al servicio completo y el cambio de unas partes de la red de distribución puede evitar gastos innecesarios en un futuro cercano, si el servicio ya no fuera eficiente debido a fugas en estas tuberías.

## 5.2. Cronograma de mantenimiento a los pozos mecánicos en funcionamiento

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

Tabla XXI. 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

### **5.3. Estudio para la construcción de nuevos pozos mecánicos en el campus central**

La demanda de agua potable cada vez se estará incrementando en el campus central, es probable que no sea tan marcada por la dotación brindada a los estudiantes, pero si por otros factores, en la actualidad se encuentra en ejecución el proyecto de jardinería del campus universitario, este servicio requiere de una gran dotación de agua potable, en época de estiaje la demanda de agua para este proyecto oscila en los 375 m<sup>3</sup> diarios, según datos proporcionados por el departamento de mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, al momento este proyecto ya causa eventualidades para el departamento de mantenimiento, ya que los dos pozos de la División de Servicios Generales están programados para que se alternen en el bombeo y ahora en épocas donde se tiene que hacer riego a estas áreas se deben poner a trabajar los pozos conjuntamente para no dejar sin agua a las unidades académicas.

Debe implementarse el proyecto para la construcción de un pozo que trabaje exclusivamente para el abastecimiento de agua destinada a riego de los jardines del campus central, y que colabore con los dos pozos de la División de Servicios Generales en abastecer a la comunidad universitaria cuando su demanda de riego no sea muy elevada.



## CONCLUSIONES

1. El servicio de agua potable existente en la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente en el campus central, se encuentra en funcionamiento de una manera adecuada hasta la fecha, todas las unidades académicas cuentan con el servicio y se logran cumplir con las actividades de enseñanza, administrativas y de investigación.
2. En la actualidad hay muchos problemas de tipo climático derivados de las actividades contaminantes que el ser humano ha realizado a través de los años, las lluvias ya no son con la misma intensidad, los suelos han sido impermeabilizados, las áreas boscosas han sido deforestadas y hay demasiada emanación de gases hacia la atmosfera, esto afecta directamente al ciclo hidrológico y a la circulación del agua subterránea en los mantos freáticos.
3. Un proyecto de agua subterránea para su implementación depende de muchas condiciones y se requiere de un estudio a fondo para saber si es viable en su construcción y si se podrán esperar los resultados para poder cumplir con la demanda requerida.
4. Un pozo mecánico posee distintos componentes y todos ellos son de sumo interés, ya que forman el conjunto de infraestructura que podrá suplir las necesidades de sus usuarios.

5. El agua a suministrar para el consumo humano debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001, para saber si el agua no afectará en materia de salud a las personas beneficiadas por el proyecto de agua y se pueda decir que ésta es potable.
6. En el campus central los pozos existentes y la red de distribución ya tienen bastantes años desde su construcción, es de esperar que las deficiencias en estos sistemas se presenten a corto plazo, máxime que no se cuenta con un mantenimiento preventivo de todos los componentes.
7. El acuífero existente en el campus central está siendo explotado desde hace varios años y no solo por los pozos del campus central sino de toda la ciudad y por los factores que intervienen en el almacenamiento provoca que sus niveles hayan bajado considerablemente.
8. El pozo 2 de la Facultad de Ingeniería se encuentra en estado de abandono, su construcción es la de más antigüedad dentro de la Universidad.

## RECOMENDACIONES

1. Se deben adoptar medidas preventivas para preservar el suministro de agua potable en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala y así evitar un colapso del servicio.
2. Es necesario que se cree una conciencia social en todos los estudiantes y personal de la Universidad de San Carlos para que sepan lo vulnerable que se ha tornado el medio ambiente y que toda acción que se tenga lo afectará directamente, se deben diseñar campañas informativas sobre la preservación de los recursos y la manera que perjudicará el uso no adecuado de los mismos.
3. Para realizar un proyecto de extracción de agua se debe contar con personal altamente calificado de empresas con experiencia en este tipo de obras, porque debido al precio de estos proyectos una mala ejecución implicaría una pérdida de recursos monetarios considerable.
4. Cada uno de los componentes de los pozos mecánicos debe ser revisado frecuentemente y reparado inmediatamente si así lo requiriera para no afectar a todo el sistema de extracción ni a los demás componentes.
5. Realizar análisis físico-químicos y exámenes bacteriológicos con frecuencia, ya que pueden haber factores contaminantes que estén perjudicando la captación del agua y esta contaminación llegará a los usuarios del servicio.

