



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;  
CONSIDERACIONES TÉCNICAS  
OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE  
ZACAPA**

JORGE ESTUARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ  
Asesorado por Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Guatemala, febrero de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;  
CONSIDERACIONES TÉCNICAS OBTENIDAS EN EL  
MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

**JORGE ESTUARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

ASESORADO POR EL MSC. INGENIERO CIVIL

JORAM MATÍAS GIL LAROJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Guatemala, febrero de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodriguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;  
CONSIDERACIONES TÉCNICAS  
OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE  
ZACAPA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela Ingeniería Civil con fecha 03 de marzo de 2003.

Jorge Estuardo González González



Guatemala 25 de enero de 2005

Ingeniero

Pedro Antonio Aguilar Polanco.

Revisor de trabajo de graduación.

Escuela de Ingeniería Civil.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Aguilar

Por este medio le saludo y le hago saber que he revisado el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Jorge Estuardo González González carné numero 97-20269, titulado "PROTECCION DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS, CONSIDERACIONES TECNICAS OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALAN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA", este trabajo contó con la asesoría del suscrito. Por lo cual comparto responsabilidad de lo descrito como autor.

Trabajo en el cual se mencionan las consideraciones técnicas obtenidas para proteger la captación de agua del municipio de Gualán en el departamento de Zacapa, por lo cual el suscrito lo aprueba.

Atentamente.

Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Catedrático-asesor 15016

Ingeniero Civil.

Maestría en Ingeniería Sanitaria.

Colegiado No.2318



Guatemala 25 de enero de 2005

Ingeniera

Carmen Marina Mérida Alva.

Departamento de Hidráulica.

Escuela de Ingeniería Civil.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniera Mérida

Por este medio le saludo y le hago saber que he revisado el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Jorge Estuardo González González carné numero 97-20269, titulado "PROTECCION DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS, CONSIDERACIONES TECNICAS OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALAN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA", este trabajo contó con la asesoría del suscrito. Por lo cual comparto responsabilidad de lo descrito como autor.

Trabajo en el cual se mencionan las consideraciones técnicas obtenidas para proteger la captación de agua del municipio de Gualán en el departamento de Zacapa, por lo cual el suscrito lo aprueba.

Atentamente.

Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Catedrático-asesor 15016

Ingeniero Civil.

Maestría en Ingeniería Sanitaria.

Colegiado No.2318

## **ACTO QUE DEDICO A**

Mis padres, Horacio y Virginia; por darme la vida y guiarme con sus sabios consejos.

Mis hermanos, Claudia, Roni (Q.E.P.D), Ximena y Gabriela; por estar siempre conmigo y apoyarme.

## **AGRADECIMIENTOS A**

Dios, porque sin Él nada sería posible.

Eleonora Menegazzo; por creer en mí y en un proyecto de vida.

Mis amigos, en especial a Carlos Pinto, Antonio Juárez, Carlos Aldana, Patricia Pereira y Rolando Ríos; por su apoyo incondicional.

Ingeniero Joram Gil; por su tutela y paciencia en este trabajo.

Todas las personas que ayudaron en el proceso educativo de mi vida y a la Universidad de San Carlos de Guatemala; muy agradecido.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	X
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE MAYOR USO EN GUATEMALA.....	1
1.1. Fuentes de agua superficiales.....	1
1.1.1. Ríos.....	2
1.1.2. Lagos.....	3
1.1.3. Embalses.....	4
1.2. Fuentes de agua subterráneas.....	5
1.2.1. Nacimientos o manantiales.....	6
1.2.2. Pozos excavados o poco profundos.....	7
1.2.3. Pozos profundos.....	7
1.2.4. Galerías filtrantes.....	8
1.3. Agua de lluvia.....	9
2. EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA.....	11
2.1. Contaminantes urbanos potenciales.....	12
2.1.1. Aguas residuales domiciliarias.....	15
2.1.2. Aguas servidas industriales.....	17