6. Poner en marcha un programa de mantenimiento a los pozos de agua subterránea, a la red de distribución y a todos los componentes que presenten deficiencias, cambiando todo lo que se encuentre defectuoso y manteniendo programas de mantenimiento preventivo, para tener el servicio en condiciones satisfactorias.
7. Realizar un monitoreo constante de las condiciones del acuífero, de ser necesario realizar perforaciones tipo telescopio para rehabilitar los pozos, además de no explotarlos de una manera irracional.
8. El pozo 2 de la Facultad de Ingeniería puede ser utilizado como un pozo de observación de las condiciones del acuífero que se explota en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Guatemalteca de Normas, **Agua Potable, Especificaciones COGUANOR NGO 29001**. (Guatemala: Diario Oficial, 2000)
2. CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. **Hidrología subterránea**. (España: Editorial Omega, 1976) 2 Tomos
3. Figueroa Caballeros, Mario René. Explotación de aguas subterráneas su operación control y mantenimiento. Trabajo de graduación Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1990. 120 pp.
4. Foster, Stephen. Hirata, Ricardo y Gomes, Daniel. **Protección de la calidad del agua subterránea**. (Washington EEUU: Banco Mundial, 2002) 115 p.
5. Helweg J. Otto. **Recursos hidráulicos. Planeación y Administración**. (México: Noriega Editores, 1992) 407 p.
6. <http://www.cepis.ops.oms.org>. **Guía para el diseño, construcción y operación de desechos sólidos**.
7. Jaime A. Tinajero González. **Apuntes de aspectos fundamentales en el estudio del agua subterránea (GEOHIDROLOGÍA)**. (México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1985) 233 p.

8. Kreditanstalt für Wiederaufbau. **Limpieza, desarrollo y aforo de pozos.** Manual (KFW, INFOM) Agosto del 2,001. 50 pp.
9. Maderey Rascón, Laura Elena. **Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico.** (Serie textos universitarios). México: Editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2005. 100 pp.
10. Organismo Ejecutivo. **Acuerdo Gubernativo No. 36-2006 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.** (Guatemala: Diario Oficial, 2006) 24 pp.

## **APÉNDICE**

### **1. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO SANITARIO Y EXAMEN BACTERIOLÓGICO**





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 004206**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO				O.T. No. 25860		INF. No. 23 767	
INTERESADO:		<b>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (CARNÉ No. 200212188)</b>		PROYECTO:		Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"	
RECOLECTADA POR:		Interesado		DEPENDENCIA:		FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC	
LUGAR DE RECOLECCIÓN:		Ciudad Universitaria, zona 12		FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:		2009-08-21; 11 h 45 min.	
FUENTE:		Pozo Norte No. 1 Servicios Generales		FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB.:		2009-08-21; 13 h 00 min.	
MUNICIPIO:		Guatemala		CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:		Sin refrigeración	
DEPARTAMENTO:		Guatemala					
RESULTADOS							
1. ASPECTO:		Claro		4. OLOR:		Inodora	
2. COLOR:		01,00 Unidades		5. SABOR:		-----	
3. TURBIEDAD:		00,44 UNT		6. potencial de Hidrógeno ( pH ) :		06,60 unidades	
7. TEMPERATURA:		(En el momento de recolección)		--° C		8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	
						263,00 µmhos/cm	
SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,21	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	10,00	11. SOLIDOS TOTALES	154,00		
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS ( F <sup>-</sup> )	00,14	12. SOLIDOS VOLÁTILES	08,00		
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	09,68	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	05,00	13. SOLIDOS FIJOS	146,00		
4. CLORO RESIDUAL	--	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,02	14. SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,40		
5. MANGANESO (Mn)	00,010	10. DUREZA TOTAL	92,00	15. SOLIDOS DISUELTOS	139,00		
ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)							
HIDROXIDOS	CARBONATOS	BICARBONATOS	ALCALINIDAD TOTAL				
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L				
00,00	00,00	120,00	120,00				

OTRAS DETERMINACIONES \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES:** Desde el punto de vista físico químico sanitario: Las determinaciones arriba indicadas se encuentran dentro de los Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29 001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21<sup>TH</sup> EDITION 2 005, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 (AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2009-09-07

Vo.Bo.   
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Zenón Muck Santos  
Ing. Químico Col. No. 420  
M. Sc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 004204**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO			
O.T. No. 25860		INF. No. 23 766	
INTERESADO:	<b>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (CARNÉ No. 200212188)</b>	PROYECTO:	Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"
RECOLECTADA POR:	Interesado	DEPENDENCIA:	FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC
LUGAR DE RECOLECCIÓN:	Ciudad Universitaria, zona 12	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	2009-08-21; 10 h 30 min.
FUENTE:	Pozo No. 2 Servicios Generales	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB.:	2009-08-21; 13 h 00 min.
MUNICIPIO:	Guatemala	CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:	Sin refrigeración
DEPARTAMENTO:	Guatemala		
RESULTADOS			
1. ASPECTO:	Claro	4. OLOR:	Inodora
2. COLOR:	01,00 Unidades	5. SABOR:	-----
3. TURBIEDAD:	00,48 UNT	6. potencial de Hidrógeno (pH):	06,70 unidades
		7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección)	--° C
		8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	353,00 µmhos/cm
SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,15	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	20,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> )	00,00	7. FLUORUROS (F <sup>-</sup> )	00,19
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> )	09,68	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	10,00
4. CLORO RESIDUAL	--	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,04
5. MANGANESO (Mn)	00,030	10. DUREZA TOTAL	120,00
		11. SOLIDOS TOTALES	201,00
		12. SOLIDOS VOLÁTILES	07,00
		13. SOLIDOS FIJOS	194,00
		14. SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,40
		15. SOLIDOS DISUELTOS	187,00
ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)			
HIDROXIDOS mg/L	CARBONATOS mg/L	BICARBONATOS mg/L	ALCALINIDAD TOTAL mg/L
00,00	00,00	154,00	154,00

OTRAS DETERMINACIONES \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES:** Desde el punto de vista fisico quimico sanitario: Las determinaciones arriba indicadas se encuentran dentro de los Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29 001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A.- W.E.F. 21<sup>TH</sup> EDITION 2 005, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2009-09-07

Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales-  
DIRECTORA CII/USAC



Zenir Much Santos  
Ing. Químico Col. No. 420  
M. Sc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC- GUATEMALA  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 004202**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO					
O.T. No. 25860		INF. No. 23 765			
INTERESADO:	<b>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (CARNÉ No. 200212188)</b>	PROYECTO:	Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"		
RECOLECTADA POR:	Interesado	DEPENDENCIA:	FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC		
LUGAR DE RECOLECCIÓN:	Ciudad Universitaria, zona 12	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	2009-08-21; 10 h 30 min.		
FUENTE:	Pozo Facultad de Ingeniería	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB.:	2009-08-21; 13 h 00 min.		
MUNICIPIO:	Guatemala	CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:	Sin refrigeración		
DEPARTAMENTO:	Guatemala				
RESULTADOS					
1. ASPECTO:	Claro	4. OLOR:	Inodora		
2. COLOR:	01,00 Unidades	5. SABOR:	-----		
3. TURBIEDAD:	00,16 UNT	6. potencial de Hidrógeno (pH):	06,60 unidades		
		7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección)	-- °C		
		8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	347,00 µmhos/cm		
SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,14	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	17,50	11. SÓLIDOS TOTALES	211,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS (F <sup>-</sup> )	00,19	12. SÓLIDOS VOLÁTILES	09,00
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	14,36	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	11,00	13. SÓLIDOS FIJOS	202,00
4. CLORO RESIDUAL	--	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,01	14. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,00
5. MANGANESO (Mn)	00,015	10. DUREZA TOTAL	114,00	15. SÓLIDOS DISUELTOS	198,00
ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)					
HIDROXIDOS mg/L	CARBONATOS mg/L	BICARBONATOS mg/L	ALCALINIDAD TOTAL mg/L		
00,00	00,00	154,00	154,00		

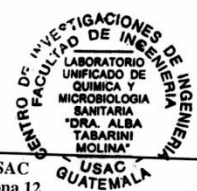
OTRAS DETERMINACIONES \_\_\_\_\_


**OBSERVACIONES:** Desde el punto de vista físico químico sanitario: Las determinaciones arriba indicadas se encuentran dentro de los Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 2 9 001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21<sup>TH</sup> EDITION 2 005, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( APTUABLES Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2009-09-07

Vo.Bo.   
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



  
Zenón Much  
Ing. Químico Col. No. 420  
M. Sc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 004207**