2.1.3.	Aguas turbias producto de desastres naturales.....	19
2.1.3.1.	Contaminantes físicos debidos a desastres naturales.....	19
3.	DESASTRES NATURALES QUE AFECTAN LAS FUENTES DE AGUA.....	23
3.1.	Sismos o terremotos.....	27
3.1.1.	Consecuencias de los sismos en sistemas de agua potable .....	28
3.2	Huracanes.....	30
3.2.1.	Consecuencias de los huracanes en sistemas de agua potable.....	31
3.3.	Deslizamientos.....	32
3.3.1.	Consecuencias de los deslizamientos en sistemas de agua potable.....	34
3.4.	Inundaciones.....	34
3.3.1	Consecuencias de las inundaciones en sistemas de agua potable.....	36
3.5.	Sequías.....	37
3.3.2	Consecuencias de las sequías en sistemas de agua potable.....	37
3.4.	Erupciones volcánicas. ....	38
3.4.1	Consecuencias de las erupciones volcánicas en sistemas de agua potable.....	39

4.	PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA CONTRA DESASTRES NATURALES Y CONTAMINANTES URBANOS.....	43
4.1.	Especificaciones técnicas para la protección de fuentes de agua.....	45
4.1.1.	Normas de diseño para captaciones superficiales.....	46
4.1.1.1.	Tipos y normas de diseño de captaciones.....	47
4.1.1.2.	Normas de diseño para captaciones en lagos, lagunas y embalses.....	48
4.1.2.	Normas de diseño para captaciones de agua de manantiales.....	48
4.1.3.	Normas de diseño para galerías de infiltración...	49
4.1.4.	Normas de diseño para pozos excavados a mano.....	50
4.1.5.	Normas de diseño para pozos perforados por métodos mecánicos.....	51
4.2.	Especificaciones generales existentes en Guatemala para captaciones de agua.....	52
4.3.	Perímetros de seguridad por medio de áreas de riesgo de contaminación.....	53
4.3.1	Perímetros de protección en captaciones en capa subterránea.....	56
4.3.2	Perímetros de protección en captaciones superficiales.....	58

4.4.	Protecciones físicas.....	59
4.4.1.	Muros por gravedad.....	61
4.4.1.1	Muros por gravedad de concreto ciclópeo.....	63
4.4.1.2	Gaviones.....	65
4.4.2.	Muros perimetrales.....	69
4.4.2.1	Muros perimetrales de mampostería reforzada.....	70
4.4.2.2	Muros perimetrales prefabricados.....	72
5.	PROPUESTA DE DISEÑO DE MURO DE GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO, PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPTACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA.....	75
5.1	Datos generales del municipio de Gualán, departamento de Zacapa.....	78
5.2	Identificación, descripción y evaluación de los elementos que constituyen la captación de agua del municipio de Gualán.....	80
5.3	Otros elementos del sistema de agua potable de la cabecera municipal de Gualán.....	86
5.4	Mayores amenazas del área en Estudio: municipio de Gualán.....	89
5.5	Propuesta para la protección de la captación de agua de Gualán.....	100

CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES DE LA PROPUESTA DE PROTECCIÓN DE LA FUENTE DE AGUA.....	113
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	115
ANEXO 1 RECOPIACIÓN DE ESPECIFICACIONES GENERALES EXISTENTES PARA CAPTACIONES DE AGUA POTABLE.....	117
ANEXO 2 NORMAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES NR-4: 2001 REQUISITOS ESPECIALES PARA VIVIENDA Y OTRAS CONSTRUCCIONES MENORES.....	125
ANEXO 3 ANÁLISIS Y EL DISEÑO DE UN MURO POR GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO...	153

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Flujograma del proceso para el análisis de vulnerabilidad de proyectos de agua y saneamiento	24
2	Ciclo natural de desastres sin planes de prevención y mitigación	26
3	Ciclo de los desastres aminorados con la presencia de planes de prevención y mitigación	26
4	Placas tectónicas en el continente americano	29
5	Sistema de fallas activas en la República de Guatemala	30
6	Matriz de los efectos e intensidades provocados por los eventos	41
7	Secciones transversales de muros por gravedad	61
8	Estimación de las dimensiones de un muro por gravedad	63
9	Ruta de acceso a la cabecera municipal de Gualán desde la ciudad capital de Guatemala	79
10	Ubicación de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa	80
11	Presa de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	82
12	Toma de agua de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	83

13	Canal de alivio, más canal de captación del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	84
14	Desarenador del sistema del abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	86
15	Cobertura del sistema de distribución de agua de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa	88
16	Mapas de vulnerabilidad por sismo y mapa de vulnerabilidad por inundación	89
17	Diagrama de peso muerto del muro, por medio de sus centros de gravedad	105
18	Diagrama de presión bajo la base del muro	107
19	Fuerzas actuantes sobre el muro	153
20	Diagrama de presiones de un muro por gravedad	161
21	Componentes h y V de la presión activa	164
22	Distribución de presiones en la base del muro	165

## TABLAS

I	Formato 1 MAV del sistema de agua potable Gualán	91
II	Formato 2A estimación para susceptibilidad de daño para huracán	93
III	Formato 2B estimación para susceptibilidad de daño para sismo	94
IV	Formato 2C estimación para susceptibilidad de daño para inundaciones	95
V	Formato 2D estimación para susceptibilidad de daño para deslizamientos	96
VI	Formato 4.8 estimación de medidas de mitigación del Componente operativo-administrativo	97
VII	Formato 4.8 estimación de medidas de emergencia del componente captación	98
VIII	Sumatoria de momentos aplicados al muro de concreto ciclópeo	105
IX	Varillas de refuerzo por números, las más usadas	128
X	Tabla dosificación del concreto	137
XI	Tabla relaciones agua/cemento	138
XI	Tiempo para remoción de formaleta	152

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A/C$	=	Relación agua / cemento, en peso
$P_{a\gamma}$	=	Empuje activo total
$P_{p\gamma}$	=	Empuje pasivo total
$\gamma_c$	=	Peso específico del concreto
$\gamma_s$	=	Peso específico del suelo
$K_a$	=	Coefficiente de presión activa
$K_p$	=	Coefficiente de presión pasiva
$Kg.$	=	Kilogramo
$Kg/cm^2$	=	Kilogramo / centímetro cuadrado
$Kg/m^2$	=	Kilogramo / metro cuadrado
$Kg/m^3$	=	Kilogramo / metro cúbico
$L/s$	=	Litro por segundo
$m^3/s.$	=	Metro cúbico por segundo
$Pulg$	=	Pulgada
$Ton/m^2$	=	Tonelada / metro cuadrado
$UT$	=	Unidad de turbiedad
$\mu$	=	Coefficiente de fricción del suelo
$\Phi$	=	Ángulo de fricción interna

## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Capacidad de los materiales inertes, que componen el concreto, para fijar cierto número de moléculas de agua en la superficie de sus partículas.
<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería estructural y Sísmica.
<b>Albuminoide</b>	Grupo de aminoácidos de alto peso molecular y constitución compleja. Forma parte de las células animales y vegetales.
<b>Cemento Pórtland tipo I</b>	Cemento hidráulico que consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland y puzolana fina, dosificados de forma tal que la parte puzolánica no exceda el 15 por ciento de la masa total del cemento Pórtland modificado con puzolana.
<b>Colmatación</b>	Relleno de una cuenca sedimentaria.

<b>Curado</b>	Término usado para el proceso de promover la hidratación del cemento y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de humedad hacia dentro y fuera del concreto.
<b>Deyecciones</b>	Conjunto de materias arrojadas por un volcán o desprendidas de una montaña.
<b>Encofrado</b>	Recipiente de madera, metálico o de otro material, destinado a servir de molde, para la fabricación de un elemento de concreto.
<b>Espectrofotómetros</b>	Aparato para observar los espectros provistos de fotómetro que determinan, en cada punto, la intensidad relativa de las relaciones de dos espectros luminosos.
<b>Fraguado</b>	Es la acción del endurecimiento progresivo tanto del concreto como de las mezclas de cal y yeso.
<b>Geomorfología</b>	Rama de la geología que estudia el relieve terrestre y su evolución.
<b>Infiltración</b>	Penetración paulatina de un líquido entre los poros de un sólido.

<b>INFOM</b>	Instituto de Fomento Municipal.
<b>Lignina</b>	Del término latino Lignum, que significa madera, así, las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las considera leñosas.
<b>Mampostería</b>	Obra hecha con piedras desiguales, ajustadas y unidas con argamasa, sin un orden establecido.
<b>MAV</b>	Metodología de análisis de vulnerabilidad.
<b>Normas</b>	Es el conjunto de disposiciones que regulan las pruebas y ensayos de los materiales y que son de un reconocimiento general.
<b>Tanino</b>	Sustancia astringente contenida en la nuez de agallas, en las cortezas de la encina, olmo, sauce y otros árboles, y en la raspa y hollejo de la uva y otros frutos.
<b>UNEPAR</b>	Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales.

## RESUMEN

La protección de las captaciones de agua es vital dentro de un sistema de agua potable, debido a que de ésta depende la funcionalidad de los otros elementos. Debido a la gran cantidad de eventos naturales que ocurren en Guatemala se hace necesario una propuesta de obras complementarias para minimizar los daños provocados por un desastre natural a una captación de agua y asegurar así la continuidad del servicio después del mismo. Esta investigación menciona y clasifica los distintos tipos de captaciones de agua que se utilizan en Guatemala y los desastres naturales a los cuales están expuestas las mismas; también se mencionan las obras de protección que son necesarias, y se incluye las respectivas normas y especificaciones existentes en el país para su diseño y construcción.

En este trabajo también se propone el diseño de un muro de contención hecho con concreto ciclópeo, en uno de los taludes de la captación de agua potable que abastece a la cabecera municipal de Gualán, para evitar la caída de rocas a la misma, en caso de inundación o huracán; las cuales destruirían la presa, el canal de captación y el canal de alivio. Adicionalmente se menciona la metodología de análisis de vulnerabilidad para la captación en estudio y las tablas obtenidas respectivamente. Las normas y especificaciones que en Guatemala se usan son mencionadas en el capítulo cuatro y se detallan los incisos que deben utilizarse para la realización de obras hidráulicas relacionadas con la captación.



## OBJETIVOS

- GENERAL

Proponer especificaciones técnicas para la protección de fuentes de agua para consumo humano ante emergencias y desastres y su respectiva aplicación.

- ESPECÍFICOS

1. Determinar los fenómenos naturales a los que está expuesta una fuente de agua.
2. Determinar sitios alternativos, en caso de que un evento natural llegara a afectar la fuente de agua, para que la población no se quede sin servicio de este vital líquido durante un tiempo prolongado.
3. Evaluar la captación de agua para el sistema de abastecimiento de aguas de la cabecera municipal de Gualán, departamento de Zacapa.
4. Proponer un diseño de una obra de protección para la captación del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán.



## INTRODUCCIÓN

La conservación y mejoramiento de la calidad del agua de las fuentes destinada para el consumo humano es un punto importante dentro del área de la Ingeniería Sanitaria; al tomar esto en cuenta, es de vital importancia la protección de las fuentes de agua, de las cuales se abastecerá a las poblaciones. En nuestro país la mayoría de las fuentes o cuerpos receptores de agua no cuentan con protección adecuada ante los desastres naturales ni emergencias; de lo anterior se desprende que es necesario un estudio acerca del tipo de protección que se le debe de dar a una captación de agua, para evitar que la misma sea contaminada, dañada o destruida ante eventos de este tipo.

El presente documento enumera los principales desastres naturales que pueden afectar una captación y los cataloga de acuerdo a los tipos de daños que pueda ocasionar, tanto físicos como operativos y administrativos. En particular se analizó la captación de agua que abastece al municipio de Gualán, Zacapa, en donde se analizó cada uno de los componentes de la captación y se mencionan las normas de diseño y las especificaciones constructivas con las cuales se deben hacer los diferentes elementos que protegerán la captación.

Cabe mencionar que para este trabajo se hace uso de las normas y especificaciones existentes en el país, elaboradas por UNEPAR, INFOM y AGIES; y los comentarios de los ingenieros Alfredo Zsarata y Félix Aguilar, expertos en sistemas de agua potable. También se propone el diseño de un muro por gravedad, hecho con concreto ciclópeo para proteger a captación de agua potable del Municipio de Gualán, Zacapa.

# **1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE MAYOR USO EN GUATEMALA**

## **1.1. Fuentes de agua superficiales**

La mayor parte de las aguas provenientes de las precipitaciones; que no son más que el resultado de la caída de las aguas meteóricas a la superficie de la tierra, tanto de forma líquida como de forma sólida (granizo, escarcha), corrientes provenientes de la cima de montañas y volcanes, no se evaporan ni se infiltran en el suelo, sino que corren por la superficie, convirtiéndose así en ríos, que cuales casi siempre van hacia el mar o a un cuerpo receptor más grande como, lagos, lagunas, embalses, etc.

En términos hidrológicos, las fuentes de agua superficiales aportan agua a las cuencas, las cuales no son más que la superficie topográfica drenada por ríos y sus afluentes, de tal manera que toda esorrentía que nazca en el interior de esta superficie debe atravesar la sección normal considerada para continuar su trayecto hacia aguas abajo.

Las cuencas hidrológicas están separadas de sus vecinas por una línea llamada divisoria de aguas.

### **1.1.1. Ríos**

La formación de los ríos se debe a los escurrimientos producidos por la precipitación y nacimientos de agua provenientes del subsuelo.

Los ríos son fuentes superficiales que llevan este exceso de agua a los océanos, por lo que también de les ha llamado líneas de drenaje natural. Son definidos como corrientes de agua que escurren de manera constante sobre su lecho, que acarrear un caudal variable, según la zona climática de la cuenca.

Cuando un río alcanza su menor caudal se habla de un estiaje, por el contrario, cuando alcanza un caudal mayor al habitual se habla de una crecida.

Las variaciones que sufre el caudal de un río durante el año están determinadas por su régimen. Aquellos ríos que aumentan su caudal durante la estación de las lluvias, que varía según la zona climática de la que se trate y de su cuenca o minicuenca, tienen un régimen pluvial. Además, hay ríos que se alimentan de diversas fuentes a lo largo del año, por lo que su caudal es mucho más estable: son los de régimen mixto.

En las zonas altas, donde hay grandes pendientes o barrancos estrechos y profundos, denominados quebradas, se producen cursos de agua intermitentes, pero de gran intensidad y alta velocidad durante la época de las lluvias o deshielos, que reciben el nombre de torrentes.

En Guatemala, los ríos son una importante fuente de agua para consumo humano, ya que las aguas son captadas de sus cauces para luego ser conducidas para este fin.

### **1.1.2. Lagos**

Cuando el agua en vez de infiltrarse en el suelo o correr a través de una pendiente se deposita en zonas en las que el relieve está deprimido, forma, según su extensión y profundidad, un lago o una laguna.

Cuando solo se trata de una capa delgada de agua, invadida por una tupida vegetación acuática, se trata de un pantano.

Los lagos tienen un fondo plano y uniforme, pueden ser de agua dulce o salada en el caso de los ubicados en las zonas áridas y pueden variar mucho en su extensión y profundidad. Su oleaje depende del viento. El nivel de sus aguas varía de acuerdo al clima en el que se ubiquen. Son alimentados por ríos y manantiales, y casi todos desaguan a través de ríos denominados emisarios, por lo que también forman parte de la red de drenaje de las cuencas donde se encuentran. Cuando los lagos tienen un río emisario, su agua se mantiene dulce; pero cuando no tienen desagüe, generalmente la evaporación acaba por convertir sus aguas en saladas, como ocurre con el Mar Muerto y otros lagos llamados erróneamente mares.

Algunas de las funciones de los lagos son entregar agua limpia a sus ríos emisarios, ya que en el lago quedan depositados todos los sedimentos que traía el río que desembocó en ellos; cuando los ríos que llegan a los lagos aumentan su caudal, éste regula sus crecidas e impide inundación. Cuando el lago es muy grande, modera el clima de la región debido a la evaporación de sus aguas; su agua dulce sirve para la irrigación de cultivos; en la mayoría de los casos son vías de comunicación de fácil uso; también pueden ser importantes zonas de pesca. Los lagos ubicados en las zonas montañosas son generadores potenciales de energía hidroeléctrica; muchos son importantes zonas turísticas, como es el caso de los lagos Peten Itzá y Atitlán.

### **1.1.3. Embalses**

Los embalses son cuerpos de agua naturales formados con diques a través de valles cortados por las corrientes o artificiales, creados por el hombre.

Estos son el producto de la interrupción del cauce de un río; por medio de presas (llamadas así porque detienen o apresan el flujo del río), que sirven para generación de energía eléctrica, recreación, cultivos y para consumo humano. Los embalses permiten obtener energía en tiempos de estiaje y permiten tener agua disponible en tiempos de sequías prolongadas para el consumo de poblaciones cercanas a los mismos. Los embalses están sujetos a las mismas condiciones y cambios que las lagunas y lagos naturales.

El grado y carácter de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire.

En este tipo de reservorios, la mejor calidad de agua se encontrará a una profundidad mediana. El agua de la parte superior es propensa a crecimientos de algas y el agua del fondo puede tener un alto contenido de dióxido de carbono, hierro, manganeso y a veces sulfuro de hidrógeno, ya que este estrato es generalmente de condiciones anaeróbicas, es decir, sin presencia de oxígeno. En embalses profundos, el agua del fondo, además de anaeróbica, permanecerá fría durante todo el año, ya que la gran diferencia de densidad, con relación a la capa superior, no permite mezcla entre las diferentes zonas que conforman el cuerpo de agua.

## **1.2. Fuentes de agua subterránea**

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con una gran cantidad de sustancias de naturaleza orgánica e inorgánica, algunas de ellas solubles en agua. Aguas de infiltración ricas en dióxido de carbono absorbido del aire o de materia orgánica en descomposición en el suelo, fácilmente propenden a la solubilización de compuestos que dan origen a la alcalinidad y dureza del agua contenida en tales reservorios.

En términos generales, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y mucho más duras y mineralizadas que el agua de superficie de la región en la cual se encuentran. Para que la absorción se produzca, es necesario que el terreno sea permeable, y que el relieve sea suave, para que no escurra. Son permeables la arena, arenisca y grava, y las rocas calizas, que tienen numerosas fisuras.

### **1.2.1. Nacimientos o manantiales**

Cuando el agua subterránea aflora a la superficie se produce un manantial o como se conocen en Guatemala un nacimiento de agua. Aquellos que no siempre tienen agua, surgen de la zona de saturación intermitente; en cambio, los manantiales constantes emanan desde la zona de saturación permanente.

Los nacimientos alimentan el caudal de los ríos con aguas muy puras. Como las aguas subterráneas están impregnadas de sustancias minerales, poseen un sabor y olor característicos, por lo que son llamadas aguas minerales. Pueden ser alcalinas, sulfurosas, salinas, magnesianas o carbonatadas, dependiendo de los minerales que contienen.

En las regiones donde se ha producido fallas o están cercanas a actividad volcánica, las aguas subterráneas emergen a altas temperaturas y más mineralizadas. Estos manantiales se conocen como aguas termales.

### **1.2.2. Pozos excavados o poco profundos**

El agua infiltrada deja de descender cuando se encuentra con una capa de rocas impermeables que permite su acumulación en la denominada capa freática o manto acuífero. La superficie de este manto constituye el nivel hidrostático.

En muchos lugares, este nivel se encuentra cercano a la superficie, lo que permite la extracción del agua por medio de la excavación de pozos poco profundos, en Guatemala, este tipo de pozos son excavados manualmente o de forma artesanal, son de gran utilidad en las zonas a las cuales no llega el agua potable. La zona en la cual las rocas se saturan o se secan, según asciende o desciende el nivel hidrostático, se denomina zona de saturación intermitente. En otros casos, se da que el nivel hidrostático está a gran profundidad, lo que varía de acuerdo a las precipitaciones. Si éstas son abundantes, se eleva por algún tiempo; si hay sequía, desciende.

### **1.2.3. Pozos profundos**

En los casos en que el nivel hidrostático está a gran profundidad, se excavan pozos profundos para encontrarlo, para lo cual se hacen perforaciones mecánicas; este nivel variará según los niveles de precipitación y la permeabilidad de las capas que debe atravesar el agua. Si las precipitaciones son abundantes, el nivel del reservorio acuífero se eleva; en tiempos en que la precipitación es muy pobre, al igual que en los pozos excavados, el nivel de los mismos tiende a descender. La mayor profundidad a la que se ha encontrado agua subterránea es a tres kilómetros.

Más profundo es difícil, ya que por la gran presión las capas inferiores de la litósfera carecen de poros a través de los cuales pueda infiltrarse el agua.

En tanto que la zona de saturación permanente es aquella más profunda, por debajo de la cual nunca desciende el nivel del manto acuífero.

#### **1.2.4. Galerías filtrantes**

Son conductos horizontales con cierta pendiente, contruidos para interceptar y recolectar agua subterránea que fluya por gravedad. Generalmente se ubican paralelas a los lechos de los ríos para asegurar una recarga permanente. Las galerías o pozos filtrantes no son más que un medio para obtener agua a través de la filtración del suelo. Pueden ser hechos de manera artesanal o con taladro. Son captaciones de poca profundidad. Las galerías filtrantes son recomendadas para obtener agua en donde el caudal subterráneo tiene poca movilidad en las capas del subsuelo (debido a la permeabilidad o a la escases del agua). El interior de estos pozos y su base puede estar hecho de mampostería o de concreto, y cubierto por una tapadera de concreto armado o por medio de una cubierta abovedada.

### **1.3 Lluvia**

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos o de cualquier otra superficie de agua es precipitada en forma de lluvia y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de las corrientes de agua que atraviesan las cuencas hidrológicas y lagos, el resto penetra en la tierra.

El almacenamiento de agua de lluvia para consumo humano se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficies o por la captación del agua que se ha infiltrado en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia, con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores decisivos en la formación de depósitos de aguas que eventualmente son usados como fuentes de abastecimiento. Las variaciones de estos factores afectan no solamente la cantidad disponible, sino también su calidad.



## **2. EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA**

El agua pura, es decir, aquella constituida por la unión de una molécula de oxígeno con dos de hidrógeno, en sentido riguroso no existe en la naturaleza, pues por ser un solvente óptimo, nunca se encuentra en estado de absoluta pureza. Al estar en contacto con el suelo y la atmósfera, adquiere elementos o compuestos que desvirtúan su composición original, tanto desde el punto de vista físico, como químico y microbiológico. En la mayoría de los casos se requiere de análisis específicos de laboratorio para comprobar su presencia y concentración. Se puede afirmar que el agua posee una serie de impurezas, que le dan sus características físicas, químicas y biológicas y que su calidad depende de esas características. Por lo mismo se hace imprescindible la evaluación de la calidad del agua de las fuentes destinadas al consumo humano.

Las características de las aguas naturales no son estáticas y están sujetas a cambios, ya sea por condiciones naturales o por alteraciones producidas por el hombre. En términos generales, la calidad de una fuente de agua es inherente a su origen.

La contaminación del agua existe cuando una sustancia extraña a su composición provoca efectos perjudiciales al ecosistema y a los seres vivos. La calidad de las aguas naturales está íntimamente ligada al saneamiento global del medio.

Los niveles de contaminación varían según varios factores, entre los cuales se tienen el nivel de desarrollo en las comunidades o ciudades cercanas a la captación de agua (las cuales arrojan de forma directa o indirecta vertidos de aguas residuales); las industrias, las cuales, a pesar de su nueva conciencia ambiental, están tratando las aguas residuales antes de arrojarlas a cuerpos receptores; y por último la contaminación causada por los desastres naturales que arrastran hacia las fuentes de agua grandes cantidades de contaminantes agrícolas, prácticas de cultivos abonos, productos fitosanitarios, esparcimiento de las deyecciones animales, etc.; contaminantes urbanos, como depósitos de basura; contaminantes industriales, como residuos sólidos y líquidos provenientes de sus procesos; y finalmente, turbiedad causada por la presencia de sustancias en suspensión, es decir, sólidos suspendidos finamente divididos, en estado coloidal y de organismos microscópicos. La turbiedad es una característica propia de las aguas corrientes, siendo en general baja en las aguas en reposo. Para medir la turbiedad de las aguas se ha adoptado una unidad estándar arbitraria la cual relaciona la turbiedad causada por 1 mg SiO<sub>2</sub>/l con una unidad de turbiedad (UT).

## **2.1. Contaminantes urbanos potenciales**

Las actividades humanas generan una gran cantidad de residuos líquidos y sólidos, que pueden llegar a una fuente de agua para consumo colectivo; afectan su calidad, y por lo tanto causar serios daños a la salud de los usuarios de la misma, incluso pueden provocar la muerte.

La calidad de las aguas y el nivel de contaminación varía según el nivel de desarrollo en las sociedades. En los países en vías de desarrollo, la contaminación es causada principalmente por desechos humanos y animales, provenientes de sus actividades diarias.

Muchos países en vías de desarrollo, están en proceso de industrialización, y por lo tanto también están comenzando a producir contaminantes dañinos para las captaciones de agua. Los países industrializados, en cambio, sufren por la contaminación del agua debido a los extravagantes estilos de vida, a los desechos industriales que producen, y a que poseen una amplia gama de potenciales contaminantes peligrosos.

El agua constituye un elemento esencial para la vida animal y vegetal. Su papel para el desarrollo de la humanidad ha sido reconocido desde la antigüedad. Hipócrates (460-354 a. C.) afirmaba "La influencia del agua sobre la salud es muy grande".

El hombre requiere de agua de calidad adecuada y en cantidad suficiente para todas sus necesidades, libre de contaminantes de cualquier tipo.

La importancia sanitaria de los abastecimientos de agua es muy significativa: la implementación o mejora de los servicios de abastecimiento de agua trae como resultado una rápida y sensible mejoría en la salud y en las condiciones de vida de una comunidad, principalmente a través del control y prevención de enfermedades, de la promoción de hábitos higiénicos y del control de los desechos humanos e industriales.

La implementación de medidas de seguridad y prevención de contaminantes urbanos en las captaciones de agua, también tiene impacto económico, el cual se traduce en un aumento de la vida media de la población servida, en una disminución de la mortalidad en general y en particular de la infantil y en una reducción del número de horas perdidas por diversas enfermedades. Estos hechos se reflejan en un aumento sensible del número de horas de trabajo de los miembros de una comunidad, con el consiguiente aumento de producción.

El establecimiento de criterios para la determinación de la potabilidad de una fuente de agua (fuente libre de contaminantes), constituye un aspecto muy importante para el hombre.

En general, los núcleos urbanos se formaron inicialmente asociados a las posibilidades de obtener agua libre de calidad adecuada y libre de contaminantes. Pero, con el crecimiento de las ciudades, la provisión de agua potable se tornó problemática. Las fuentes tradicionales de aprovisionamiento se tornaron inadecuadas tanto en cantidad como en calidad. Los ríos se contaminan y los acuíferos subterráneos se agotan o se contaminan también.

El abastecimiento de agua se torna más difícil y costoso. La explotación de acuíferos se encarece por la necesidad de acceder a napas más profundas; se debe recurrir a ríos más lejanos, lo cual también implica el inconveniente de competir por el recurso, con otras poblaciones o por otros usos.