<b>EXAMEN BACTERIOLOGICO</b>		<b>INF. No.A-305 518</b>
<b>O.T. No. 25 860</b>		
INTERESADO: <u>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (Carné No. 2002 12188)</u>	PROYECTO: <u>Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"</u>	
MUESTRA RECOLECTADA POR: <u>Interesado</u>	DEPENDENCIA: <u>FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC</u>	
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: <u>Ciudad Universitaria, zona 12</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2009-08-21; 11 h45 min.</u>	
FUENTE: <u>Pozo Norte No. 1 Servicios Generales</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2009-08-21; 13 h 00 Min</u>	
MUNICIPIO: <u>Guatemala</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Sin refrigeración</u>	
DEPARTAMENTO: <u>Guatemala</u>		
SABOR: <u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: <u>No hay</u>	
ASPECTO: <u>Claro</u>	COLOR RESIDUAL: <u>-----</u>	
OLOR: <u>Inodora</u>		

**INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)**

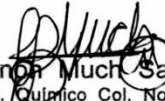
PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACION DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS – 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
01,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm <sup>3</sup>		< 2	< 2

**TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.**

**OBSERVACIONES:** Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NGO 29 001. Guatemala, 2009 -09-07

Vo.Bo.   
**Inga. Telma Maricela Cano Morales**  
**DIRECTORA CII/USAC**



  
**Zenon Much Santos**  
 Ing. Químico Col. No. 420  
 M. Sc. en Ingeniería Sanitaria  
 Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 004205

EXAMEN BACTERIOLOGICO			
O.T. No. 25 860		INF. No.A-305 517	
INTERESADO	<u>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (Carné No. 2002 12188)</u>	PROYECTO:	<u>Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"</u>
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>Interesado</u>	DEPENDENCIA:	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC</u>
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Ciudad Universitaria, zona 12</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2009-08-21; 10 h30 min.</u>
FUENTE:	<u>Pozo No. 2 Servicios Generales</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	<u>2009-08-21; 13 h 00 Min</u>
MUNICIPIO:	<u>Guatemala</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	<u>Sin refrigeración</u>
DEPARTAMENTO:	<u>Guatemala</u>		
SABOR:	<u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN	<u>No hay</u>
ASPECTO:	<u>Claro</u>	COLOR RESIDUAL	<u>-----</u>
OLOR:	<u>Inodora</u>		
INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)			
		PRUEBA CONFIRMATIVA	
PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	FORMACION DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
01,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm <sup>3</sup>		< 2	< 2
<p><b>TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.</b></p> <p><b>OBSERVACIONES:</b> <u>Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NGO 29 001. Guatemala, 2009 -09-07</u></p>			
Vo.Bo.	 <b>Inga. Telma Maricela Cano Morales</b> <b>DIRECTORA CII/USAC</b>	 <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>LABORATORIO UNIFICADO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA SANITARIA "DRA. ALBA TABARINI MOLINA" - USAC - GUATEMALA</b>	 <b>Zenon Much Santos</b> <b>Ing. Químico Col. No. 420</b> <b>M. Sc. en Ingeniería Sanitaria</b> <b>Jefe Técnico Laboratorio</b>



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 004203


O.T. No. 25 860		EXAMEN BACTERIOLOGICO		INF. No.A-305 516	
INTERESADO	<u>ADHEMAR ENRIQUE ARGUETA LÓPEZ (Carné No. 2002 12188)</u>	PROYECTO:	<u>Trabajo de graduación "Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la USAC"</u>		
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>Interesado</u>	DEPENDENCIA:	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC</u>		
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Ciudad Universitaria, zona 12</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2009-08-21; 10 h30 min.</u>		
FUENTE:	<u>Pozo Facultad de Ingeniería</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	<u>2009-08-21; 13 h 00 Min</u>		
MUNICIPIO:	<u>Guatemala</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	<u>Sin refrigeración</u>		
DEPARTAMENTO:	<u>Guatemala</u>	SABOR:	<u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN	<u>No hay</u>
ASPECTO:	<u>Claro</u>	ASPECTO:	<u>Claro</u>	CLORO RESIDUAL	<u>-----</u>
OLOR:	<u>Inodora</u>	OLOR:	<u>Inodora</u>		


**INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)**


PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACION DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS – 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
01,00 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm <sup>3</sup>	-----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMESES COLIFORMES/100cm <sup>3</sup>		< 2	< 2

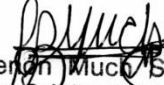
TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – W.E.F. 21<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

OBSERVACIONES: Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NGO 29 001. Guatemala, 2009 -09-07

Vo.Bo.   
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

  
DIRECCION

  
LABORATORIO UNIFICADO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA SANITARIA "DRA. ALBA TABARINI MOLINA" - USAC - GUATEMALA

  
Zenón Muñoz Santos  
Ing. Químico Col. No. 420  
M. Sc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio